



Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación y Estudios de Posgrado

**Evaluación del Comportamiento de Dos Genotipos de
Amarantáceas bajo Diferentes Niveles de Salinidad Clorhídrica
y Sulfática en Invernadero**

T E S I S

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN TECNOLOGÍA Y GESTIÓN DEL AGUA

Presenta:

Zoe Arturo Guadiana Alvarado

Asesor:

Dr. Rodolfo Cisneros Almazán

San Luis Potosí, S. L. P.

Septiembre de 2015



Luchemos por alcanzar la serenidad de aceptar las cosas inevitables, el valor de cambiar las cosas que podemos y la sabiduría para poder distinguir unas de otras.

SAN FRANCISCO DE ASÍS

A Dios:

Gracias por el regalo de la vida, por cada mañana, por cada persona que has puesto en mi camino, la luz y el camino de mi vida.

A mis padres José Luis y Elvira:

Todo el amor y respeto, eterno agradecimiento, gracias por darme todo sin pedir nada a cambio, gracias por las enseñanzas y estar a mi lado siempre que todo parecía derrumbado.

A mi esposa Gaby y a mi hijo Emiliano:

Cada paso en esta vida, está pensado en su bienestar, gracias por la paciencia, por los desvelos y los ánimos para seguir.

A mis hermanos:

Gracias por estar siempre en los momentos difíciles y compartir las cosas buenas de la vida.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haberme otorgado la beca N° 504321

Agradezco el apoyo brindado de las autoridades de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y de su Facultad de Ingeniería.

Agradezco la colaboración y apoyo de mi tutor el Dr. Rodolfo Cisneros Almazán, primero por su brindarme su amistad y confianza, además de los conocimientos transmitidos

A mis asesores los doctores Hilario Charcas Salazar y Claudia Álvarez Salas, por su apoyo gracias.

Agradezco a todos los colaboradores del Posgrado en Tecnología y Gestión del Agua, en especial al Dr. Marcos Algara Siller por su confianza.

Al Área Agroindustrial, por todo el apoyo recibido, principalmente en el uso del Laboratorio de Agricultura Protegida.

A toda mi familia, gracias por todos estos años.

índice

índice.....	v
Índice de cuadros.....	vii
Índice de Figuras.....	ix
Resumen	x
Abstract.....	xii
Introducción	1
a. Justificación	4
b. Antecedentes	5
c. Objetivo General	10
d. Objetivos Específicos.....	10
e. Hipótesis	10
f. Marco Teórico	11
La clasificación de la salinidad	12
Origen de las sales.....	14
Tipos de clasificación de los suelos salinos.....	15
Efectos de las sales sobre el crecimiento vegetal.....	17
El ajuste osmótico	20
La eliminación del exceso de sales	21
1. Evaluación del comportamiento de un cultivar de <i>Amarantus spp.</i> Var., nutrisol y <i>Chenopodium quinoa</i> en un sistema de flujo laminar simulando diferentes condiciones de salinidad sulfática y clorhídrica	22
Generalidades	22
Materiales.	22
Métodos	24
Tratamientos y variables.	26
Diseño experimental y distribución de los tratamientos	28
Análisis estadístico.....	29
Resultados	30
Rendimiento de semilla de amaranto.....	30
Altura de planta de amaranto.	34
Rendimiento de semilla de quinoa.....	38

Altura de planta de quinoa	42
Análisis de conductividad eléctrica (CE) y consumo de agua.....	45
2. Evaluación del comportamiento de un cultivar de <i>Chenopodium quinoa</i> en un sistema semi- hidropónico simulando diferentes niveles de salinidad sulfática.....	50
Generalidades	50
Materiales	51
Métodos	52
Tratamientos y variables.	57
Resultados	62
Rendimiento de semilla de quinoa.....	62
Conductividad eléctrica.....	65
Altura de planta de quinoa	68
Número de hojas por planta de quinoa.....	71
Potencial de hidrógeno.....	73
Análisis de correlación.....	75
Análisis de regresión.....	77
Rendimiento Relativo de semilla de quinoa	78
3. Evaluación de la germinación de genotipos de <i>Chenopodium quinoa</i> bajo diferentes niveles de salinidad.....	80
Generalidades	80
Germinación de quinoa bajo distintos tratamientos de salinidad.....	81
Materiales y métodos	81
Porcentaje de germinación absoluta	82
Resultados	82
Conclusiones.....	84
Bibliografía	86

Índice de cuadros

Cuadro 1. Aporte nutricional de la solución nutritiva y relación aniones y cationes	25
Cuadro 2. Fertilizantes usados para la fórmula nutricional.....	26
Cuadro 3. Aporte nutricional detallado de la solución nutritiva.....	26
Cuadro 4. Tratamientos del primer experimento	27
Cuadro 5. Análisis de Varianza para la variable rendimiento de semilla (g) de amaranto	31
Cuadro 6. Prueba de Tukey para la variable rendimiento de semilla (g) de amaranto	33
Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm) de amaranto	35
Cuadro 8. Prueba de Tukey para la variable altura de planta de amaranto (cm)....	37
Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable rendimiento de semilla (g) de quinoa.....	39
Cuadro 10. Prueba de Tukey para la variable rendimiento de semilla (g) de quinoa	41
Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm) de quinoa	43
Cuadro 12. Prueba de Tukey para la variable altura de planta de quinoa	44
Cuadro 13. Análisis de Varianza para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$).....	46
Cuadro 14. Prueba de Tukey para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	47
Cuadro 15. Prueba de Tukey para la variable consumo de agua (l)	49
Cuadro 16. Relación aniones y cationes, aporte nutricional de la solución nutritiva	53
Cuadro 17. Fórmula nutricional para la solución hidropónica	54
Cuadro 18. Fuente y aporte nutricional detallado de la solución nutritiva	56
Cuadro 19. Fuente de salinidad y aporte en gramos de los niveles de salinidad..	57
Cuadro 20. Diseño experimental del segundo experimento.....	57
Cuadro 21. a) Vista general del invernadero y b) experimento dentro de invernadero	58
Cuadro 22. Análisis de varianza para la variable rendimiento de semilla de quinoa (g)	63
Cuadro 23. Prueba de Tukey para la variable rendimiento de semilla de quinoa (g)	64
Cuadro 24. Análisis de varianza para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	66
Cuadro 25. Prueba de Tukey para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	67
Cuadro 26. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm).....	69
Cuadro 27. Prueba de Tukey para la variable altura de planta de quinoa (cm)	70
Cuadro 28. Análisis de varianza para la variable número de hojas por planta	72
Cuadro 29. Prueba de Tukey para la variable número de hojas por planta	73
Cuadro 30. Análisis de varianza para la variable pH	74
Cuadro 31. Prueba de Tukey para la variable pH	75
Cuadro 32. Análisis de correlación de variables.....	76
Cuadro 33. Resultados de análisis de regresión	77
Cuadro 34. Análisis de regresión para rendimiento de semilla de quinoa.....	77
Cuadro 35. Análisis de Rendimiento relativo para semilla de quinoa	79

Cuadro 36. Tratamientos para prueba de germinación de semillas de quinoa	81
Cuadro 37. Resultados de prueba de germinación absoluta de semilla de quinoa	82

Índice de Figuras

Figura 1. Clasificación de la salinidad de acuerdo a PSI y CE	13
Figura 2. a) Diseño del sistema de flujo laminar y b) disposición del experimento.....	28
Figura 3. Curva de Gauss para la variable rendimiento de semilla (g) de amaranto	30
Figura 4. Curva de Gauss para la variable altura de planta (cm) de amaranto.....	34
Figura 5. Comparación de medias de altura de planta (cm) de amaranto	35
Figura 6. Curva de Gauss para la variable semilla (g) de quinoa.....	38
Figura 7. Curva de Gauss para la variable altura de planta (cm) de quinoa.....	42
Figura 8. Curva de Gauss para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$).....	45
Figura 9. Plantas después de trasplante segundo experimento	55
Figura 10. Curva de Gauss para la variable rendimiento de semilla de quinoa	62
Figura 11. Equipo de medición pH y CE	65
Figura 12. Curva de Gauss para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$).....	66
Figura 13. Curva de Gauss para la variable altura de planta de quinoa (cm)	68
Figura 14. Lectura de altura de planta.....	69
Figura 15. Curva de Gauss para la variable número de hojas por planta	71
Figura 16. Planta de quinoa	72
Figura 17. Curva de Gauss para la variable pH.....	74
Figura 18. Gráfica de Rendimiento relativo para la semilla de quinoa.....	79
Figura 19. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm).....	83

Resumen.

El propósito de la presente investigación fue evaluar el comportamiento de dos genotipos de amarantáceas, amaranto (*Amarantus spp.* var., nutrisol) y quinoa (*Chenopodium quinoa*) bajo diferentes niveles de salinidad clorhídrica y sulfática en invernadero.

Para lograr este objetivo, se desarrollaron tres experimentos; dos de ellos con métodos de cultivo diferentes y el otro con una prueba de germinación.

El primer experimento fue desarrollado en un sistema hidropónico de flujo laminar que recirculó la solución nutritiva a través de canales de PVC y vertieron el flujo a un contenedor en común, en el cual se suministraron los nutrientes necesarios a las plantas. En este experimento, se probaron seis tratamientos para amaranto y seis para quinoa con dos soluciones salinas, una de tipo clorhídrico y la otra del tipo sulfática con 1 y 0.5 mol L⁻¹, y un tratamiento testigo sin sales.

El segundo experimento, fue desarrollado en un sistema semi-hidropónico con un cultivo de quinoa en macetas donde se probaron 4 tratamientos con una fuente de salinidad de CaSO₄ y cuatro niveles de concentración de sales; 3,000, 4,000 y 5,000 μS cm⁻¹ y un testigo sin sales.

El tercer experimento consistió en una prueba de germinación con semilla de quinoa de primera generación (F1), con tres tratamientos de salinidad (NaCl, Na₂SO₄ y CaSO₄) y cuatro concentraciones (2.0, 1.0, 0.5, y 0 mol L⁻¹); en este se evaluó el porcentaje y tiempo de germinación en 12, 24 y 36 horas.

Entre los resultados observados en el primer experimento, destaca el rendimiento de semilla de amaranto con NaCl a 1 mol/l⁻¹ y Na₂SO₄ 1 mol L⁻¹ y los tratamientos que obtuvieron los menores rendimientos fueron los testigos experimentales sin

tratamiento de salinidad, probablemente debido a la poca tolerancia del amaranto y quinoa a las condiciones de exceso de humedad en el medio radicular.

En el segundo experimento se observó que el mejor rendimiento de semilla se obtuvo con el testigo sin sales seguido de un rendimiento decreciente a mayor conductividad eléctrica (3,000, 4,000, 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ respectivamente), es decir, el rendimiento es inversamente proporcional a la concentración de sales.

En la prueba de germinación con semilla de quinoa, se observó que el efecto de la salinidad en el porcentaje de germinación de las semillas y el tiempo en que tardan en germinar se encuentra estrechamente relacionado a la concentración de sales y al tipo de sales presentes en el medio de cultivo. Específicamente las sales con contenido de sodio limitan el porcentaje y el tiempo de germinación.

Abstract.

The purpose of this research was to evaluate the performance of two genotypes of Amaranthaceae, amaranth (*Amaranthus* spp. var. *Nutrisol*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*) under different levels of chloridric and sulphatic salinity in greenhouse.

To achieve this goal, three experiments were carried out; two of them with different cultivation methods and the other with a germination test.

The first experiment was developed in a hydroponic system laminar flow nutrient solution recirculated through channels PVC and poured into a container flow in common, in which the necessary plant nutrients were supplied. In this experiment, six treatments and six amaranth quinoa with two salt solutions of hydrochloric type and other types of sulphatic 1 to 0.5 mol L⁻¹, and a control treatment without salts were tested.

The third experiment involved testing quinoa seed germination with first generation (F1), with three treatments of salinity (NaCl, Na₂SO₄ and CaSO₄) and four concentrations (2.0, 1.0, 0.5, mol L⁻¹ and the control) ; in this and the percentage germination time at 12, 24 and 36 hours was evaluated.

Among the results observed in the first experiment, seed yield stands amaranth with NaCl to 1 mol L⁻¹, Na₂SO₄ mol L⁻¹ and treatments that had the lowest yields were untreated salinity experimental control, probably due to the low tolerance of amaranth and quinoa to the conditions of excess moisture in the root medium.

In the second experiment it was observed that the best seed yield was obtained with the untreated salts followed by diminishing returns to high electrical conductivity (3,000, 4,000, 5,000 μS cm⁻¹ respectively), that is, performance is

inversely proportional to salt concentration.

In the germination test with seed quinoa, it was observed that the effect of salinity on the germination percentage of the seeds and the time it takes to germinate is closely related to the salt concentration and type of salts present in the culture medium. Specifically salts with sodium limits the percentage germination time.

Introducción

Desde tiempos remotos la agricultura ha sido una solución al abastecimiento regular de alimentos para los seres humanos, debido a esto es considerada como una actividad económica, social y ambiental, fundamental para el desarrollo integral del ser humano.

La agricultura se enfrenta a factores naturales y consecuencia de manejo no adecuado, que reducen seriamente la productividad generando alimentos en menor cantidad y calidad.

El suelo y el agua son elementos de suma importancia en la agricultura, el agua tiene como principales funciones hidratar y transportar los nutrientes del suelo a la planta y en el caso del suelo tiene como función el sostén y el aporte de nutrientes.

Un factor que reduce la productividad en los campos de cultivo es la salinidad que es definida por la FAO (1979), Flores *et al.* (1996) y López *et al.* (2008) como el resultado de procesos naturales y/o antrópicos presentes en todos los suelos que conducen en menor o mayor grado a una acumulación de sales, que pueden afectar la fertilidad del suelo.

El efecto de la salinidad sobre las plantas es diverso y muy variable, pero el mayor estrago en zonas de cultivo son los bajos rendimientos que genera la apertura de nuevos sitios de cultivo y el abandono del campo.

Otro factor de importancia en la agricultura son las bajas precipitaciones, que son un factor determinante para la producción del sector primario, asociado al uso indiscriminado de fertilizantes de origen químico, además de la sobre explotación de los mantos acuíferos.

Por otra parte, la familia de las amarantáceas comprende un promedio de 80 géneros y 2100 especies. La mayoría de estas plantas son hierbas o subarbustos, con ciclos anuales o perennes. Es una familia ampliamente extendida principalmente en las regiones tropicales y sub-tropicales y la mayor parte de las especies se dan en África tropical y Norte América, sin embargo algunas especies son originarias de las regiones templadas. Las especies *Alternanthera*, *Amaranthus*, *Iresine* y *Celosia* son muy conocidas por tener características que las hacen ornamentales para jardín, algunas son utilizadas para la alimentación por sus hojas y semillas. Estas especies se vuelven opciones altamente atractivas debido a su adaptabilidad, tolerancia a ciertos niveles de salinidad, a su alto valor alimenticio y uso agroindustrial.

Así, debido a la problemática generada por el aumento de la salinidad en los campos de cultivo, este trabajo pretende generar conocimiento sobre la evaluación de cultivares tolerantes con diferentes fuentes de salinidad en distintas concentraciones, además de experimentar en dos distintos sistemas de producción, el primero en un sistema de flujo laminar y el segundo en un sistema semi- hidropónico.

El sistema de flujo laminar consiste en la recirculación de la solución nutritiva a través de varios canales de tubos de PVC, que llegan a un contenedor en común y que con la ayuda de una bomba se desplaza nuevamente la solución nutritiva a cada canal.

El suministro de los nutrientes necesarios se deposita en las plantas por medio de las raíces que cuelgan desde las canastillas del contenedor para que la planta se desarrolle y crezca adecuadamente.

El sistema semi hidropónico es la técnica de producción intensiva de plantas, que se caracteriza por abastecer el agua y los nutrientes de manera controlada y de proporcionar a las plantas los elementos nutritivos en las concentraciones y proporciones más adecuadas, a través de una solución de elementos esenciales (N, P, K, Ca, Mg, S., etc.). Para su aplicación se utilizan sustratos inertes diferentes al suelo a los que se les adiciona en forma constante una solución nutritiva, preparada a partir de fertilizantes comerciales; con esto se logra un medio que proporciona las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo de los cultivos.

Este trabajo experimental consistió en desarrollar tres fases:

En la primera fase, se estableció un cultivar de amaranto y quinoa en un sistema de flujo laminar simulando diferentes condiciones de salinidad sulfática y clorhídrica. Las fuentes de salinidad fueron Cloruro de Sodio (NaCl) y sulfato de sodio (Na₂SO₄) con concentraciones de 1 y 0.5 mol L⁻¹ además del testigo experimental sin sales.

En la segunda fase, se estableció un cultivar de quinoa en un sistema semi-hidropónico, simulando diferentes condiciones de salinidad sulfática. Para este experimento la fuente de salinidad fue sulfato de calcio (CaSO₄) y las concentraciones fueron 3,000, 4,000 y 5,000 μS cm⁻¹ además del testigo experimental.

En la tercera fase se evaluó la germinación de semillas de quinoa de primera generación (F1) bajo diferentes condiciones de salinidad clorhídrica y sulfática. Las fuentes de salinidad fueron NaCl, Na₂SO₄ y CaSO₄ con concentraciones de 2.0, 1.0, 0.5 μS cm⁻¹ y el testigo experimental.

a. Justificación

Las áreas de suelo afectadas por problemas de sales y sodio están ampliamente distribuidas en el mundo; en México, el problema de la salinidad se presenta fundamentalmente en las zonas áridas, agrícolas y costeras.

De forma natural los lugares donde se observa con más frecuencia, son las cuencas cerradas que, a través de miles de años, han acumulado paulatinamente sales en el perfil del suelo. Se estima que la superficie afectada en México es del orden de un millón de hectáreas (Fernández, 1990).

La salinización del suelo es propiciada por la acumulación de sales, Munns *et al.*, (2005) menciona que las principales sales que afectan a los vegetales y que se encuentran en los suelos corresponden a los cloruros y sulfatos, de sodio, calcio y magnesio, siendo para las plantas los principales iones citotóxicos (Chinnusamuy *et al.*, 2005).

Todos los suelos contienen sales y algunas de éstas se convierten en un problema cuando se concentran en la zona radical del cultivo; provocando valores muy altos de la presión osmótica en el agua del suelo, con evidentes repercusiones sobre el desarrollo de las plantas, limitando la productividad de los cultivos, en particular en las zonas áridas (Gonzales *et al.*, 2010).

Cuando la salinidad es de origen antropogénica los factores que la generan son el uso excesivo de fertilizantes de origen químico, la explotación excesiva de los suelos y el uso de agua mineralizadas para el riego de cultivos, generando un cambio el entorno y grandes problemas de las áreas de cultivo, haciendo cada vez más difícil la actividad agrícola.

Este conjunto de problemas impactan directamente en la vida, el entorno y la economía de las comunidades rurales, generando algunas veces la apertura de nuevos sitios de cultivo, mayor extracción de agua subterránea y finalmente abandono del campo.

Por otra parte, en algunas regiones del estado de San Luis Potosí, México, debido a la condición climática de semi desierto, la sobre explotación de mantos acuíferos, la falta de prácticas de conservación de suelo y agua, se han generado problemas de desertificación, ensalitramiento de suelos y baja productividad en zonas de cultivo importantes, por lo que es importante generar conocimiento sobre cultivares y sistemas de producción que ayuden a reducir los efectos de estos problemas.

Así, el objetivo de este trabajo, es el de evaluar dos genotipos de amarantáceas, en diferentes concentraciones y tipos de salinidad que simulen condiciones que se presentan en suelos típicos y con dos sistemas de producción.

b. Antecedentes

Derivado de la necesidad de contar con cultivos que ayuden a mitigar los problemas de deficiencia en la alimentación, de una manera sustentable en los factores económico, ecológico y social se buscan nuevas alternativas de cultivos que se integren a la cadena productiva del país. Además de responder a las necesidades que en la actualidad se presentan.

Cultivo de Amaranto y quinoa

El cultivo del amaranto posee características agronómicas que le permiten adaptarse a condiciones ambientales adversas, donde otros cultivos no prosperan (Omami *et al.*, 2006). Se considera que es una alternativa para los pequeños productores por tener las características de mayor resistencia a la sequía (Morales *et al.*, 2009). Además, es una planta cultivada, domesticada y utilizada en México desde hace más de 4000 años. Desde el punto de vista nutricional, el grano es especialmente benéfico para los grupos sociales vulnerables (Espitia *et al.*, 1991).

En el congreso mundial convocado por la Academia de Ciencias y la FAO, en 1979, el amaranto quedó seleccionado como el mejor cultivo potencial para la explotación económica y nutricional a gran escala.

De acuerdo con investigaciones que concluyeron en el reporte del USDA “Composition of Foods” No. 8, el amaranto tiene mayor contenido de lisina, fósforo, calcio y hierro, que otros cereales comunes como el arroz, maíz, trigo, cebada, avena y el centeno. Solamente la leche de vaca y la materna contienen igual o un poco más de estas sustancias nutritivas.

Por su parte, la quinoa es una planta nativa de los Andes focalizada principalmente en los alrededores del Lago Titicaca. Se lo denomina el “grano de los Incas” o “grano de oro”, cuyos vestigios de existencia datan desde hacen miles de años antes del mismo imperio de los incas. Se indica, según estudios, que fue cultivada desde la época prehispánica (hace 3000 a 5000 años) en los Andes y domesticada en Bolivia, Perú y Ecuador. A raíz de la conquista española, se introdujo a América entre otros cultivos, el trigo, por lo cual la quinoa fue desplazada hacia tierras más altas y disminuyó su producción al igual que otros

cultivos que tradicionalmente habían venido manejando y consumiendo los nativos. Además, se dice que hay indicios de que los conquistadores descubrieron el alto contenido nutritivo de la quinoa y prohibieron su cultivo para debilitar la resistencia de los incas. El consumo es ancestral en la dieta de la población campesina. Su cultivo fue artesanal en las zonas altas andinas hasta la década de los años 90, en que se produce una importante posibilidad de exportación a los mercados norteamericano y europeo.

Bañuelos (1995), sostuvo que la quinoa es una planta que reviste gran importancia en el altiplano Andino debido a su amplia adaptación y resistencia a factores adversos como heladas, altas temperaturas, salinidad, sequía, suelos pobres y delgados, donde otros cultivos de interés alimenticio no prosperan, ideal para los sistemas agrícolas de México. El uso de la quinoa no sólo se ha limitado a la alimentación humana sino también se ha usado como forraje para rumiantes.

Existe poca información en México en relación al estudio del potencial del uso de la quinoa. Bañuelos (1995), inició una investigación con el objetivo de evaluar el rendimiento, la composición química y la digestibilidad *in situ* de 18 variedades de quinoa de diferente ciclo vegetativo. En el comportamiento de las plantas de quinoa observó diferencias para los días al corte entre tipos de variedades de quinoa, siendo las tardías las que tuvieron el mayor rendimiento de forraje verde y de materia seca (MS), seguidas por las intermedias y por las precoces.

Salinidad en suelos y plantas

Goykovic *et al.*, (2007), señala que la salinidad afecta de diversas maneras

a la especies vegetales. La mayoría de los efectos son adversos. Por ejemplo, el porcentaje de germinación disminuye y se prolonga el tiempo en el cual las semillas llevan a cabo este proceso. A nivel de raíces, éstas alcanzan una menor longitud de modo que el volumen de suelo que prospectan es menor. Los órganos del sistema aéreo también se alteran por efecto de las sales, los tallos alcanzan una menor altura, las hojas se reducen en número y presentan desecación en sus bordes de modo que hay menos producción de fotoasimilados. El número y peso de los frutos también se afectan negativamente de manera que su rendimiento comercial disminuye. En contra parte, la salinidad puede mejorar la calidad de los frutos en términos organolépticos y biológicos, al presentar éstos un mayor contenido de compuestos solubles, concentración de ácidos y licopeno.

Una de las etapas de mayor importancia en la viabilidad de un cultivo es la germinación, es un estado crítico para el establecimiento de plantas en suelos salinos y regiones áridas. Los atributos necesarios en una semilla tolerante son: la capacidad de incrementar la presión osmótica, capacidad de regular la entrada de iones para provocar el incremento en la presión osmótica y de esta manera evitar la acumulación excesiva, además de la habilidad del protoplasma en la acumulación de iones.

Los principales efectos del estrés salino que afectan a las plantas son: el *osmótico*, que está dado por la disminución del potencial osmótico del suelo, que genera menos disponibilidad de agua para la planta; el *nutricional*, debido a la disminución de la presión osmótica la disponibilidad de nutrientes disminuye, y la toxicidad se presenta con la acumulación de iones que generan en la planta síntomas de toxicidad.

El efecto más común de la salinidad (Mass y Hoffman, 1977), es un retraso general del crecimiento de la planta; ya que a medida que la concentración de sales aumenta, arriba de un nivel límite, la velocidad del crecimiento y el tamaño de la mayoría de las especies decrecen progresivamente.

La condición hídrica de la planta influye severamente en la fotosíntesis. A medida que el agua en las hojas se reduce, ya sea por estrés hídrico u osmótico, la tasa de fotosíntesis neta se reduce, debido a que las hojas cierran sus estomas, lo que impide la entrada de CO₂. El exceso de iones se define en los siguientes términos: “como la condición en que concentraciones altas de iones internos produce una reducción del crecimiento”. Muchas diferencias en la concentración de iones ocurren entre especies que las sales sódicas provocan castigo salino mayor que otras sales, particularmente el NaCl (Levitt, 1980).

Medio de cultivo

Baixauli y Aguilar (2002), sobre el sistema de flujo laminar, está basado en mantener una delgada lámina de solución nutritiva que continuamente se encuentra en recirculación, pasando a través de las raíces de la planta aportando agua, nutrientes y oxígeno. Y que una nueva variación a este sistema es el recién introducido sistema *New Growing System* (NGS), que consiste en un canal formado por bolsas de polietileno, interiormente en tres capas interconectadas y forrada por una última de polietileno blanco y negro, que es la que impide la entrada de luz en el sistema radicular, todo ello suspendido en el aire, con un sistema de sujeción y perfectamente nivelado para recoger el drenaje al final de la línea de cultivo y recircularlo.

c. Objetivo General

Evaluar el comportamiento en germinación y desarrollo fenológico de dos genotipos de amarantáceas con diferentes tratamientos de salinidad sulfática y clorhídrica en condiciones de invernadero.

d. Objetivos Específicos

1. Establecer y evaluar el comportamiento de un cultivar de amaranto (*Amarantus spp.*) var. nutrisol y quinoa (*Chenopodium quinoa*) en un sistema de flujo laminar simulando diferentes condiciones de salinidad sulfática y clorhídrica.
2. Evaluar el cultivar de quinoa (*Chenopodium quinoa*) en un sistema semi-hidropónico, simulando diferentes condiciones de salinidad sulfática.
3. Evaluar la germinación de genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa*) de primera generación (F1) bajo diferentes condiciones de salinidad clorhídrica y sulfática.

e. Hipótesis

H₀. El cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa*) y el amaranto (*Amaranthus spp.*), se adaptan al sistema de flujo laminar y a las condiciones de salinidad clorhídrica y sulfática.

H₁. El cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa*) es tolerante a condiciones de salinidad de origen sulfática.

H₂. Las semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa*) de primera generación (F1) presenta tolerancia a diferentes concentraciones de salinidad clorhídrica y sulfática con niveles óptimos de germinación.

f. Marco Teórico

Los problemas de salinidad y sodicidad son frecuentes en los suelos de regiones áridas, limitando su fertilidad química y confiriéndoles propiedades físicas desfavorables que facilitan la incidencia de los procesos de desertificación. Las fuentes más comunes de sales son los materiales geológicos, la atmósfera, las aguas de escorrentía, las aguas subterráneas y los residuos vegetales.

Otros factores tales como la topografía, las características edáficas o las actividades humanas (deforestación, agricultura) pueden favorecer la acumulación de sales solubles y/o sodio en el suelo (Dregne, 1976).

La salinidad es uno de los factores abióticos más importantes por sus impactos negativos en las cosechas a nivel mundial, reduciendo el rendimiento de los principales cultivos de importancia económica en más de un 50%.

Originalmente la salinidad fue concebida como una medida del contenido total de sales disueltas en un determinado volumen de agua, Knudsen en 1901, la definió como el número total de gramos de material sólido disuelto en un kilo de agua de mar (Vives 2003).

Ahora la salinidad se puede calcular a partir de la conductividad, el resultado es numéricamente menor que el residuo filtrable y se reporta usualmente como gramos por kilogramo (g kg^{-1}), o partes por millón (ppm) o miligramos por

litro (mg L^{-1}).

Los principales cationes y aniones que componen las sales solubles que dan lugar a la salinidad del suelo son:

Cationes: sodio (Na^+), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}) y potasio (K^+).

Aniones: cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) y bicarbonato (HCO_3^-).

La clasificación de la salinidad

A partir de los conceptos antes mencionados, se explica que los criterios de diagnóstico que se utilizan para la clasificación de los suelos afectados por salinidad, se basen en un conjunto de parámetros, fundamentalmente en el análisis de la relación existente entre ellos; así como la valoración no sólo del contenido total de iones; sino también de todos los aspectos que en el agro ecosistema provoquen afectaciones o deterioro significativo de la fertilidad de estos suelos.

Los indicadores químicos de salinidad de carácter global utilizados para la caracterización y el diagnóstico de la afectación por la salinidad son la CE, PSI (por ciento de Na^+ intercambiable) y pH (Kochba *et al.*, 2004; Mueller *et al.*, 2004; Shukla *et al.*, 2004), cuyos parámetros permiten separar a los suelos afectados por salinidad en 3 grupos:

Suelos Salinos

Se definen como los que contienen en la zona radicular una cantidad de sales disueltas en la solución del suelo (elevada Conductividad Eléctrica – CE expresada en mmhos cm^{-1} o en milisiemens m^{-1}) suficientemente alta para

restringir el desarrollo de los cultivos. La reacción de estos suelos va de neutra a ligeramente alcalina. El pH puede variar entre 7 y menos de 8,5. El Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) se mantiene por debajo de 7, por lo que la estructura no se ve afectada.

Suelos Sódicos

Se definen como los que contienen en la zona radicular suficiente sodio adsorbido por el complejo de cambio para desarrollar propiedades físicas y químicas desfavorables, restringiendo el normal crecimiento de las plantas. La reacción de estos suelos varía según el PSI y la presencia o ausencia de CO_2^{2-} ; o CO_3^- . El pH va desde 8 hasta más de 9.5. El contenido en sales de estos suelos es generalmente bajo ($\text{CE} < 2 \text{ mS m}^{-1}$).

Suelos Salinos Sódicos

Son aquellos que contienen una cantidad de sales solubles (medidas por la CEE), y un PSI suficientes para restringir el crecimiento de las plantas. Como límite se adoptan: $\text{CEe} > 4 \text{ mS m}^{-1}$ y $\text{PSI} > 15\%$ (Soil Survey Staff, 1994).

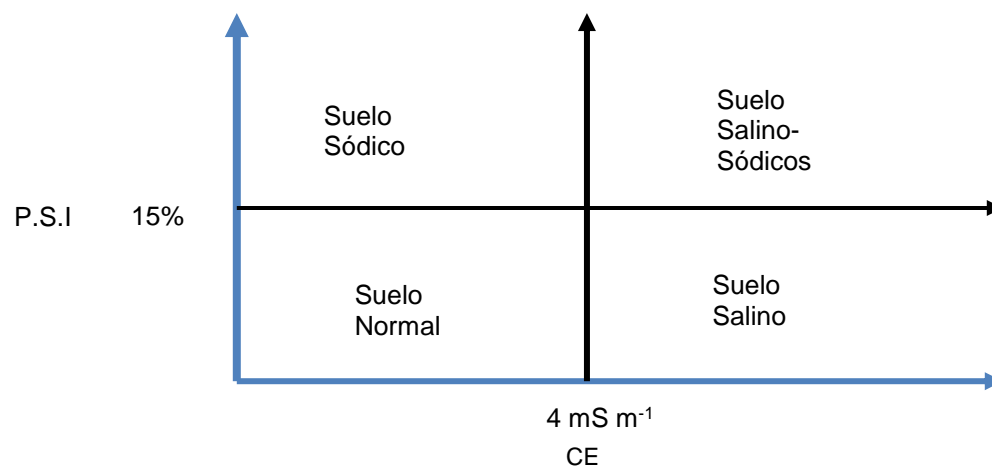


Figura 1. Clasificación de la salinidad de acuerdo a PSI y CE

Origen de las sales

Ciclo continental

Relacionado a la concentración de sales en suelos y aguas producto del intemperismo de rocas ígneas y sedimentarias, o bien a zonas de almacén de descargas de aguas superficiales y subterráneas cargadas de éstas. Cairo y Quintero (1986), caracterizan estas zonas de depósito como depresiones de distinto tipo y llanuras sin desagüe (cavidades). Las sales predominantes en estas áreas son los carbonatos, sulfatos y cloruros (Pizarro, 1985).

Ciclo marino

Está relacionado a la acumulación de sales, principalmente NaCl, en planos bajos, costeros, zonas bajas secas y a lo largo de costas y ensenadas. Este tipo de suelos salinos, conocidos también como litorales, se originan por una intrusión del agua de mar, lo que induce a una similar composición química entre las sales del suelo y las del mar (Fassbender, 1986). Es de considerar, también, el aporte de sales realizado por las aguas meteóricas en las proximidades del mar, el que se ha calculado en $50-100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Demolón *et al.*, 1967).

Ciclo deltáico

Producto de una combinación compleja de procesos, movimientos y acumulación de sales acarreadas por ríos, arroyos y mar. De esta manera, la composición salina de estos suelos es una mezcla de los dos ciclos anteriores (Pi)

Ciclo artesiano

Está asociado a la ascensión capilar de las aguas subterráneas mineralizadas. Este proceso es favorecido por fracturas tectónicas y estructuras

destruidas por la actividad volcánica y deposiciones continentales muy profundas.

Ciclo antropogénico

Es producto de los errores cometidos durante la actividad económica del hombre, o por ignorancia de las leyes que rigen la acumulación salina, por ejemplo, salinización de suelos irrigados a través de la capa freática, riegos con aguas mineralizadas, tala indiscriminada de bosques, lavado deficiente de la zona radical en donde se han acumulado las sales provenientes de las aguas de riego.

Se considera que los abonos pueden conducir al aumento de concentración de cloruros y cita el caso de la Silvinita (mineral rico en potasio, en forma de KCl), que puede contener por lo menos un 50% de NaCl (Demolón *et al.*, 1967).

Tipos de clasificación de los suelos salinos.

Entre los tipos de clasificación de suelos afectados por sales, destacan: el propuesto por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica (USSLS, 1954), el soviético (Kovda y Szaboles., 1979), el australiano, el indio (Chhabra *et al.*, 1996), el propuesto por la FAO-UNESCO (FAO, 1988), el planteado por Hoorn y Alphen (1994) y el expuesto por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de Norteamérica en la taxonomía de suelos (USSCS, 1994).

Método del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica

El laboratorio de salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica (USSLS, 1954) desarrolló su sistema para propósitos de recuperación de suelos afectados por sales, basado fundamentalmente en la conductividad eléctrica del extracto

(CEe) de la pasta del suelo saturado, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y el pH de la pasta del suelo saturado (pHs). El sistema presenta tres categorías: a) suelo salino (CEe > 4 dS m⁻¹, PSI < 15 y pHs < 8.5), donde las sales predominantes son cloruros y sulfatos, y el ion sodio representa menos del 50% de los cationes solubles, b) suelo salino- sódico (CEe > 4 dS m⁻¹, PSI > 15 y pHs > 8.5), dominan el cloruro y el sulfato de sodio, y c) suelo sódico (CEe < 4 dS/m, PSI > 15 y pHs > 8.5), en el cual el catión que prevalece en la solución es el sodio y la estructura del suelo es pobre.

La taxonomía de suelos soviética (Kovda y Szabolcs, 1979)

Combina la pedogénesis con la geoquímica de sales y con la respuesta de las plantas a la salinidad, presentando tres tipos de suelos afectados por sales: a) Solonchak, caracterizado por un contenido alto de sales solubles en los primeros 30 cm de suelo (frecuentemente mayor de 2%), que imposibilita el establecimiento de cultivos, b) Suelo parecido a Solonchak, caracterizado por un contenido de sales solubles que genera una CEe de 10 a 45 dS m⁻¹ (0.5 a 1.5%) en los primeros 100-150 cm de suelo, y cuando son cultivados, los rendimientos son bajos, y c) Solonetz, el cual tiene una apreciable cantidad de sodio intercambiable y un horizonte B con estructura columnar.

La clasificación australiana

Considera para la definición de los suelos afectados por sales tres aspectos: salinidad, sodicidad y alcalinidad. Para cada uno de estos aspectos presenta tres categorías: no afectado, afectado y fuertemente afectado.

La clasificación propuesta por la India (Chhabra *et al.*, 1996)

Se apoya en la del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de Norteamérica (USSL-S, 1954), pero precisa un poco más las sales en cada caso y adopta un pHs de 8.2 como valor de separación entre los alcalinos y los no alcalinos, por ser éste el valor a partir del cual precipita el carbonato de calcio y se inicia el proceso de sodificación. Las categorías establecidas son: a) suelo salino (pHs < 8.2; PSI < 15, CEe > 4 dS m⁻¹), sin carbonatos en el extracto de la pasta del suelo saturado, y b) suelo alcalino (pHs ≥ 8.2; PSI ≥ 15, CEe variable, frecuentemente < 4 dS m⁻¹), con presencia de bicarbonato y carbonato de sodio en el extracto de la pasta del suelo saturado (Villafañe, 2009).

Efectos de las sales sobre el crecimiento vegetal

Efecto osmótico

Efecto osmótico. En primer lugar, la presencia de sales en la solución del suelo reduce la disponibilidad hídrica para la planta al aumentar la presión osmótica de dicha solución (efecto osmótico). Llega un momento en que será tal la cantidad de sales que, a pesar de que el suelo contenga agua, la planta no podrá extraerla y sufrirá un estrés hídrico (sequia fisiológica).

Efecto del ion específico

Este efecto puede ser debido a la toxicidad directa causada por la acumulación de un determinado ion, por la formación de productos tóxicos para la planta o bien por interacción en el equilibrio nutritivo de la misma. Los principales elementos con efecto iónico específico son: el sodio, el cloruro y el boro pero su

efecto varía incluso entre especies vegetales cercanas. Así, la tomatera silvestre (*Lycopersicon cheesmanii*) no tolera altas concentraciones de sodio pero si de potasio, mientras que con la tomatera cultivada (*L. esculentum*) sucede lo contrario (Rush y Epstein, 1981). En el guisante (*Pisum sativum*) se observa alteraciones inducidas por cloruros pero no por sulfatos (Porath y Poljakoff - Mayber, 1964a, 1968b). Además, se admite que el sodio y el cloruro provocan fenómenos de competencia a nivel de absorción con el potasio y los nitratos, respectivamente (Kafkafi,. 1987; Silberbush, 1991; y C.M. Grieveb, 1999).

Efecto del sodio intercambiable

Finalmente, la abundancia de sodio frente al calcio y magnesio adsorbido en las arcillas del suelo puede determinar la individualización y dispersión de estas particular (suelo alcalino o sódico). Bajo estas condiciones, la alteración puede ser deficiente, lo puede conducir a problemas de germinación o podredumbres en las plantas. Pero como se explica esa individualización de las partículas del suelo.

Según la teoría de la doble capa de Gouy-Chapman (Poijakoi y Gale., 1975; Badia., 1992), las partículas de arcilla compensan sus cargas negativas rodeándose de cationes, los cuales se ven sometidos a dos tendencias opuestas; estas son: una fuerza electrostática de atracción y una de difusión, desde la superficie de la arcilla donde están intercambiados, hacia la solución del suelo donde la concentración catiónica es menor. Esta situación es similar a la de la atmosfera terrestre, en la que las moléculas de aire están sujetas a dos tendencias opuestas: la atracción gravitacional hacia el centro de la tierra y la repulsión por difusión. El resultado de estas dos tendencias es una distribución "atmosférica,

donde la concentración de las moléculas de gas es más alta cerca de la superficie terrestre y su concentración decrece con el incremento de la distancia.

Tolerancia de las plantas a la salinidad

Los ambientes salinos son del interés de diferentes disciplinas, así como la tolerancia de las plantas a dichas condiciones.

Desde el punto de vista biológico, por tolerancia a la salinidad en determinada especie o variedad, se debe entender aquel nivel de salinidad, hasta el cual las plantas son capaces de completar su ciclo de desarrollo y producir semillas viables.

Desde el punto de vista agronómico, la tolerancia a la salinidad en determinada especie o variedad se define como la habilidad de las plantas de sobrevivir y producir rendimientos económicos en condiciones de estrés y se expresa como la relación entre el rendimiento de una variedad en condiciones salinas con respecto a su rendimiento en condiciones normales. Con diferentes niveles de sales en el suelo esta relación puede variar, por lo que al caracterizar el grado de tolerancia de las variedades se debe indicar el nivel de salinidad del sustrato.

La tolerancia a la salinidad es un fenómeno complejo que envuelve cambios morfológicos y de desarrollo, en estrecha relación con los principales procesos fisiológicos y bioquímicos que operan en las plantas

Entre los mecanismos que explican la capacidad de las especies vegetales para tolerar el estrés por sales se encuentran:

El ajuste osmótico

Las plantas al crecer en condiciones de salinidad pueden disminuir el potencial osmótico interno para compensar el potencial osmótico externo y mantener la actividad enzimática y el transporte del floema y de esta manera evitar la deshidratación y la muerte.

El ajuste osmótico está generalmente ligado a la síntesis de solutos orgánicos, como la betaína, colina, glicina-betaína, prolina y sacarosa y/o a la acumulación de iones inorgánicos. En este sentido, se ha observado ajuste osmótico a través del incremento de los niveles de prolina en los tallos y raíces de la especie *Trifolium repens*; mientras que en la especie *Trifolium alexandrinum* los niveles de colina y betaína se incrementan en condiciones salinas y sódicas. La prolina-betaína está presente en *Medicago sativa* y en condiciones de salinidad se ha encontrado que las especies tolerantes acumulan más que las no tolerantes.

La exclusión de iones a nivel radicular y la retención de iones en las vacuolas de las raíces en crecimiento y en los diferentes órganos, que permiten que las plantas toleren concentraciones celulares o extracelulares muy elevadas. Muchas plantas responden al estrés salino mediante la exclusión del Na^+ y/o Cl^- de las hojas. Se han encontrado correlaciones positivas entre la exclusión del Na^+ y el Cl^- y la tolerancia a la salinidad en variedades de soya. Otras plantas a través de la succulencia han desarrollado habilidades para incrementar los compartimentos celulares de las hojas y retener altas concentraciones de sales en las vacuolas.

Las plantas tolerantes a la salinidad son usualmente más capaces de

regular la toma y translocación de iones, previendo de esta forma la alta acumulación de Na^+ y Cl^- en la hojas.

La eliminación del exceso de sales

Se realiza directamente a través de glándulas o estructuras especializadas como los cabellos vesiculares que permiten la eliminación del exceso de sales y mantener el equilibrio iónico-osmótico del citoplasma y un buen funcionamiento en la permeabilidad de las membranas.

En otro mecanismo las plantas son capaces de tolerar el estrés salino a través de la eliminación de sales, mediante la regulación de la caída de sus hojas y en casos extremos de sus frutos.

De hecho, en la evolución de los mecanismos de tolerancia en las plantas al estrés, puede observarse la existencia de grados de susceptibilidad y de tolerancia muy diferentes, tanto desde el punto de vista de los mecanismos como de la amplitud y distribución entre las diversas especies, e incluso variedades dentro de una misma especie.

En general, se puede decir que la complejidad en el grado de tolerancia y en el modelo de comportamiento de las plantas ante el estrés salino, evidencian la diversidad de estrategias que han logrado desarrollar las plantas a través de su curso evolutivo.

1. Evaluación del comportamiento de un cultivar de *Amarantus spp.* Var., nutrisol y *Chenopodium quinoa* en un sistema de flujo laminar simulando diferentes condiciones de salinidad sulfática y clorhídrica

Generalidades

La fase experimental del presente trabajo de investigación se desarrolló en la Unidad de producción de agricultura protegida de la carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí cuya ubicación es en Av. Dr. Manuel Nava #8 Edificio L, Zona Universitaria en la ciudad de San Luis Potosí.

Clima

La clasificación del clima según Köppen y modificado por García (1978) corresponde a la fórmula BS o KW (w)(i), que equivale a un clima seco-estepario frío, con temperatura media anual de 18°C siendo 7.5°C la mínima y 35°C la máxima, con una precipitación media anual de 374 mm. La vegetación según Rzedowski (1996) corresponde matorral desértico micrófilo, con abundancia dominante de arbustivas, así como mezquite, huizache y nopal.

Material genético.

El material genético utilizado para el experimento fue quinoa (*Chenopodium quinoa*) y Amaranto (*Amaranthus spp*), variedad Nutrisol desarrollado por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Materiales.

Como fuente nutricional se utilizó: nitrato de calcio, ácido fosfórico, nitrato de potasio, sulfato de magnesio y multi micro compo, y las sales utilizadas como fuente de sales fueron: cloruro de sodio; sulfato de sodio y sulfato de calcio.

Equipo: El equipo de medición utilizado fue flexómetro, potenciómetro, conductivímetro.

Material diverso: regla graduada, cámara fotográfica, balanza, probetas, pipetas, vasos de precipitado y cubetas de plástico.

Sistema de flujo laminar

Se implementó un sistema de flujo laminar hidropónico bajo condiciones de invernadero que consiste en la recirculación de la solución nutritiva a través de varios canales de tubos de PVC, que llegan a un contenedor en común (este es obscuro para evitar la incidencia de micro algas en la solución nutritiva) y que con la ayuda de una bomba sube nuevamente dicha solución nutritiva a cada canal. La recirculación permite suministrar los nutrientes necesarios a las plantas.



Figura 2. Sistema de flujo laminar del primer experimento

Métodos

Desinfectado

Se agregó cloro en una dosis de 1 L por 200 L de agua (5 ml por litro de agua). El cloro empleado es de tipo comercial con una concentración del 6%. Se sumergió la charola germinadora en la solución de agua y cloro por un período de 5 minutos.

Siembra

Se colocó la cantidad suficiente del sustrato “peat moss” para llenar las charolas germinadoras. Se agregó una cantidad adecuada de agua para humedecer el sustrato. Se mezcló el sustrato con el agua. Se colocó una semilla en cada hueco de la charola germinadora.

Riego

El riego en la etapa de germinación fue sólo con agua. Se cubrieron con un plástico las charolas germinadoras para conservar el calor y la humedad.

La semilla de quinoa y amaranto emergieron del segundo al tercer día con temperaturas de 25°C a 30°C.

Cuando se formaron las 2 primeras hojas verdaderas, se inició el riego con solución nutritiva.

El trasplante

Se realizó 20 días después de la siembra en las macetas, seleccionando las plantas con una altura uniforme.

Control de plagas y enfermedades.

Durante los ensayos, no fue necesario el control de plagas, ni

enfermedades debido a que el cultivo no presentó problemas.

Fertilización.

El suministro de nutrimentos en cada tratamiento se efectuó a través de riego manual, y se adicionaron los requerimientos nutrimentales de la planta de acuerdo a las dosis preestablecidas para cada uno de los tratamientos del experimento.

Solución nutritiva.

La solución nutritiva (cuadro 1) base que fue utilizada para todos los tratamientos es la solución nutritiva Steiner (1997), modificándose en algunos de sus componentes (cuadro 2) para ajustarla a las necesidades del cultivo de quinoa y amaranto. La solución nutritiva estándar se preparó con agua destilada y se adicionaron los macro elementos y los micro elementos utilizando fertilizantes químicos (cuadro 1).

N ⁻	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe	Mn ²⁺	Cu ⁺	Zn ²⁺	B	Mo
mg L ⁻¹													
136.48	28.82	180.42	140.03	19.26	1.54	3.00	38.7	0.10	0.08	0.01	0.02	15.3	0.06
Relación Ca/K		Relación N/K		Relación Fe/Mn		Relación Ca/B							
mg L ⁻¹													
0.77		0.75		1.22		9.15							

Cuadro 1. Aporte nutricional de la solución nutritiva y relación aniones y cationes

Fertilizante	Fórmula	Porcentaje	Gramos
Ácido Fosfórico	H ₃ PO ₄		110
Nitrato de Calcio	(Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O)		574
Nitrato de Potasio	(KNO ₃)		325
Sulfato de Potasio	(K ₂ SO ₄)		75
Sulfato de Magnesio	(MgSO ₄ 7H ₂ O)		410
Multi Micro Comb			25
Hierro	Quelato Fe EDDHA 6 %	7.10%	1.775
Manganeso	Nutri-Quelato-Mn	3.48%	0.87
Zinc	Nutri-Quelato-Zn	1.02%	0.255
Cobre	Nutri-Quelato-Cu	0.76%	0.19
Total			1522.09

Cuadro 2. Fertilizantes usados para la fórmula nutricional

	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Cu	Zn
mg L ⁻¹										
KNO ₃	47.51		146.25							
Ca(NO ₃) ₂ .H ₂ O	88.97			177.94						
H ₃ PO ₄ ;		66.00								
K ₂ SO ₄			37.5			13.50				
MgSO ₄ .7H ₂ O					31.50	25.20				
Quelato Fe EDDHA 6%							0.10			
Nutri-Quel-Mn								0.08		
Nutri-Quel-Cu									0.020	
Nutri-Quel-Zn										0.025

Cuadro 3. Aporte nutricional detallado de la solución nutritiva

Tratamientos y variables.

En el experimento se probaron seis tratamientos para amaranto y seis para quinoa con dos soluciones salinas una tipo clorhídrico y la otra del tipo sulfático con 1 y 0.5 mol L⁻¹ (Cuadro 4), y un tratamiento testigo sin sales. Todos los tratamientos tuvieron una misma solución nutritiva estándar (Steiner). Se incluyeron 12 unidades experimentales, cada unidad experimental fue una planta. Esto es:

Tratamiento	Solución nutritiva (SN) + solución salina
1	SN + Na ₂ SO ₄ 1 mol L ⁻¹
2	SN + Na ₂ SO ₄ 0.5 mol L ⁻¹
3	Testigo (SN)
4	SN + NaCl 1 mol L ⁻¹
5	SN + NaCl 0.5 mol L ⁻¹
6	Testigo (SN)

Cuadro 4. Tratamientos del primer experimento

En el experimento se analizaron siete variables:

- 1- Rendimiento de semilla de amaranto (g)
- 2- Altura de planta de amaranto (cm)
- 3- Rendimiento de semilla de quinoa (g)
- 4- Altura de planta de semilla de quinoa (cm)
- 5- Potencial de hidrógeno (pH)
- 6- Conductividad eléctrica (CE) (μS cm⁻¹)
- 7- Consumo de agua (L)
- 8-

Diseño experimental y distribución de los tratamientos

El diseño experimental utilizado fue parcelas divididas con dos factores NaCl y Na₂SO₄ y tres niveles de concentración (1.0, 0.5 y 0.0 mol L⁻¹) respectivamente. Es decir, se presentaron seis tratamientos y fueron distribuidos en parcelas (Figura 2). Cada planta representa una repetición. Estos tratamientos están diseñados para amaranto y quinoa de forma independiente.

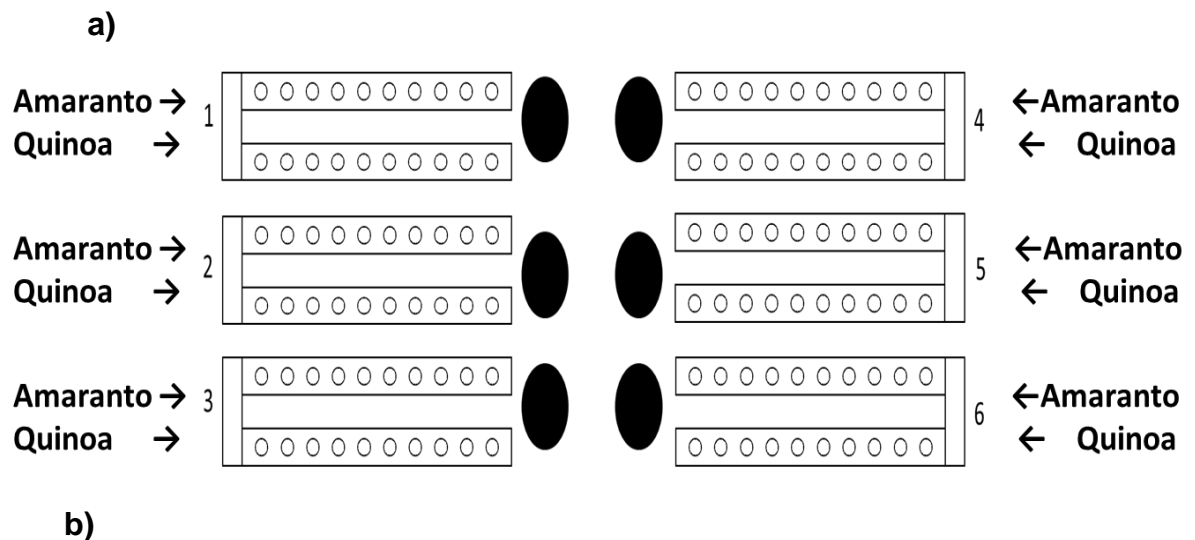


Figura 2. a) Diseño del sistema de flujo laminar y b) disposición del experimento

Análisis estadístico.

Distribución normal

En estadística y probabilidad se llama distribución normal, distribución de Gauss o distribución gaussiana, a una de las distribuciones de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece aproximada en fenómenos reales. Esta prueba se realizó con el fin de conocer el comportamiento de cada una de las variables y determinar si el análisis se efectuaba de forma paramétrica.

Análisis de varianza (ANOVA)

Se realizó un ANOVA con el propósito de comprobar que entre los datos de cada una de las variables existe diferencia estadísticamente significativa, en el diseño experimental hay dos factores que representan las fuentes de salinidad, el factor A es la fuente de salinidad con Na_2SO_4 y el factor B la fuente de salinidad con NaCl .

Prueba de comparación de medias. De Tukey.

Para determinar cuál es la diferencia entre la medias de cada uno de los tratamientos, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey. La comparación de medias se realizó a través de la prueba de Tukey (Diferencia Significativa Honesta, DSH).

Resultados

Rendimiento de semilla de amaranto.

Con la finalidad de conocer el comportamiento de los datos se realizó una prueba de distribución normal, se analizaron los datos para la variable rendimiento de semilla en amaranto, que indican que existe una distribución normal y pueden ser analizados a través de un análisis de varianza.

La curva de distribución normal (Figura 3) muestra 2 colas y una distribución normal de los datos, permitiendo un análisis paramétrico.

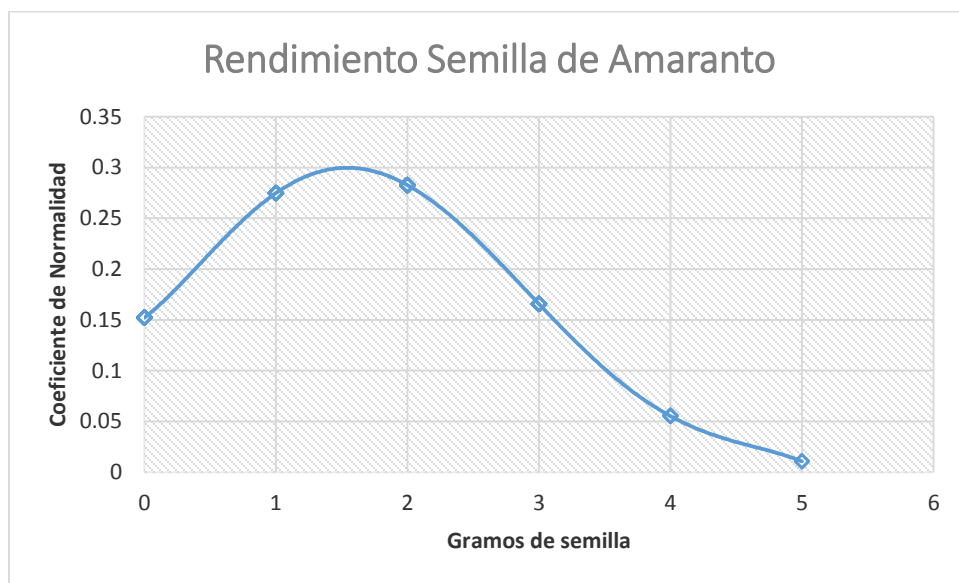


Figura 3. Curva de Gauss para la variable rendimiento de semilla (g) de amaranto

Análisis de varianza para la variable rendimiento de semilla de amaranto

Con el propósito de comprobar la hipótesis que dentro de los tratamientos con distintos tipos y niveles de salinidad en el cultivar de amaranto existe uno que supere al resto en lo referente al rendimiento de semilla en gramos (g), podemos interpretar lo siguiente.

a) Existe diferencia altamente significativa en los tratamientos, esto con el nivel de confianza de 95%, se rechaza la hipótesis nula de que los tratamientos tuvieron igual rendimiento de semilla de amaranto.

Se realizó un análisis de varianza para comprobar que existe diferencia significativa entre los seis tratamientos para la variable rendimiento de semilla de amaranto (Cuadro 5). Podemos observar existen dos factores que representan las fuentes de salinidad, el factor A es la fuente de salinidad Na₂SO₄ y el factor B la fuente de salinidad NaCl, el resultado del análisis indica que F es mayor a P>F, por lo tanto, existe diferencia significativa.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
<i>Repeticiones</i>	9	8.016678	0.890742	0.8453	0.597
<i>Factor a</i>	1	6.016678	6.016678	5.7100	0.039
<i>Error a</i>	9	9.483322	1.053702		
<i>Factor b</i>	2	63.699997	31.849998	85.5672	0.000
<i>Interacción</i>	2	4.233337	2.116669	5.6866	0.007
<i>Error b</i>	36	13.399994	0.372222		
<i>Total</i>	59	104.850006			

Cuadro 5. Análisis de Varianza para la variable rendimiento de semilla (g) de amaranto

Prueba de rango múltiple de Tukey para la variable rendimiento de semilla de amaranto

Con la finalidad de determinar cuáles fueron los tratamientos que obtuvieron los mejores rendimientos, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey (Cuadro

6) donde se muestran las medias de rendimiento semilla de amaranto. Podemos observar que los tratamientos que sobresalieron en la variable rendimiento de semilla fueron: en primer lugar el tratamiento número cuatro con la fuente de salinidad de NaCl, con una concentración 1 mol L^{-1} , con el promedio de 3.2 g/planta, en segundo lugar se encuentra el tratamiento número uno con la fuente de salinidad de Na_2SO_4 con una concentración 1 mol L^{-1} y un rendimiento de 2.6 g/planta, conformando entre estos dos tratamientos el bloque A.

El segundo bloque (B) está formado por el tratamiento cinco con la fuente de salinidad de NaCl a una concentración de 0.5 mol L^{-1} , con un rendimiento promedio de 2 g/planta.

En el tercer bloque (C) se encuentran el tratamientos dos con la fuente de salinidad de Na_2SO_4 a una concentración de 0.5 mol L^{-1} con un rendimiento de 0.7 gramos de semilla en promedio por planta, el tratamiento tres testigo y el tratamiento número 6 testigo salina con rendimiento de 0.4 g/planta.

Número de tratamientos = 6
 Número de repeticiones = 10
 Cuadrado Medio del Error = 0.3722
 Grados de libertad del error = 36

TABLA DE MEDIAS

Tratamiento	Media		
4	3.20 g	A	
1	2.60 g	A	
5	2.00 g		B
2	0.70 g		C
3	0.40 g		C
6	0.40 g		C

Nivel de significancia = 0.05

Valores de tablas (0.05), (0.01) = 4.26, 5.16

Cuadro 6. Prueba de Tukey para la variable rendimiento de semilla (g) de amaranto

En este estudio pudo observarse que los mejores rendimientos de semilla de amaranto, fueron los tratamientos de NaCl a 1 mol L⁻¹ y Na₂SO₄ a 1 mol L⁻¹ y; los tratamientos que obtuvieron los menores rendimientos fueron los testigos experimentales sin salinidad.

Al comparar los resultados con lo concluido por Parés *et al.*, (2008), quien menciona que a mayor salinidad el rendimiento disminuye, podemos observar que en este experimento ocurrió lo contrario. Esto se puede explicar por la naturaleza del amaranto y su adaptación a condiciones secas que contrasta con el medio donde se desarrolló el experimento con un flujo de agua constante. En ese sentido, Katerji *et al.*, (2003), menciona que cuando el nivel de salinidad incrementa, el potencial osmótico disminuye, por lo tanto se genera un déficit de agua similar a las condiciones de sequía.

Altura de planta de amaranto.

Análisis de distribución normal para la variable altura de planta de amaranto.

Con el fin de demostrar que los datos obtenidos tienen una distribución normal (Figura 4) y pueden ser analizados por métodos paramétricos, los resultados del análisis determinan que mantienen una distribución normal y puede ser estudiado por medio de un análisis de varianza. La curva del análisis de normalidad nos muestra 2 colas con una distribución normal y se puede realizar el análisis de los datos a través de métodos paramétricos.

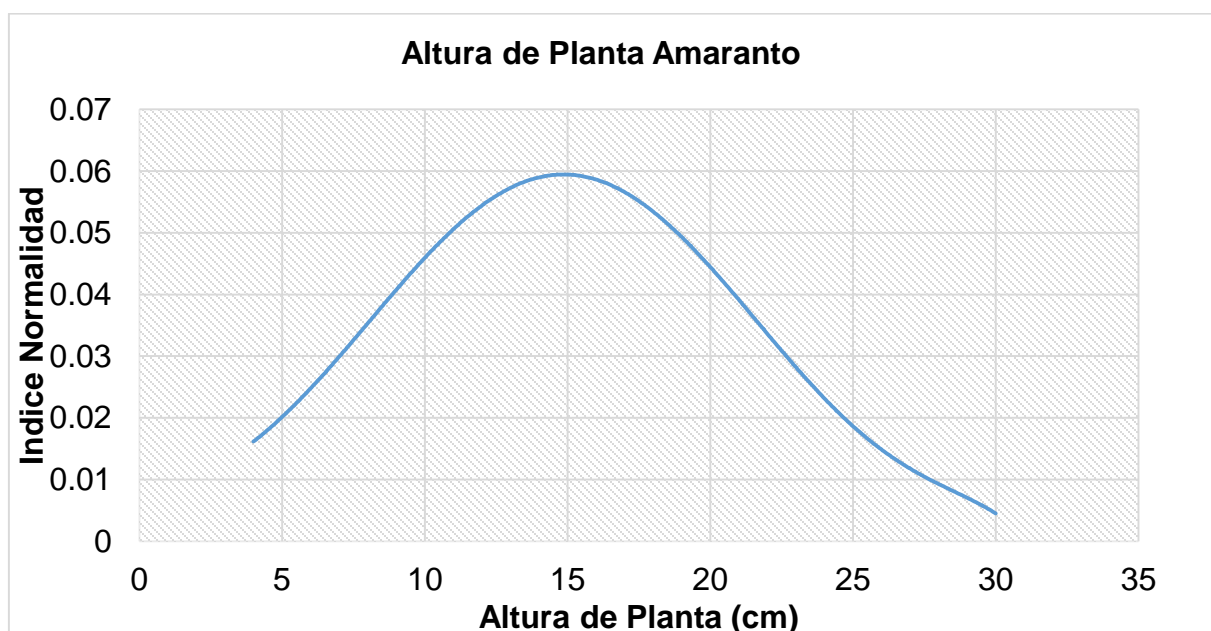


Figura 4. Curva de Gauss para la variable altura de planta (cm) de amaranto

Análisis de Varianza para la variable altura de planta de amaranto.

Para comprobar la hipótesis de los tratamientos experimentales en Amaranto, existe un tratamiento que sobresale de los demás en lo que se refiere a

altura de planta. En este análisis observamos dos factores que representan las fuentes de salinidad, el factor A es la fuente de salinidad Na_2SO_4 y el factor B la fuente de salinidad NaCl . Podemos interpretar que los datos obtenidos en el análisis de varianza (Cuadro 7), indican que F es mayor que $P>F$, por lo tanto existe diferencia estadística significativa entre las medias de los tratamientos.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
Repeticiones	9	49.15	5.46	36.41	0.00
Factor a	1	24.06	24.06	160.47	0.00
Error a	9	1.34	0.14		
Factor b	2	256.53	128.26	443.99	0.00
Interacción	2	209.73	104.86	362.99	0.00
Error b	36	10.40	0.28		
Total	59	551.23			

Cuadro 7. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm) de amaranto

En la siguiente gráfica se muestran las medias de los tratamientos

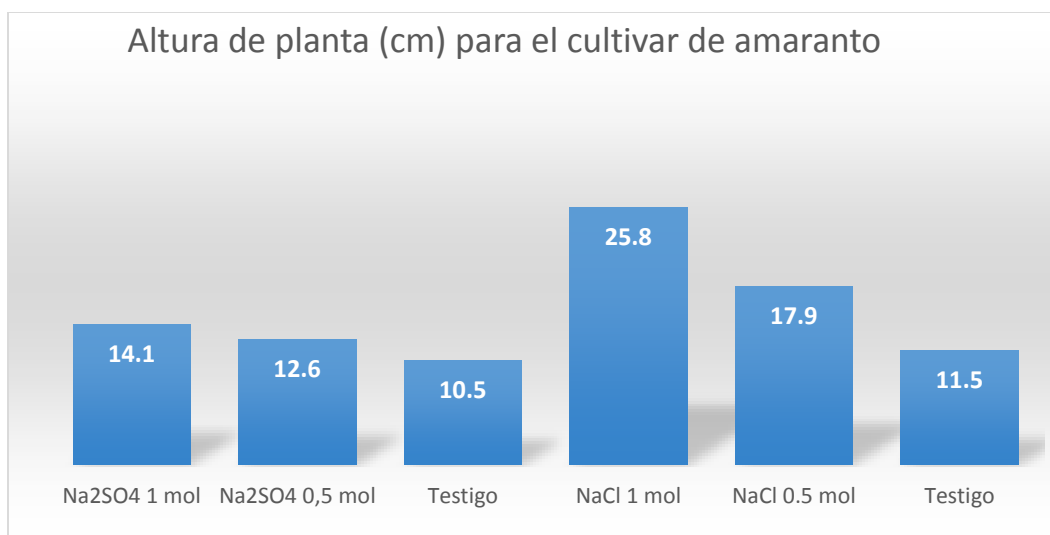


Figura 5. Comparación de medias de altura de planta (cm) de amaranto

Comparación de medias para la variable altura de planta del cultivar de amaranto

Para analizar las medias se realizó una prueba de rango múltiple de Tukey (Cuadro 8) donde se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos. En primer lugar tenemos el tratamiento cuatro con una fuente de salinidad de NaCl a 1 mol L^{-1} con una media de altura de planta de 25.8 cm (bloque A), el tratamiento cinco con una fuente de salinidad de NaCl a 0.5 mol L^{-1} con una media de altura de planta de 17.9 cm (bloque B), el tratamiento uno con una fuente de salinidad de Na_2SO_4 con una concentración a 1 mol L^{-1} con una media de altura de planta de 14.1 cm (bloque C), el tratamiento dos con una fuente de salinidad de Na_2SO_4 con una concentración a 0.5 mol L^{-1} con una media de altura de planta de 12.6 cm (bloque D), el tratamiento seis testigo con una media de altura de planta de 11.5 cm (bloque E) y por último el tratamiento tres testigo con una media de altura de planta de 10.5 cm (bloque F).

Número de Tratamientos= 6			
Número de Repeticiones= 10			
Cuadrado Medio del Error =0.8			
Grados de Libertad Del Error= 59			
TABLA DE MEDIAS			
Tratamiento	Media	Bloque	Bloque
4	25.80 cm	A	
5	17.90 cm	B	
1	14.10 cm		C
2	12.60 cm		D
6	11.50 cm		E
3	10.50 cm		F
Nivel de significancia = 0.05			
Valores de tablas (0.05), (0.01) = 4.26, 5.16			

Cuadro 8. Prueba de Tukey para la variable altura de planta de amaranto (cm)

Prueba Medias de Tukey

La variable altura de planta presenta un comportamiento similar al que despliega con respecto al rendimiento de semilla, donde los tratamientos con mayores niveles de salinidad son los que presentan mayor altura de planta, por el contrario los testigos presentan una menor altura de planta.

Este fenómeno posiblemente ocurre por dos factores: la poca resistencia del amaranto a la humedad y por el efecto de la presión osmótica que utiliza como mecanismo de resistencia.

Por otra parte, como se pudo observar, la altura de planta en el tratamiento con Na₂SO₄ a una concentración de 1 mol L⁻¹, presenta una menor altura que otros tratamientos con NaCl, sin embargo, este mismo tratamiento, presentó el

segundo mejor rendimiento de semilla, lo que indica que la altura de planta no influyó en el rendimiento.

Rendimiento de semilla de quinoa

Análisis de distribución normal para la variable rendimiento de semilla de Quinoa.

Con la finalidad de conocer el comportamiento de los datos en la variable rendimiento de semilla en gramos (g) se realizó una prueba de distribución normal (Figura 6), donde analizaron los datos de la variable rendimiento de semilla en quinoa e indican que existe una distribución normal y pueden ser analizados a través de un análisis de varianza y prueba de rango múltiple de Tukey.

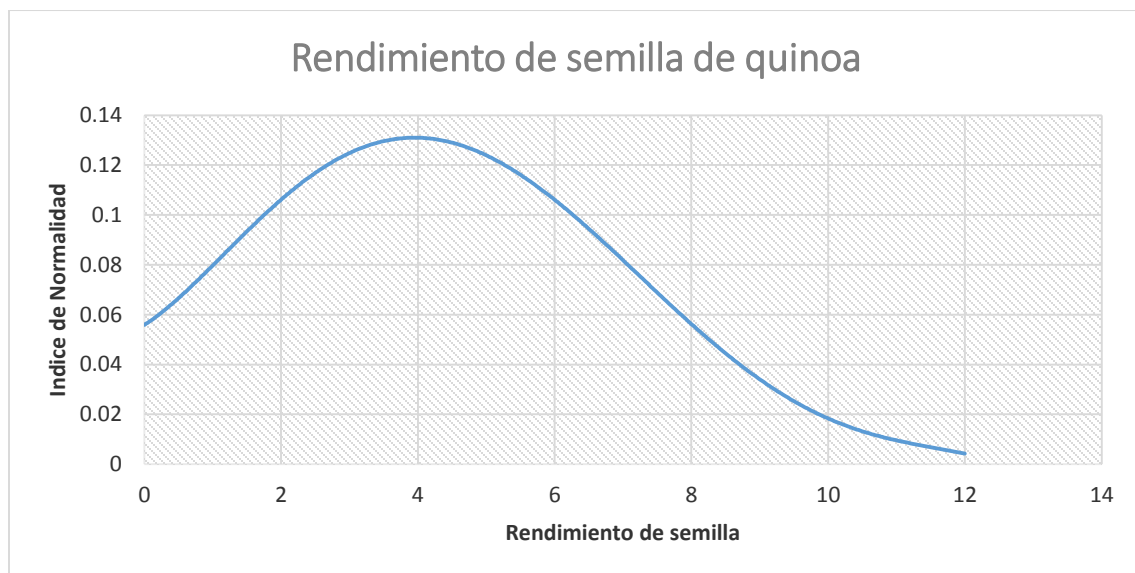


Figura 6. Curva de Gauss para la variable semilla (g) de quinoa

Los análisis de distribución indican que existe distribución normal,

permitiendo el análisis paramétrico de los datos a través de un análisis de varianza.

Análisis de Varianza para la variable Rendimiento semilla de quinoa

Con el fin de comprobar la hipótesis que dentro de los tratamientos a diferentes fuentes y niveles de salinidad en el cultivar de quinoa existe uno que supere al resto en el rendimiento de semilla donde se interpreta que existe diferencia significativa en los tratamientos, con el nivel de confianza de 95%, y se rechaza la hipótesis de que los tratamientos tuvieron igual rendimiento de semilla.

A través de un análisis de varianza se comprobó que existe diferencia significativa en el rendimiento de semilla de quinoa entre los 6 tratamientos (Cuadro 9). Existen dos factores que representan las fuentes de salinidad el factor A es la fuente de salinidad Na_2SO_4 y el factor B la fuente de salinidad NaCl . Se puede observar que $F > P > F$, por lo tanto existe diferencia significativa entre los tratamientos.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
<i>Repeticiones</i>	9	49.15	5.46	36.41	0.00
<i>Factor a</i>	1	24.06	24.06	160.47	0.00
<i>Error a</i>	9	1.34	0.14		
<i>Factor b</i>	2	256.53	128.26	443.99	0.00
<i>Interacción</i>	2	209.73	104.86	362.99	0.00
<i>Error b</i>	36	10.40	0.28		
<i>Total</i>	59	551.23			

Cuadro 9. Análisis de varianza para la variable rendimiento de semilla (g) de quinoa.

Comparación de Medias de la variable Rendimiento de semilla de quinoa

Con la finalidad de determinar los tratamientos que obtuvieron los mejores rendimientos, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey (Cuadro 10), donde se observaron las medias de rendimiento de semilla de quinoa.

Podemos determinar que los tratamientos que sobresalieron en el rendimiento de semilla de quinoa, sobresale el tratamiento 4 con la fuente de salinidad de NaCl con la concentración 1 mol L^{-1} , con promedio de 10 g/planta (bloque A).

El bloque B está formado por el tratamiento 1 con la fuente de salinidad de Na_2SO_4 a una concentración de 1 mol L^{-1} , con rendimiento de 3.6 g/planta, el tratamiento 2 con la fuente de salinidad de Na_2SO_4 a una concentración de 0.5 mol L^{-1} con rendimiento de 3.2 g/planta, el tratamiento 3 testigo con un rendimiento de 3.1 g/planta y el tratamiento 6 testigo con rendimiento de 2.9 g/planta.

En el tercer bloque (c) el tratamiento 5 con la fuente de salinidad de NaCl con concentración de 1 mol L^{-1} , con un rendimiento promedio de 0.8 g/planta.

Número de Tratamientos= 6
 Número de Repeticiones= 10
 Cuadrado Medio del Error= 0.2888
 Grados de Libertad del Error= 36

T A B L A D E M E D I A S

Tratamiento	Media	Bloque	Bloque	Bloque
4	10.00 g	A		
1	3.60 g		B	
2	3.20 g		B	
3	3.10 g		B	
6	2.90 g		B	
5	0.80 g			C

Nivel de significancia = 0.05

Valores de tablas (0.05), (0.01) = 4.26, 5.16

Cuadro 10. Prueba de Tukey para la variable rendimiento de semilla (g) de quinoa

En este trabajo puede observarse que los mejores rendimientos de semilla de quinoa, los obtuvieron el NaCl a 1 mol L⁻¹ y Na₂SO₄ a 1 mol L⁻¹. Los menores rendimientos fueron los testigos experimentales.

Al analizar el caso de amaranto y quinoa se observa que hay similitudes en el comportamiento del rendimiento, en el que la humedad excesiva por el flujo laminar, generó problemas de adaptación y el efecto de la presión osmótica generada por la salinidad se convirtió en un mecanismo de resistencia. En contraste este efecto osmótico es causa de serios problemas en la producción de granos, como lo reporta Silva *et al.*, (2007), el rendimiento de los genotipos y la producción de grano en condiciones de estrés hídrico muestra una fuerte disminución.

Altura de planta de quinoa

Análisis de distribución normal para la variable altura de planta de quinoa.

Con la finalidad de conocer el comportamiento de la altura de planta de quinoa se realizó una prueba de distribución normal (Figura 7), donde se analizaron los datos de altura de planta de quinoa que indica que existe una distribución normal y pueden ser analizados a través de un análisis de varianza.

La curva muestra 2 colas y una distribución normal de los datos permitiendo el análisis paramétrico de los datos.

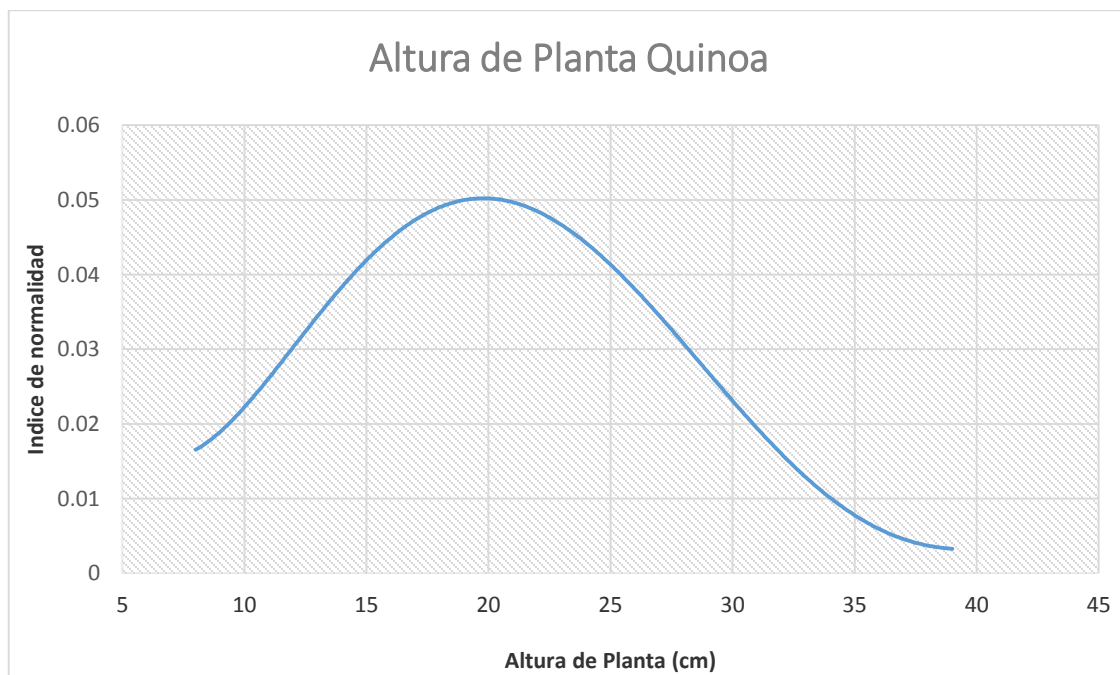


Figura 7. Curva de Gauss para la variable altura de planta (cm) de quinoa

Análisis de Varianza para la variable altura de planta de quinoa

Con el fin de comprobar la hipótesis que dentro de los tratamientos a diferentes niveles de salinidad en el cultivar de quinoa existe uno que supere al resto en lo referente al rendimiento de semilla donde se interpreta que existe

diferencia altamente significativa en los tratamientos, esto con el nivel de confianza de 95%, se rechaza la hipótesis de que los tratamientos tuvieron igual rendimiento de semilla.

Se realizó un análisis de varianza para comprobar que existe diferencia significativa en la altura de planta de quinoa (Cuadro 11), existen dos factores que representan las fuentes de salinidad, el factor A es la fuente de salinidad Na_2SO_4 y el factor B la fuente de salinidad NaCl . El resultado muestra que F es mayor $P > F$, indicando que existe diferencia significativa.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
Repeticiones	9	380.66	42.29	3.98	0.026
Factor a	1	209.06	209.06	19.68	0.002
Error a	9	95.60	10.62		
Factor b	2	403.90	201.95	6.00	0.006
Interacción	2	1444.23	722.11	21.47	0.000
Error b	36	1210.53	33.62		
Total	59	3744.00			

Cuadro 11. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm) de quinoa

Comparación de medias para la variable altura de planta de Quínoa

Para analizar las medias se realizó una prueba de Tukey (Cuadro 12) donde, en el bloque A se encuentra el tratamiento 4 con una fuente de salinidad NaCl a una concentración de 1 mol L^{-1} , con una media de altura de planta de 31.7 cm. El bloque B con el tratamiento 3 (testigo) con una media de altura de planta de 30.2 cm, el tratamiento 6 (testigo) con una media de altura de planta de 20.1 cm,

el tratamiento 2 con una fuente de salinidad Na_2SO_4 con una concentración a 0.5 mol L^{-1} , con una media de altura de planta de 19.7 cm, el tratamiento 1 con una fuente de salinidad Na_2SO_4 con una concentración a 1 mol L^{-1} , con una media de altura de planta de 14.5 cm y por último el tratamiento 5 con NaCl a 0.5 mol L^{-1} , con una media de altura de planta de 13.8 cm.

Número de Tratamientos= 6

Número de Repeticiones= 10

Cuadrado Medio del Error= 66.62

Grados de Libertad del Error= 36

TABLA DE MEDIAS

Tratamiento	Media	Bloque	Bloque
4	31.7 cm	A	
3	20.2 cm		B
6	20.1 cm		B
2	19.7 cm		B
1	14.5 cm		B
5	13.8 cm		B

Nivel de significancia = 0.05

Valores de tablas (0.05), (0.01) = 4.26, 5.16

Cuadro 12. Prueba de Tukey para la variable altura de planta de quinoa

Por otra parte, como se pudo observar, la altura de planta en el tratamiento con Na_2SO_4 a una concentración de 1 mol L^{-1} , presenta una menor altura que otros tratamientos con NaCl , sin embargo, este mismo tratamiento, presentó el segundo mejor rendimiento de semilla, lo que indica que la altura de planta no influyó en el rendimiento. Es decir, el cultivo de amaranto y de quinoa, se

comportan de manera similar. Las mayores concentraciones y las diferencias en el tipo de sales, afectan la altura de planta pero no el rendimiento.

Análisis de conductividad eléctrica (CE) y consumo de agua

Análisis de distribución normal para la variable CE

Con la finalidad de conocer el comportamiento de los datos en la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$) se realizó una prueba de distribución normal (Figura 8) que indican que existe una distribución normal y pueden ser analizados a través de un análisis de varianza. La curva muestra 2 colas y una distribución normal, permitiendo el análisis

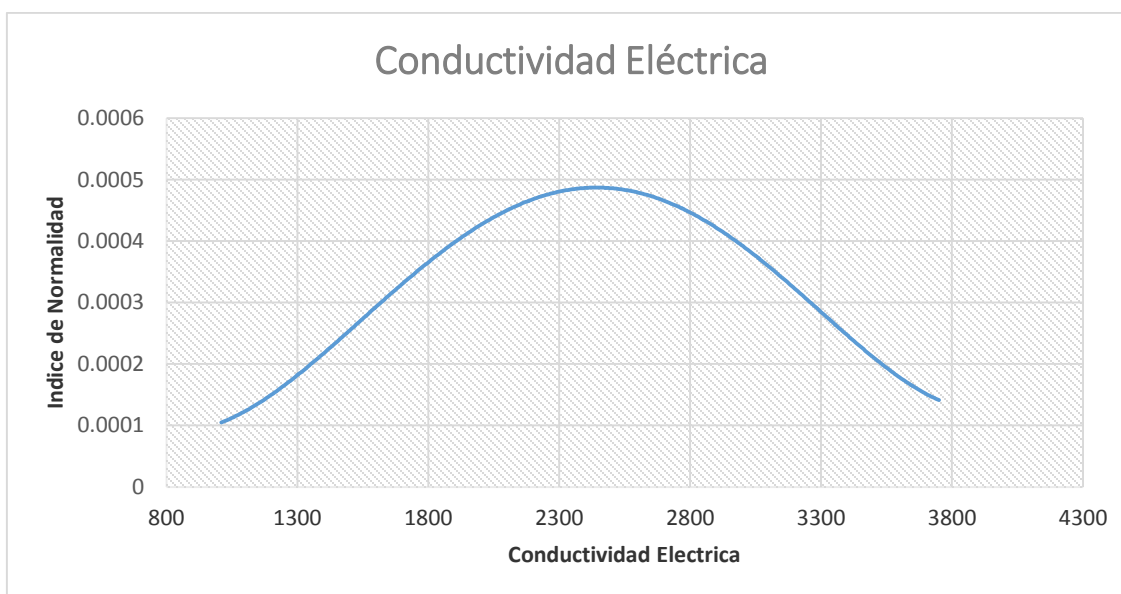


Figura 8. Curva de Gauss para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$).

Análisis de varianza para la variable Conductividad Eléctrica

Con el propósito de comprobar la hipótesis que dentro de los tratamientos con distintos tipos y niveles de salinidad en el cultivar de amaranto y quinoa existe diferencia significativa en la variable CE en micro siemens cm^{-1} ($\mu\text{S cm}^{-1}$),

podemos observar que existe diferencia altamente significativa en los tratamientos, esto con el nivel de confianza de 95%, se rechaza la hipótesis nula de que los tratamientos tuvieron igual comportamiento en la variable CE.

Se realizó un análisis de varianza (Cuadro 13) para comprobar que existe diferencia en conductividad eléctrica, en este experimento existen dos factores que representan las fuentes de salinidad, el factor A es la fuente de salinidad Na_2SO_4 y el factor B la fuente de salinidad NaCl . Este análisis muestra que F es mayor que P>F, por lo tanto existe diferencia estadísticamente significativa.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
<i>Repeticiones</i>	11	573376	52125.08	27.82	0.00
<i>Factor a</i>	1	7443392	7443392	3973.08	0.00
<i>Error a</i>	11	20608	1873.45		
<i>Factor b</i>	2	51034720	25517360	6 934.06	0.00
<i>Interacción</i>	2	4768768	2384384	647.93	0.00
<i>Error b</i>	44	161920	3680		
<i>Total</i>	71	64002784			

Cuadro 13. Análisis de Varianza para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

Comparación de Medias de la variable CE

Con la finalidad de determinar los tratamientos que obtuvieron los mejores rendimientos, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey (Cuadro 14).

Podemos determinar que los tratamientos se agruparon en cuatro bloques. En el bloque A, el tratamiento 1 con la fuente de salinidad de Na_2SO_4 a una

concentración de 1 mol L⁻¹, con una media de 3593.33 $\mu\text{S cm}^{-1}$. En el bloque B, el tratamiento 2 con la fuente de salinidad de Na₂SO₄ a una concentración de 0.5 mol L⁻¹, con una media de CE de 3,089.15 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

En el bloque C el tratamiento 5 con la fuente de salinidad de NaCl a una concentración de 0.5 mol L⁻¹, con una media de CE de 2,409.15 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y el tratamiento 4 con la fuente de salinidad de NaCl 1 mol L⁻¹ y con la concentración 1 mol L⁻¹, con una media en CE de 2,339.15 $\mu\text{S cm}^{-1}$, y el bloque D con el tratamiento 6 testigo, con una media en CE de 1,084.16 $\mu\text{S cm}^{-1}$ y el tratamiento 3 testigo, con una media de CE de 1,079.16 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Número de Tratamientos=6

Número de Repeticiones=10

Cuadrado Medio del Error=3680

Grados de Libertad del Error=44

T A B L A D E M E D I A S

Tratamiento	Media	Bloque	Bloque
1	3593.33 $\mu\text{S cm}^{-1}$	A	
2	3089.15 $\mu\text{S cm}^{-1}$		B
5	2409.15 $\mu\text{S cm}^{-1}$		C
4	2339.15 $\mu\text{S cm}^{-1}$		C
6	1084.16 $\mu\text{S cm}^{-1}$		D
3	1079.16 $\mu\text{S cm}^{-1}$		D

Nivel de significancia=0.05

Valores de tablas (0.05), (0.01)=4.22, 5.09

Cuadro 14. Prueba de Tukey para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

La conductividad eléctrica está relacionada directamente con la

concentración de la fuente de salinidad, el comportamiento de los tratamientos en lo que se refiere a conductividad eléctrica, coincide con lo propuesto por Sánchez, (1976), el contenido de sales de un suelo puede estimarse, a partir de la medición de la conductividad eléctrica y está directamente relacionada por el contenido de sales.

Comparación de Medias de la variable consumo de agua

Con la finalidad de determinar los tratamientos que obtuvieron el mayor consumo de agua en litros (l), se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey (Cuadro 15).

Podemos determinar que los tratamientos se agruparon en tres bloques. En el bloque A, el tratamiento 6 (testigo), con una media en consumo de agua de 72.74 litros, el tratamiento 3 (testigo), con una media de consumo de agua de 71.5 litros, en el bloque B, el tratamiento 2 con la fuente de salinidad de Na_2SO_4 a una concentración de 0.5 mol L^{-1} , con una media de consumo de agua de 70.20 litros y el tratamiento 5 con la fuente de salinidad de NaCl a una concentración de 0.5 mol L^{-1} , con una media de consumo de agua de 69.63 litros.

Por último en el bloque C, el tratamiento 1 con la fuente de salinidad de Na_2SO_4 a una concentración 1 mol L^{-1} , con una media en consumo de agua de 69.10 litros y el tratamiento 4 con la fuente de salinidad de NaCl y con la concentración 1 mol L^{-1} , con una media en consumo de agua de 68.71 litros.

Número de Tratamientos 6

TABLA DE MEDIAS

Tratamiento	Media	Bloque	Bloque
6	72.74 l.	A	
3	71.58 l.	A	
2	70.20 l.		B
5	69.63 l.		B
1	69.10 l.		C
4	68.71 l.		C

Nivel de Significancia = 0.05

Valores de Tablas (0.05), (0.01) = 4.37, 5.37

Cuadro 15. Prueba de Tukey para la variable consumo de agua (l)

De acuerdo con a la prueba de Tukey, podemos observar que el mayor consumo de agua se encuentra entre los tratamientos con menor concentración de sales, por el contrario el menor consumo se encuentran los tratamientos con mayor concentración salina esto coincide con lo expresado por Flores (1991), la alta presión osmótica del suelo reduce la disponibilidad del agua, lo que constituye un efecto directo sobre las plantas cultivadas.

Por lo tanto podemos determinar que el consumo de agua está estrechamente relacionado con la concentración salina, teniendo un efecto determinante en el rendimiento de semilla y en la altura de planta.

2. Evaluación del comportamiento de un cultivar de *Chenopodium quinoa* en un sistema semi- hidropónico simulando diferentes niveles de salinidad sulfática

Generalidades

La fase experimental del presente trabajo de investigación se desarrolló en el en el sitio:

Unidad de producción de agricultura protegida de la carrera de Agroindustrial, de la facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí cuya ubicación es en Av. Dr. Manuel Nava #8 Edificio L, Zona Universitaria en la ciudad de San Luis Potosí.

Clima

La clasificación del clima según Köppen y modificado por García (1978) corresponde a la formula BS o KW (w)(i), que equivale a un clima seco-estepario frio, con temperatura media anual de 18°C siendo 7.5°C la mínima y 35°C la máxima, con una precipitación media anual de 374 mm. La vegetación según Rzedowski (1996) corresponde matorral desértico micrófilo, con abundancia dominante de arbustivas, así como mezquite, huisache y nopal.

Material genético.

El material genético utilizado para el experimento fue quinoa (*Chenopodium quinoa*).

Sistema semi hidropónico.

La hidroponía es un conjunto de técnicas que sustituye al suelo también es denominada agricultura sin suelo. La hidroponía permite diseñar estructuras simples y/o complejas favoreciendo las condiciones ambientales idóneas para

producir cualquier planta de tipo herbáceo aprovechando en su totalidad cualquier área, sin importar las dimensiones como el estado físico de estas. Para este proyecto se utilizó un sistema hidropónico, el cual está compuesto de macetas de plástico con un (diámetro) de 20 cm y una altura de 16 cm, colocadas en serie, El riego es manual y se aplicó por la tarde de lunes a sábado y domingo por la mañana.

Sustrato.

El material que contuvieron las macetas es arena. Este material heterogéneo cuenta con una capacidad de retención de agua del 56% y utilizó arena con granulometría de 0.5 - 2 mm. y que sirvió de sostén para las plantas.

Antes del trasplante, se tamizó y se lavado con agua para quitar impurezas orgánicas y se desinfectó con una solución de cloro al 0.5% y nuevamente lavado.

Materiales.

Como fuente nutricional se utilizó: nitrato de calcio, ácido fosfórico, nitrato de potasio, sulfato de magnesio y multi micro compo, y las sales utilizadas como fuente de sales fueron: cloruro de sodio; sulfato de sodio y sulfato de calcio.

Equipo: El equipo de medición fue un flexómetro, potenciómetro, conductivímetro.

Material diverso: regla graduada, cámara fotográfica, balanza, probetas, pipetas, vasos de precipitado, cubetas de plástico.

Métodos

Desinfectado de charolas

Se agregó cloro en una dosis de 1 L por 200 L de agua (5mL por litro de agua). El cloro empleado es de tipo comercial con una concentración del 6%. Sumerge la charola germinadora en la solución de agua y cloro por un período de 5 minutos.

Siembra

Se colocó la cantidad suficiente del sustrato “peat moss” para llenar las charolas germinadoras, se agregó la cantidad adecuada de agua para humedecer el sustrato, mezclamos el sustrato con el agua, se verificó que desplace gotas ligeramente. Se colocó el sustrato humedecido en la charola germinadora. Se colocó una semilla en cada hueco de la charola germinadora.

Riego

El riego fue sólo con agua y se cubrió con un plástico las charolas germinadoras para conservar el calor y la humedad.

La semilla de quinoa y amaranto emergieron a 3 días con temperaturas de 25°C a 30°C.

Cuando que se formaron las 2 primeras hojas verdaderas, inicio el riego con solución nutritiva.

El trasplante

Se realizó 20 días después de la siembra en las macetas, seleccionado las plantas con una altura uniforme.

Control de plagas y enfermedades.

Durante los ensayos, no fue necesario el control de plagas, ni enfermedades debido a que el cultivo no presentó problemas gracias a las cubiertas plásticas del invernadero.

Solución Nutritiva.

La solución nutritiva base que fue utilizada para todos los tratamientos es la solución nutritiva Steiner (1997), modificándose en algunos de sus componentes para ajustarla a las necesidades del cultivo de quinoa y amaranto.

La solución nutritiva estándar se preparó con agua destilada y se adicionaron los macro elementos y los microelementos utilizando fertilizantes químicos (Cuadro 16).

N ⁻	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe	Mn ²⁺	Cu ⁺	Zn ²⁺	B	Mo
mg L ⁻¹													
136.48	28.82	180.42	140.03	19.26	1.54	3.00	38.7	0.10	0.08	0.01	0.02	15.3	0.06
Relación Ca/K		Relación N/K		Relación Fe/Mn		Relación Ca /B							
mg L ⁻¹													
0.77		0.75		1.22		9.15							

Cuadro 16. Relación aniones y cationes, aporte nutricional de la solución nutritiva

Fertilizante	Formula	Porcentaje	Gramos
Ácido Fosfórico	H ₃ PO ₄		110
Nitrato de Calcio	(Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O)		574
Nitrato de Potasio	(KNO ₃)		325
Sulfato de Potasio	(K ₂ SO ₄)		75
Sulfato de Magnesio	(MgSO ₄ 7H ₂ O)		410
Multi Micro Comb			25
Hierro	Quelato Fe EDDHA 6 %	7.10%	1.775
Manganeso	Nutri-Quelato-Mn	3.48%	0.87
Zinc	Nutri-Quelato-Zn	1.02%	0.255
Cobre	Nutri-Quelato-Cu	0.76%	0.19
Total			1522.09

Cuadro 17. Fórmula nutricional para la solución hidropónica



Figura 9. Plantas después de trasplante segundo experimento

	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S	Fe	Mn	Cu	Zn
	mg/L ⁻¹									
KNO₃	47.51		146.25							
Ca(NO₃)₂·H₂O	88.97			177.94						
H₃PO₄		66.00								
K₂SO₄			37.5			13.50				
MgSO₄·7H₂O					31.50	25.20				
Quelato Fe EDDHA 6 %							0.10			
Nutri-Quel-Mn								0.08		
Nutri-Quel-Cu									0.020	
Nutri-Quel-Zn										0.025

Cuadro 18. Fuente y aporte nutricional detallado de la solución nutritiva

Tratamientos y variables.

En el experimento se probaron 4 tratamientos con una fuente de salinidad y cuatro niveles: testigo, 3,000, 4,000 y 5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Cuadro 20). Todos los tratamientos tuvieron una misma solución nutritiva estándar (Steiner). Se incluyeron 4 tratamientos con 18 repeticiones con un total de 72 plantas divididas en 6 líneas.

Fuente de Salinidad	Aporte (g)	Conductividad Eléctrica $\mu\text{S cm}^{-1}$
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	550	3,000
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	650	4,000
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	850	5,000

Cuadro 19. Fuente de salinidad y aporte en gramos de los niveles de salinidad.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Testigo	CaSO_4 3,000	CaSO_4 4,000	CaSO_4 5,000
T1	T2	T3	T4

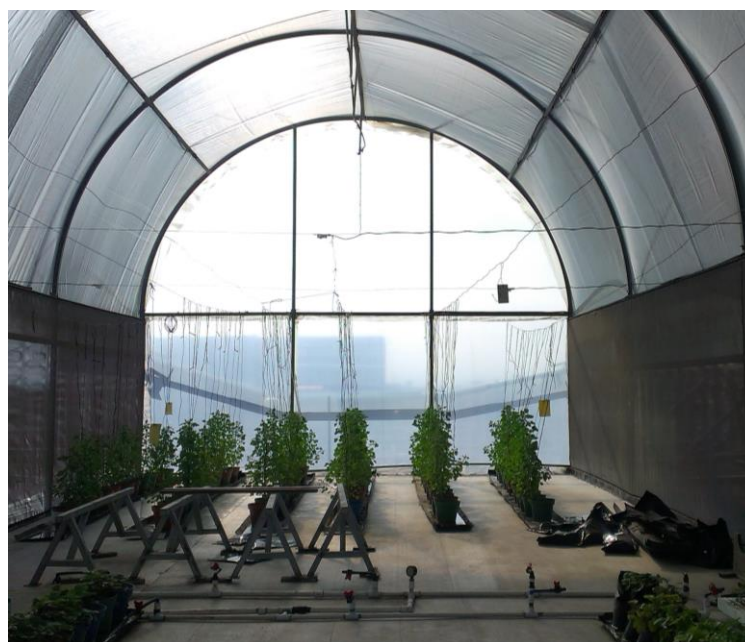
Cuadro 20. Diseño experimental del segundo experimento

a)

Línea 1	Línea 2	Línea 3	Línea 4	Línea 5	Línea 6
T4.1	T4.14	T3.9	T4.16	T2.5	T1.6
T1.13	T1.8	T2.15	T1.4	T4.17	T1.12
T1.1	T2.8	T1.3	T1.10	T3.17	T3.12
T2.1	T4.8	T1.9	T3.4	T2.17	T1.18
T3.7	T1.2	T3.3	T3.10	T1.17	T4.6
T2.7	T2.14	T3.15	T2.4	T1.11	T2.6
T3.1	T3.2	T4.3	T3.16	T4.5	T2.18
T1.7	T1.14	T4.15	T1.16	T4.11	T4.18
T2.13	T2.2	T2.9	T4.10	T2.11	T3.18
T3.13	T3.14	T4.9	T4.4	T1.5	T4.12
T4.7	T4.2	T1.15	T2.10	T3.11	T2.12
T4.13	T3.8	T2.3	T2.16	T3.5	T3.6

*T1.18=Número de tratamiento, repetición.

b)



Cuadro 21. a) Vista general del invernadero y b) experimento dentro de invernadero

En el experimento se analizaron 5 variables:

- 1- Rendimiento de semilla de quinoa (g)
- 2- Altura de planta de quinoa (cm)
- 3- Número de hojas
- 4- Potencial de hidrógeno (pH)
- 5- Conductividad eléctrica (CE) ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

Análisis estadístico.

Se realizó el análisis de distribución normal, análisis de varianza, prueba de Tukey, análisis de correlación y análisis de rendimiento relativo, esta prueba se realizó con el fin de conocer el comportamiento de cada una de las variables y determinar si el análisis se efectuaba de forma paramétrica.

Distribución normal

En estadística y probabilidad se llama distribución normal, distribución de Gauss o distribución gaussiana, a una de las distribuciones de probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece aproximada en fenómenos reales

Con la finalidad de conocer el comportamiento de los datos de cada una de las variables, se realizó una prueba de distribución normal que indican que existe un comportamiento normal de los datos obtenidos en campo y pueden ser analizados de forma paramétrica, a través de un análisis de varianza.

Análisis de varianza

Un análisis de la varianza permite determinar si diferentes tratamientos muestran diferencias significativas o por el contrario puede suponerse que sus medias

poblacionales no difieren. El análisis de la varianza permite superar las limitaciones de hacer contrastes bilaterales por parejas.

Con el fin de determinar si existen diferencias significativas de los datos observados en cada una de las variables, se realizó un análisis de varianza.

Prueba de comparación de medias.

La comparación de medias se realizó a través de la prueba de Tukey (Diferencia Significativa Honesta, DSH).

Esta prueba se realizó a las medias de cada tratamiento para analizar la forma en que están distribuidas las diferencias.

Análisis de correlación

La correlación trata de establecer la relación o dependencia que existe entre las dos variables que intervienen en una distribución bidimensional, es decir, determinar si los cambios en una de las variables influyen en los cambios de la otra. En caso de que suceda, afirmamos que las variables están correlacionadas o que hay correlación entre ellas.

La finalidad de realizar esta prueba, fue para determinar la relación entre las variables y determinar cuáles tienen influencia sobre otras.

Análisis de regresión

La regresión estadística o regresión a la media es la tendencia de una medición extrema a presentarse más cercana a la media en una segunda medición.

Gracias a este análisis de regresión se pudo determinar las condiciones donde

se produce los mejores rendimientos y las condiciones que no permiten la producción.

Rendimiento Relativo

La tolerancia de las plantas a la salinidad puede ser medida a través de diferentes criterios, entre ellos se presentan los siguientes: la supervivencia de los cultivos a la salinidad; determinación de la respuesta del crecimiento o del rendimiento de los cultivos en condiciones de salinidad; determinación de la reducción relativa en el rendimiento como una función del incremento de la salinidad y la tolerancia relativa a las sales. Mass y Hoffman (1970), presentan la ecuación que determina el rendimiento relativo de los cultivos a una cierta condición de salinidad en el suelo:

$$RR = \frac{100 * (CE_0 - CE_S)}{(CE_0 - CE_{100})}$$

Dónde:

RR= Rendimiento relativo

CE₀ = Conductividad eléctrica del suelo en la cual se obtiene cero rendimiento

CE₁₀₀ = Conductividad eléctrica del suelo en la cual se obtiene 100 %
rendimiento

CE_s = Conductividad eléctrica del suelo medida en el extracto de saturación que
para unas condiciones dadas tiene el suelo.

Resultados

Rendimiento de semilla de quinoa

Con la finalidad de conocer el comportamiento de los datos en la variable rendimiento de semilla en gramos (g) de quinoa, se realizó una prueba de distribución normal que indican que existe una distribución normal de los datos obtenidos en campo y pueden ser analizados a través de un análisis de varianza.

La curva de Gauss (Figura 10) muestra 2 colas y una distribución normal, permitiendo el análisis paramétrico de los datos.

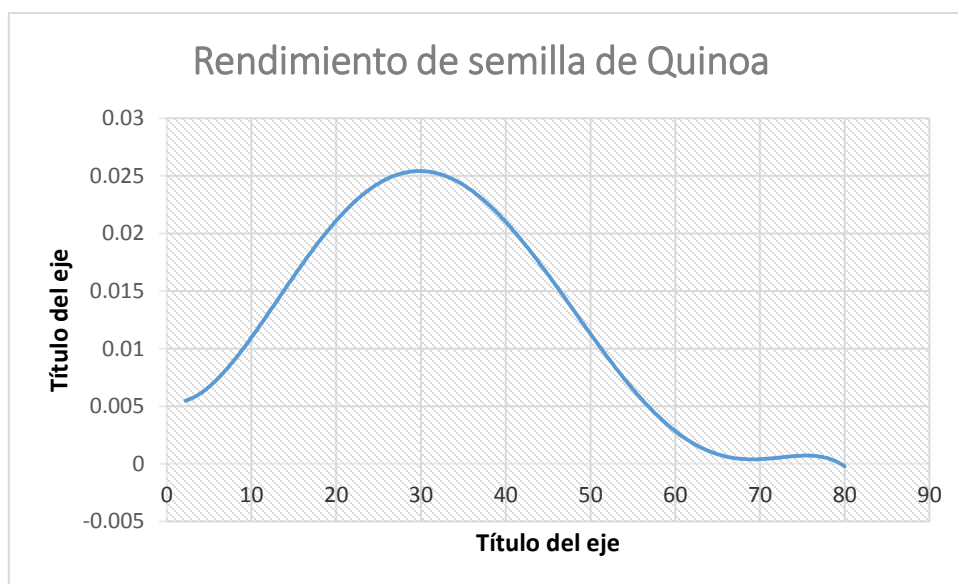


Figura 10. Curva de Gauss para la variable rendimiento de semilla de quinoa

En los datos obtenidos en el rendimiento de semilla se observan diferencias, para determinar que estas diferencias son significativas, se realizó un análisis de varianza y una prueba de Tukey.

Para el caso de rendimiento de semilla de quinoa existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos (Cuadro 22), debido a que F es mayor a $P > F$.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
<i>Entre grupos</i>	3	5604.13	1868.04	10.75	2.73
<i>Dentro de los grupos</i>	68	11811.07	173.69		
TOTAL	71	17415.20			

Cuadro 22. Análisis de varianza para la variable rendimiento de semilla de quinoa (g)

El procedimiento de Tukey hace uso de la amplitud studentizada y es aplicable a pares de medias; necesita un sólo valor para juzgar la significancia de todas las diferencias.

Podemos observar que la distribución de los datos en el bloque A encontramos el tratamiento 1 (testigo) con 43.44 g/planta, en el bloque B se encuentra los tratamientos 2 (3,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) con 30.65 g/planta, el tratamiento 3 (4,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) con 23.31 g/planta y el tratamiento 4 (5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) con 19.13 g/planta.

Número De Tratamientos= 4
Número De Repeticiones = 18
Cuadrado Medio Del Error = 173.69
Grados De Libertad Del Error = 68

T A B L A D E M E D I A S

Tratamiento	Media	Bloques
1	43.44 g	A
2	30.65 g	B
3	23.31 g	B
4	19.13 g	B

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

VALORES DE TABLAS (0.05), (0.01) = 3.73, 4.59

Cuadro 23. Prueba de Tukey para la variable rendimiento de semilla de quinoa (g)

De manera general, podemos decir que los mejores rendimientos se obtuvieron con la conductividad eléctrica menor, por el contrario, el menor rendimiento se obtuvo de los tratamientos con la conductividad eléctrica mayor, además podemos observar que el rendimiento de la semilla de quinoa se vio afectado por los niveles de salinidad, y que conforme aumenta la conductividad eléctrica, el rendimiento disminuye, lo que indica que existe una influencia negativa de la salinidad sobre las plantas,

Esto coincide con lo planteado por Maas y Hoffman (1977), el nivel máximo de salinidad tolerado por las plantas, sin que cause reducción en la producción es 2.5 dS m⁻¹ en las plantas ligeramente sensibles, por sobre el cual, se presenta una reducción del 10% en la producción, por cada unidad que se incremente en la conductividad eléctrica.

Esto concuerda con Katerji *et al.*, (2003), cuando el nivel de salinidad incrementa, el potencial osmótico disminuye, por lo tanto la disponibilidad de agua generando un déficit de agua, a su vez afecta el crecimiento de las hojas, la fotosíntesis y el

rendimiento.

En otras palabras un suelo puede ser considera salino, cuando la concentración de las sales solubles en la solución del suelo es tal, que las plantas sean afectadas, cuando la conductividad eléctrica es de $4000 \mu\text{S cm}^{-1}$ o más, por esto es importante mencionar que rendimiento del tratamiento 3 con $4000 \mu\text{S cm}^{-1}$ (23.31 gramos por planta) es ligeramente superior al rendimiento promedio de quinoa reportado por Bazile *et al*, (2013), que es 22.5 gramos por planta en campo en condiciones normales.

Conductividad eléctrica

Todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. La acumulación de sales solubles en el suelo se atribuye principalmente a problemas de drenaje y a la acción de riegos continuados, seguidos de evaporación y sequía.

Para analizar la conductividad eléctrica (Figura11) se hizo una prueba de distribución normal (Figura 12), el análisis muestra que el comportamiento de los datos es normal y puede analizarse de forma paramétrica.



Figura 11. Equipo de medición pH y CE

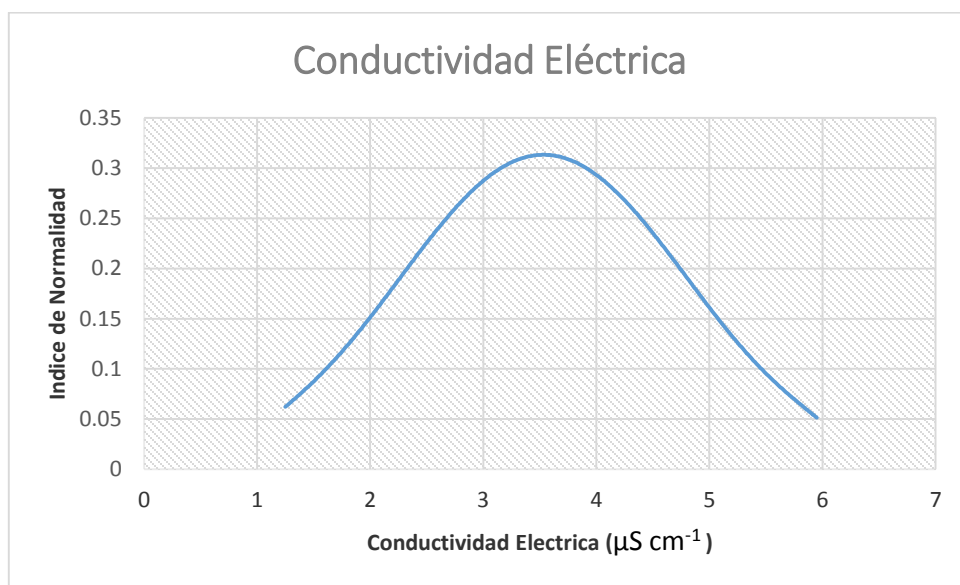


Figura 12. Curva de Gauss para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

Para comprobar que entre los tratamientos estudiados se observó existe diferencia significativa se realizó un análisis de varianza donde F es mayor que $P > F$ (Cuadro 24) que indica que si existe significancia.

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Entre grupos	3	104.26	34.75	192.18	2.73
Dentro de los grupos	68	12.29	0.18		
TOTAL	71	116.56			

Cuadro 24. Análisis de varianza para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

Para analizar la diferencia de los valores se realizó una prueba de Tukey (Cuadro 27) que arroja los siguientes resultados.

En el bloque A, encontramos el tratamiento 4 ($5,000 \mu\text{S cm}^{-1}$), con la media 4930

$\mu\text{S cm}^{-1}$ y en el bloque B, encontramos el tratamiento 3 ($4,000 \mu\text{S cm}^{-1}$) con $4,180 \mu\text{S cm}^{-1}$, en el bloque C, encontramos el tratamiento 2 ($3,000 \mu\text{S cm}^{-1}$) con $3,325 \mu\text{S cm}^{-1}$, en el bloque D se encuentran el tratamiento 1 (Testigo) con $1690 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Número de Tratamientos= 4
 Número de Repeticiones= 18
 Cuadrado Medio del Error= 0.18
 Grados de Libertad del Error= 68

TABLA DE MEDIAS

Tratamiento	Media	Bloques
4	$4930 \mu\text{S cm}^{-1}$	A
3	$4180 \mu\text{S cm}^{-1}$	B
2	$3325 \mu\text{S cm}^{-1}$	C
1	$1690 \mu\text{S cm}^{-1}$	D

Nivel de significancia = 0.05
 Valores de tablas (0.05), (0.01) = 3.73, 4.59

Cuadro 25. Prueba de Tukey para la variable CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)

Podemos concluir que la conductividad eléctrica inducida en cada uno de los tratamientos concuerda con la conductividad del extracto del suelo, lo que coincide con *Allison et al.*, (1982), que concluye que la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo está directamente relacionada con la composición de agua, los residuos provenientes de agua salinas son generalmente 10 veces mayor que los de agua destinada con calidad de riego, por lo tanto, el uso de aguas entre moderada y altamente salinas pueden ser la causa de que se desarrollen condiciones de salinidad, aun cuando el drenaje sea satisfactorio.

Altura de planta de quinoa

La altura de planta está relacionada directamente con la producción de biomasa de la planta, este parámetro fue evaluado en las diferentes etapas de la planta y el resultado que se presenta es el de altura máxima.

Los datos obtenidos fueron sometidos a un test de normalidad (Figura 13) con la finalidad de conocer el comportamiento de los datos y analizar si pueden ser tratados de forma paramétrica, los resultados obtenidos indican que el comportamiento es normal y pueden ser analizados a través de un análisis de varianza.

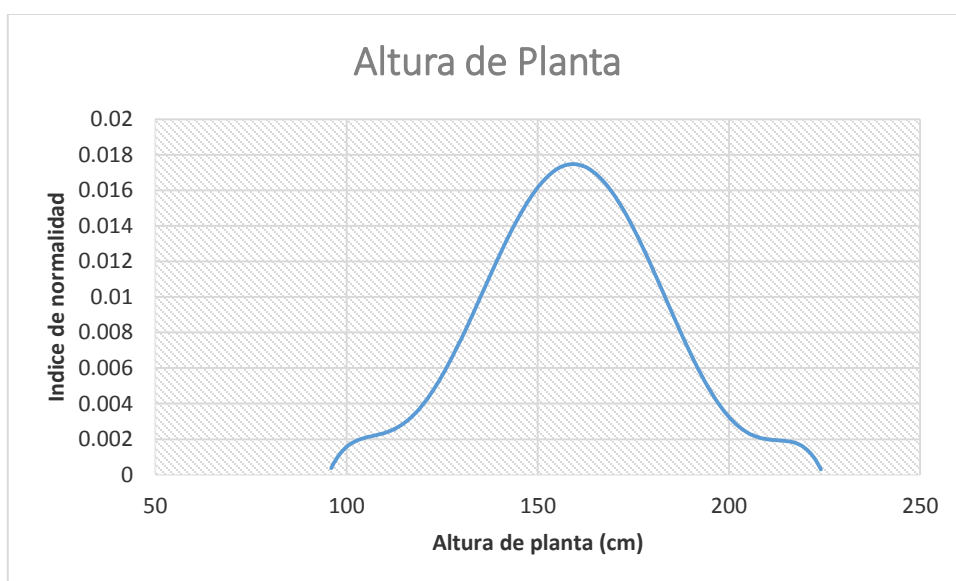


Figura 13. Curva de Gauss para la variable altura de planta de quinoa (cm)

Con el fin de determinar que existe diferencia significativa entre los tratamientos de altura de planta de quinoa se realizó un análisis de varianza (Cuadro 26), el resultado muestra que F es mayor a $P > F$ expresando que existe diferencia estadísticamente significativa.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
<i>Entre grupos</i>	3	7298.11	2432.70	5.52	2.73
<i>Dentro de los grupos</i>	68	29963.88	440.60		
<i>TOTAL</i>	71	37262			

Cuadro 26. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm)

Para determinar la diferencia de los valores de los grupos se realizó una prueba de Tukey (Cuadro 27) que los siguientes resultados.

En el bloque A, encontramos los tratamientos 1 (testigo) con 173.22 cm y tratamiento 3 (4,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) con 163.61, y en el bloque B encontramos los tratamientos 2 (3,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) con 159.83, y tratamiento 4 (5,000 $\mu\text{S cm}^{-1}$) con 147.00 cm.



Figura 14. Lectura de altura de planta

Número de Tratamientos= 4
 Número de Repeticiones= 18
 Cuadrado Medio del Error= 440.64
 Grados de Libertad del Error= 68

Tratamiento	Media	Bloques
1	173.22 cm	A
3	163.61 cm	A
2	159.83 cm	B
4	147.00 cm	B

Nivel de significancia = 0.05

Valores de tablas (0.05), (0.01) = 4.81, 5.60

Cuadro 27. Prueba de Tukey para la variable altura de planta de quinoa (cm)

La altura de planta de quinoa se encuentran estrechamente relacionada a las concentraciones de las sales en el medio de siembra, podemos observar que el tratamiento con conductividad eléctrica menor, es el que obtuvo mayor altura, por el contrario el tratamientos con la conductividad eléctricas mayores presentó una disminución en altura de planta, esto coincide con lo que reporta Parés *et al.*, (2008), la salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos, retarda el crecimiento de las plantas a través de su influencia sobre varios procesos fisiológicos, tales como: fotosíntesis, conductancia estomática, ajuste osmótico, absorción de iones, además, puede afectar el proceso de transporte de agua e iones, lo que promueve toxicidad iónica y deficiencia nutricional.

Número de hojas por planta de quinoa

Las hojas son órganos vegetales muy importantes para la planta, ya que son responsables del proceso de fotosíntesis. Las hojas ocupan una posición clave en la captación de gases y luz solar.

Para analizar esta variable se realizó una prueba de distribución normal (Figura 15), el resultado del análisis muestra que el comportamiento es normal y puede analizarse a través de un análisis de varianza.

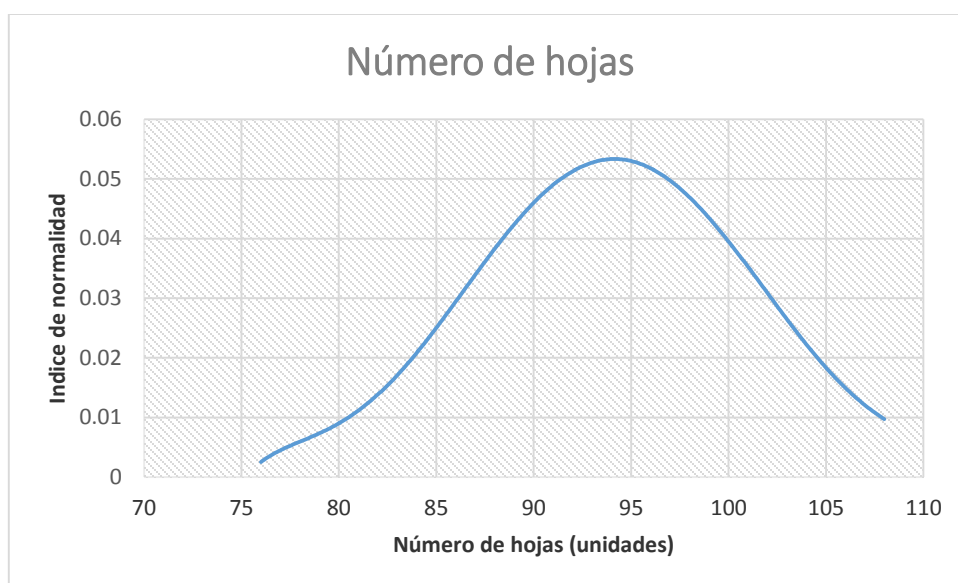


Figura 15. Curva de Gauss para la variable número de hojas por planta

Para comprobar que existe diferencia significativa entre los tratamientos para número de hoja se realizó un análisis de varianza (Cuadro 28), donde F es menor que $P > F$ que indica que no existe diferencia significativa.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
<i>Entre grupos</i>	3	17.88	5.96	0.10	2.73
<i>Dentro de los grupos</i>	68	3984.11	58.58		
TOTAL	71	4002			

Cuadro 28. Análisis de varianza para la variable número de hojas por planta

Para conocer el comportamiento y comprobar que estadísticamente no existe diferencia significativa, realizamos una prueba de Tukey (Cuadro 29).



Figura 16. Planta de quinoa

Número De Tratamientos= 4
Número De Repeticiones= 18
Cuadrado Medio Del Error= 58.58
Grados De Libertad Del Error= 68

T A B L A D E M E D I A S

Tratamiento	Media	Bloques
1	94.94 hojas	A
2	94.22 hojas	A
3	93.88 hojas	A
4	93.61 hojas	A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

VALORES DE TABLAS (0.05), (0.01) = 3.73, 4.59

Cuadro 29. Prueba de Tukey para la variable número de hojas por planta

De forma general no se observaron efectos significativos en el número de hojas por planta, con este análisis podemos observar que en los tratamientos probados la salinidad no fue un factor determinante en la formación de las hojas.

Potencial de hidrógeno

La concentración de iones hidrógeno es una propiedad importante cuando se estudia un suelo. La escala de pH se utiliza como un indicador de la concentración de los iones hidrógeno en el suelo.

Para analizar esta variable se efectuó una prueba de distribución normal (Figura 17), este análisis indica que el comportamiento es normal y puede analizarse de forma paramétrica.

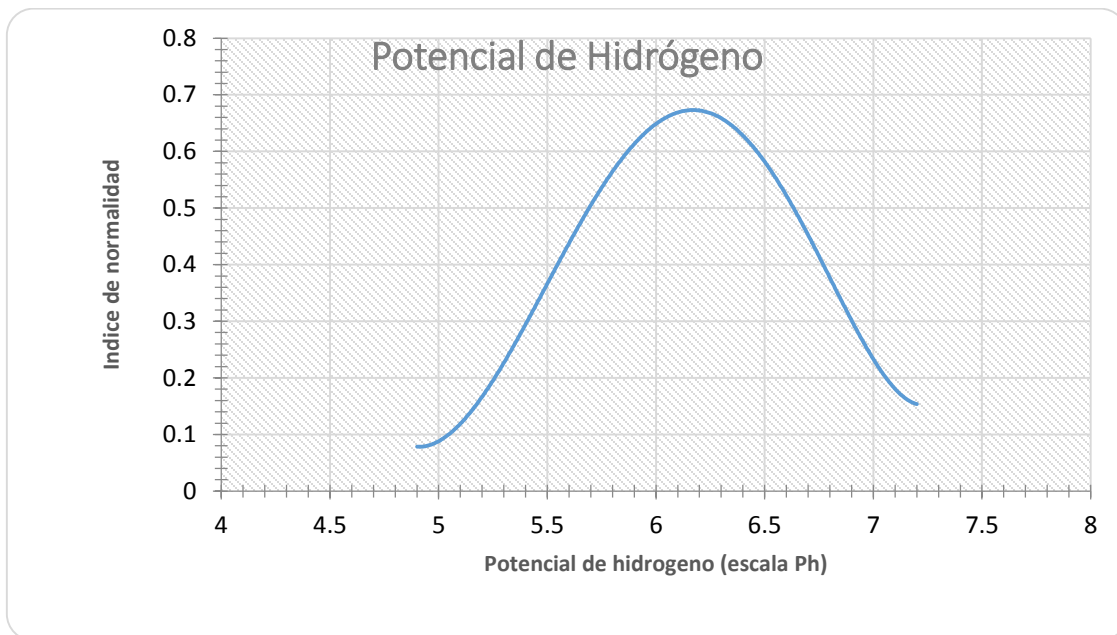


Figura 17. Curva de Gauss para la variable pH

Para comprobar que existe diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos estudiados se realizó un análisis de varianza donde F es menor que $P > F$ (Cuadro 30) que indica que no existe diferencia significativa.

<i>FV</i>	<i>GL</i>	<i>SC</i>	<i>CM</i>	<i>F</i>	<i>P>F</i>
<i>Entre grupos</i>	3	5604.13	1868.04	2.42	2.73
<i>Dentro de los grupos</i>	68	11811.07	173.69		
<i>TOTAL</i>	71	17415.20			

Cuadro 30. Análisis de varianza para la variable pH

Para conocer el comportamiento y comprobar que estadísticamente no existe diferencia significativa, realizamos una prueba de Tukey (Cuadro 31).

Número de Tratamientos 12
 Número de Repeticiones 6
 Cuadrado Medio del Error 0.35
 Grados de Libertad del Error 11

TABLA DE MEDIAS

Tratamiento	Media (pH)	Bloques
1	6.46	A
4	6.16	A
3	6.04	A
2	5.98	A

NIVEL DE SIGNIFICANCIA = 0.05

VALORES DE TABLAS (0.05), (0.01) = 3.73, 4.59

Cuadro 31. Prueba de Tukey para la variable pH

De forma general, no se observó una variabilidad estadística significativa en el potencial de hidrógeno, esto coincide con lo referido por Acosta, *et al.*, (2007), que el uso de sulfato de calcio di hidratado tiene como objetivo neutralizar los suelos alcalinos, mejorar la permeabilidad, proporcionar azufre y soporte catalítico para la utilización máxima de fertilizantes.

Análisis de correlación

Para determinar si existe correlación entre los tratamientos se realizó una prueba de coeficiente de correlación (Cuadro 32) donde el número 1 representa el 100% y los decimales representan el porcentaje de correlación entre variables.

Podemos observar que la correlación existente entre:

El pH y rendimiento es del 65%, número de hojas y pH es del 70%, Altura de planta y pH del 65%, CE y pH del 65%, número de hojas y rendimiento del 99%, altura

de planta y rendimiento de 84%, CE y rendimiento del 99%, altura de planta y número de hojas del 80%, CE y número de hojas del 99% y Conductividad eléctrica y altura de planta del 79%.

La menor correlación es entre altura de planta y pH y el de mayor correlación es de conductividad y número de hojas, por lo tanto observamos que la correlación más alta se encuentra entre, CE y rendimiento.

	pH	Rendimiento (g)	Número de hojas	Altura de Planta(cm)	CE ($\mu\text{S cm}^{-1}$)
pH	1				
Rendimiento	0.67571703	1			
Núm. de hojas	0.70397807	0.99576975	1		
Altura de Planta	0.65154926	0.84404803	0.80229604	1	
CE	0.67249009	0.99645025	0.9905735	0.79674991	1

Cuadro 32. Análisis de correlación de variables

Podemos observar que el resultado indica que existe un efecto directamente relacionado entre la salinidad el rendimiento de semilla.

Por otro lado Rueda *et al.*, (2009), menciona que la presencia de sales ejerce una doble influencia en el suelo: por un lado, la posible toxicidad de algunos iones presentes, como el sodio, y, de otro lado, el incremento de la presión osmótica de la solución, lo cual dificulta la absorción de agua por parte de las plantas, esto hace que los suelos salinos se comporten fisiológicamente como secos, con un nivel de humedad apreciable. La salinidad influye en el crecimiento y producción de todas las plantas por ese evento de sequía.

Análisis de regresión

Regresión lineal (Cuadro 33) es una aproximación a la relación lineal entre las variables, utilizando una ecuación lineal de datos observados. Se centra en la distribución de probabilidad condicional de Y dado X, más que en la distribución de probabilidad conjunta de Y y X, que es el dominio de análisis multivariante.

Parámetros	Indicadores de regresión
Número de entrada	4
Pendiente (b)	-7.672
X	3.5
Y	29.815
Interceptar	56.667
Ecuación de regresión	$56.667 + -7.672 x$

Cuadro 33. Resultados de análisis de regresión

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Rendimiento (g)
2000	43.44
3000	30.65
4000	26.31
5000	19.2
6000	10.63
7000	2.96
8000	0

Cuadro 34. Análisis de regresión para rendimiento de semilla de quinoa

Podemos determinar que el comportamiento de quinoa (Cuadro 34) está determinado directamente por la presencia de sales, obteniendo un óptimo desarrollo en lo que se refiere a rendimiento semilla, con una conductividad eléctrica igual o menor a $2000 \mu\text{S cm}^{-1}$ y el menor rendimiento con una conductividad igual o mayor a $8000 \mu\text{S cm}^{-1}$. Coincidiendo con Rueda *et al.*, (2009), Allison *et al.*, (1982), Parés *et al.*, (2008),

que reportan que a mayor salinidad el rendimiento se ve afectado de forma negativa.

Rendimiento Relativo de semilla de quinoa

Se define la tolerancia a la salinidad como la capacidad que tiene el cultivo para soportar la salinidad del suelo sin experimentar efectos perjudiciales en su desarrollo y/o producción. Las plantas desarrollan diversas estrategias para ser más tolerantes a la salinidad. Por ejemplo, restringiendo la extracción de sales y ajustando la presión osmótica a través de la síntesis de sales compatibles como la prolina, la glicina-betaína, y otros azúcares (Greenway y Munns 1980). Otra estrategia seguida por las plantas es la acumulación de la sales en las vacuolas celulares, controlando de esta forma la concentración de sales en el citosol y manteniendo en las células una relación K^+/Na^+ alta (Glenn 1999).

En general la tolerancia de los cultivos a la salinidad se puede evaluar siguiendo tres criterios:

- La capacidad del cultivo para sobrevivir en suelo salino.
- La producción del cultivo en suelo salino.
- El rendimiento relativo del cultivo en suelo salino en comparación con la producción, bajo las mismas condiciones de manejo, pero en condiciones de no salinidad.

Así mismo, aplicando la fórmula de rendimiento relativo de Mass y Hoffman (1977), en la prueba de rendimiento relativo (Cuadro 35), podemos observar que la tolerancia a la salinidad de origen sulfática de la quinoa, está entre los 2000 y 8,000 μS

cm⁻¹, con su mejor rendimiento con 2,000 μS cm⁻¹ y con 8,000 μS cm⁻¹, su producción es cero (Figura18).

Conductividad eléctrica (μS cm ⁻¹)	Rendimiento relativo (%)
2,000	100.0
3,000	60.5
4,000	48.0
5,000	35.5
6,000	23.0
7,000	10.5
8,000	0

Cuadro 35. Análisis de Rendimiento relativo para semilla de quinoa

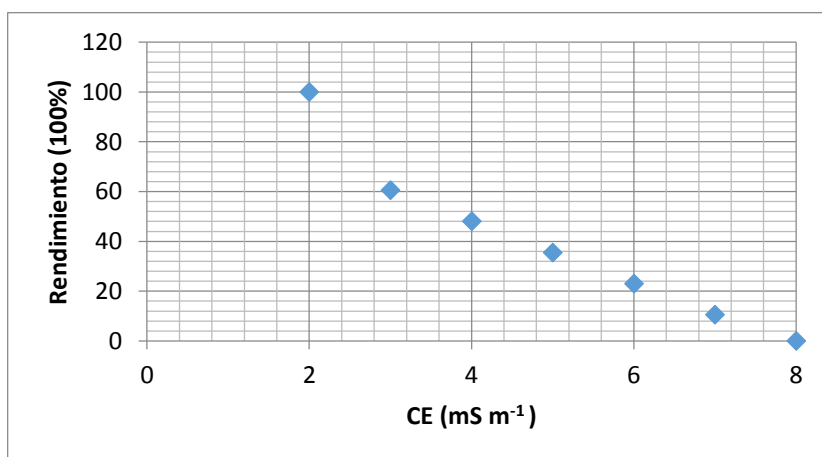


Figura 18. Gráfica de Rendimiento relativo para la semilla de quinoa

3. Evaluación de la germinación de genotipos de *Chenopodium quinoa* bajo diferentes niveles de salinidad.

Generalidades

Germinación: proceso que comienza con la rehidratación de los diferentes tejidos que constituyen la semilla y terminan con el inicio del crecimiento de la radícula. Es la reanudación del crecimiento activo del embrión y comprende los siguientes eventos: imbibición y absorción de agua, hidratación de los tejidos, absorción de O₂, activación de enzimas y digestión y transporte de moléculas hidrolizadas al eje embrionario, incremento en la respiración y asimilación; iniciación de la división y elongación celular y emergencia de la radícula.

Normalmente se distinguen en el proceso de germinación tres fases sucesivas.

Hidratación: intensa absorción de agua por la semilla, va acompañada de un aumento proporcional en la actividad respiratoria.

Germinación: tienen lugar profundas transformaciones metabólicas que preparan el camino para la fase siguiente, aquí se reduce la absorción de agua.

Crecimiento: representa la última etapa del proceso de germinación y corresponde con la iniciación en la semilla de cambios morfológicos visibles; en concreto, la elongación de la radícula. Hay un constante incremento de la absorción de agua y de la actividad respiratoria.

La germinación puede tener dos factores de afectación.

- El alto contenido de sales puede aumentar la presión osmótica hasta el punto que la absorción osmótica se ve impedida
- El contenido de las sales es tóxico e impide el desarrollo de la etapa de germinación (González Romero 2009).

Germinación de quinoa bajo distintos tratamientos de salinidad.

Materiales y métodos

El material genético utilizado para este experimento es el que se obtuvo del primer experimento de este trabajo de investigación.

El experimento comprendió de tres tratamientos de salinidad con cuatro concentraciones (Cuadro 36), se evaluaron el porcentaje y tiempo de germinación en 12, 24 y 36 horas.

Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3
0.5 mol L ⁻¹ NaCl	0.5 mol L ⁻¹ Na ₂ SO ₄	0.5 mol L ⁻¹ CaSO ₄
1 mol L ⁻¹ NaCl	1 mol L ⁻¹ Na ₂ SO ₄	1 mol L ⁻¹ CaSO ₄
2 mol L ⁻¹ NaCl	2 mol L ⁻¹ Na ₂ SO ₄	2 mol L ⁻¹ CaSO ₄
Testigo (0)	Testigo (0)	Testigo (0)

Cuadro 36. Tratamientos para prueba de germinación de semillas de quinoa

La variable de estudio fue la germinación que incluye porcentaje de germinación absoluta y fue evaluado mediante el conteo directo del número de radículas emergidas a las 12, 24 y 36 horas (Cuadro 37) después la etapa de hidratación, la germinación fue considerada cuando la radícula apareció. El porcentaje de germinación se obtuvo al relacionar el número de semillas germinadas y el número de semillas colocadas inicialmente.

Porcentaje de germinación absoluta

$$Ga = \left(\frac{a}{b}\right) * 100$$

Dónde:

a= semillas geminadas

b= total de semillas depositadas

Resultados

Tratamiento	Total de semillas depositadas	12 hrs	24 hrs	36 hrs	Ga %
0.5 mol L ⁻¹ NaCl	50	-	5	-	10
1 mol L ⁻¹ NaCl	50	-	3	-	6
2 mol L ⁻¹ NaCl	50	-	-	-	-
Testigo	50	50	-	-	100
0.5 mol L ⁻¹ Na ₂ SO ₄	50	-	-	4	8
1 mol L ⁻¹ Na ₂ SO ₄	50	-	-	-	-
2 mol L ⁻¹ Na ₂ SO ₄	50	-	-	-	-
Testigo	50	50	-	-	100
0.5 mol L ⁻¹ CaSO ₄	50	10	26	14	100
1 mol L ⁻¹ CaSO ₄	50	10	30	10	100
2 mol L ⁻¹ CaSO ₄	50	10	25	4	78
Testigo	50	50	-	-	100

Cuadro 37. Resultados de prueba de germinación absoluta de semilla de quinoa

Cuartero y Fernández-Muñoz, 1996; El-Habbasha *et al.*, 1996; Singer-SM, 1994 coinciden en que los efectos de la salinidad en el porcentaje de germinación de las semillas se encuentran estrechamente relacionados a las concentraciones de las sales en el medio de siembra, como también al cultivar o especie de que se trate. El tiempo en que tardan en germinar también se prolonga.

La tolerancia a la salinidad de las semillas en su germinación es una medida de la habilidad de éstas para soportar los efectos de altas concentraciones de sales solubles en el medio. La presencia de sales en el medio disminuye el potencial hídrico, provocando una menor disponibilidad de agua para las semillas, de manera que éstas deben generar suficiente potencial osmótico para mejorar el estatus hídrico de los embriones y permitir su crecimiento

Pessaraki en 1994, explica que la tolerancia a salinidad en la germinación de muchas especies no está consistentemente relacionada a la tolerancia durante la emergencia, crecimiento vegetativo, floración y fructificación. Así, por ejemplo, betarraga, cebada y algodón, cultivos tipificados como de alta tolerancia a las sales, son relativamente sensibles durante la germinación y en el estado de plántula. Otras especies como el maíz, arvejas y habas son más sensibles durante estados más avanzados de desarrollo.



Figura 19. Análisis de varianza para la variable altura de planta (cm)

Conclusiones

En el primer experimento podemos concluir que las plantas de quinoa y amaranto presentaron baja adaptación a la humedad constante del sistema de flujo laminar, los tratamientos con mayor concentración salina fueron los que obtuvieron el mayor rendimiento de semilla, por el contrario los testigos y los tratamientos con menor concentración salina fueron los que presentaron los rendimientos de semilla más bajos, esto se debe al efecto osmótico que genera la salinidad sobre el medio de cultivo.

Por lo tanto la hipótesis “El cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa*) y amaranto (*Amaranthus spp.*), se adaptan al sistema de flujo laminar y a las condiciones de salinidad clorhídrica y sulfática” se rechaza.

En el segundo experimento podemos destacar que se obtuvieron rendimientos de hasta 43.44 g/planta de semilla de quinoa, los mayores rendimientos se alcanzaron en el testigo, y el menor rendimiento se obtuvo en los tratamientos con mayor concentración de CaSO_4 , finalmente se observó que por sus condiciones eco fisiológicas no presenta tolerancia a condiciones de salinidad debido a que en el tratamiento con $4000 \mu\text{S cm}^{-1}$ presenta una reducción importante de un poco más del 50%,

Por lo anterior podemos establecer que la hipótesis “El cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa*) es tolerante a condiciones de salinidad de origen sulfática” se rechaza, sin embargo observamos que el tratamiento con $4000 \mu\text{S cm}^{-1}$ con un rendimiento 23.31 g/planta, es ligeramente superior a la producción promedio registrada en campo con 22.5 gramos por planta, esto da pauta a experimentar el cultivo de quinoa en campos con suelos sulfáticos.

En el tercer experimento al evaluar la germinación de semilla de quinoa de la primera generación (F1), se observó que los testigos presentaron los porcentajes de germinación del 100%, en el caso del sulfato de calcio se observó que los porcentajes de germinación fueron muy cercanos al 100%, por el contrario, el sulfato de sodio y cloruro de sodio los porcentajes de germinación fueron muy bajos, las condiciones eco fisiológicas presenta tolerancia a la salinidad con la fuente CaSO_4 , baja tolerancia a la fuente de salinidad NaCl y no existe tolerancia para la fuente de salinidad Na_2SO_4 .

Con estos resultados observamos que la hipótesis “Las semillas de quinoa (*Chenopodium quinoa*) de primera generación (F1) presenta tolerancia a diferentes concentraciones de salinidad clorhídrica y sulfática con niveles óptimos de germinación”, esta hipótesis se acepta para las concentraciones de salinidad de origen sulfático y se rechaza para las concentraciones de salinidad clorhídrica.

Finalmente podemos subrayar que los tratamientos enriquecidos con fuentes de salinidad sulfáticas obtuvieron mejores resultados que los tratamientos enriquecidos con fuentes de salinidad clorhídrica, por lo tanto las plantas de quinoa y amaranto tienen mejor comportamiento con fuentes de salinidad sulfática.

Bibliografía

- Acosta D. C., Ocampo D., Cedillo P. D.I, Nava L. M..2007. Efecto del sulfato de calcio y biosólidos en el rendimiento del cultivo de cacahuate. Investigación Agropecuaria vol. 4, México
- Alarcón, A.; 1998. "Acidificación de soluciones nutritivas en fertirrigación". Horticultura.
- Alejandre Iturbide, G; Valdés Lozano, C. y García Pereyra J. (2012). Selección y adaptación de variedades criollas de amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) en el noreste de México, en amaranto: ciencia y tecnología. Libro científico Núm. 2. México: inifap/sinarefi.
- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis, 12th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. USA.
- Baixaúl S., Aguilar O. 2002. Cultivo sin Suelo de Hortalizas". Ed. Generalitat Valenciana.
- Bañuelos, T.O. 1993. Evaluación forrajera de 18 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) bajo condiciones de riego y temporal en Montecillo, México. Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Chapingo, Zonas Áridas.
- Bárceñas A.; Tijerina, Ch. Martínez, G.; Becerril, R.; Larqué, S.; Colinas, de L. (2002). Respuesta de tres materiales del género *Hylocereus* a la salinidad sulfático-clorhídrica. *Terra Latinoamericana*.
- Bazile D. et al. (Editores), 2014. "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia).
- Beever, D.E. y R.C. Siddons. 1986. Digestion and metabolism in the grazing ruminant. In: L.P. Milligan, W.L. Grovum and A. Dobson (Ed). Control of Digestion and Metabolism in Ruminants. 479-497. Prentice-Hall. Englewood.
- Bouzo, C, N. Gariglio, R. Pilatti, D. Grenón, J. Favaro, F. Bouchet, and C. Freyre. 2006. 'Inversim': a simulation model for a greenhouse. *Acta Hort.*
- Bunning, S. y Lane A. (2003): Proposed framework for indicators of biodiversity, land and socio-economic condition. En: Extract of a paper on Selection and Use of Indicators and Methods for Assessing Biodiversity and Land Condition conducted as part of a Stocktaking of Biodiversity Issues in the Context of the Land Degradation Assessment of Drylands (LADA).
- C.D. Arbelo, J.L. Mora, A. Rodríguez, J.A. Guerra Y C.M. Armas. (2006).
- Cairo, P.; Quintero, G.- 1986. Suelos. Edit. Pueblo y Educación, La Habana.
- Castañeda, R., E. Ventura, R. Peniche, y G. Herrera. 2007. Análisis y simulación del modelo físico de un invernadero bajo condiciones climáticas de la región central de México. *Agrociencia* 41.
- Chhabra, G., P. C. Srivastava, D. Ghosh and A. K. Agnihotri. 1996. Distribution of available micronutrient cations as related to soil properties in different soil zones of Gola-Kosi interbasin. *Crop Research-Hisar*.
- Chhabra, R. 1996. Soil salinity and water quality. A. A. Balkema Publishers. Brookfield, USA.
- Chinnusamy, V.; A. Jagendore; Z. Jian-Kang (2005) "Understanding and Improving Salt Tolerance in Plants", *Crop Sci.* 45.
- Cruz R., A., G. Pérez S., P. Bárceñas-Abogado y R. Castillo M. 1995. Fertilización nitrogenada de la pitahaya (*Hylocereus spp.*) en La Palma, Estado de Hidalgo. División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Archivo Histórico. Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. México, DF.
- Cuartero, J. y R. Fernandez- Muñoz, 1996. Tomato and salinity. *Sci. Horticulture*, 78.

- David Badia. 1992. Suelos Afectados Por Sales. Unitat d' Ecologia (UAB), Bellaterra, Barcelona.
- De Reijck, G y E. Schrevens. 1998. Cationic speciation in nutrient solutions as a function of pH. J. Plant Nutr.
- Del Bosque-Villarreal. Rodríguez-García, Raúl, Zermeño-González. y Jasso-Cantú,. 2012. Evaluación de un modelo físico de simulación del clima en invernadero con ventilación natural. *Agrociencia*, 46.
- Delane, R., H. Greenway, R. Munns y J. Gibbs. 1982. Ion concentration and carbohydrate status of the elongating leaf tissue of *Hordeum vulgare* growing at high external NaCl. J. Exp. Bot. 33.
- Demolón, A.- 1967.- Crecimiento de vegetales cultivados. Trad. J. Pérez M. Edición Revolucionaria, La Habana.
- Dregne, H.E. 1976. Soils of arid regions. Elsevier Publishing, Amsterdam, The Netherlands.
- El- Habbasha-Km, Shaheen-Am, Rizk-Fa. 1996. Germination of some tomato cultivars as affected by salinity stress condition. Egyptian journal of horticulture. 23.
- Embleton, T.W., W.W. Jones, C.K. Labanauskas and W. Reuther. 1973. Leaf analysis as a diagnostic tool and guide to fertilization. En: The Citrus Industry. III. Reuther W. Div. Agric. Sci., Univ. California, Berkeley, CA.
- Espitia R., E., Mapes Sánchez, C., Escobedo L., D., De la O. Rivas-Valencia., Martínez, T. G., Cortés, L. y Hernández, J. M. 2010. Conservación y uso de los recursos genéticos de amaranto en México. México: INIFAP.
- Fassbender, H. W.- 1986.- Química de suelos, con énfasis en suelos de América Latina. Edit. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica.
- Fernández, G. R. 1990. Algunas experiencias y proposiciones sobre recuperación de suelos con problemas de sales en México. Terra. 8.
- Flores, A., Gálvez, V., Hernández, O., López, G., Obregón, A., Orellana, R., Otero, L. y Valdez, M. 1996. Salinidad un nuevo concepto. Edit Colima, México.
- Florian, P. 1997. "Los cultivos hidropónicos en España", "El sistema de cultivo de lana de roca y perlita". Hidroponía. Una esperanza para Latinoamérica. Curso Taller Internacional de Hidroponía, Lima-Perú, 25-29 Marzo 1996. Ed. Alfredo Rodríguez Delfín.
- Florian, P. 1998. "Sustratos: propiedades, ventajas y desventajas". Hidroponía comercial. Una buena opción en agronegocios. Conferencia Internacional 6-8 Lima-Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Centro de Investigación de hidroponía y nutrición mineral. Hydroponic Society of America. Ed. Alfredo Rodríguez Delfín.
- Flowers, T.J. y M.A. Hajibagheri. 2001. Salinity tolerance in *Hordeum vulgare*: Ion concentration in root cells of cultivars differing in salt tolerance. Plant Soil 231.
- García E. 1973. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la república Mexicana). UNAM, 2a. Ed. México, D.F.
- García Lozano, M.; Urrestarazu, M.; 1999. "Recirculación de la disolución nutritiva en las conducciones de los invernaderos de la Europa del Sur". Ed. Caja Rural de Granada.
- Glenn EP, Brown JJ., Blumwald E. 1999. Salt tolerance and crop potential of *halophytes*.

- Crit. Rev.Plant Sci. 18.
- González Romero; Quero Carrillo; Franco Mora; Ramírez Ayala; Ortega Escobar; Trejo López. 2011. Efecto de la salinidad y la temperatura sobre el crecimiento del pasto Banderita (*Bouteloua curtipendula*). Ciencia Ergo Sum, vol. 18, núm. 1.
- Gorham, J. y R.G Wyn Jones. 1983. Solute distribution in Suaeda maritima. Planta 157: 344-349. Mizrahi,
- Goykovic C. Vitelio, & Saavedra del Real, Gabriel. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*
- Greenway H, Munns R. 1980. Mechanisms of salt tolerance in non-halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 31.
- Grover A, Singh A., Blumwald E. 2011. Transgenic strategies towards the development of salt-tolerance plants. En: Agricultural salinity assessment and management. ASCE manual and reports on engineering practice # 71. eds. (Wallender WW;; Tanji KK.). ASCE. Capt. 8.
- Kapkafi, U. 1987. Nutrition des plantes dans des conditions de salinité. Fertilisants et Agrieulture.
- Knight, G.W. 1991. Chemistry of arid region soils. In: J. Skujiņš (Editor), Semiarid lands and deserts. Soil resource and reclamation. Marcel Dekker Inc., New York, USA.
- Kochba, M., Ritvo, G. y Avnimelech Y. 2004. The effect of municipal solid waste compost (msw) on the replacement of sodium in sodic soil models. Soil Science. 169(8):567-572.
- Kovda, V. y I. Szabolcs. 1979. Soil salinization and alkalinization processes. Modelling of soil salinization and alkalinization. Agrokemia es Talajtan. Budapest, Hungary.
- Levitt, J., 1980. Responses of Plants to environmental stresses. Vol. 1, Acad. Press.
- López-Climent MF, Arbona V, Pérez-Clemente RM, Gómez-Cadenas A. 2008. Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. Environmental and Experimental Botany Vol. 62, 2.
- López-Cruz, I. L., y L. Hernández-Larragoiti. 2010. Modelos neuro-difusos para temperatura y humedad del aire en invernadero tipo cenital y capilla en el centro de México. Agrocienca 44.
- M. Ajmal K. and Salman G. (2003). Light, Salinity, And Temperature Effects On The Seed Germination Of Perennial Grasses. American Journal of Botany 90.
- Maas, E.V. & Hoffman, **G.J.** 1977. Crop salt tolerance - current assessment. *J. Irrig. and Drainage Div., ASCE* 103.
- MAPA. (1974): Caracterización de la capacidad agrológica de los suelos de España. Metodología y Normas. Dirección General de la Producción Agraria, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), Madrid, Spain.
- Mcneal, B. y N. COLEMAN. 1966. Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Proc. Soil Sci. Soc. Am.
- Morales, G. J. C., Vázquez, N. M. y Bressani, R. C. 2009. El amaranto. Características físicas, químicas, toxicológicas y funcionales y aporte nutricio. Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zuribán.
- Mueller, T. G., Mijatovic, B., Sears, B. G., Pusuluri, N. And Stombaugh, T. S. 2004. Soil electrical conductivity map quality. Soil Science. 169.
- Munns, R; S. Goyal; J. Passioura. 2005. Salinity and its Mitigation University of California, Davis.
- Nerd y P. Nobel. 1997. Cacti as crops. Hort. Rev. 18.
- Noble, C.L., G.M. Halloran y D.W. West. 1984. Identification and selection for salt

- tolerance in lucerne (*Medicago sativa* L.) *Aust. J. Agric. Res.* 35.
- Omami, E. N., Hammes, P. S. y Robbertse, P. J. 2006. Differences in salinity tolerance for growth and water-use efficiency in some amaranth (*Amaranthus spp.*) genotypes. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*.
- Ortega E., M. 1993. Causas del ensalitramiento y su efecto sobre los suelos. Centro de Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Pizarro, F. 1985. Drenaje y recuperación de suelos salinos. 2ª Edición. Edit. Agrícola Española, Madrid.
- Pojakoi-MAYBIR y Gale, Eds. 1975. Plant in saline environments. *Ecological Studies*, 15. New York.
- Porta, C.; A. R. López; Roquero, De L. 2003. Edafología. Mundi-Prensa, Madrid.
- Resh, H.M. 1991. Hydroponic food production. 4th edition. Woodbridge Press Publishing Company. Santa Barbara, Ca, USA.
- Rodríguez, R. 2004. Composición química de las precipitaciones, deposición de sales y evaluación de la recarga en la región oriental de Cuba. *Boletín Geológico y Minero*, 115.
- S.R. Grattana y C.M. Grieveb. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crop. Department of Land, Air and Water Resources, University of California, Davis, CA 95616, USA
- Salinidad y Alcalinidad En Suelos De Las Zonas Aridas De Tenerife (Islas Canarias). Edafología, Vol 13.
- Sánchez-B. E.; M. Ortega-E.; V. González-H.; M. Camacho-E; J. Kohashi-S. (2008). "Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.), inducido por diversas soluciones salinas", *Interciencia* 33.
- Sbita, L., T. Boulard, A. Baille and M. Annabi. 1998. A green climate model including the effects of ventilation and crop transpiration: validation for the South Tunisia conditions. *Acta Hort.*
- Shukla, M. K., R. y Ebinger, M. (2004): Soil quality indicators for the north appalachian experimental watersheds in coshocton ohio. *Soil Science*. 169.
- Silberbush, M., Lips, S.H., 1991. Potassium, nitrogen, ammonium/nitrate ratio, and sodium chloride effects on wheat growth. II. Tillering and grain yield. *J. Plant Nutr.* 14.
- Singer-SM. 1994. Germination responses of some tomato genotypes affected by salinity and temperature stress. *Egyptian journal of horticulture*. 21.
- Soil Survey Staff, 1994. Clave de Taxonomía de Suelos. Sexta edición Traducción 1995, Bogotá, Colombia.
- Steiner, A.A. 1984. The Universal nutrient solution. In. proceedings 6th International Congress on Solilles culture. Wageningen, The Netherlands.
- Svistov, P.F., López, C.M., Azcuy, G., Cuesta, O. y Sánchez, P. 1988. Observaciones sobre la contaminación del aire en Cuba. Aspectos meteorológicos de la contaminación atmosférica. Editor Berlyand, M.E., Sanpetersburgo, Rusia.
- United States Soil Conservation Service (SSLS). 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaly soils. United States Department of Agriculture. Handbook 60. Washington D. C., USA
- Van Hoorn, J. y J. Van Alphen. 1994. Salinity control. In- Drainage principles and application. H. P. Ritzema (Ed.). International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen, The Netheriands.

Villafañe, R., O. Abarca Y M. Azpurua. 1999. Determinación de la variabilidad espacial de las sales en el valle de Quíbor. Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor, C.A. y Renfagro, S.A. Barquisimeto, Venezuela.

Vives De Andrés J. B. 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos (aguas, sedimentos y organismos) –INVEMAR

Waysfi. (1972). Biology of halophytes. Academic Press. New York.