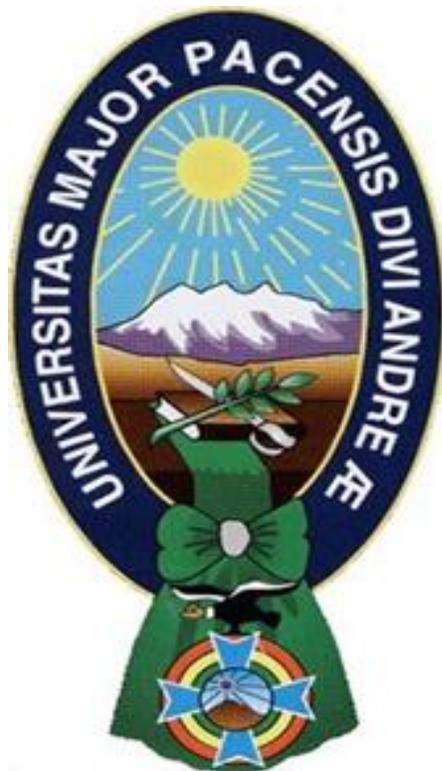


**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**TESIS DE GRADO
EFECTO DE TRES NIVELES DE SALINIDAD EN EL CRECIMIENTO DEL PASTO
AGROPIRO VARIEDAD ALKAR (*Thinopyrum ponticum*) MEDIANTE
REPRODUCCIÓN SEXUAL Y VEGETATIVA**

**Presentado por:
JULIO MARCELO TERRAZAS RUEDA**

LA PAZ – BOLIVIA

2018

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EFFECTO DE TRES NIVELES DE SALINIDAD EN EL CRECIMIENTO DEL PASTO
AGROPIRO VARIEDAD ALKAR (*Thinopyrum ponticum*) MEDIANTE
REPRODUCCIÓN SEXUAL Y VEGETATIVA

Tesis de Grado presentado como requisito
parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo

JULIO MARCELO TERRAZAS RUEDA

ASESOR:

Ing. Ph.D Alejandro Bonifacio Flores

REVISORES:

Ing. Ph.D. Roberto Miranda Casas

Ing. M.Sc. Fanny Arragan Tancara

Ing. M.Sc. Carlos López Blanco

APROBADA

Presidente Tribunal Examinador

LA PAZ – BOLIVIA

2018

CONTENIDO

CONTENIDO	I
INDICE DE CUADROS	V
INDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	X
1. INTRODUCCION	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Justificación	4
2. OBJETIVOS	4
2.1. Objetivo general	4
2.2. Objetivo específico	4
2.3. Hipótesis	5
3. REVISION BIBLIOGRAFICA	6
3.1. Descripción de la especie (<i>Thinopyrum ponticum</i>)	6
3.1.1 Sinonimia o nombres alternativos	6
3.1.2 Clasificación taxonómica	7
3.1.3 Usos y aprovechamiento de la especie	8
3.2. Suelos salinos y/o sódicos	9
3.2.1 Origen y formación de los suelos salinos y/o sódicos	9
3.2.2 Salinización	10
3.2.3 Sodificación	10
3.2.4 Alcalinización	11
3.2.5 Desalinización	11
3.2.6 Solutización	12

3.2.7	Diferencia entre salinidad y alcalinidad	12
3.3.	Clasificación química y caracterización de los suelos salinos y sódicos	12
3.3.1	Suelos salinos	14
3.3.2	Suelos sódico – salinos	15
3.3.3	Suelos sódicos-no salinos	15
3.4.	Parámetros principales para la evaluación de la salinidad	16
3.4.1	El pH del suelo	17
3.4.2	Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes)	18
3.4.3	Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)	19
3.4.4	Relación de adsorción de sodio	20
3.5.	El agua salina	20
3.6.	Parámetros para determinar la calidad del agua	22
3.6.1	Conductividad eléctrica del agua	22
3.6.2	Relación de adsorción de sodio del agua	23
3.6.3	Total de solidos disueltos del agua	24
3.6.4	Determinaciones analíticas necesarias en el agua de riego.....	25
3.6.5	Historia de los criterios para evaluar el agua de riego.....	26
3.6.6	Parámetros para clasificar el agua de riego para uso agrícola de acuerdo a su nivel de salinidad y sodicidad	27
3.7.	Efecto de las sales sobre el suelo	28
3.8.	Efecto de las sales en la planta y tolerancia de los cultivos a la salinidad	29
3.8.1	Efecto osmótico	30
3.8.2	Efecto de iones específicos	33
3.8.3	Efectos indirectos	37
3.8.4	Desequilibrio nutricional de las plantas	38

3.8.5	Tolerancia de cultivos a la salinidad	38
4.	LOCALIZACION.....	41
4.1.	Ubicación geográfica.....	42
4.2.	Características de la zona de estudio.....	42
4.2.1.	Clima	42
4.2.2.	Suelo	42
4.2.3.	Flora y fauna.....	42
5.	MATERIALES Y METODOS	44
5.1.	Materiales	44
5.1.1	Material vegetal	44
5.1.2	Material de campo	44
5.1.3	Material de gabinete	44
5.2.	Método.....	45
5.2.1	Experimentos preliminares (primera etapa)	45
5.2.2	Preparación de cajas Petri para germinación	46
5.2.3	Preparación de bandejas para porcentaje de emergencia	46
5.2.4	Procedimiento experimental (segunda etapa).....	47
5.2.5	Diseño de la investigación	49
5.2.6	Croquis de la investigación	51
5.2.7	Variables de respuesta	51
6	RESULTADOS Y DISCUSION	54
6.1	Experimentos preliminares.....	54
6.2	Porcentaje de germinación.....	55
6.3	Porcentaje de emergencia en bandejas	61
6.4	Altura de planta	64

6.4.1	Plantas perdidas.....	65
6.4.2	Punto de crecimiento más alto.....	65
6.4.3	Altura de planta en la cosecha.....	69
6.5	Velocidad de crecimiento del pasto agropiro.....	73
6.6	Peso y volumen de la raíz del pasto agropiro.....	77
6.7	Rendimiento.....	85
6.7.1	Peso fresco de la parte aérea.....	85
6.7.2	Peso seco de la parte aérea.....	87
6.8	Cociente raíz/parte aérea (respecto al peso).....	89
7	CONCLUSIONES.....	95
8	RECOMENDACIONES.....	97
9	BIBLIOGRAFIA.....	98
	ANEXOS.....	105

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Nombres alternativos del Agropiro alargado	7
Cuadro 2: Clasificación taxonómica	7
Cuadro 3: Indicadores químicos de salinidad	13
Cuadro 4: Denominación de los suelos según el pH	18
Cuadro 5: CE en extracto saturado en distintas relaciones suelo: agua	19
Cuadro 6: Clasificación de suelo de acuerdo con el PSI	20
Cuadro 7: Determinaciones analíticas necesarias en el agua de riego	25
Cuadro 8: Criterios para evaluar la calidad de aguas para riego	27
Cuadro 9: Toxicidad de iones específicos	28
Cuadro 10: Clasificación de aguas según el USDA.....	45
Cuadro 11: Niveles de salinidad para porcentaje de germinación de semillas.	46
Cuadro 12: Niveles de salinidad para porcentaje de emergencia en bandejas.....	46
Cuadro 13: Solución salina expresados en términos de Molaridad, g/l y CE	49
Cuadro 14: Factores de estudio	50
Cuadro 15: ANVA del Porcentaje de germinación del pasto agropiro.....	55
Cuadro 16: Comparación de medias Duncan para porcentaje de germinación	57
Cuadro 17: ANVA de Días a la germinación del pasto agropiro	58
Cuadro 18: Comparación de medias para los días a la germinación del pasto agropiro.	59
Cuadro 19: ANVA de Porcentaje de emergencia del pasto agropiro	62
Cuadro 20: ANVA de Punto de crecimiento más alto del pasto agropiro.....	66
Cuadro 21: Comparación de medias Duncan para el punto de crecimiento más alto en el factor "métodos de reproducción"	66
Cuadro 22: Comparación de medias Duncan para el punto de crecimiento más alto en el factor "niveles de sal"	67
Cuadro 23: Lavado de sales durante la investigación	68
Cuadro 24: ANVA de altura de planta en la cosecha.....	69
Cuadro 25: Comparación de medias Duncan para la altura de planta en la cosecha en el factor "métodos de reproducción"	70
Cuadro 26: Comparación de medias Duncan para la altura de planta en la cosecha en el factor "niveles de sal"	71

Cuadro 27: ANVA velocidad de crecimiento del pasto agropiro	73
Cuadro 28: Comparación de medias Duncan para la velocidad de crecimiento en el factor "métodos de reproducción"	74
Cuadro 29: Comparación de medias Duncan para la velocidad de crecimiento en el factor "niveles de sal"	75
Cuadro 30: Velocidad de crecimiento promedio por tratamiento (cm/semana).....	75
Cuadro 31: ANVA peso de raíz del pasto agropiro	77
Cuadro 32: ANVA volumen de raíz del pasto agropiro	77
Cuadro 33: Comparación de medias Duncan para el peso y volumen de la raíz en el factor "métodos de reproducción"	78
Cuadro 34: Comparación de medias Duncan para el peso y volumen de la raíz en el factor "niveles de sal"	79
Cuadro 35: Análisis de efectos simples para la interacción, efecto dividido por método de reproducción para peso	81
Cuadro 36: Análisis de efectos simples para la interacción, efecto dividido por niveles de sal para peso.....	82
Cuadro 37: ANVA peso fresco de la parte aérea.....	85
Cuadro 38: Comparación de medias Duncan para peso fresco de la parte aérea en el factor "métodos de reproducción"	86
Cuadro 39: ANVA peso seco de la parte aérea	87
Cuadro 40: ANVA coeficiente raíz/parte aérea.....	89
Cuadro 41: Comparación de medias Duncan para el cociente raíz/parte aérea en el factor "niveles de sal"	90
Cuadro 42: Análisis de efectos simples para la interacción, efecto dividido por método de reproducción para cociente raíz/parte aérea	93
Cuadro 43: Análisis de efectos simples para la interacción, efecto dividido por niveles de sal para cociente raíz/parte aérea	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Efecto osmótico.....	31
Figura 2: Curva de retención del agua del suelo	32
Figura 3: Localización del estudio en el Municipio de Viacha del departamento de La Paz.....	41
Figura 4: Croquis de la investigación	51
Figura 5: Experimentos preliminares	54
Figura 6: Distribución de porcentaje de germinación del pasto agropiro	56
Figura 7: Días a la germinación del pasto agropiro	58
Figura 8: Porcentaje de emergencia del pasto agropiro	61
Figura 9: Altura de planta	64
Figura 10: Peso de raíz expresado por métodos de reproducción	81
Figura 11: Peso de raíz expresado por niveles de sal	82
Figura 12: Rendimiento (Tn/Ha) Peso fresco	86
Figura 13: Porcentaje de Materia seca y agua en el forraje	87
Figura 14: Rendimiento (Tn/Ha) Peso seco	89
Figura 15: Interacción cociente raíz/parte aérea expresado por métodos de reproducción	92
Figura 16: Acumulación de sales en la raíz durante la cosecha	115

DEDICATORIA

Lleno de regocijo y dicha, dedico este trabajo a cada uno de mis seres queridos, quienes han sido mis pilares para seguir adelante.

A mis padres, hermanos y a toda mi familia.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

Ing. Julio Terrazas Heredia y Lic. Miriam Elizabeth Rueda Espinoza, porque ellos son la motivación de mi vida y que gracias a sus consejos y palabras de aliento me han ayudado a crecer como persona, gracias por enseñarme valores que hicieron que llegara a esta gran meta, gracias por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.

A mis hermanos:

A ustedes, porque directa e indirectamente han contribuido al cumplimiento de una de mis más importantes metas, por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

A mi familia:

A toda mi familia por confiar en mí, a mis primos, tíos, a mi tío Lic. Orlando Mercado por darme consejos e ideas.

A mi asesor:

Por el tiempo, dedicación, enseñanza y paciencia en la elaboración de este documento, quien me ha guiado en este proceso.

A mis revisores:

Quienes desinteresadamente me apoyaron, ayudaron, explicaron y aconsejaron en la realización de este trabajo.

A mis amigos:

Por la ayuda, consejos y alegrías que pasé con ustedes en la elaboración de nuestras tesis Olivia Tancara, Cristian Chipana e Isabel Torrez, gracias también a Miriam Alcon y Betshabe Apaza, por su inmenso apoyo y consejos.

RESUMEN

La salinidad de los suelos representa un problema que afecta a la producción de muchos cultivos, entre las especies tolerantes está el agropiro variedad Alkar (*Thinopyrum ponticum*). El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de niveles de concentración de cloruro de sodio (NaCl) en el crecimiento del pasto agropiro reproducidos de forma sexual y vegetativa, en el centro de facilidades para la investigación Quipaquipani dependiente de la fundación PROINPA, situado en la ciudad de Viacha-La Paz, así mismo se evaluó su germinación, emergencia y rendimiento en concentraciones salinas. Se evaluaron las soluciones salinas con concentraciones Molares de 0.4, 0.7 y 1.0 de NaCl más el testigo para evaluar el crecimiento; mientras que para la germinación se empleó las concentraciones Molares de 0.1, 0.2 y 0.3 de NaCl, equivalentes a 11.2; 24.1; 40; 42.5; 71.9; 104.6 dS.m⁻¹ y testigo equivalente a 0.25 ds.m⁻¹. Se adoptó el diseño experimental completamente al azar para la evaluación del porcentaje de germinación (PG), días a la germinación, porcentaje de emergencia (PE) y con dos factores (métodos de reproducción y niveles de sal) para la evaluación del crecimiento. Las concentraciones salinas tuvieron efectos significativos en el PG y días a la germinación ya que se observó una disminución en el PG y prolongación en los días a la germinación a medida que se aumenta las concentraciones salinas. El crecimiento en altura fue influenciado principalmente por el método de reproducción, siendo el más alto la reproducción vegetativa. En cuanto a los niveles de sal se obtuvieron resultados no significativos atribuible a un lavado de sales provocado por las lluvias. La velocidad de crecimiento fue mayor en el método de reproducción vegetativa (1 cm/semana) a comparación de la reproducida por semilla (0.1 cm/semana), en cuanto a niveles de sal, el testigo fue significativamente mayor al resto. El peso y volumen de raíz fue influenciado por ambos factores registrando menor peso a medida que aumenta la salinidad, excepto en el testigo, el cual es mayor en reproducción por semilla y de manera opuesta el peso y volumen y raíz de la reproducida por semilla es equivalente a altas concentraciones de sal, demostrando la alta tolerancia de esta especie a condiciones salinas. En general, el agropiro alargado presentó alta tolerancia a la condición salina de NaCl, demostrando adaptabilidad y resiliencia ante condiciones de salinidades muy altas.

ABSTRACT

The salinity of soils represents a problem that affects the production of many crops, among the tolerant species is the wheatgrass variety Alkar (*Thinopyrum ponticum*). The objective of this work was to evaluate the effect of concentration levels of sodium chloride (NaCl) on the growth of the wheatgrass reproduced in a sexual and vegetative way, in the center of facilities for the Quipaquipani research under the PROINPA foundation, located in the city of Viacha-La Paz, likewise its germination, emergence and yield in saline concentrations were evaluated. Saline solutions were evaluated with Molar concentrations of 0.4, 0.7 and 1.0 of NaCl plus the control to evaluate the growth; while for the germination the Molar concentrations of 0.1, 0.2 and 0.3 of NaCl, equivalent to 11.2; 24.1; 40; 42.5; 71.9; 104.6 dS.m⁻¹ and witness equivalent to 0.25 ds.m⁻¹. The experimental design was completely randomized for the evaluation of the percentage of germination (PG), days to germination, percentage of emergence (PE) and with two factors (reproduction methods and salt levels) for the evaluation of growth. Saline concentrations had significant effects on the PG and days after germination, since there was a decrease in PG and prolongation in days to germination as saline concentrations were increased. The growth in height was influenced mainly by the reproduction method, being the highest the vegetative reproduction. Regarding the salt levels, non-significant results were obtained attributable to a salt wash caused by the rains. The speed of growth was higher in the method of vegetative reproduction (1 cm / week) compared to that reproduced by seed (0.1 cm / week), in terms of salt levels, the control was significantly higher than the rest. Root weight and volume was influenced by both factors registering lower weight as salinity increases, except in the control, which is higher in reproduction by seed and in opposite way the weight and volume and root of the seed reproduced is equivalent to high salt concentrations, demonstrating the high tolerance of this species to saline conditions. In general, elongated wheatgrass presented high tolerance to the saline condition of NaCl, demonstrating adaptability and resilience in conditions of very high salinities.

1. INTRODUCCION

La salinidad de los suelos en Bolivia abarca no solamente la cuenca del río Desaguadero en el Altiplano Boliviano, sino también el valle alto y central de Cochabamba, los valles de Santa Cruz, el Chaco y las llanuras de depresión en el Beni. Esta enorme área conlleva preocupación para gran parte de los agricultores de estas zonas.

La salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos al afectar negativamente la germinación y/o la capacidad de emerger de las plántulas, así mismo retarda el crecimiento de las plantas a través de su influencia sobre varios procesos fisiológicos; en consecuencia, las variables de crecimiento vegetativo tales como: masa seca, altura de planta y área foliar entre otras, son severamente afectadas por la presencia de sales (Parés *et al.*, 2008).

Al disminuir las lluvias, en los sectores deprimidos, los suelos se van secando por infiltración y evapotranspiración. Es entonces cuando comienza a generarse el proceso de salinización quedando interrumpido el ciclo productivo en amplias superficies de la región.

Los suelos salinos ofrecen pocas opciones de crecimiento de plantas, convirtiéndose en improductivos. Con los efectos del cambio climático, los suelos salinos tienden a incrementarse año a año en las regiones áridas y semiáridas del mundo como consecuencia de las bajas precipitaciones, mal manejo de agua de riego y de los fertilizantes (Martínez *et al.*, 2011 citado en Ramírez *et al.*, 2017).

La característica general de los suelos salinos es la presencia de altas concentraciones de sales solubles, lo cual incrementa el potencial osmótico de la solución de suelo, causando estrés fisiológico en las plantas.

La alta concentración salina de los suelos es uno de los principales factores que restringe el crecimiento y productividad de los cultivos (Cruz *et al.*, 2003) por lo tanto, comprender

la respuesta de las plantas bajo condiciones de estrés es importante para proponer soluciones efectivas al problema de la salinidad (Larcher 2003, citado en Parés *et al.*, 2008).

En tal sentido, la “Agricultura salina” se muestra como una solución viable, ya que permite utilizar estos suelos tal como están y sin ningún costo adicional, en comparación a los costos elevados que se tendría que realizar inicialmente si se quiere habilitar estas tierras para cultivos sensibles y además durante el desarrollo de los cultivos para controlar la elevación de la salinidad (Orsag, 2010).

En el altiplano boliviano existen plantas forrajeras nativas como el qauchi (*Saueda foliosa*) y el atriplex (*Atriplex ssp.*) y cultivos como la quinua y algunas variedades de papa amarga, que se desarrollan en medios adversos de suelos (salinidad y sodicidad), produciendo forrajes o alimentos con alto valor proteico para los animales y el hombre (Orsag, 2010).

No todas las especies forrajeras presentan tolerancia a este tipo de suelos, entre las diversas especies forrajeras adaptadas a suelos salinos se destaca el agropiro alargado var. Alkar (*Thinopyrum ponticum*).

1.1. Antecedentes

Trabajos realizados por Yensen (1988), sobre un inventario de plantas nativas en las áreas semiáridas y áridas del mundo, han permitido identificar cerca de 1000 especies tolerantes a sales (halófitas) y con alta capacidad para producir alimentos, forrajes, energía, fibras, resinas, aceites esenciales y otros productos para la industria farmacéutica (citado en Orsag, 2010).

En varios ensayos en poáceas, Ashraf (1994) evaluó la variabilidad de la tolerancia a la salinidad en poblaciones nativas obtenidas en sitios contrastantes en salinidad edáfica. Las poblaciones provenientes de lugares salinos fueron las más tolerantes a la salinidad;

sin embargo, las de lugares no salinos presentaron variabilidad para dicho carácter. Es posible que la tolerancia este subyacente en dichas poblaciones debido a una falta de selección natural. Así mismo investigaciones en Israel muestran que es posible producir ciertos cultivos para conservas, con aguas cuya conductividad eléctrica está entre 4 a 7 dSm^{-1} , otros autores reportan la producción comercial de alfalfa y tomates con agua de riego cuya conductividad eléctrica es de 3 a 5 dSm^{-1} . Sin embargo, estos autores coinciden en que tienen una pobre calidad agronómica, por consiguiente, presentan una alta variabilidad en la germinación y maduración, los cuales no son deseables en la agricultura convencional (citado en Orsag, 2010).

Por otra parte, trabajos realizados por Bazzigalupi, *et al.* (2008), evalúan la germinación en estrés salino por soluciones de cloruro de sodio, donde el número de semillas germinadas disminuyó con el incremento de la conductividad eléctrica, demostrando la sensibilidad de los cultivos a altos niveles de salinidad durante la etapa de germinación de las semillas.

1.2. Planteamiento del problema

Los suelos salinos no permiten el crecimiento de especies vegetales con excepción de muy pocas especies del grupo de las halófitas.

En los últimos años, grandes superficies de suelo del altiplano se están salinizando, lo cual seguirá en aumento con el calentamiento global.

Existen sugerencias y técnicas para el manejo de suelos salinos, pero bajo las condiciones actuales no existen experiencias replicables, particularmente en comunidades del altiplano boliviano, siendo necesario probar especies tolerantes a salinidad de uso forrajero.

1.3. Justificación

En el altiplano boliviano, las especies nativas que crecen en suelos salinos se reducen a pocas especies como el qawchi (*Suaeda foliosa*) y atriplex (*Atriplex minutifolia*, *Atriplex desertícola*), salicornia, chiji, entre otras.

Con relación a especies forrajeras gramíneas, la información sobre el comportamiento en suelos salinos es escaso o inexistente, por lo que los suelos salinos del altiplano resultan ser improductivos. Sin embargo, se conoce que la salinización de los suelos es un factor que limita la selección y rendimiento de los cultivos en la región altiplánica de Bolivia, por tal razón es pertinente buscar alternativas de cultivos tolerantes a la salinidad y de esta manera contribuir a la adaptación a los efectos negativos sobre el cambio climático en zonas áridas, con relación a la producción de especies forrajeras y otros cultivos en medio salino.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de tres niveles de salinidad en el crecimiento del pasto agropiro variedad Alkar (*Thinopyrum ponticum*) mediante reproducción sexual y vegetativa.

2.2. Objetivo específico

- Determinar el porcentaje de germinación de semillas del pasto agropiro var. Alkar bajo niveles de salinidad en condiciones de laboratorio.
- Determinar el porcentaje de emergencia en bandejas en tres niveles de salinidad en ambiente protegido.
- Evaluar el crecimiento de pasto reproducido por vía sexual y vegetativa en sustrato homogéneo con riego y niveles de salinidad.

- Evaluar el rendimiento del pasto agropiro var. Alkar en materia verde y materia seca, expresado en toneladas/hectárea.

2.3. Hipótesis

- Los niveles de salinidad estudiados no presentan diferencias en el rendimiento y crecimiento del Agropiro alargado var. Alkar.
- El crecimiento del pasto agropiro var. Alkar no presenta diferencias en los métodos de reproducción, sexual y vegetativa.

3. REVISION BIBLIOGRAFICA

3.1. Descripción de la especie (*Thinopyrum ponticum*)

El agropiro alargado var. Alkar es una gramínea perenne originaria del sur de Europa y Asia Menor, introducida a América desde Estados Unidos, entre 1909 y 1950, y ahora se encuentra a través de todos los estados del oeste de los Estados Unidos y la mayoría de las provincias canadienses. Por su rusticidad, resistencia a sequías y adaptación a suelos hidromórficos y salinos se ha difundido y naturalizado en los suelos del Sur de América (Bazzigalupi *et al*, 2008; USDA, 2017).

El cultivo es de desarrollo inicial lento, luego forma, matas grandes y en condiciones ambientales favorables crece activamente en primavera, verano y otoño, mientras que en invierno es poco activo por efecto de las bajas temperaturas (Acuña *et al.*, 2015).

El agropiro presenta un crecimiento cespitoso, con un macollaje abundante, formando matas muy densas que mide entre 70 a 180 cm de altura cuando esta florecida. Su sistema radical es homogéneo, poderoso y profundizante. Sus hojas son largas de menos de 10 mm de ancho, rígidas, verdes y glaucas. La inflorescencia es una espiga dística de 12 a 25 cm de largo con espiguillas con 5 a 10 flores. Presenta fruto cariopsis linear y fusiforme. Produce forraje durante todo el año, pero su máxima producción ocurre en primavera. Se utiliza para heno y ensilaje (Asay y Knowles 1985, citado en Pistorale *et al.*, 2008).

3.1.1 Sinonimia o nombres alternativos

La clasificación y nomenclatura de las especies de pasto trigo o agropiro ha sido objeto de mucho debate taxonómico (Assadi & Runemark, 1995; Mizianty *et al.*, 1999; Murphy & Jones, 1999 citados en Csete *et al.*, 2011). En consecuencia, los representantes de este género se conocen por varios nombres científicos y vernáculos. Según el

Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2017) esta especie tiene los siguientes nombres alternativos (Cuadro 1):

Cuadro 1: Nombres alternativos del Agropiro alargado

Símbolo	Nombre Científico	Otro nombre común
AGEL3	<i>Agropyron elongatum</i> (Host) P. Beauv.	
AGVA80	<i>Agropyron varnense</i> (Velen.) Hayek.	
ELEL8	<i>Elymus elongatus</i> (Host) Runemark	
ELELP	<i>Elymus elongatus</i> (Host) <i>Runemark var. ponticus</i> (Podp.) Dorn	
ELVA2	<i>Elymus varnesis</i> (Velen.) Runemark	
ELEL6	<i>Elytrigia elongata</i> (Host) Nevski	
ELPO	<i>Elytrigia pontica</i> (Podp.) Holub	
ELPOP2	<i>Elytrigia pontica</i> (Podp.) Holub. Spp. Pontica	Pasto trigo alto
LOEL2	<i>Lophopyrum elongatum</i> (Host) Á. Löve	

Fuente: USDA (2017)

3.1.2 Clasificación taxonómica

Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2017) esta especie se clasifica de la siguiente manera (cuadro 2):

Cuadro 2: Clasificación taxonómica

Rango	Nombre científico y nombre común
Reino	Plantae - planta
Subreino	Tracheobionta – Planta vascular
Superdivision	Spermatophyta – Planta con semilla
División	Magnoliophyta – Planta con flor
Clase	Liliopsida - Monocotiledonea
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales
Familia	Poaceae / Gramineae – Familia de hierba
Genero	<i>Thinopyrum</i> Á. Löve
Especie	<i>Thinopyrum ponticum</i> (Podp.)

Fuente: USDA (2017)

3.1.3 Usos y aprovechamiento de la especie

- Pastoreo. – El agropiro se usa para heno y en pastos en el norte de las grandes llanuras y regiones Inter montañosas. Se produce altos rendimientos de forraje de buena calidad, sin embargo, es típicamente menos apetecible que otros pastos. Es el más adecuado para el pastoreo rotacional de principio de temporada.
- Control de la erosión. – El agropiro se utiliza a menudo para el control de la erosión a lo largo de los bordes de carretera y otras áreas críticas.
- Suelos salinos y sódicos. - El agropiro se planta como forraje en suelos salinos y sódicos donde pocas especies sobrevivirán. Es uno de los pastos más tolerantes a la salinidad disponibles en el mercado.
- Biocombustible. - El agropiro actualmente está siendo evaluado como una posible fuente de etanol celulósico. Pueden existir problemas, sin embargo, con la producción de biomasa de agropiro en ambientes salinos debido a las altas concentraciones de sales y metales pesados, así como niveles potencialmente altos de emisiones de óxidos nitrosos y sulfúricos.
- Eliminación de nutrientes. - En Texas, las aplicaciones de estiércol lácteo compostado aumentaron los rendimientos de materia seca y las concentraciones de fósforo y potasio en pasto agropiro, lo que indica que podría utilizarse para la eliminación de nutrientes.
- Tablets de partículas. - La sociedad Estadounidense de Ingenieros Agrícolas (ASAE) ha determinado que se puede producir tabletas de partículas de alta calidad usando pasto agropiro.
- Protección contra el viento. – En un estudio realizado en Saskatchewan, Canadá, los rompe vientos altos de pasto trigo con varios años de crecimiento mejoraron los niveles de humedad del suelo y los rendimientos de alfalfa.
- Vida silvestre. – El pasto agropiro proporciona cobertura de anidación y alimento para aves de tierras altas.
- Mejoramiento de plantas. – El pasto agropiro se usa en programas de mejoramiento para transferir genes de tolerancia a la salinidad, sequía y resistencia a enfermedades al trigo anual.

3.2. Suelos salinos y/o sódicos

Los suelos denominados suelos salinos, salino sódicos y sódicos presentan algunas limitaciones para la producción agropecuaria, debido a que las sales inciden no solo sobre las propiedades del suelo sino, en forma indirecta, sobre el desarrollo de las plantas. En este sentido es importante conocer los procesos de acumulación de sales en el perfil del suelo y poder clasificar estos según sus limitantes (Hervé *et al.*, 2002).

3.2.1 Origen y formación de los suelos salinos y/o sódicos

Según Hervé *et al.* (2002), la presencia de sales en el suelo, en primer lugar, tiene que ver con los procesos naturales de mineralización o meteorización de las rocas durante la formación de los suelos. La presencia de sales solubles en zonas secas también se puede deber a la existencia de antiguos depósitos secundarios, donde antes existían lagos. Tal es el caso de los antiguos lagos Minchin y Ballivian en el altiplano boliviano, cuyos sedimentos contienen elevadas cantidades de sales solubles debido al aporte de sales de toda su cuenca y a la concentración paulatina de sales durante la desaparición de estos lagos. Estas sales acumuladas en los sedimentos contribuyen a la concentración de sales en los suelos formados a partir de estos minerales. En condiciones naturales, existe una relación marcada entre la ocurrencia y presencia de suelos salinos / sódicos con condiciones climáticas áridas y semiáridas, debido a que, en estos climas, la evapotranspiración potencial (ETP) en la mayoría de los meses del año es mayor a la precipitación (P). Bajo estas condiciones, las escasas precipitaciones no permiten el lavado de sales desde las capas superficiales del suelo y los movimientos ascendentes del agua del subsuelo facilitan su acumulación en los horizontes superficiales.

Este autor indica que los valles cerrados, llanuras planas o de depresión, sin drenaje adecuado de descarga como el caso de la llanura fluvio-lacustre del río Desaguadero, son sitios de acumulación paulatina de sales. Estos procesos son favorecidos por el predominio de partículas finas (arcilla o limo) en el subsuelo que no permite un movimiento descendente del agua y por la presencia de napas freáticas superficiales.

Así mismo, como estas áreas son muy planas, el escurrimiento superficial es nulo o escaso, y por lo tanto no se produce una evacuación superficial de las sales hacia otros lugares. A las causas naturales se añade un uso de los recursos como la cobertura vegetal, suelo y agua, que puede favorecer los procesos de salinización/alcalinización de las tierras de cultivo y pastoreo. En la llanura, el pastoreo excesivo y la extracción de leña exponen los suelos sin agregados estables debido a su contenido en arcilla y limo, a la erosión hídrica y eólica, y a una mayor tasa de pérdida de agua del suelo por evaporación, contribuyendo a la acumulación de sales y/o sodio en los horizontes del suelo. Por otro lado, el riego aplicado con deficiencias de drenaje y aguas con contenido de sales pueden favorecer los procesos de salinización/alcalinización.

3.2.2 Salinización

La salinización es el proceso inicial que provoca la acumulación paulatina de sales en el perfil del suelo, principalmente por la evaporación que sufre el agua de este (zonas secas) o cuando no se logra drenar adecuadamente las aguas superficiales y subterráneas del mismo (Orsag, 2010, pág. 272). Los sulfatos y carbonatos de calcio son menos solubles por lo que se acumulan más lentamente.

El proceso de salinización consiste en la concentración de sales más solubles que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cuya solubilidad es de 2.41 g L^{-1} , en los horizontes o capas del perfil del suelo. Las principales sales solubles encontradas en los suelos salinos son cloruros, sulfatos y bicarbonatos de Na, Ca, y Mg. En menor cantidad podemos encontrar potasio (K^+), Amonio (NH_4^+), nitratos (NO_3^-) y carbonatos (CO_3^{2-}). Las fuentes suministradoras de sales solubles son, primordialmente, los minerales primarios formadores de rocas, por intemperismo químico, siendo el agua el principal agente cargador (Raj *et al.*, 2016).

3.2.3 Sodificación

La sodificación es el “proceso por el cual aumenta el contenido de sodio intercambiable gracias al intercambio de sodio de las sales de la solución por otros cationes del complejo

absorbente” (Hervé *et al.*, 2002, pág. 61). Este proceso de forma paulatina no necesariamente produce incremento en el pH.

Pasaje de Na⁺ de forma de ion soluble para el complejo de intercambio, comienza a tener importancia cuando este catión constituye la mitad o más de los cationes solubles de la solución del suelo (USSL Staff, 1954 citado en Raj *et al.*, 2016). En estas condiciones los iones de Ca²⁺ y Mg²⁺, por ser menos solubles, precipitan cuando la solución del suelo se concentra en consecuencia de evapotranspiración, quedando el Na⁺, prácticamente como un único catión presente en la solución. Por este motivo, el Na a pesar de tener menor poder de cambio, logra desplazar los otros cationes por acción de masa (Ribeiro *et al.*, 2009 citado en Raj *et al.*, 2016).

3.2.4 Alcalinización

Al acumularse las sales en los suelos, se establece un equilibrio inicial entre los iones cargados positivamente en la solución y los absorbidos en los coloides del suelo. Como las sales de sodio se concentran más en la solución del suelo, se absorben mayores cantidades de este catión. Al aumentar el porcentaje de sodio intercambiable y acumularse carbonato de sodio, puede ocurrir una hidrólisis del Na⁺ intercambiable o la formación de Na₂CO₃, lo que produce un incremento del pH hacia valores cerca de 10. Bajo estas condiciones, se produce la dispersión de arcillas y de la materia orgánica. La movilización de la materia orgánica en solución da lugar a la formación de eflorescencias negras en la superficie del suelo. En las clasificaciones antiguas estos procesos recibían el nombre de Alkali negro (Hervé *et al.*, 2002).

3.2.5 Desalinización

La desalinización es el proceso por el que se lavan las sales solubles que se han acumulado en los suelos. Generalmente, cuando las sales se han extraído en su mayor parte, los coloides tienden a dispersarse y a disminuir la permeabilidad del suelo (Orsag, 2010).

3.2.6 Solutización

La solotización, también denominada degradación, inicialmente remueve el sodio intercambiable del horizonte A, permaneciendo el B todavía sódico, y puede llegar a quitar el sodio de todo el perfil, resultando en perfiles no salinos y no sódicos. Si el suelo está sujeto a una desalinización y no contiene yeso o calcio, no existen bases para reemplazar al sodio, después de que se han extraído las sales solubles, el sodio intercambiable tiende a hidrolizarse y formar hidróxido de sodio y en el complejo de cambio este catión es reemplazado por el hidrógeno. El hidróxido de sodio reacciona fácilmente con el anhídrido carbónico del aire, formando carbonato de sodio. Cuando se produce un lavado intenso de estos suelos, puede haber una eliminación del carbonato de sodio y el hidrogeno del complejo absorbente es reemplazado por el sodio, produciéndose un descenso del pH. Generalmente los suelos alcalinos degradados presentan un pH menor a 6 (Raj *et al.*, 2016; Orsag, 2010).

3.2.7 Diferencia entre salinidad y alcalinidad

El blog de arvensisagro (2014) indica que en el suelo pueden existir diferentes tipos de sales, las principales son las formadas por calcio, magnesio y sodio, y que aportan unas características u otras a cada tipo de suelo dependiendo de su concentración. Cuando las acumulaciones del suelo son de calcio o de magnesio, se dice que se produce un fenómeno de salinización del suelo; sin embargo, si lo que se acumula en el suelo es el sodio, se produce una alcalinización.

3.3. Clasificación química y caracterización de los suelos salinos y sódicos

Los suelos halomórficos, formados por los procesos de salinización, sodificación y solotización, son usualmente clasificados en base a dos criterios:

- 1) El contenido total de sales solubles.
- 2) El porcentaje de sodio intercambiable.

En virtud de la propiedad de los iones en conducir la corriente eléctrica, la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes) es el método más rápido y simple para determinar el total de sales solubles del suelo, teniendo en cuenta que la conducción de la corriente eléctrica es directamente proporcional a la cantidad de iones en solución (Donahue *et al.*, 1977 citado en Raj *et al.*, 2016)

En tal sentido Bertram (2017), afirma que la conductividad eléctrica (CE) del suelo o la concentración salina del mismo a los 5 cm de profundidad, es un parámetro muy predictor del éxito o fracaso de la futura implantación de la pastura, en función de su tolerancia en estadios tempranos a efectos osmóticos como tóxicos.

A partir de los conceptos de salinidad anteriormente citados, autores como Otero *et al.* (2007) sugiere que los criterios de diagnóstico que se utilicen para la clasificación de los suelos afectados por salinidad se basen en un conjunto de parámetros, fundamentalmente en el análisis de la relación que existe entre ellos; así como la valoración no solo del contenido total de iones, sino también, de todos los aspectos que en el agroecosistema provoquen afectaciones o deterioro significativo de la fertilidad de estos suelos. Bunning & Lane (2003) separan a los indicadores de degradación de las tierras a nivel local, del ecosistema y nacional (citados en Otero *et al.*, 2007).

Los indicadores químicos de salinidad de carácter global utilizados para la caracterización y el diagnóstico de la afectación por la salinidad son la conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y el pH (Otero *et al.*, 2007; Raj *et al.*, 2016; Hervé *et al.*, 2002; Badia ,1992; Flores *et al.*, 1996; USSL STAFF, 1954), cuyos parámetros permiten separar a los suelos afectados por salinidad en tres grupos (cuadro 3).

Cuadro 3: Indicadores químicos de salinidad

Clasificación	pH	CE (dS m ⁻¹)	PSI (%)	Proceso
Salinos	<8.5	>4	<15	Salinización
Sódicos	>8.5	<4	>15	Sodificación
Salino-Sódicos	>8.5	>4	>15	Salinización -Sodificación

Fuente: Otero *et al.* (2007)

3.3.1 Suelos salinos

Los suelos son considerados salinos cuando la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes) es menor a 4 dS m^{-1} y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es menor al 15 %, generalmente el pH de estos suelos es menor a 8.5, son suelos que contienen suficiente cantidad de sales solubles para interferir en el desarrollo de la mayoría de cultivos, presentan altos niveles de salinidad, en época seca se caracterizan por presentar costras blancas en la superficie, esos suelos corresponden al descrito por Hilgard (1906) como suelos “álcali blanco” y a los “Solonchacks” de autores rusos en los antiguos sistemas de clasificación (Raj *et al.*, 2016; Hervé *et al.*, 2002; Orsag, 2010).

Las características químicas de los suelos salinos quedan determinadas principalmente por el tipo y cantidad de sales presentes. La cantidad de sales solubles presentes controla la presión osmótica de la solución del suelo. El sodio rara vez representa más de la mitad del total de los cationes solubles y, por lo tanto, no es adsorbido en forma importante. Las cantidades relativas de calcio y magnesio, presentes en la solución del suelo y en el complejo de intercambio varían considerablemente.

Tanto el potasio soluble como el intercambiable son, en general, constituyentes de menor importancia. Los aniones principales son el cloruro, el sulfato y a veces el nitrato. Pueden presentarse también pequeñas cantidades de bicarbonato, pero invariablemente los carbonatos solubles casi no se encuentran. A parte de sales rápidamente solubles, los suelos salinos pueden contener sales de baja solubilidad, como el sulfato de calcio (yeso) y carbonatos de calcio y magnesio (caliza). Los suelos salinos casi siempre se encuentran floculados debido a la presencia de un exceso de sales y a la ausencia de cantidades significantes de sodio intercambiable. En consecuencia, la permeabilidad es igual o mayor a la de suelos similares no salinos (Hervé *et al.*, 2002).

3.3.2 Suelos sódico – salinos

Los suelos son clasificados como sódico-salinos cuando el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) tiene valores mayores a 15 % y cuya conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes) es mayor a 4 dSm⁻¹. El pH de estos suelos rara vez está por encima de 8.5 y los coloides del suelo permanecen floculados. Este tipo de suelos se forma como resultado de los procesos combinados de salinización y acumulación de sodio. Siempre que contengan un exceso de sales, su apariencia y propiedades son similares a las de los suelos salinos. Si el exceso de sales solubles es lavado, las propiedades de estos suelos pueden cambiar notablemente, llegando a ser idénticas a las de los suelos sódicos no salinos. A medida que la concentración de sales disminuye en la solución, parte del sodio intercambiable se hidroliza para formar hidróxido de sodio que, a su vez, puede cambiarse en carbonato de sodio. En cualquier caso, el lavado de este tipo de suelo dispersa las partículas, facilita la penetración del agua y las labores de labranza, pero puede hacerlo mucho más alcalino (pH mayor a 8.5). Aunque el retorno de las sales solubles puede hacer que baje el pH y que las partículas regresen a una condición floculada, el manejo de los suelos sódico-salinos sigue siendo un problema hasta que se elimine el exceso de sales y de sodio intercambiable de la zona radicular del cultivo y se reestablezcan las condiciones físicas del suelo. Cuando se lavan suelos sódico-salinos que contienen yeso, eliminando simultáneamente el exceso de sales, el calcio se disuelve reemplazando al sodio intercambiable (Raj *et al.*, 2016; Hervé *et al.*, 2002; Orsag, 2010).

Sobre este tipo de suelos Orsag (2010) indica que estos suelos afectados por procesos más avanzados de acumulación de sales y sodio en el complejo de cambio ya no pueden ser recuperados con un simple lavado y requieren la aplicación de mejoradores químicos.

3.3.3 Suelos sódicos-no salinos

Estos suelos se caracterizan por tener una conductividad eléctrica en extracto de saturación (CEes) menor a 4 dSm⁻¹ a 25 °C, y cuyo porcentaje de sodio intercambiable es mayor a 15 %. El pH generalmente varía entre 8.5 y 10, resultante de la hidrólisis del

sodio (Na) del complejo de intercambio, formando Na_2CO_3 . Estos suelos parecen, en ciertos casos, a los “Solenetz”, citados por muchos autores, con mucha frecuencia se encuentran en las regiones áridas y semiáridas en áreas pequeñas e irregulares conocidos como “manchas de álcali impermeables”. Siempre que en los suelos o agua de riego no se encuentre yeso, el drenaje y lavado de los suelos sódico-salinos conduce a la formación de suelos sódicos no salinos, con un aumento del pH por el mayor hidrolisis del sodio intercambiable (Raj *et al.*, 2016; Hervé *et al.*, 2002; Orsag, 2010).

En los suelos altamente sódicos la materia orgánica dispersa y disuelta puede depositarse en la superficie debido a la evaporación causando así un ennegrecimiento y dando origen al termino “álcali negro” (Hilgard, 1906 citado en Hervé *et al.*, 2002).

Hervé *et al.* (2002) indica que después de largo tiempo, los suelos sódicos no salinos adquieren características morfológicas peculiares. Debido a la gran dispersión de la arcilla parcialmente saturada con sodio, esta puede ser transportada hacia abajo y acumularse en los niveles inferiores. Como resultado, unos cuantos centímetros del suelo superficial pueden presentar textura relativamente gruesa y quebradiza, aunque más abajo, donde se acumula arcilla, el suelo puede desarrollar una capa densa y de baja permeabilidad, con estructura prismática o columnar, que lo hace difícil de labrar.

3.4. Parámetros principales para la evaluación de la salinidad

Raij *et al.*, 1983 (citado en Raj *et al.*, 2016) indica que diversas medidas de laboratorio son usadas para evaluar la salinidad del suelo, siendo las más importantes:

- pH.
- Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes).
- Porcentaje de sodio intercambiable (PSI).
- Para evaluar el peligro de sodificación del suelo por el uso del agua de irrigación se utiliza un índice denominado relación de adsorción de sodio (RAS).

3.4.1 El pH del suelo

La reacción de solución del suelo generalmente se expresa en términos de pH, Richards (1954) (citado en Raj *et al.*, 2016) expresa que este es definido como el logaritmo negativo de la concentración molar de los iones de hidrogeno, es decir:

$$\text{pH} = \log \frac{1}{[\text{H}^+]} = -\log[\text{H}^+]$$

En 1909, el danés Sören Sørensen propuso una alternativa para expresar la concentración de H⁺. Sørensen sugirió que, en lugar de usar números en forma decimal o exponencial, se empleara una transformación logarítmica de la concentración molar de protones a la que llamó pH. Como resultado de la transformación, los números fraccionarios se convierten en números con enteros positivos, y como es inversa, mientras mayor es la concentración de H⁺, el valor del pH es menor (Velázquez *et al.*, 2009; Al-Químicos, 2010; Raj *et al.*, 2016; Javier, 2016). Hoy en día el pH es la forma más común de expresar la acidez y la alcalinidad.

Jackson (1964) señala que son diversos los factores que afectan el pH del sistema del suelo, citándose entre otros, el grado de desecación de la muestra durante su preparación, contenido de agua del suelo, contenido de sales solubles y CO₂ e intensidad de molinaje de la muestra (citado en Flores *et al.*, 1996).

La reacción del suelo puede ser acida, neutra o alcalina, conforme la concentración de iones de hidrogeno (H⁺) o hidroxilo (OH⁻). Cuando hay predominio de iones de H⁺ sobre los iones OH⁻ la relación es acida, y en caso contrario es alcalino. En situaciones donde las concentraciones de iones H⁺ y OH⁻ son iguales, se dice que las reacciones son neutras (Raj *et al.*, 2016).

Según Garcia *et al.* (2004), el pH puede venir medido en agua o en cloruro potásico. El valor de pH medido en cloruro potásico va a ser siempre menor que en agua. El pH del suelo nos va a dar idea de la movilidad de los nutrientes, variedades más aconsejables, toxicidades, actividad microbiana, etc.

Cuadro 4: Denominación de los suelos según el pH

pH	Denominación de los suelos
3 – 4.5	Suelos extremadamente ácidos
4.5 – 5	Suelos fuertemente ácidos
5 – 5.5	Suelos muy ácidos
6 – 6.75	Suelos débilmente ácidos
6.75 – 7.25	Suelos neutros
7.25 – 8.5	Suelos básicos o alcalinos
>8.5	Suelos muy alcalinos

Fuente: García *et al.* (2004)

3.4.2 Conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes)

La conductividad eléctrica (CE) mide la concentración total de sales en una solución, pero esta no indica que sales están presentes, esta es la medida de la capacidad que tiene un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente eléctrica a través de este. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. La CE se expresa en dS/m (anteriormente denominado mmho/cm). Cuando se habla de la CE, debemos siempre especificar si es la CE del agua de riego, la CE del agua de drenaje o la CE de la solución del suelo. En el caso de la CE de la solución del suelo, hay que especificar en qué estado de humedad del suelo. En laboratorios de suelo se determina la CE del extracto de suelo saturado o una relación determinada de suelo: agua (Gat Fertiliquidos, 2017).

Según Richards (1954) diferentes relaciones de suelo: agua son utilizadas para la determinación de la CE de una muestra de suelo, de forma rápida y eficiente (por ejemplo 1:1, 1:2 y 1:5) (citado en Raj, 2016). Sin embargo, la seguridad de las determinaciones depende del suelo y de las sales presentes en el suelo.

El siguiente cuadro (cuadro 5) relaciona la medición de la CE en extracto de suelo saturado con la medición en distintas relaciones de suelo: agua:

Cuadro 5: CE en extracto saturado en distintas relaciones suelo: agua

Conductividad de extracto de suelo saturado	Conductividad de suelo 1:2	Conductividad de suelo 1:5
0.00 a 0.75	0.00 a 0.25	0.00 a 0.12
0.75 a 2.00	0.25 a 0.75	0.12 a 0.35
2.00 a 3.50	0.75 a 1.25	0.35 a 0.65
3.50 a 5.00	1.25 a 1.75	0.65 a 0.90
5.00 a 6.00	1.75 a 2.25	0.90 a 1.10
> 6.00	> 2.25	> 1.10

Fuente: Gat Fertilizantes (2017)

A medida que el suelo se seca, la CE de la solución del suelo va en aumento. A una misma cantidad de sales aplicada al suelo, la concentración de las sales en la solución de suelo en capacidad de campo será menor, cuanto más agua sea capaz de retener el suelo (Gat Fertilizantes, 2017).

Conociendo la CE podemos evaluar aproximadamente, otros parámetros:

- Contenido de sales en la solución (en gramos/litro) = CE (dS/m) a 25°C x 0.64
- Presión osmótica de la solución (en atmosferas) = CE (dS/m) a 25°C x 0.36
- Contenido de sales en el agua (en meq/L) = (dS/m) a 25°C x 10

Otra forma de medir la salinidad es mediante el índice de sales totales, expresado en porcentaje (%), o en partes por millón (ppm). Para estudios fisiológicos es más común el uso de la concentración molar de la solución (mM o meqL⁻¹) (Ruiz Baena, 2017).

3.4.3 Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)

En el estudio de suelos con problemas de sales, el porcentaje que el sodio del suelo representa en relación con los cationes adsorbidos constituye un factor de gran importancia, siendo denominada por la literatura porcentaje de sodio intercambiable (PSI). Este valor es obtenido por la siguiente fórmula:

$$PSI = \frac{Na}{(Ca + Mg + K + Na + H + Al)} * 100$$

*Todas las concentraciones en miliequivalentes /litro

En el Cuadro 6 se muestra la clasificación de suelos de acuerdo con el PSI.

Cuadro 6: Clasificación de suelo de acuerdo con el PSI

Clase	PSI
No sódicos	<7
Ligeramente sódicos	7-10
Medianamente sódicos	11-20
Fuertemente sódicos	21-30
Excesivamente sódicos	>30

Fuente: Raj *et al.* (2010)

3.4.4 Relación de adsorción de sodio

El RAS es un índice que expresa la posibilidad de que el agua de irrigación provoque la sodificación del suelo. La relación de adsorción de sodio (RAS) del agua de irrigación es el parámetro de mejor correlación con el PSI del suelo. Entre el complejo de intercambio y la solución del suelo existe un equilibrio en lo que se refiere a los cationes adsorbidos y disueltos (Raj *et al.*, 2016).

3.5. El agua salina

Raj *et al.* (2016) indica que el agua es el principal constituyente de las células vegetales, pudiendo alcanzar hasta el 95% de su peso total.

Este es el elemento esencial que gobierna los procesos biológicos de la tierra, siendo este el constituyente vital y principal de las plantas, participando de todos los fenómenos físicos, químicos y biológicos esenciales en su desenvolvimiento, su mayor importancia se deriva del efecto que tiene sobre la producción. Es así que el agua se comporta como un insumo al que las plantas responden en forma significativa según el grado en que su disponibilidad sea adecuada, tanto en cantidad como en calidad.

Para Reichardt (2004) el agua también actúa como vehículo de transporte de nutrientes, minerales y productos orgánicos de fotosíntesis absorbidos del suelo y conducidos para las plantas a través de una continua demanda evapotranspirativa, con destino a la atmósfera. De todas las sustancias absorbidas por las plantas, el agua es obviamente la

que necesita en mayor cantidad. Las raíces absorben agua del suelo, que luego es llevada a través de la planta, gran parte del agua se recoge a través de los filamentos de las raíces, el agua, siendo un disolvente, mueve minerales del suelo a través de la planta (citado en Raj *et al.*, 2016).

Muller (2008) indica que la mayor parte del agua absorbida por una planta se pierde en forma de vapor por la superficie de las hojas, proceso conocido como transpiración (citado en Raj *et al.*, 2016).

Según este autor, del resto del agua, la mayor parte queda retenida en los tejidos vegetales y solo una porción muy pequeña (0.2%) es utilizada en la fotosíntesis.

Muchos autores reportan una gran cantidad de trabajos que se han hecho tratando de establecer condiciones de desarrollo de los cultivos bajo un cierto nivel de salinidad, preferentemente en la zona del suelo donde hay mayor actividad radicular de las plantas y también sobre la aptitud de las aguas disponibles para ser usadas en el riego. Las condiciones de salinidad y sodicidad presentes en el suelo, están influenciadas por la concentración local de sales; como se expresó en puntos anteriores en este trabajo de investigación, la aplicación del riego es una de las causas de la migración de sales y puede influenciar notoriamente en el desarrollo de una especie. De otra manera, el daño que las sales presentes en el agua de riego causan a las plantas, puede tener un efecto aditivo cuando se utiliza un método de riego u otro, los residuos solubles pueden acumularse en el follaje y causar daño a la planta por absorción foliar, también la acumulación paulatina de sales por el riego en el suelo provocando, en la planta, dificultad de absorción de agua, toxicidad de iones específicos y aumento de la presión osmótica. Sin embargo, Israeksen & Hansen (2003), indican que, teniendo en cuenta que el agua constituye un recurso vital para la agricultura, el agua salina destinada a riego no puede ser considerada inadecuada para este propósito, sin que antes se hayan estudiado todos los factores implicados en la cuestión. A menudo el agua salobre es la única disponible, en cuyo caso es absolutamente necesario aceptar este inconveniente, utilizarla

inteligentemente y dar gracias que existe el agua, aunque su calidad no sea absolutamente satisfactoria.

Según este autor, si la gestión es adecuada se puede mantener una agricultura de regadío utilizando aguas salobres. Por ejemplo, cuanto mayor sea el contenido de sal del agua mayor debe ser el tanto por ciento del agua aplicada que debe ser empleada en lavar el suelo para obtener un balance favorable de sales. En consecuencia, tanto la cantidad de sales como los tipos de estas que hay presentes en el agua de riego deben ser tomadas en cuenta si se quieren alcanzar resultados económicamente rentables.

3.6. Parámetros para determinar la calidad del agua

Rhoades *et al.* (como se citó en Raj *et al.*, 2016) indica que el exceso de sales en la zona radicular tiene en general un efecto deletéreo en el crecimiento de las plantas que se manifiesta por una equivalente reducción en la tasa de transpiración y crecimiento. La excesiva salinidad reduce el desenvolvimiento debido al aumento de energía que necesita para absorber el agua del suelo y el ajuste bioquímico necesario para sobrevivir bajo estrés.

3.6.1 Conductividad eléctrica del agua

Según Doneen (1975) la conductividad eléctrica es el parámetro más empleado para expresar la concentración de sales solubles en agua. La determinación es rápida y tiene buena precisión para la mayoría de las aguas (citado en Raj *et al.*, 2016).

Según García (2012), el agua pura es un mal conductor de la electricidad, pero cuando tiene sales disueltas puede conducirla en forma proporcional a la cantidad de sales presentes. Este concepto se usa para la medición de su salinidad en términos de conductividad eléctrica la cual se expresa en $S\ m^{-1}$.

Si bien la conductividad eléctrica (CE), sirve para medir la concentración total de sales en una solución, esta no indica que sales están presentes. La CE se expresa en dS/m (anteriormente denominada mmho/cm). Cuando se habla de la CE, debemos siempre especificar si es la CE del agua de riego, la CE del agua de drenaje o la CE de la solución del suelo (Gat Fertilizados, 2017).

Según Raj , (2016) este parámetro es el opuesto a la resistividad eléctrica y corresponde a la medida de la capacidad de un agua en conducir electricidad, creciendo proporcionalmente a medida que la concentración de sales aumenta. El agua tiene una conductividad eléctrica (CE) muy baja, del orden de $0.05 \mu\text{S cm}^{-1}$, pudiendo crecer mucho al contener impurezas o sustancias disueltas y se torna un buen conductor eléctrico. Este autor explica que la CE aumenta con la temperatura ambiente, y este valor es medido con una temperatura de referencia, generalmente, $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.6.2 Relación de adsorción de sodio del agua

Esta ampliamente comprobado que los valores altos de porcentaje de sodio intercambiable (PSI), especialmente bajo condiciones de baja salinidad, causan la dispersión de partículas con reducción en la conductividad hidráulica del suelo. La relación de adsorción de sodio (RAS) del agua de irrigación es el parámetro de mejor correlación con el PSI del suelo.

Richards (1954) fue el primero en introducir este concepto en un sistema de clasificación de aguas para irrigación que paso a ser usado y conocido internacionalmente (citado en Raj *et al.*, 2016) representada por la siguiente ecuación:

$$\text{RAS} = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^+] + [\text{Mg}^+]}{2}}}$$

- (Todas las concentraciones en meqL^{-1})

Últimamente, según Raj *et al.* (2016) , el riesgo de sodicidad pasó a ser evaluado con más seguridad relacionando el RAS corregida (RAS^0) con la salinidad del agua, estimada por la ecuación siguiente:

$$\text{RAS}^\circ = \frac{[\text{Na}^+]}{\sqrt{\frac{[\text{Ca}^\circ] + [\text{Mg}^+]}{2}}}$$

Donde:

Na = Concentración de sodio en agua, en $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$

Ca° = Concentración del calcio en agua, corregida por la relación HCO_3^-/Ca ($\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$) y CE (dS m^{-1}) de acuerdo con cuadros (Anexo 5).

Mg = Concentración de magnesio en agua en mmol L^{-1}

El procedimiento que se recomienda para el cálculo del RAS es el propuesto por Suarez (1981), el cual ajusta la concentración de calcio en el agua, al valor de equilibrio esperado después del riego, e incluye además, los efectos del bióxido de carbono (CO_2), el bicarbonato (HCO_3^-) y la salinidad sobre el calcio originalmente contenido en el agua de riego, y que no forma parte del suelo. Además, supone la existencia de una fuente de calcio en el suelo, como la caliza (CaCO_3) u otros minerales, como los silicatos y la inexistencia de precipitación del magnesio (Can *et al.* 2008).

Gat Fertiliquidos (2017), indica que la importancia de medir el RAS radica en que el ion sodio tiene por característica una fuerte tendencia a desestabilizar la estructura del suelo, causando anorexia en las plantas.

Al respecto, Raj *et al.* (2016), expresan que este proceso facilita el entendimiento de las alteraciones que ocurren con el calcio en el agua de suelo a través de reacciones con carbonatos y silicatos.

3.6.3 Total de solidos disueltos del agua

Según García (2012), este parámetro se utilizó inicialmente para apreciar la salinidad de las aguas de riego y, hoy todavía se utiliza cuando no se dispone de un conductímetro. Para su determinación se procede a evaporar un volumen conocido de agua completamente. La presencia de agua higroscópica en la mezcla de sales resultante hace que el total de solidos disueltos (TSD) dependa de las condiciones usadas para el

secamiento. La concentración de las sales en la mayoría de las aguas de riego es menor de 100 mg l⁻¹ pero las aguas subterráneas pueden presentar valores de TSD mayores.

3.6.4 Determinaciones analíticas necesarias en el agua de riego

En el Cuadro 7 se detallan las determinaciones de laboratorio y los cálculos necesarios para evaluar la calidad de un agua de riego.

Cuadro 7: Determinaciones analíticas necesarias en el agua de riego

Parámetro	Símbolo	Unidad	Rango usual
Salinidad			
Conductividad eléctrica	CEa	dSm ⁻¹	0-3
Total solido disueltos	TSD	Mg l ⁻¹	0-2000
Cationes y aniones			
Calcio	Ca ⁺⁺	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-20
Magnesio	Mg ⁺⁺	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-5
Sodio	Na ⁺⁺	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-40
Potasio	K ⁺	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-0.2
Carbonatos	Co ₃ ⁼	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-0.1
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-10
Cloruros	Cl ⁻	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-30
Sulfatos	SO ₄ ⁼	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-20
Nitratos	NO ₃ ⁻	Cmol ₍₊₎ l ⁻¹	0-5
Misceláneos			
Boro	B	mg l ⁻¹	0-2
Reacción	pH		6-8.5
Relación de adsorción de sodio	RAS*	[Cmol ₍₊₎ l ⁻¹] ^{1/2}	0-15

*RAS = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}

Fuente: (García Á. , Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego PRIMERA PARTE, 2012)

3.6.5 Historia de los criterios para evaluar el agua de riego

El sistema propuesto por el Laboratorio de Salinidad del USDA en el manual 60 de Richards en 1954 fue desarrollado para las condiciones promedio de la región árida del Suroeste de los Estados Unidos. Según Plá (1979) la sencillez del sistema y la falta de criterio sobre sus limitaciones por parte de los usuarios ha conducido a un uso general e indiscriminado en situaciones muy diferentes y con alcances más allá de los previstos cuando fue desarrollado. Ello ha provocado errores en los diagnósticos de problemas de salinización, y en las recomendaciones de prácticas de manejo (citado en García 2012).

La iniciativa de los investigadores de la Universidad de California Riverside y del Laboratorio de Salinidad del USDA. Ha permitido establecer criterios modernos que progresivamente llevaron a abandonar los planteados en el manual 60 de Richards. Varios sistemas se propusieron con posterioridad, las cuales fueron recogidas por la FAO (1976^a, 1976^b).

Suarez (1981) propuso variaciones de fondo fundamentado en sus investigaciones sobre los procesos de precipitación de carbonatos que han llevado a construir criterios modernos (citado en García, 2012).

Con base en la tendencia existente hoy en el mundo a definir una forma más cualitativa que cuantitativa las posibilidades de uso de un agua de riego haciendo que los criterios de clasificación se usen en una forma elástica y particular para cada caso, en este trabajo se hace referencia a los criterios propuestos por Ayers y Westcot en el Manual 29 de la FAO (1985), los cuales resumen la mayoría de los principios en uso por el Laboratorio de Salinidad del USDA (USSLab.) y la Universidad de California Riverside.

Según García (2012) estos también se vienen usando exitosamente para la evaluación de las sustancias comúnmente encontradas en las aguas usadas para el riego de cultivos de varias áreas del mundo, incluyendo aguas superficiales, aguas subterráneas, aguas de drenaje y aguas negras.

3.6.6 Parámetros para clasificar el agua de riego para uso agrícola de acuerdo a su nivel de salinidad y sodicidad

Cuadro 8: Criterios para evaluar la calidad de aguas para riego

Parámetro de calidad	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Leve o moderado	Severo
Salinidad ⁽¹⁾				
Conductividad eléctrica (CE)	dS m ⁻¹	<0.7	0.7-3.0	>3.0
Sólidos disueltos totales (TSD)	Mg l ⁻¹	<450	450-2000	>2000
<hr/>				
Sodicidad ⁽²⁾ (Efectos sobre infiltración)				
RAS= 0-3		>0.7	0.7-0.2	<0.2
RAS= 3-6		>1.2	1.2-0.3	<0.3
RAS= 6-12		>1.9	1.9-0.5	<0.5
RAS= 12-20		>2.9	2.9-1.3	<1.3
RAS= 20-40		>5.0	5.0-2.9	<2.9

1. La salinidad afecta la disponibilidad de agua para las plantas. La CEa se reporta en términos de decisiemens por metro a 25°C (dSm⁻¹) o en milimhos por centímetro (mmho cm⁻¹). Ambas medidas son equivalentes siendo la primera la unidad adoptada por el sistema internacional de unidades. TSD equivale a total de sólidos en solución y se expresa en mg l⁻¹.

2. Se refiere al efecto del agua de riego sobre las propiedades hídricas de los suelos causando disminución en la velocidad de infiltración del agua. Se evalúa considerando la CEa y la relación de adsorción de sodio simultáneamente. Esto hace referencia al efecto floculante de las sales y al efecto dispersivo del sodio. A un valor de RAS dado, la velocidad de infiltración incrementa a medida que la salinidad del agua aumenta.

Origen: adaptación hecha por Ayers y Westcot (1985).

Fuente: (García Á. , Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego PRIMERA PARTE, 2012)

Cuadro 9: Toxicidad de iones específicos

Parámetro de calidad	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Leve o moderado	Severo
Toxicidad de iones específicos				
Sodio (Na⁺) ⁽³⁾				
Riego superficial	RAS	<3.0	3.1-9.0	>9.0
Riego por aspersión	Cmol ⁽⁺⁾ l ⁻¹	<3.0	>3.0	
Cloruros (Cl⁻)				
Riego superficial	Cmol ⁽⁺⁾ l ⁻¹	<4.0	4.0-10	>10
Riego por aspersión	Cmol ⁽⁺⁾ l ⁻¹	<3.0	>3.0	
Cloruros (Cl⁻) ⁽⁴⁾				
Riego superficial	Cmol ⁽⁺⁾ l ⁻¹	<4.0	4.0-10	>10
Riego por aspersión	Cmol ⁽⁺⁾ l ⁻¹	<3.0	>3.0	
Boro (B) ⁽⁵⁾	Mg l ⁻¹	<0.7	0.7-0.3	>3.0

3 El Na tiene un efecto toxico sobre muchas especies, además de su capacidad para deteriorar las propiedades físicas de los suelos. El ANEXO # presenta la tolerancia de los cultivos al Na.

4 Véase ANEXO #: tolerancia de los cultivos al Cl⁻.

5 Véase ANEXO #: Tolerancia de los cultivos al B.

Origen: adaptación hecha por Ayers y Westcot (1985).

Fuente: (García Á. , Criterios modernos para evaluacion de la calidad del agua para riego PRIMERA PARTE, 2012)

3.7. Efecto de las sales sobre el suelo

Según Rhoades et al. (1990) en el suelo los efectos negativos de la salinización son desestructuración, aumento de densidad aparente y la retención del agua del suelo, reducción de infiltración de agua por el exceso de iones sódicos y disminución de fertilidad fisicoquímica (citado en Raj 2010).

- Sobre la estructura

El efecto de las sales sobre la estructura del suelo ocurre básicamente, por la interacción electroquímica existente entre los cationes y la arcilla. La característica principal de este efecto es la expansión de la arcilla cuando esta húmeda y la contracción cuando está seca, debido al exceso de sodio intercambiable. Si la expansión es exagerada, pudiera ocurrir la fragmentación de las partículas, causando la dispersión de la arcilla y modificando la estructura del suelo. De modo generalizado, los suelos sódicos, es decir, con exceso de sodio intercambiable, tienen problemas de permeabilidad y cualquier exceso de agua causara encharcamiento en la superficie del suelo, impidiendo la germinación de las semillas y el crecimiento de las plantas por falta de aireación (Raj *et al.*, 2010).

Al respecto Ayers & Westcot (1985) indican que el agua puede causar una reducción severa en la permeabilidad de los suelos cuando su concentración de sales es muy baja ($< 0.5 \text{ dS m}^{-1}$) y, especialmente, cuando es menor de 0.2 dS m^{-1} porque es corrosiva y tiende a lavar la superficie dejándola libre de minerales solubles y sales, especialmente de Ca reduciendo su influencia fuertemente estabilizadora sobre los agregados y sobre la estructura del suelo, facilitando su dispersión y la oclusión de los poros más finos (citados en García, 2012).

3.8. Efecto de las sales en la planta y tolerancia de los cultivos a la salinidad

Los efectos de la salinización sobre las plantas pueden ser causados por las dificultades de absorción de agua, toxicidad de iones específicos y por la interferencia de sales en los procesos fisiológicos (efectos indirectos) reduciendo el crecimiento y el desenvolvimiento de las plantas (Raj *et al.*, 2010).

Según García (2012), el objetivo primario del riego es proporcionar agua a los cultivos en la cantidad adecuada y en el momento oportuno, para evitar pérdida en producción

debidas a los largos periodos de escasez de agua durante las etapas críticas de crecimiento.

Según este autor el riego continuado con aguas que tienen sales en solución puede traer como consecuencia la salinización de los suelos, reduciendo la disponibilidad de agua para la planta. Las sales incrementan el esfuerzo que la planta debe ejercer para extraer el agua: esta fuerza adicional es la que se conoce como efecto osmótico o potencia osmótica. Este es el efecto más común de las sales y es independiente de la clase de sales disueltas. El tipo de daño producido se conoce como la presión relacionada con el potencial osmótico y se identifica por una reducción en la producción proporcional al aumento en la salinidad del suelo por encima de un cierto nivel crítico.

3.8.1 Efecto osmótico

Según Raj *et al.* (2016) las plantas extraen agua del suelo cuando las fuerzas de succión de los tejidos de las raíces son superiores a las fuerzas con que el agua queda retenida en la matriz del suelo, es decir, el mantenimiento de un gradiente de potencial hídrico favorable a la entrada de agua en las células de las raíces. En suelos salinos, las sales solubles en la solución del suelo aumentan las fuerzas de retención de agua debido al efecto osmótico, reduciendo así la absorción de agua por la planta. El aumento de la presión osmótica (PO), causada por el exceso de sales solubles puede llegar a un nivel en que las plantas no tengan fuerzas de succión suficiente para vencer esa PO y, en consecuencia, la planta no absorberá el agua, incluso en suelos húmedos.

Este autor indica que, dependiendo del grado de salinidad, en lugar de absorber, la planta puede incluso perder el agua que hay en sus células y tejidos. Este fenómeno es conocido como plasmólisis y ocurre cuando una solución altamente concentrada entra en contacto con la célula vegetal. El fenómeno se debe a que el movimiento osmótico del agua, que fluye desde las células a la solución más concentrada. (Figura 1). Es importante destacar que la plasmólisis se vuelve evidente cuando la salinidad es demasiado alta en relación con la capacidad de tolerancia de la planta o cuando la raíces están expuestas a un

choque osmótico. En otras situaciones, la planta tiende a ajustar osmóticamente, manteniendo el gradiente de potencial hídrico y la hidratación de los tejidos.

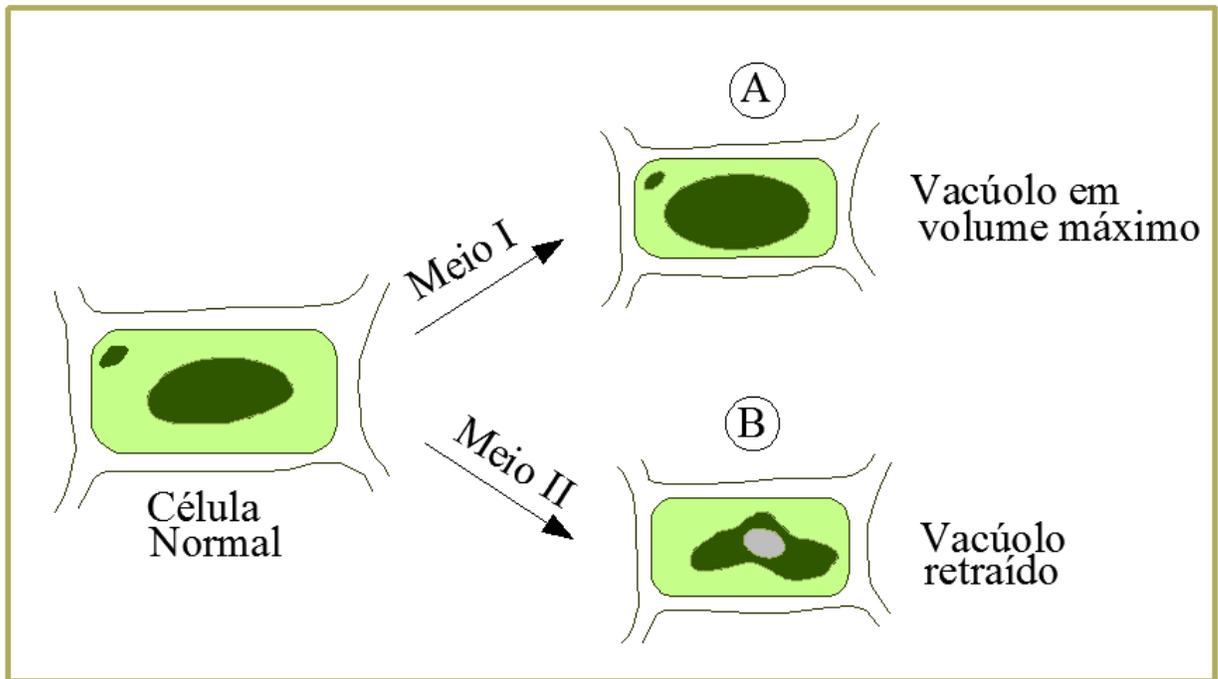


Figura 1: Efecto osmótico

Célula normal, túrgida y plasmolizada debido a los efectos de las sales y el diagrama mostrando las variaciones de volumen de una célula vegetal colocada en diferentes medios.

Origen: Kramer (1983)

Fuente: Raj *et al.* (2016)

En la figura 2 se muestra la curva de retención de agua del suelo, en un suelo arcilloso para distintos niveles de salinidad, se puede observar que la disponibilidad de agua para el cultivo se reduce a la medida en que la salinidad del suelo aumenta, lo que resulta en la reducción de la absorción de agua por las plantas.

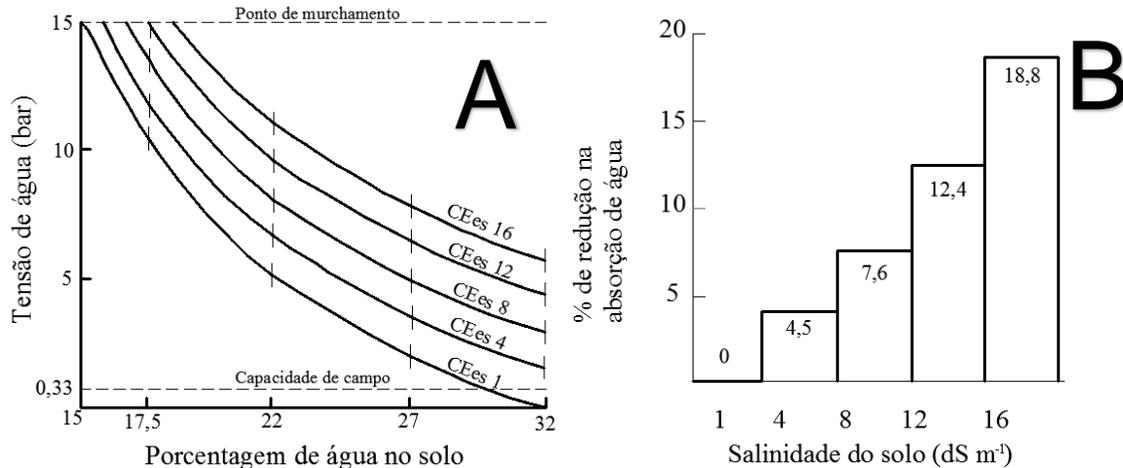


Figura 2: Curva de retención del agua del suelo

Curvas de retención de agua de un suelo franco-arcilloso para varios niveles de salinidad del suelo (A) y porcentaje de reducción en la absorción de agua en función del aumento de la salinidad del suelo (B). CEes=conductividad eléctrica del extracto de saturación.

Origen: Ayers & Westcot (1999)

Fuente: Raj *et al.* (2016)

3.8.1.1 Ajuste osmótico

RODAS (2018), señala que el ajuste osmótico se produce cuando una célula vegetal expuesta a un medio salino equilibra su potencial hídrico perdiendo agua, lo que produce la disminución del potencial osmótico y del de turgencia. Esta situación genera señales químicas que desencadenan posteriores respuestas adaptativas. Durante el proceso de ajuste se produce la acumulación de solutos orgánicos e inorgánicos que reducen el potencial osmótico celular, y la reducción en la conductividad hidráulica de las membranas, posiblemente por la disminución o apertura de los canales de agua (acuaporinas).

Al respecto Raj *et al.* (2010), señala que las plantas tolerantes a la salinidad son designadas como plantas halófitas y pueden necesitar cerca de 15 g l⁻¹ de cloruro de sodio, equivalente a la mitad de la concentración de agua de mar, para completar su ciclo fenológico. Estas plantas absorben, por ejemplo, el cloruro de sodio en altas tasas y lo

acumulan en sus hojas para establecer un equilibrio osmótico con un bajo potencial de agua presente en el suelo. Este ajuste osmótico se da con la acumulación de iones absorbidos en las vacuolas de las células de las hojas, manteniendo la concentración salina en el citoplasma y en las organelas en bajos niveles de modo que no haya interferencia con los mecanismos enzimáticos y metabólicos y con la hidratación de proteínas de las células.

3.8.2 Efecto de iones específicos

Según Raj (2010), estos efectos suceden cuando las plantas absorben las sales del suelo, juntamente con el agua, permitiendo que haya toxicidad en la planta por exceso de sales absorbidas. Este exceso promueve, entonces, desbalanceamiento y daños al citoplasma, resultando en daños principalmente en el borde y ápice de las hojas, a partir de donde la planta pierde, por transpiración, agua habiendo en esas regiones acumulo de sal transportado del suelo a la planta y, obviamente, intensa toxicidad de sales (Raj *et al.*, 2010).

Aunque la mayoría de las plantas responden a la salinidad como una función del potencial osmótico total, hay otras que son susceptibles a ciertos iones en forma específica. Un problema de toxicidad difiere de uno de salinidad en que su efecto ocurre dentro de la planta misma y no se debe a un déficit de agua. Generalmente las plantas absorben los iones y los acumulan en los tejidos foliares; cuando esta acumulación excede ciertos niveles se presenta el daño, la magnitud del cual depende de la concentración, del tiempo, de la sensibilidad del cultivo y el uso de agua por la planta (García, 2012).

Cualquier elemento puede convertirse en tóxico para la planta si su concentración en la solución del suelo es alta, o si se encuentra en desequilibrio con otros elementos. Los elementos que más frecuentemente pueden encontrarse en la solución del suelo en niveles perjudiciales para las plantas son cloro, boro y sodio, en algunos casos se presentan en menor extensión toxicidades por magnesio, litio, sulfatos y elementos traza, residuos de pesticidas y contaminantes provenientes de desechos industriales, el daño

puede ser causado por un ion individualmente o en combinación con otros, sobre todo en zonas áridas y semiáridas, aunque en determinadas condiciones pueden abundar también en regiones más húmedas (Gat Fertiliquidos, 2017; García, 2012).

3.8.2.1 Cloruros

Es la más común de las toxicidades específicas de iones. Este aparece como anión cloruro (Cl^-). El cloruro es indispensable para el desarrollo de la planta, ya que actúa en procesos vitales como la fotosíntesis, transporte de cationes, apertura y cierre de estomas y división celular. Las plantas lo requieren en pequeñas cantidades (no más de 0.5 meq l^{-1} en la solución del suelo), pero cuando su concentración es muy alta el cloruro puede convertirse en un elemento toxico (García, 2012; Gat Fertiliquidos, 2017).

Este ion que permanece libre en la solución del suelo es absorbido por las plantas en forma activa y se mueve de las raíces hasta las hojas en forma rápida, siempre acompañando cationes, donde se acumula. Si en ellas la concentración excede la tolerancia de las plantas se presentan síntomas de toxicidad. Para plantas muy sensibles los síntomas aparecen cuando las hojas acumulan entre 0.3 y 1.0% de cloruros en base seca (García, 2012; Gat Fertiliquidos, 2017).

INTAGRI (2018) señala que al igual que el sodio, es importante el sistema de riego debido a que el efecto negativo que causa el cloro en el follaje es de manera directa cuando se emplea riego por aspersión que cuando se utiliza riego por goteo o gravedad.

Este autor también indica que incrementar los niveles de nitratos en el agua reduce la entrada de cloro a la planta.

Gat Fertiliquidos (2017) presenta una recopilación de varias fuentes sobre los daños que puede provocar el cloruro:

- Necrosis de las puntas de las hojas, que avanza con la acumulación de cloruros, en casos de toxicidad excesiva a menudo es acompañada por defoliación.

- Quemazón o secamiento de los tejidos foliares que se inicia por los ápices y se extiende a lo largo de los márgenes a medida que la severidad de la toxicidad aumenta.
- En casos graves aparecen necrosis también en las puntas de las ramas.
- Caída de hojas, flores y frutos.
- Reducción de la conductividad de los estomas.
- Reducción del potencial hídrico de las hojas.
- Reducción de la fotosíntesis.
- Fruta pequeña y baja producción.
- Inhibición del crecimiento de las plantas.
- Inhibición del crecimiento de las raíces.

Así mismo, este autor muestra que la toxicidad del cloruro está determinada por varios factores como:

- Concentración de cloruro en la solución del suelo.
- Presencia de otros aniones en la solución del suelo.
- Factores climáticos.
- Selectividad de adsorción por las raíces de la planta.
- Capacidad de translocación de raíces a hojas.
- Ritmo de crecimiento en la planta.
- Estado fisiológico de la planta.
- Tolerancia de los tejidos.
- Mecanismos fisiológicos de defensa.

3.8.2.2 Boro

Es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas, en cantidades relativamente pequeñas, sin embargo, cuando se encuentra presente en cantidades apreciablemente mayores que las necesarias puede ser tóxico. Participa en el movimiento de fotosintatos (compuestos que tienen su origen en la fotosíntesis), favorece el movimiento de calcio y

tiene mucha importancia en el proceso de polinización y fecundación del ovulo. Su carencia puede provocar problemas en el cuajado de los frutos. La diferencia entre la concentración requerida (0.3-0.5 ppm) y la toxicidad (1.0 ppm en la mayoría de las plantas cultivadas) es muy pequeña, por lo que se debe tener especial cuidado con este elemento. Para la mayoría de los cultivos los síntomas de toxicidad de B aparecen cuando las concentraciones en los tejidos foliares exceden de 250-350 mg kg⁻¹ (base seca). Incluyen amarillamiento inicial de las hojas más viejas, partiendo de las puntas y difundiéndose hacia la base, moteados necróticos o secamiento de los tejidos foliares en los ápices y en los bordes. El secamiento y la clorosis a menudo progresan intervenalmente hacia el centro de la hoja a medida que el B se acumula con el tiempo (García, 2012; Gat Fertilizantes, 2017; INTAGRI, 2018).

Al respecto Bingham (1984) demostró que el efecto del boro sobre las plantas sigue la misma tendencia que el efecto salino debido al potencial osmótico, por lo cual se puede utilizar una ecuación similar a la propuesta para las sales solubles (citado en García, 2012). En el ANEXO 4 se presenta la tolerancia relativa al B por parte de algunos cultivos.

3.8.2.3 Sodio

Además del daño estructural que causa en los suelos (floculación), también puede causar toxicidad en el cultivo ya que compite con otros iones, como potasio durante la absorción de nutrientes por las raíces y al acumularse en las hojas de algunos cultivos. Debe considerarse el cultivo a establecer al momento de interpretar este parámetro debido a que cada uno de ellos tiene un grado de tolerancia distinta al sodio. Así mismo, debe tomarse en cuenta el sistema de riego, puesto que en los sistemas por aspersión el sodio tiene un efecto tóxico directo sobre la hoja (INTAGRI, 2018).

Para la mayoría de las plantas cultivadas no se ha demostrado que el Na sea esencial, aunque se sabe que puede reemplazar al potasio en algunos casos. Muchas plantas cuentan con mecanismos que reducen la absorción y la translocación del sodio a las hojas, por lo que no es común que aparezcan síntomas de toxicidad en estas, ya que se

acumula en tallos y raíces. Los síntomas de toxicidad incluyen quemazones, encrespamiento de la hoja y muerte de tejidos (necrosis) lo cual ocurre inicialmente en los bordes externos y a medida que la severidad de la toxicidad aumenta, progresa en los tejidos intervenales. Los síntomas aparecen primero en las hojas más viejas y se diferencian de la toxicidad por cloruros en que esta se inicia en el ápice de la hoja (García, 2012; Gat Fertilizantes, 2017).

Al respecto Raj *et al.* (2010) expresa que la toxicidad del sodio es más difícil de diagnosticar que los cloruros, pero ha sido identificada claramente como resultado de alta proporción de sodio en agua (alto contenido de sodio o RAS).

El efecto perjudicial del sodio sobre los cultivos, en la mayoría de los casos, es indirecto, debido a la influencia negativa que tiene este catión sobre la estructura del suelo. El sodio desplaza al calcio y al magnesio del complejo arcillo-húmico, provocando así la dispersión de las partículas del suelo, lo que acarrea el desmoronamiento de la estructura del suelo. El suelo pierde su capacidad de aireación y de infiltración; además, se produce la alcalinización del suelo, pudiéndose elevar el pH por encima de 8.5 (Gat Fertilizantes, 2017).

3.8.3 Efectos indirectos

Según Raj *et al.* (2010), estos efectos indirectos ocurren cuando las altas concentraciones de sodio u otros cationes en la solución interfieren en las condiciones físicas del suelo o en la disponibilidad de algunos elementos, afectando el crecimiento y el desenvolvimiento de las plantas indirectamente.

Este autor refiere que la presencia de un ion en exceso podrá provocar deficiencia o inhibir la absorción de otro, debido a precipitación. La presencia de sales de sodio también tiende a restringir la tasa de mineralización de nitrógeno (N), ya que, con el aumento de su concentración en el suelo, en general la mineralización de N orgánico es

reducida, afectando el crecimiento de la planta, por la reducción de N disponible y no por el exceso de sodio.

3.8.4 Desequilibrio nutricional de las plantas

Entre los factores estudiados para caracterizar los efectos de las sales en la planta, una gran atención debe ser dada al desequilibrio nutricional. Varios estudios han asociado los efectos de la salinidad bajo el desequilibrio nutricional y las interacciones iónicas en el tejido vegetal.

De acuerdo con Yoshida (2002) el aumento de NaCl en la solución del suelo perjudica la absorción radicular de nutrientes, principalmente de K y Ca, interfiriendo en las funciones fisiológicas de la planta. Entonces, la habilidad de los genotipos en mantener altos los niveles de K y Ca y bajos niveles de Na en el tejido vegetal es los mecanismos que contribuyen a expresar la tolerancia de las plantas a la salinidad. En la mayoría de los casos, los genotipos tolerantes a la salinidad son capaces de mantener altas relaciones de K/Na en los tejidos. Por el aumento de la absorción del K y consecuente reducción de la absorción de Na, el K contribuye para mantener la relación K/Na alta en la planta (citado en Raj *et al.*, 2010).

3.8.5 Tolerancia de cultivos a la salinidad

Según González *et al.* (2002), la tolerancia es una propiedad desarrollada por las plantas durante el proceso evolutivo, para poder perpetuar la especie en condiciones donde se producen estrés climáticos o edáficos constantes, o que se repiten periódicamente. Los ejemplares que no se adaptan a esas condiciones adversas se eliminan de la población, mientras que se conservan y dan descendencia los que logran sobrevivir, hasta que aparecen organismos adaptados a la situación de estrés. Esa adaptación se fija genéticamente y se transmite de generación en generación, asegurando la supervivencia de la especie que conforma una población más tolerante.

Es importante resaltar que, aunque la salinidad del suelo reduzca la disponibilidad del agua en el suelo, los cultivos no responden igualmente a los efectos negativos de las sales, puesto que algunas son más tolerantes que otras y pueden extraer agua con más facilidad.

Raj *et al.* (2010) menciona que las diferentes especies y cultivares de las plantas responden de manera diferente a los efectos negativos de la salinidad, habiendo para cada especie o cultivar un límite tolerable de salinidad que no causa reducción en la productividad potencial a partir del cual la productividad pasa a disminuir a medida que se incrementa la salinidad del suelo.

Para Maas y Hoffman (1977) además de la variación de la tolerancia entre las especies y los cultivares, dentro de una misma especie puede también existir diferencias entre las fases fenológicas (citados en Raj *et al.*, 2010).

Este autor menciona que la tolerancia y la sensibilidad de las plantas a la salinidad dependen, sobre todo, del tipo de sal, del método y la frecuencia de riego y de las condiciones climáticas.

Con base a la tolerancia y la sensibilidad de las plantas a la salinidad, estas son clasificadas en glicofitas y halofitas. Las glicofitas representan a un grupo de plantas cultivadas que, en su mayoría, son las menos tolerantes a los efectos de las sales, las glicofitas pertenecientes a diferentes familias botánicas y géneros se pueden diferenciar gradualmente por su nivel de tolerancia e incluso entre géneros y especies de una misma familia, mientras que las halofitas componen el grupo de plantas que acumulan gran cantidad de NaCl en sus tejidos y hasta pueden beneficiarse del exceso de sodio, ajustándose osmóticamente en medio altamente salino (Raj *et al.*, 2016; *et al.*, 2002).

3.8.5.1 Mecanismos involucrados en la tolerancia a la salinidad

Según González *et al.* (2002), 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, ya que las plantas al crecer en condiciones de salinidad pueden disminuir su 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.
- La eliminación del exceso de sales, directamente a través de glándulas o estructuras especializadas como los cabellos vesiculares. Algunas especies de plantas han desarrollado estructuras especiales como glándulas y 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.
- La pérdida de sales a través de la caída de las hojas y pérdida de los frutos. 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.

En general, puede decirse 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.

4. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo se realizó en el Centro de facilidades para la investigación Quipaquipani dependiente de la fundación PROINPA que se encuentra situado a 4 km al sur de la ciudad de Viacha, provincia Ingavi en el Departamento de La paz y 41 km de la ciudad de La Paz, Provincia Murillo en el Departamento de La Paz (Figura 3).



Figura 3: Localización del estudio en el Municipio de Viacha del departamento de La Paz

4.1. Ubicación geográfica

La ciudad de Viacha está ubicada geográficamente a 16°40' latitud sur y 68°17' longitud oeste a una altitud de 3880 msnm.

4.2. Características de la zona de estudio

4.2.1. Clima

Según SENAMHI (2014), la precipitación anual en esta zona fue de 543.9 mm, de esta el 60% corresponde a los meses de diciembre a marzo, el 40 % de abril a noviembre, en verano, la temperatura mínima en las noches varía entre 3 a -5°C y durante el día alcanza los 23°C como máxima, alcanzando una temperatura promedio de 18°C. Una característica importante que se debe considerar en la zona son las heladas, que son frecuentes durante el invierno.

4.2.2. Suelo

El suelo de la zona está clasificado como planicie aluvial, también presenta afloramiento de sales a orillas de los ríos y parcelas de cultivos, las cuales se acentúan en épocas secas. Presenta una textura franco-arcillosa a franco arenosa y una profundidad efectiva de 25 a 32 cm.

4.2.3. Flora y fauna

En esta planicie se observa especies vegetales como: Especies caducifolias Thola (*Baccharis boliviensis*), Tara tara (*Fabiana densa*), Senecio spp. (*Adesmia spp.*), especies perennifolias Ñaka Thola, supu Thola (*Baccharis spp.*), thola de agua (*P. phyllocaeformis*), Kailla (*Tetraglochin crisatum*), Añahuaya (*Adesmia miraflorensis*), además de gramíneas como Ichu o paja (*Stipa ichu*), iru ichi (*Festuca orthophylla*),

Chillihua (*Festuca dolichopylla*), Chiji negro y blanco (*Muhlebergia fastigiata*), yaretilla (*Junelia mínima*), Layu (*Trifolium amabile*), Sillu sillu (*Lachemilla diplophylla*).

De la misma manera, se observan aves migratorias principalmente en épocas donde hay agua, entre las cuales podemos citar águilas (*Buteo poecilochorus*), Halcón (*Falco sparverius*), Lechuza (Jucku)(*Tyto alba*), Paloma (*Haematopus sp.*), kurkuta (*Metriopelia ceciliae*) Perdiz (*Tinamotis pentlandii*), especies mamíferas como zorros (*Kamake*) (*Canis culapeus*), Zorrinos (anathuya) (*Conepatus chinga*), cuy silvestre (*Cavia spp.*), liebre (*Orytalagus cuniculus*), entre otros, en cuanto a animales de cría tenemos ovejas, vacas, cerdos y llamas.

5. MATERIALES Y METODOS

5.1. Materiales

5.1.1 Material vegetal

El material vegetal consistió en semillas de pasto Agropiro var. Alkar (*Thinopyrum ponticum*) adquirido de una de las agropecuarias de la ciudad de Oruro.

5.1.2 Material de campo

- Picotas
- Palas
- Rastrillos
- Palos
- Bolsas de repique
- Base de masetas
- Flexómetro
- Bandejas alveoladas de 50 celdas u hoyos

5.1.3 Material de gabinete

- Computadora (con software de procesamiento de texto, hoja electrónica y análisis estadístico).
- Planilla de datos
- Cuaderno de apuntes
- Lápices
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Marcadores

5.2. Método

5.2.1 Experimentos preliminares (primera etapa)

En la fase inicial se realizó un ensayo preliminar donde se verificó un rango de tolerancia del agropiro alargado var. Alkar.

Según Ochoa (2014), los experimentos preliminares son ensayos o trabajos que no requieren mucha complejidad, en el planteamiento, desarrollo, ni en la evaluación

Este experimento se realizó con el objetivo de obtener información básica y verificar el rango de salinidad aceptable para el agropiro, y de esta manera comenzar la investigación con niveles de salinidad no críticamente altos.

Se trabajo con la concentración Molar de 10 tratamientos: Testigo, 0.5 M; 1.0 M; 1.5 M; 2.0 M; 2.5 M; 3.0 M; 3.5 M; 4.0 M; 4.5 M; de los cuales se establecieron concentraciones de 0.4; 0.7 y 1M.

- Clasificación de aguas

Según el cuadro de clasificación de aguas (anexo 5) y los cálculos realizados (anexo 6), las aguas utilizadas en la presente investigación se clasifican según el cuadro 10:

Cuadro 10: Clasificación de aguas según el USDA

CONCENTACION DE SAL EN EL AGUA DE RIEGO	CE	RAS	CLASIFICACION USDA
Testigo	0.25 dS/m	0.83	C1S1
0.4 M	42.550 dS/m	147.47	C6S4
0.7 M	71.950 dS/m	209.33	C6S4
1 M	104.600 dS/m	257.225	C6S4

- C1S1.- Agua de baja salinidad, apta para riego en todos los casos; Agua con bajo contenido de sodio, apto para el riego en la mayoría de los casos (puede presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio).

- C6S4.- Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego; Agua con contenido muy alto de sodio, no aconsejable para el riego en general.

5.2.2 Preparación de cajas Petri para germinación

Se realizó las observaciones en laboratorio, se sembraron en cajas Petri, sobre doble capa de toalla de papel, humedecidos con soluciones de cloruro de sodio como se detalla en cuadro 12, se incubaron en una cámara de germinación, con equipamiento de frío y calor, se usaron concentraciones salinas explicadas en el cuadro 11:

Cuadro 11: Niveles de salinidad para porcentaje de germinación de semillas.

MOLARIDAD	GRAMOS/ LITRO	CE ($\mu\text{S/cm}$)
Testigo	0	CE del agua 251
0.1 M	5.84	11250
0.2 M	11.69	24150
0.3 M	17.53	40050

NOTA: el riego se realizó el primer día establecido la investigación con 3.5cc/caja Petri.

5.2.3 Preparación de bandejas para porcentaje de emergencia

Para evaluar el porcentaje de emergencia en bandejas se realizó la siembra en bandejas alveoladas de 50 celdas con sustrato de relación 1:1, es decir 50% de suelo del lugar y 50% de turba, se tomó datos cada 7 días desde la siembra y se regó con solución salina un día después de la siembra en base al cuadro 12:

Cuadro 12: Niveles de salinidad para porcentaje de emergencia en bandejas.

MOLARIDAD	GRAMOS/LITRO	CE ($\mu\text{S/cm}$)
Testigo	0.00	251
0.4 M	23.38	42550
0.7 M	40.91	71950
1 M	58.45	104600

NOTA: El riego se realizó a capacidad de campo (10cc x celda)

5.2.4 Procedimiento experimental (segunda etapa)

Realizado los experimentos preliminares se estableció los niveles de salinidad para la investigación, con 0.4 M, 0.7 M y 1 M con su debido testigo.

5.2.4.1 Preparación del sustrato

La preparación del sustrato se realizó con una proporción 1:1, es decir 50% de turba y 50% de tierra del lugar, la mezcla del sustrato se realizó previo cernido de la tierra del lugar para evitar terrones y otros materiales. La mezcla de los sustratos se realizó de forma manual utilizando palas y carretillas.

Posteriormente se procedió a llenar las bolsas de repique hasta alcanzar un llenado uniforme.

5.2.4.2 Reproducción sexual (mediante semilla)

La reproducción sexual se realizó en los predios de PROINPA, en invernaderos, la semilla fue sembrada en bandejas alveoladas de 50 celdas en el sustrato previamente preparado con relación 1:1, estas se mantenían con una humedad apropiada para la germinación y emergencia.

5.2.4.3 Reproducción vegetativa

La propagación vegetativa se realizó mediante macollos plantados en bandejas alveoladas de 50 celdas, mantenidas en su enraizamiento. Al igual que en la reproducción sexual en sustrato utilizado que tuvo una proporción 1:1.

5.2.4.4 Trasplante

El trasplante se realizó con plantines de altura similar, este procedimiento se realizó con la apertura de hoyos en las bolsas de repique, previamente llenadas con sustrato, para luego realizar el trasplante de los plantines con dos tipos de reproducción.

Luego de haber realizado el trasplante se aplicó riego abundante en cada una de las macetas o bolsas.

5.2.4.5 Preparación de la solución salina

La solución salina se preparó en base a cloruro de sodio comercial (sal de mesa), este contiene 99.5% de Cloruro de Sodio y 68.74 ppm de Yodato de Potasio.

La concentración molar que se utilizó fue de 0.4 M, 0.7 M y 1 M expresadas en la siguiente ecuación:

$$M = \frac{m \text{ (mol)}}{Vd \text{ (l)}}$$

Donde:

M= Molaridad

m= moles soluto

Vd= volumen de disolución en este caso 1 litro.

- $0.4 \text{ mol de NaCl} * \frac{58.45 \text{g NaCl}}{1 \text{mol}} = 23.38 \text{gramos}$
- $0.7 \text{ mol de NaCl} * \frac{58.45 \text{g NaCl}}{1 \text{mol}} = 40.915 \text{gramos}$
- $1 \text{ mol de NaCl} * \frac{58.45 \text{g NaCl}}{1 \text{mol}} = 58.45 \text{gramos}$

NOTA: 58.45 es la masa atómica de Cl + Na.

Una vez pesado el NaCl en una balanza analítica se introdujo en botellas de plástico y posteriormente se vertió un litro de agua, de esta manera se realizó la solución salina para el riego.

La solución salina se expresó en términos de Molaridad, los cuales pueden ser expresados en términos de peso/litro de agua y conductividad eléctrica detallados en el cuadro 13:

Cuadro 13: Solución salina expresados en términos de Molaridad, g/l y CE

MOLARIDAD	GRAMOS/1 LITRO	CE (dS/m)
0.4 M	23.38	42.550
0.7 M	40.91	71.950
1 M	58.45	104.600

5.2.4.6 Riego con solución salina

Una vez preparado la solución salina se procedió al riego de cada una de las macetas con 300 ml, medidos con una probeta, de esta manera todas las macetas tienen la misma cantidad de solución en el riego inicial.

Dicho riego se realizó 21 días después del trasplante y para minimizar el lavado de sales se puso bases de plástico en cada una de las macetas.

5.2.4.7 Muestreo de suelos

Se tomó muestras del suelo en tres etapas de la investigación; inicio de la investigación, después de las lluvias y en la cosecha, de esta manera se observó el lavado de sales existente por las persistentes lluvias cuando se realizó la investigación.

5.2.5 Diseño de la investigación

Según Ochoa (2014), las unidades experimentales tienen una variabilidad uniformemente repartida y son uniformes a causa del suelo homogéneo, tal es el caso de un sustrato preparado de manera homogénea.

Por tanto, el diseño que se utilizó para la investigación fue un arreglo combinatorio bifactorial llevado a cabo en un Diseño completamente al Azar.

5.2.5.1 Factores de estudio y tratamientos

Se evaluaron los siguientes factores:

Factor A métodos de reproducción (sexual y vegetativo).

Factor B niveles de salinidad (0.4 M, 0.7 M, 1 M).

Dichos factores se detallan a continuación en el siguiente cuadro:

Cuadro 14: Factores de estudio

FACTORES	NIVELES
Factor A Método de reproducción	a1 = Reproducción sexual (semilla)
	a2 = Reproducción vegetativa
Factor B Niveles de salinidad	b1 = Testigo
	b2 = 0.4 M
	b3 = 0.7 M
	b4 = 1 M

5.2.5.2 Formulación de tratamientos

Por la combinación del factor A con el factor B, se formularon los siguientes tratamientos:

T1	a1b1	semilla*testigo	T5	a2b1	vegetativo*testigo
T2	a1b2	semilla*0.4M	T6	a2b2	vegetativo*0.4M
T3	a1b3	semilla*0.7M	T7	a2b3	vegetativo*0.7M
T4	a1b4	semilla*1M	T8	a2b4	vegetativo*1M

- MODELO LINEAL ADITIVO

Se utilizó el siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera

μ = Media poblacional

- α_i = Efecto del i-esimo nivel del factor A
- β_j = Efecto del j-esimo nivel del factor B
- $\alpha\beta_{ij}$ = Efecto del i-esimo nivel del factor A, con el j-esimo nivel del factor B (Interacción AxB)
- ε_{ijk} = Error experimental

5.2.6 Croquis de la investigación



Figura 4: Croquis de la investigación

5.2.7 Variables de respuesta

5.2.7.1 Porcentaje de germinación en laboratorio

Para evaluar esta variable se contabilizo las semillas germinadas desde la aparición de la radícula y plúmula mayor a 1 mm, los resultados obtenidos se expresaron porcentualmente en relación con el testigo sin tratar, se contabilizo a los tres días, cuando el testigo llego a un promedio de 50% de germinación, de esta manera se evaluó el

porcentaje de germinación, así mismo se evaluaron los días a la germinación, cuando estas llegaban a un 50% de germinación con los niveles de salinidad explicados en el cuadro 12, así mismo se evaluó los días a la germinación transcurridos desde la siembra, tomando como parámetro el día en que la germinación llegaba al 50%.

5.2.7.2 Porcentaje de emergencia en bandejas

Para evaluar el porcentaje de emergencia se contabilizó las plantas emergidas desde la aparición de la primera hoja y luego se transformó a porcentaje.

5.2.7.3 Altura de planta (cm)

Para evaluar el crecimiento, la variable altura de planta se midió con la ayuda de una regla en cm, esta se midió desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más alta. El registro de esta variable se realizó cada 7 días antes y después del riego con la solución salina.

5.2.7.4 Velocidad de crecimiento (cm/semana)

La velocidad de crecimiento se evaluó hasta el punto de crecimiento más alto, calculando la diferencia de crecimiento entre semanas, obteniendo resultados de crecimiento en centímetros por semana.

5.2.7.5 Peso (g) y volumen de la raíz (ml)

La variable peso de raíz se evaluó el día de la cosecha disgregando el sustrato de la maceta y lavando la raíz, luego del secado se procedió a pesar con una balanza y su registro respectivo. Para la evaluación de esta variable se sumergió la parte radical en una probeta con volumen conocido para posteriormente medir el volumen de la raíz con el aumento del volumen en la probeta, registrando dichos datos en ml.

5.2.7.6 Rendimiento

El rendimiento se evaluó mediante peso fresco y peso seco de la parte aérea y se transformó a kg/ha.

Para la variable peso fresco se pesó en una balanza después de la cosecha individual y se registró datos de cada planta por tratamiento.

Para la variable peso seco, se procedió al secado luego de la cosecha en un ambiente cerrado con temperatura ambiente de 38°C como máxima y 23°C como mínima.

5.2.7.7 Cociente raíz/parte aérea respecto al peso

Se evaluó el cociente raíz/parte aérea con respecto a su peso obtenidos después de la cosecha en una balanza y posterior registro en gramos.

6 RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la investigación y los análisis correspondientes.

6.1 Experimentos preliminares

En la Figura 5 se observa el crecimiento del pasto agropiro durante los experimentos preliminares.

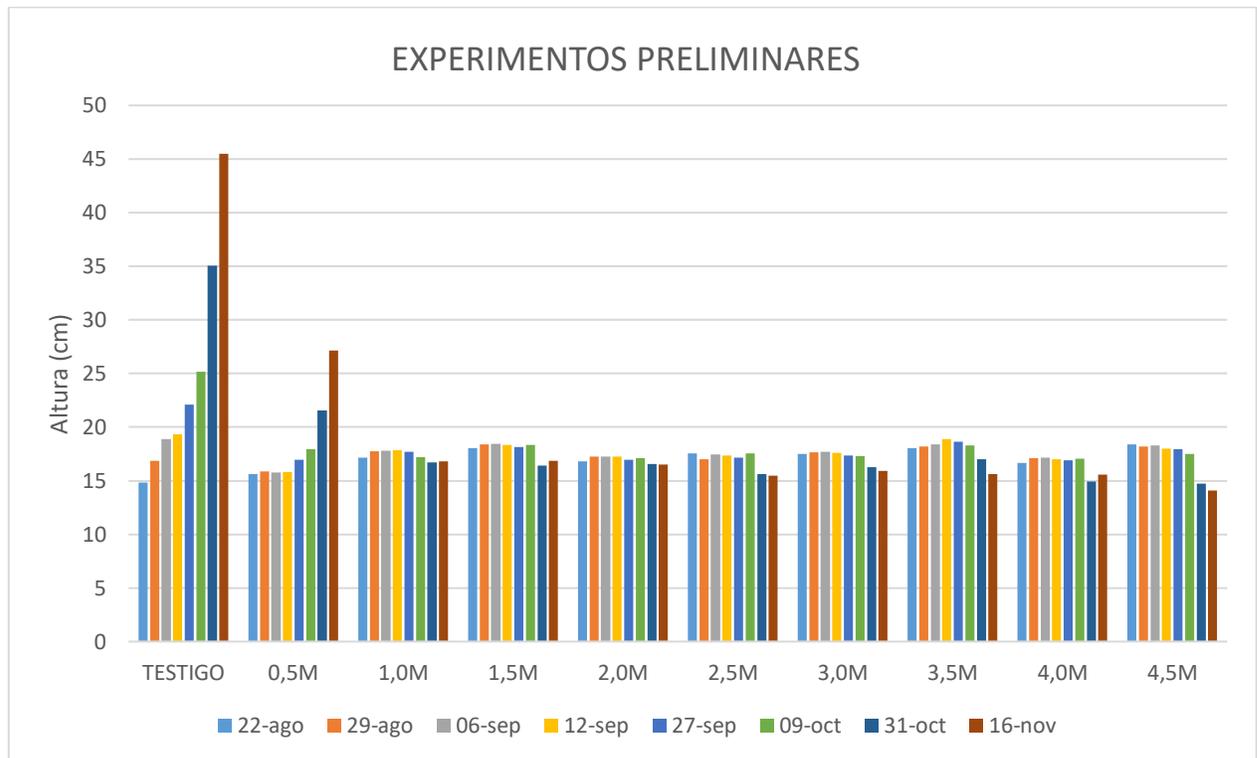


Figura 5: Experimentos preliminares

En la Figura 5 se observa el crecimiento de forma normal con una curva ascendente en los plantines que no tenían un riego con solución salina (Testigo), sin embargo, con una solución de 0.5 Molar de cloruro de sodio, se puede observar un retaso en el crecimiento durante las primeras semanas después de la aplicación de la solución de cloruro de sodio, que después continúa con un crecimiento menor, esto debido al lavado de sales con los riegos posteriores y principalmente a la tolerancia del cultivo a la salinidad.

Los tratamientos a partir de 1 Molar y mayores, se ven afectados por las sales de forma que no permite el crecimiento y el desarrollo normal de las plantas, debido a que las concentraciones fueron muy altas para la asimilación de las plantas, de nutrientes y agua, así mismo estas pierden hojas, se tornan amarillas y por ende su producción baja llegando al punto de marchitez permanente.

De esta manera se estableció los niveles que se tomarían en cuenta para la investigación, concluyendo que los niveles aceptables para esta especie son 0.4 M, 0.7 M y 1 M, tomando en cuenta un posible lavado de sales por riegos o lluvias y también, debido a que la investigación se realizó en campo.

6.2 Porcentaje de germinación

En el cuadro 15 se muestra el análisis de varianza del porcentaje de germinación a los tres días después de la siembra, este se evaluó cuando el testigo llegó a un promedio de 50%.

Cuadro 15: ANVA del Porcentaje de germinación del pasto agropiro

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F	Ft		
						0.05	0.01	
Modelo	3	6016.666	2005.555	320.89	<.0001			
Nivel de sal	3	6016.666	2005.555	320.89	<.0001	4.07	8.65	**
Error	8	50.000	6.250					
Total	11	6066.666						

CV= 7.9% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

Para niveles de sal en el porcentaje de germinación, el resultado obtenido en el análisis de varianza fue altamente significativo, esto indica que cuando se utilizan 0 M (Testigo),

0.1 M, 0.2 M, 0.3 M de solución salina en la germinación, el porcentaje de germinación del Alkar es diferente.

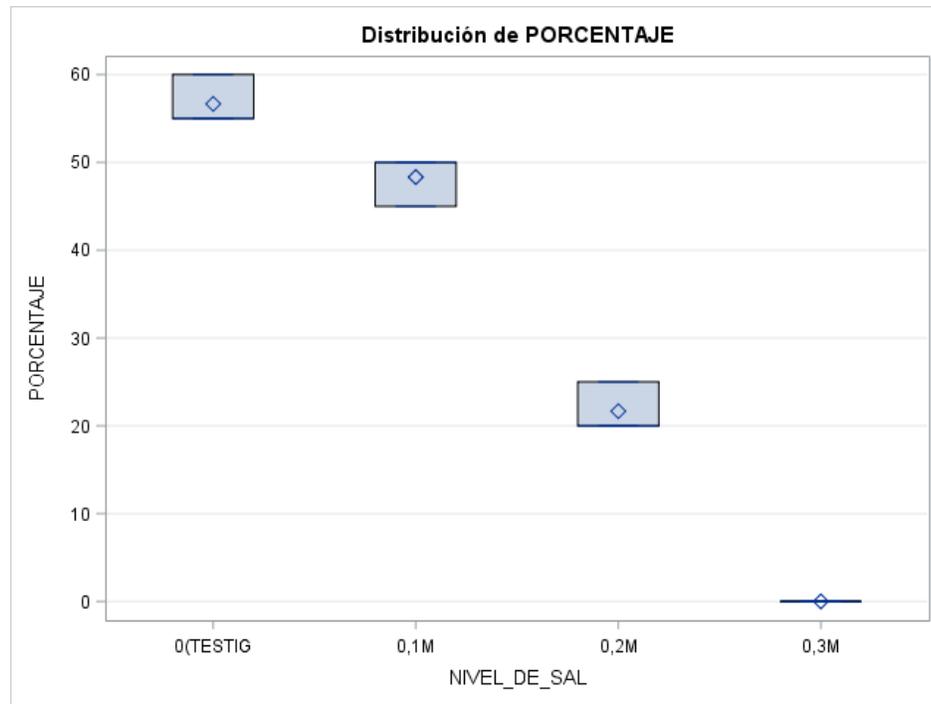


Figura 6: Distribución de porcentaje de germinación del pasto agropiro

En la figura 6 se puede observar que a mayor concentración de sal el porcentaje de germinación es menor, siendo 0.3 M la concentración de sal donde la germinación es cero, cuando el testigo llega a un promedio mayor a 50%.

- Comparación de medias de porcentaje de germinación del pasto agropiro.

Las comparaciones de medias de los niveles de salinidad empleados son evaluadas según la medición del porcentaje de germinación el cual se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 16: Comparación de medias Duncan para porcentaje de germinación

Duncan Agrupamiento	Media (Porcentaje)	N	Nivel de sal
A	56.667	3	0(TESTIGO)
B	48.333	3	0,1 M
C	21.667	3	0,2 M
D	0.000	3	0,3 M

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los datos obtenidos mediante las comparaciones de medias de la prueba Duncan (cuadro 16), muestran el retraso del porcentaje de germinación de la semilla a niveles altos de salinidad. De esta manera cuando el testigo superó el 50% de germinación, los niveles de sal 0.1 M y 0.2 M tuvieron un porcentaje promedio de 48% y 21% respectivamente, mientras que, con un riego de 0.3 M la germinación es nula. La disminución del número de semillas germinadas por incremento de la conductividad eléctrica varió entre tratamientos.

En todos los tratamientos se redujo de manera significativa el porcentaje de germinación al aumentar la concentración salina, siendo muy drástico el efecto en el tratamiento equivalente a 0.3M equivalente a 40050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica (cuadro 12).

- Días a la germinación

A continuación, se presenta el número de días a la germinación registrado en función al 50% semilla germinada por muestra.

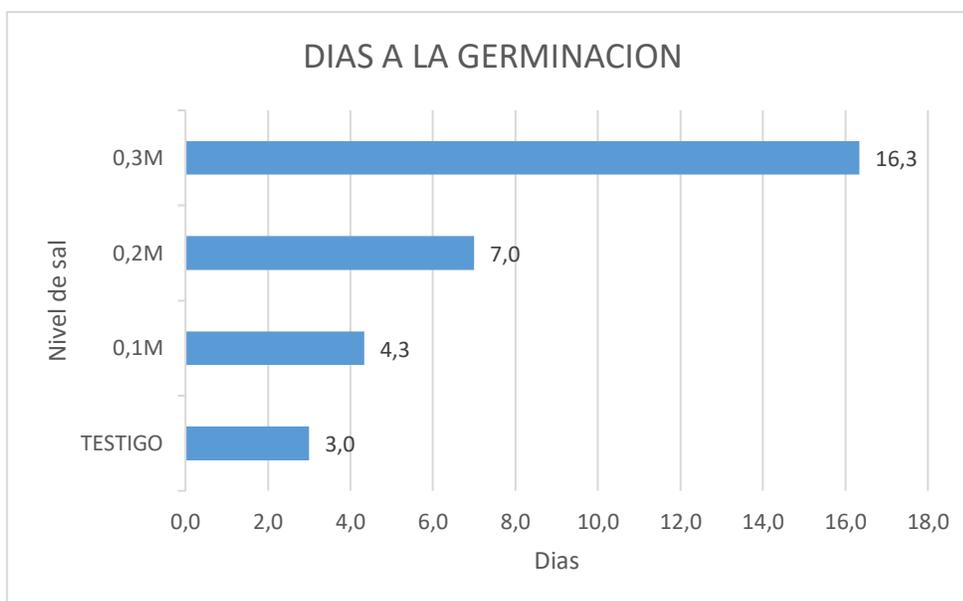


Figura 7: Días a la germinación del pasto agropiro

En la figura 7 se observa los días que tardó en germinar la semilla de Alkar en distintos niveles de concentración salina, el resultado obtenido muestra el retraso en la germinación cuando este esté sujeto a concentraciones altas de salinidad.

Cuadro 17: ANVA de Días a la germinación del pasto agropiro

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F	
Modelo	3	325.333	108.444	650.67	<.0001	
Nivel de sal	3	325.333	108.444	650.67	<.0001	**
Error	8	1.333	0.166			
Total	11	326.666				

CV= 5.3% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

Los datos obtenidos del análisis de varianza del cuadro 17 indican que los días de germinación en distintos niveles de sal es altamente significativo, esto indica que a mayor concentración salina mayor fue la cantidad de días para germinar, asimismo mostró un

coeficiente de variación de 5.3% indicando que los datos fueron confiables ya que se encuentra por debajo del límite.

Los días que tarda el Alkar en germinar (testigo) es de tres días, que es el tiempo en que germinaría en condiciones favorables, con una solución de 0.3 M los días que tarda en germinar es 5 veces más, de esta manera se evidencia que las altas concentraciones salinas, retrasan la germinación de la semilla en un factor exponencial.

- Comparación de medias para los días a la germinación.

Las comparaciones de medias de los niveles de salinidad empleados son evaluadas según la medición de días a la germinación el cual se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 18: Comparación de medias para los días a la germinación del pasto agropiro

Duncan Agrupamiento	Media (días)	N	Nivel de sal
A	16.3333	3	0,3 M
B	7.0000	3	0,2 M
C	4.3333	3	0,1 M
D	3.0000	3	0(TESTIGO)

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

El tratamiento T0 (testigo) y T1 (0.1 M) tuvieron mayor rapidez, superando de forma consistente a los tratamientos T2 y T3 con una concentración molar de 0.2 y 0.3 Molar respectivamente, de esta manera, todos los tratamientos son estadísticamente diferentes.

En todos los tratamientos se incrementó de manera significativa el número de días a la germinación al aumentar la concentración salina, siendo muy drástico el efecto en el

tratamiento equivalente a 0.3M equivalente a 40050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica (cuadro 12).

La concentración de sales en la germinación influye en la imbibición del agua y determinan la germinación de la semilla. Así mismo la disminución del ψ en la solución explica la demora progresiva en la germinación, el incremento en la variación de los tiempos de germinación entre semillas y la variación del porcentaje final (Bradford, 1995, citado en Bazzigalupi, *et al.*, 2008).

Estos resultados son comparables con resultados previamente obtenidos en agropiro alargado, donde se encontró evidencias de una brusca disminución del crecimiento de las plántulas, con disminución del largo de las raíces asociadas al efecto de una conductividad eléctrica de 18 dS/m (Roundy 1983, citado en Bazzigalupi *et al.*, 2008), sin embargo la presente investigación usó hasta 40050 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductividad eléctrica equivalente a 40.05 dS/m de la investigación citada.

No obstante, Bazzigalupi, *et al.* (2008) expresa especial énfasis en que se ha demostrado que en especies forrajeras la existencia de variabilidad genética heredable respecto a la tolerancia a salinidad se debe a la procedencia de las poblaciones de semillas.

En tal sentido Ashraf (1994) evaluó la variabilidad de la tolerancia a la salinidad en poblaciones nativas obtenidas en sitios contrastantes en salinidad edáfica. Las poblaciones provenientes de lugares salinos fueron las más tolerantes a la salinidad; sin embargo, las de lugares no salinos presentaron variabilidad para dicho carácter. Es posible que la tolerancia este subyacente en dichas poblaciones debido a una falta de selección natural. Esto podría explicar la alta tolerancia a la salinidad con respecto a otras investigaciones (citado en Bazzigalupi *et al.*, 2008).

Estos resultados evidenciaron el mayor efecto inhibitorio a partir de 0.3M con una conductividad eléctrica de 40050 microsiemens/cm, equivalente a 40.05 dS/m de NaCl, y que a partir de esa concentración la germinación es nula, lo cual tiene relación con lo

señalado por Martínez *et al.*, (2011), quien destaca el efecto de las sales sobre el proceso de germinación.

La disminución del porcentaje de germinación encontrada en esta investigación son similares a las reportadas para la misma y otras especies (Bazzigalupi *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2017; Bertram, 2017; Martínez *et al.*, 2011; Argentel *et al.*, 2010), en las que hubo una reducción de la germinación y un retraso en el inicio de esta con el incremento del estrés salino; ambos fenómenos fueron asociados a una sequía fisiológica inducida por el aumento de la concentración de sales en el medio germinativo que ocasiona un descenso del potencial osmótico del medio de crecimiento y, consecuentemente, del potencial hídrico, debido a que la célula vegetal equilibra su potencial hídrico mediante la pérdida de agua.

6.3 Porcentaje de emergencia en bandejas

Los resultados del porcentaje de emergencia con relación a niveles de salinidad se expresan en la figura 8:

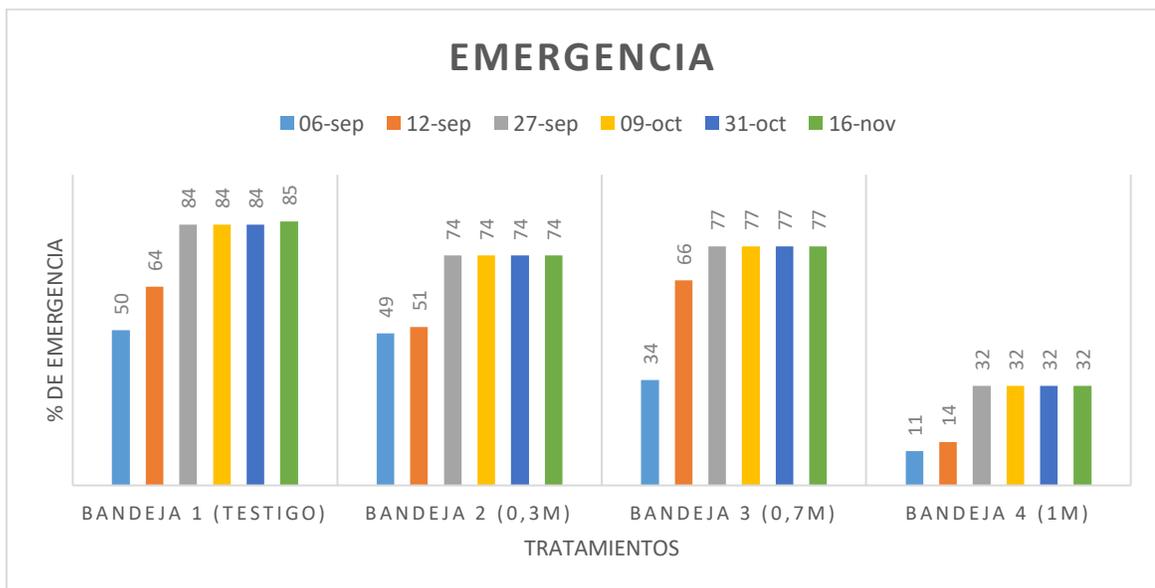


Figura 8: Porcentaje de emergencia del pasto agropiro

Al igual que el porcentaje de germinación se puede observar un retraso en la emergencia de los plantines en las bandejas. La bandeja 1 (TESTIGO) llegó al 50% de emergencia transcurridos 2 semanas después de la siembra y el riego con la solución salina, en contraste a la bandeja 4 (1 M) que en el mismo tiempo el porcentaje de emergencia llega a 11%.

Así mismo, se puede observar la reducción de población a niveles más altos de salinidad, puesto que la germinación y emergencia están influenciados directamente por las concentraciones salinas en la semilla también reportados por investigaciones en otras especies con menores concentraciones de NaCl en guayabo Ramírez *et al.* (2017), triticales Argenteal *et al.* (2010), y en caso de quinua (Jacobsen, Ruiz, Mujica, Christiansen, & Ortiz), cuyos resultados son comparables a los presentados en esta investigación.

Cuadro 19: ANVA de Porcentaje de emergencia del pasto agropiro

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F	
Modelo	3	2900.916	966.972	1289.30	<.0001	
Nivel de sal	3	2900.916	966.972	1289.30	<.0001	**
Error	8	6.000	0.750			
Total	11	2906.916				

CV= 2.4% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

El análisis de varianza presentó en porcentaje de emergencia (cuadro 19), un coeficiente de variación de 2.4%, estando este por debajo del 30%, lo que indica la confiabilidad de los datos, mostrando una alta significancia, al encontrarnos en un ambiente protegido se trató de homogenizar todos los factores, incluso el riego y el lavado de las sales, que este fue mucho menor que en campo, por esta razón se obtuvieron coeficientes de variación bajos.

Con respecto a los niveles de sal, estos indican alta significancia en la emergencia al igual que la germinación, debido a que el efecto de las sales en las fases iniciales es

significativo, lo cual tiene relación con lo señalado por Martínez *et al.*, (2011) quien destaca el efecto de las sales sobre el proceso de germinación y de esta manera reduce la emergencia por la elevada concentración de sales en el riego, también demostrados por (Killian & Leiva, 2005; Meza *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 1990) cuyas investigaciones demostraron una reducción en el porcentaje de germinación y emergencia por la influencia de sales.

De igual manera en la presente investigación, la cantidad de plantines emergidos en un sustrato con concentraciones salinas altas (0.4 M) es menor en relación a sustratos con concentraciones salinas menores, así mismo afecta en la cantidad de plantines que emergen, debido a que la concentración de sales es muy alta, la poca cantidad de plantines que emerja será la única cantidad que emerja, posteriormente no incrementará el porcentaje de emergencia ya que las sales causan un daño a la semilla y estas no saldrán días después, estos resultados concuerdan con los obtenidos en Guayabo por Ramírez *et al.* (2017) los cuales no germinaron a partir de 8 dS/m demostrando un límite de tolerancia para esa especie.

De la misma manera, Meza *et al.* (2004) demostraron que el tiempo transcurrido para el inicio de la emergencia en las plántulas de níspero fue mayor al incrementar los niveles de sales en el agua de riego.

De manera opuesta estudios realizados por Ríos *et al.* (2013) demostraron que la salinidad no afecta la germinación y emergencia del maíz amarillo duro, puesto que sus resultados mantuvieron un 100% después del proceso, cabe recalcar que el procedimiento y metodología de la investigación de estos autores varía ligeramente con el propuesto en esta investigación, además que el recubrimiento de la semilla es diferente a la de la semilla de Alkar, al respecto, Galussi *et al.* (2015) encontraron que las propiedades anatómicas de la cubierta seminal de la alfalfa afectaron sus características de germinación, en semillas de otras especies se han evidenciado diferentes grados de tolerancia a la salinidad, 2.5dS/m en *M. achras* (Meza, Pereira, & Bautista, 2004), 6 dS/m en *Pasiflora edulis* (Meza *et al.*, 2007), 18 dS/m en *thynopyrum ponticum* (Bazzigalupi *et*

al., 2008), y 34 dS/m en *Chenopodium quinoa*, Chilo et al. (citado en Ramirez et al., 2017), no obstante, el resultado obtenido es notable, puesto que la germinación y emergencia no se ve afectada aun con salinidades tan altas como de 18.8 dS/m.

6.4 Altura de planta

Para la variable altura de planta se tomaron datos desde transplante hasta el día de la cosecha se presenta en la figura 8.

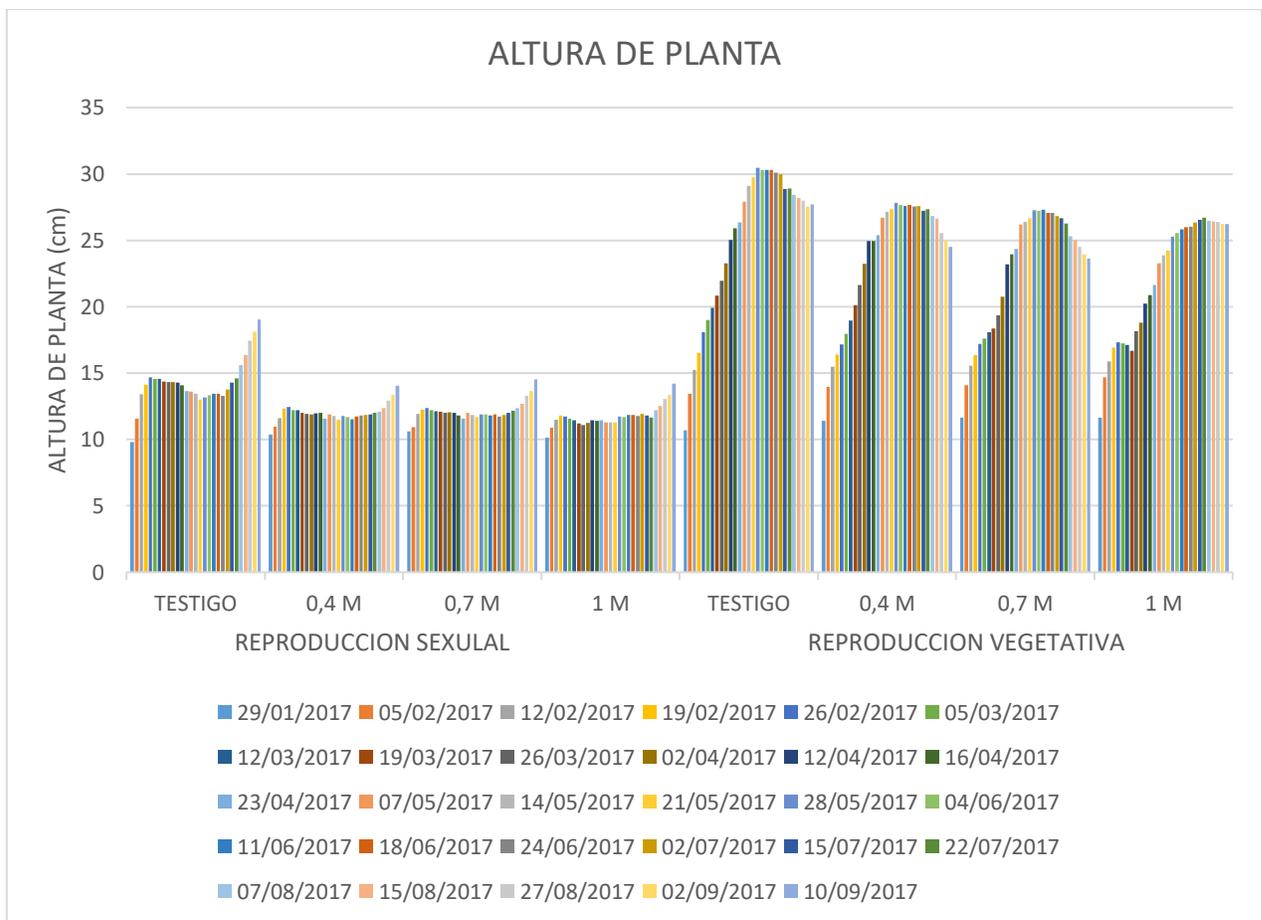


Figura 9: Altura de planta

En la figura 9 se puede observar el crecimiento de los 8 tratamientos durante la investigación.

Para esta variable se tomó en cuenta 2 fechas:

- El punto de crecimiento más alto, que representa el crecimiento máximo de la especie durante la investigación, en todos los tratamientos y en ambos métodos de reproducción, en este caso en fecha 28/05/2017.
- Altura en la cosecha, donde se muestra la altura de la planta en el momento de la cosecha.

6.4.1 Plantas perdidas

La mortalidad disminuyó solamente en los tratamientos 0.1M en ambos métodos de reproducción, es decir, T4 y T8 respectivamente.

El método de reproducción por semilla T4 presentó 1 plantín muerto después del riego con solución de NaCl equivalente al 4.1% de la población. El número mayor de plantas perdidas en esta investigación se presentó en el método de reproducción vegetativa T8, con una pérdida de 3 plantines, equivalentes al 12.5% de la población, mostrando así una gran susceptibilidad a los altos contenidos de sales del suelo y del agua de riego.

Tal resultado es comparable con investigaciones realizadas por Orozco & Gonzáles (1980), en arroz cuya mortalidad disminuyó conforme aumentaban los días en altos niveles de salinidad.

6.4.2 Punto de crecimiento más alto

El punto de crecimiento más alto representa el crecimiento del Alkar en su máxima expresión durante la investigación, esta altura se registró en centímetros desde la base hasta el ápice de la hoja más alta.

Cuadro 20: ANVA de Punto de crecimiento más alto del pasto agropiro

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F			
Modelo	7	1498.871	214.124	45.57	<.0001			
Método repr.	1	1453.926	1453.926	309.40	<.0001	4.49	853	**
Nivel de sal	3	34.228	11.409	2.43	0.1032	3.24	5.29	NS
Método*Nivel	3	10.716	3.572	0.76	0.5327	3.24	5.29	NS
Error	16	75.186	4.699					
Total	23	1574.058						

CV= 10.9% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

Los análisis estadísticos indican que la altura de planta fue influenciada significativamente por el método de reproducción ($p < .0001$), pero no por los niveles de salinidad ($p = 0.1032$), ni por la interacción entre factores ($p = 0.5327$).

- Método de reproducción

Para los métodos de reproducción respecto a la altura de planta el resultado obtenido en el análisis de varianza (cuadro 20) fue altamente significativo, esto indica que cuando se utilizan dos métodos de reproducción en el Alkar, la altura de planta será diferente.

Cuadro 21: Comparación de medias Duncan para el punto de crecimiento más alto en el factor "métodos de reproducción"

Duncan Agrupamiento	Media (cm)	N	Método de reproducción
A	27.6917	12	VEGETATIVO
B	12.1250	12	SEMILLA

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En el cuadro 21 se observa que existen diferencias entre altura de planta en los dos tipos de reproducción con valores de 27.69 y 12.12, para los métodos de reproducción vía vegetativa y por semilla, respectivamente, en general el agropiro alargado variedad Alkar, tanto a salinidades moderadas como altas, reproducido vía vegetativa, presentó mayor longitud de la parte aérea.

El crecimiento de la parte aérea del agropiro alargado var. Alkar reproducido mediante semilla fue muy bajo con relación a la reproducción vía vegetativa, este presentó una reducción del crecimiento del 56% como promedio.

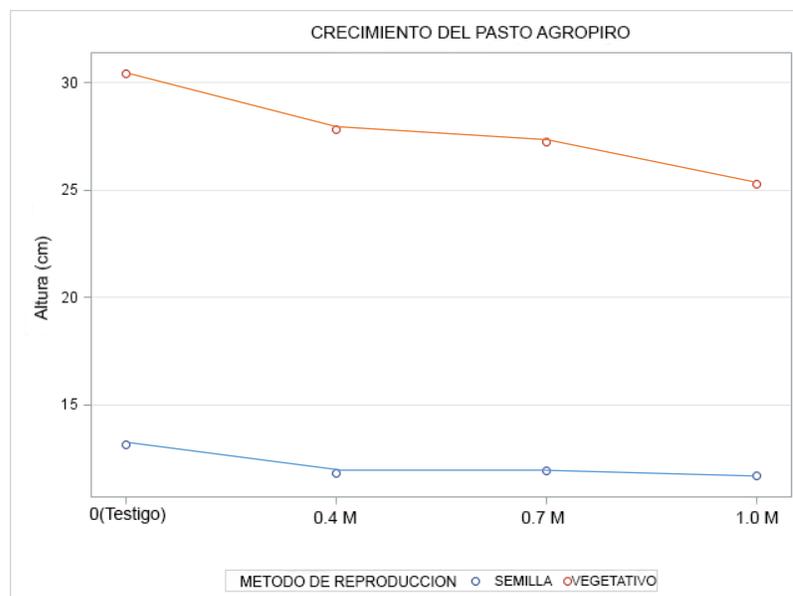
- Niveles de sal

Para los niveles de sal con respecto a la altura de planta el resultado obtenido en el análisis de varianza (cuadro 20) fue no significativo, esto indica que cuando se utilizan diferentes niveles de sal, en el Alkar, la altura de planta es estadísticamente igual.

Sin embargo, la prueba Duncan (cuadro 22) para niveles de sal sugiere que hay una diferencia entre el testigo y la concentración más alta (1 M).

Cuadro 22: Comparación de medias Duncan para el punto de crecimiento más alto en el factor "niveles de sal"

Duncan Agrupamiento		Media (cm)	N	Nivel de sal
	A	21.783	6	0(TESTIGO)
B	A	19.783	6	0.4 M
B	A	19.600	6	0.7 M
B		18.467	6	1 M



La no significancia en los niveles de salinidad fue resultado de un lavado de sales provocado por las lluvias que se produjeron en 2017, a pesar de tener prevención contra posible lavado de sales, las lluvias de esa época generaron un lavado de sales demostrados en el cuadro 23.

Cuadro 23: Lavado de sales durante la investigación

CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (dS/m)			
	Antes de lluvias	Después de lluvias	Cosecha
T1	0,475	0,36	0,075
T2	2,87	1,714	0,133
T3	3,37	2,93	0,301
T4	3,43	3.27	0,443
T5	0.574	1,067	0,324
T6	2.07	1.95	0,445
T7	2,43	1,067	0,194
T8	4,1	3.25	0,252

En el cuadro 23 se puede observar el lavado de sales, cuyas muestras se tomaron en tres fechas, una antes de las lluvias, que fue un tiempo después de la implementación de la investigación, la segunda después de las lluvias, y por último los suelos resultantes de la cosecha.

Estudios realizados por Acuña *et al.* (2015), reportaron que la tasa de elongación foliar es superior en condiciones no salinas respecto de la lograda en condiciones de salinidad,

resultado similar se pudo encontrar en la presente investigación, puesto que en la prueba Duncan (cuadro 22) se puede apreciar que existe una diferencia del testigo con respecto a los tratamientos con niveles de salinidad.

De igual manera, estudios realizados por Mohedano-Caballero *et al.* (2005), concluyeron que la presencia de salinidad en el suelo no afectó el establecimiento y crecimiento de árboles de *Pinus greggii* Engelm., trasplantados, esto debido al riego permanente que hicieron durante su investigación, que permitió el lavado paulatino de sales.

De la misma manera el presente trabajo, a consecuencia de las lluvias, la no significancia en el factor niveles de sales fue el resultado de un lavado paulatino de sales.

6.4.3 Altura de planta en la cosecha

La altura de planta en la cosecha representa la altura expresada en centímetros en el momento de la cosecha.

Cuadro 24: ANVA de altura de planta en la cosecha

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F			
Modelo	7	687.500	98.214	21.72	<.0001			
Método de repr.	1	606.015	606.015	134.00	<.0001	4.49	8.53	**
Nivel de Sal	3	71.773	23.924	5.29	0.0100	3.24	5.29	*
Método*Nivel	3	9.711	3.237	0.72	0.5568	3.24	5.29	NS
Error	16	72.360	4.522					
Total	23	759.860						

CV= 10.4% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

El análisis de varianza correspondiente a la altura de planta en la cosecha muestra que el factor A, es decir, los métodos de reproducción muestran una alta significancia

($p < .0001$), esto indica que la altura de planta es estadísticamente diferente en ambos métodos de reproducción, así mismo, los resultados del análisis de varianza indican que hubo una diferencia significativa en los niveles de sal ($p = 0.01$), pero la interacción de métodos de reproducción por niveles de sal estadísticamente no fue significativa.

- Métodos de reproducción.

Durante la cosecha, al igual que en el punto más alto medido, los métodos de reproducción presentaron una alta significancia (cuadro 24), cuya comparación de medias Duncan se presenta a continuación:

Cuadro 25: Comparación de medias Duncan para la altura de planta en la cosecha en el factor "métodos de reproducción"

Duncan Agrupamiento	Media (cm)	N	Método de Reproducción
A	25.5250	12	VEGETATIVO
B	15.4750	12	SEMILLA

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Sin embargo, a diferencia de la altura de planta en el punto más alto, cuyo resultado obtenido fue altamente significativo, la altura de planta en la cosecha según el análisis de varianza del cuadro 24 el resultado fue significativo.

- Niveles de sal

La prueba de rango múltiple de Duncan para la altura de planta en la cosecha se presenta en el cuadro 26.

Cuadro 26: Comparación de medias Duncan para la altura de planta en la cosecha en el factor "niveles de sal"

Duncan Agrupamiento	Media (cm)	N	Nivel de sal
A	23.400	6	0(TESTIGO)
B	20.233	6	1 M
B	19.267	6	0.4 M
B	19.100	6	0.7 M

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los datos obtenidos de la prueba Duncan describen una diferencia estadística significativa en los niveles de sal con respecto al testigo, obteniendo una categoría de agrupamiento A en el Testigo y B en los niveles 0.4 M, 0.7 M, y 1 M respectivamente.

Tal resultado puede estar sujeto a contradicciones con respecto a los resultados obtenidos en el punto más alto, puesto que en ese punto se obtuvieron resultados No Significativos, una de las posibles razones sería la reducción del crecimiento originado por la salinidad, que igualmente retarda el crecimiento de las plantas a través de su influencia sobre procesos fisiológicos expresados por Martínez *et al.* (2011), así mismo estudios realizados por Jauregui *et al.* (2017) detectaron un brusco descenso en la longitud total de la plántula y en su biomasa, pero la presente investigación demostró que hubo un lavado progresivo de sales (Cuadro 23), de tal manera que para el tiempo de la cosecha las sales existentes aun en el sustrato tenían un efecto mínimo en el crecimiento, sin embargo, la influencia de las sales en esta etapa del cultivo fue mínima por el lavado de sales ya mencionado, este resultado puede atribuirse principalmente al rebrote, expuesto a continuación.

En la figura 8 se puede evidenciar un fenómeno muy interesante en las semanas finales de cada tratamiento, puesto que, mientras que los tratamientos T5, T6, T7 y T8 “disminuían” el crecimiento, vale decir, los tratamientos con reproducción vegetativa,

mientras que, los tratamientos T1, T2, T3 y T4, referidos a la reproducción por semilla, aumentaron el crecimiento.

Este efecto fue resultado del rebrote, puesto que, tras haber ocurrido un lavado de sales, la especie entra en un periodo de rebrote, donde se pudo evidenciar el mayor crecimiento en altura de los tratamientos reproducidos por semilla, tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente, además se observó que en esta última etapa la biomasa aumentó significativamente.

Resultado opuesto se pudo evidenciar en los tratamientos T5, T6, T7 y T8 correspondientes a la reproducción vía vegetativa, el cual presentó amarillamiento, llegando a un punto de marchitez o sequía fisiológica y resquebrajamiento o abscisión de hojas adultas, puesto que estas hojas, si bien desarrollaron más grandes, tendían a quebrarse al tacto, además, se pudo observar que no aumentó la biomasa ni el macollamiento.

Efectos similares se reportan en el cultivo de fresa, la necrosis en hojas adultas se presenta de forma mayor que en las hojas jóvenes, las plantas de fresa acumulan los iones tóxicos en las hojas adultas como respuesta a la toxicidad por NaCl, lo que posteriormente ocasiona que las hojas se necrosen por completo y se caigan, lo que ocurre para la mayoría de las plantas sometidas a estrés por sales (Casierra-Posada & García, 2005).

Según Olmos, (2007) el macollamiento comienza cuando una plántula está establecida y generalmente termina cuando se inicia el desarrollo del primordio floral (inicio de fase reproductiva), al respecto, Marchegiani (1985) menciona que el macollaje influye marcadamente sobre la productividad a través del rebrote, de la misma manera autores como Ramirez *et al.* (2011) y Polón *et al.* (2012), aseveran que con el rebrote se puede alcanzar un rendimiento mayor y un mayor índice de área foliar.

Así mismo, Acuña *et al.* (2015) menciona que el agregado de fósforo produce un importante incremento en la densidad de macollos y en el área foliar del cultivo, lo que se traduce en incremento de biomasa aérea, principalmente en el periodo invierno-otoño.

Al respecto, Borrajo *et al.* (1998) menciona que la tasa de macollaje proporcional varía entre periodos y que el potencial del macollaje esta genéticamente determinado y puede variar entre especies, así como entre genotipos.

En este sentido se evidencia que, en las últimas semanas de esta investigación, cuando inició el periodo de rebrote, los tratamientos con reproducción vegetativa (T5, T6, T7 y T8) presentaron disminución en la altura de planta y los tratamientos con reproducción por semilla (T1, T2, T3 y T4) aumentaron la altura de planta, esto debido principalmente a la etapa de rebrote y no así por los niveles de sal.

6.5 Velocidad de crecimiento del pasto agropiro

En el cuadro 27 se muestra el análisis de varianza de la velocidad de crecimiento durante todo el tiempo que se llevó a cabo la investigación:

Cuadro 27: ANVA velocidad de crecimiento del pasto agropiro

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F			
Modelo	7	5.168	0.738	75.24	<.0001			
Método de repr.	1	4.907	4.907	500.08	<.0001	4.49	8.53	**
Nivel de sal	3	0.203	0.067	6.91	0.0034	3.24	5.29	**
Método*Nivel	3	0.057	0.019	1.95	0.1630	3.24	5.29	NS
Error	16	0.157	0.009					
Total	23	5.325						

CV= 17.4% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

Para los métodos de reproducción, tanto por semilla y vegetativa, respecto a la velocidad de crecimiento los datos obtenidos en el análisis de varianza (cuadro 27) indican que son altamente significativos ($p < .0001$), esto indica que la velocidad de crecimiento es diferente en la reproducción mediante semilla y la reproducción vía vegetativa, de la

misma manera, el análisis de varianza demostró una alta significancia en los niveles de sal ($p=0.0034$), el cual indica que la velocidad de crecimiento está influenciada por la concentración de sales, pero no por la interacción entre ambos factores ($p=0.1630$).

- Métodos de reproducción

Cuadro 28: Comparación de medias Duncan para la velocidad de crecimiento en el factor "métodos de reproducción"

Duncan Agrupamiento	Media (cm/sem)	N	Método de reproducción
A	1.022	12	VEGETATIVO
B	0.118	12	SEMILLA

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los datos obtenidos mediante las comparaciones de medias de la prueba Duncan, muestran una velocidad de crecimiento superior en la reproducción vegetativa, el cual en promedio crece a una velocidad de 1 cm por semana, a diferencia de la reproducción por semilla, el cual crece a un promedio de 0.1 cm por semana.

- Niveles de salinidad

De la misma manera el análisis de varianza del cuadro 28 indica que los niveles de sales con respecto a la velocidad de crecimiento son altamente significativos, esto significa que, a distintas concentraciones de sales, la velocidad de crecimiento es diferente.

Las comparaciones de medias de los niveles de salinidad empleados son evaluadas según la medición de la velocidad de crecimiento por semana, el cual se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 29: Comparación de medias Duncan para la velocidad de crecimiento en el factor "niveles de sal"

Duncan Agrupamiento	Media (cm/sem)	N	Nivel de sal
A	0.72174	6	0(TESTIGO)
B	0.55664	6	0.4 M
B	0.52930	6	0.7 M
B	0.47478	6	1 M

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los datos obtenidos mediante las comparaciones de medias de la prueba Duncan indican que hubo una diferencia marcada en la velocidad de crecimiento de los tratamientos con niveles de sal respecto al testigo, tales tratamientos se detallan a continuación:

Cuadro 30: Velocidad de crecimiento promedio por tratamiento (cm/semana)

Velocidad de crecimiento	Unidades
T1	0,21 Cm/semana
T2	0,09 Cm/semana
T3	0,08 Cm/semana
T4	0,10 Cm/semana
T5	1,23 Cm/semana
T6	1,03 Cm/semana
T7	0,98 Cm/semana
T8	0,85 Cm/semana

En general las gramíneas perennes de uso forrajero presentan un lento crecimiento inicial y pocas reservas en la semilla, lo que hace que el establecimiento de la plántula sea una etapa crucial para el desarrollo del cultivo. Si a esto se suman condiciones adversas en el medio, como la falta de agua o la presencia de sales en el perfil del suelo, el establecimiento de la pastura es aún más difícil (Ruiz & Terenti, 2012).

En ensayos realizados por García *et al.* (2010) se encontró una reducción de la germinación con el aumento del estrés salino; causado por la sequía fisiológica inducida

por la disminución del potencial osmótico. Ello ocasiona una menor disponibilidad del agua, lo que genera estrés hídrico en la semilla y retrasa su crecimiento como consecuencia del costo energético para la planta; además el NaCl puede generar, a su vez, un efecto tóxico adicional. En este sentido Azcón y Talón (2013) menciona que la reducción del desarrollo inicial de las plantas en condiciones de salinidad se ha asociado a una disminución de la fotosíntesis (citado en Ramírez *et al.*, 2017).

Los resultados del presente trabajo demostraron que la velocidad de crecimiento está influenciada por el método de reproducción, y así mismo por los niveles de sales que interactúan en el proceso de crecimiento, ello explica lo enunciado por Borrajo y Alonso (2004) acerca de que el crecimiento de las plantas es proporcional a la concentración salina (citado en Jauregui, *et al.*, 2017).

Al respecto Martínez, *et al.* (2011) menciona que existen diversos daños que provoca el estrés por salinidad en las diferentes especies cultivadas tales como el trigo, pimiento, tomate, melón, brócoli, fresa y chile ancho, se destacan como principales efectos los siguientes: según Parés *et al.* (2008) la salinidad origina reducción del crecimiento de los cultivos, igualmente, 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, síntesis de proteínas, síntesis de ácidos nucleicos, actividad enzimática y balance hormonal; además, puede afectar el proceso de transporte de agua e iones, lo que promueve toxicidad iónica y desbalance nutricional. En consecuencia, variables como: masa seca, altura de planta y área foliar, entre otras, son severamente afectadas por la presencia de sales.

Según Nuñez *et al.* (2007) uno de los primeros efectos fisiológicos que provoca el estrés salino en las plantas es la reducción de crecimiento debido a una disminución en la capacidad de absorción de agua. Este efecto osmótico consiste en que altas concentraciones de sales incrementan las fuerzas potenciales que retienen al agua en la solución del suelo y hace más difícil la extracción del agua por las raíces de la planta, incrementando la energía necesaria para su absorción (citado en Martínez *et al.*, 2011).

6.6 Peso y volumen de la raíz del pasto agropiro

En los cuadros 31 y 32 se presenta el análisis de varianza respecto al peso y volumen de la raíz respectivamente, este peso se consiguió tras un lavado intenso de la raíz después de la cosecha.

Cuadro 31: ANVA peso de raíz del pasto agropiro

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F			
Modelo	7	69.159	9.879	40.00	<.0001			
Método de repr.	1	14.172	14.172	57.38	<.0001	4.49	8.53	**
Nivel de sal	3	28.447	9.482	38.39	<.0001	5.29	3.24	**
Método*Nivel	3	26.539	8.846	35.82	<.0001	5.29	3.24	**
Error	16	3.951	0.246					
Total	23	73.110						

CV= 5.8% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

Cuadro 32: ANVA volumen de raíz del pasto agropiro

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F			
Modelo	7	1977.329	282.475	35.10	<.0001			
Método de repr.	1	247.614	247.614	30.77	<.0001	4.49	8.53	**
Nivel de sal	3	398.986	132.995	16.53	<.0001	5.29	3.24	**
Método*Nivel	3	1330.728	443.576	55.12	<.0001	5.29	3.24	**
Error	16	128.762	8.047					
Total	23	2106.092						

CV= 6.4% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

Los datos obtenidos del análisis de varianza del cuadro 31 y cuadro 32 indican que existe una alta significancia respecto al peso de raíz y volumen de raíz en los diferentes métodos de reproducción ($p < .0001$) en ambos casos, esto indica que el peso y volumen de la raíz es diferente en ambos métodos de reproducción, así mismo el análisis de varianza indica que el peso y el volumen de raíz están influenciados por los niveles de sal ($P < .0001$), al igual que la interacción de ambos factores ($P < .0001$).

- Método de reproducción

Cuadro 33: Comparación de medias Duncan para el peso y volumen de la raíz en el factor "métodos de reproducción"

Duncan Agrupamiento	Media (Peso)	Media(Vol.)	N	Método de reproducción
A	9.2872	47.530	12	SEMILLA
B	7.7503	41.106	12	VEGETATIVO

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los datos obtenidos mediante las comparaciones de medias de la prueba Duncan, (cuadro 33) muestran un peso y volumen mayor para el método de reproducción por semilla, esto indica que, en la reproducción por semilla, la formación de raíces fue mayor que la producida mediante la reproducción vegetativa.

Al respecto Ovando *et al.* (s.f.) afirman que la formación de raíces en la propagación vegetativa puede depender de ciertos factores inherentes como la condición fisiológica de la planta madre y las variables climáticas, al respecto, Heriquez (2004) señala que la formación de raíces depende de una serie de factores internos o endógenos, los que interactúan en forma compleja, generando cambios en el metabolismo, la desdiferenciación y el crecimiento. Este mismo autor indica que las auxinas son los que tienen el mayor efecto sobre la formación de raíces, y que estas se sintetizan en las hojas y promueven la formación de raíces.

Esta afirmación concuerda con la presente investigación puesto que, las plantas reproducidas por semilla presentaron mayor biomasa, en contraste a las plantas reproducidas de forma vegetativa, que, si bien tenían mayor altura, estas registraron menor biomasa.

Según Heriquez (2004), los principales factores que afectan la formación de raíces son: edad de la planta madre, condición fisiológica de la planta madre, época de colecta, condiciones sanitarias, condiciones ambientales, condiciones de enraizamiento, factores que pudieron afectar las plantas reproducidas vegetativamente.

Sin embargo, en esta investigación se pudo evidenciar que el crecimiento de las raíces de plantas reproducidas por semilla fue mayor a las reproducidas mediante macollos o parte vegetal.

- Niveles de sal

Con los niveles de salinidad respecto al peso y volumen de raíz en el análisis de varianza, cuadro 31 y cuadro 32, se obtuvo datos altamente significativos, esto indica que a diferentes niveles de salinidad el peso y volumen de la raíz es diferente, la prueba Duncan realizada para el peso de raíz respecto a los niveles de salinidad muestra diferencias entre los pesos agrupándolo en 4 grupos (cuadro 34).

Cuadro 34: Comparación de medias Duncan para el peso y volumen de la raíz en el factor "niveles de sal"

Duncan Agrup.	Media (Peso)	Nivel de sal	Duncan Agrup.	Media (Vol.)
A	9.9854	0(TESTIGO)	A	49.896
B	9.0396	0.4_M	B	45.667
C	7.9396	0.7_M	B	43.042
D	7.1104	1_M	C	38.667

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

En esta investigación se observó la capacidad de enraizamiento de esta especie, aun en condiciones de salinidad, el cual se atribuye principalmente a dos aspectos, uno y más importante, la tolerancia a la salinidad demostrada por esta especie y mencionada por autores como Bazzigalupi *et al.* (2008), Borrajo *et al.* (1998), los cuales resaltan la tolerancia de esta especie a altos niveles de salinidad, y dos, el lavado de sales ya reportado en esta investigación, cabe recalcar que durante la cosecha se observó presencia de sales situadas cerca de la raíz (Anexo 7), puesto que, si bien hubo un lavado de sales, las sales aún estaban presentes en el sustrato..

La prueba Duncan indica que, a mayor concentración salina o salinidad en el sustrato, el peso y volumen de la raíz es diferente, este efecto se debe a los problemas que tiene la planta para la asimilación de agua y nutrientes y es causado por la toxicidad de las sales, en especial la toxicidad de iones específicos.

Al respecto Pizarro (1996), indica que la absorción de agua del suelo por las raíces de las plantas exige a estas un esfuerzo mayor, en efecto las raíces se comportan como membrana semipermeable que separan dos soluciones de distinta concentración, y por lo tanto de distinto potencial osmótico en el exterior del agua del suelo y en el interior la del xilema.

Efectos comparativos se han señalado en otras investigaciones realizadas con *Manilkara achras* Meza *et al.* (2004), *Solanum lycopersicum*, *Phaseolus vulgaris*, *Kochia scoparia*, *Tabebuia serratifolia* y *Allium cepa* (Morales *et al.*; García *et al.*; Sisov *et al.*; Ramírez *et al.*; García *et al.* citados en Ramírez *et al.*, 2017) puesto que el poco desarrollo de las raíces fue causado por las condiciones salinas, el cual probablemente influyo en el bajo crecimiento de los tallos.

- Interacción entre métodos de reproducción y nivel de sal

La interacción correspondiente a los métodos de reproducción y los niveles de sal obtuvieron una alta significancia según los análisis de varianza de los cuadros 31 y 32.

- Análisis de efectos simples

Cuadro 35: Análisis de efectos simples para la interacción, efecto dividido por método de reproducción para peso

METODO DE REPRODUCCION*NIVEL DE SAL EFECTO DIVIDIDO POR METODO DE REPRODUCCION PARA PESO					
Método de reproducción	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Semilla	3	50.012	16.670	67.50	<.0001
Vegetativo	3	4.973	1.657	6.71	0.0038

En el análisis de efectos simples para la interacción con relación al método de reproducción se obtuvieron resultados altamente significativos para la reproducción por semilla ($p < .0001$), esto indica que el peso y volumen de raíz en la reproducción por semilla están influenciados por el método de reproducción, así mismo el peso de raíz respecto a la reproducción vegetativa, ($p = 0.0038$).

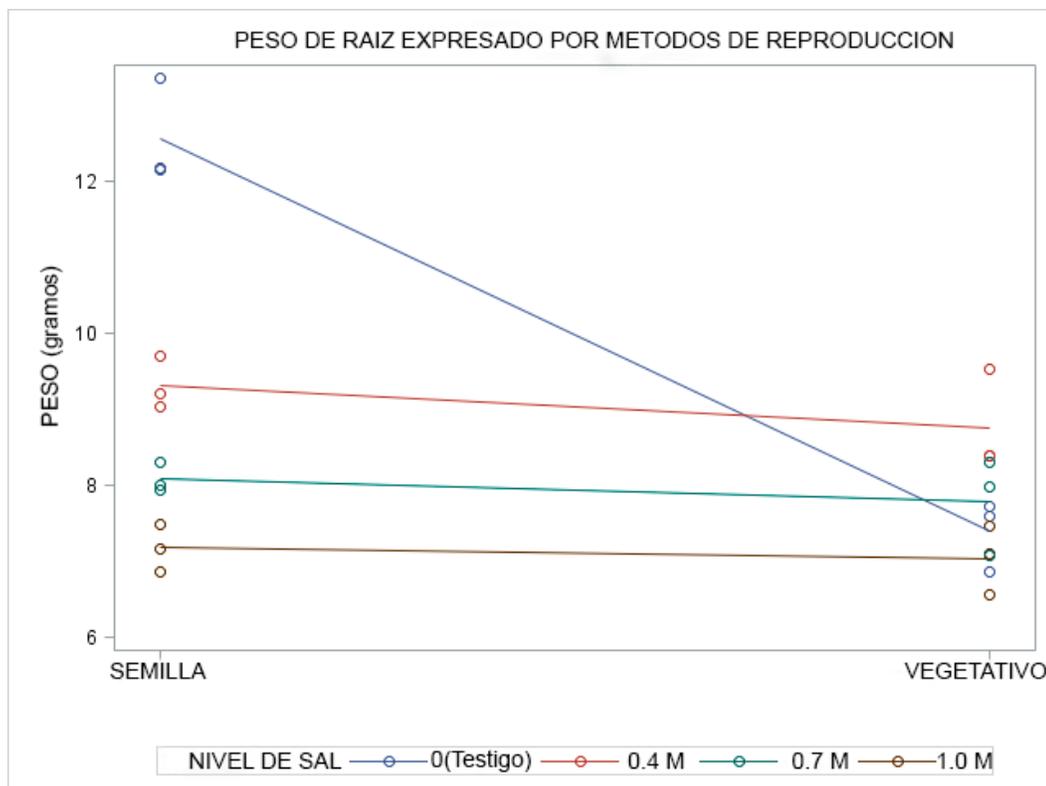


Figura 10: Peso de raíz expresado por métodos de reproducción

Cuadro 36: Análisis de efectos simples para la interacción, efecto dividido por niveles de sal para peso

METODO *NIVEL EFECTO DIVIDIDO POR NIVEL DE SAL PARA PESO					
Nivel de sal	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
0(TESTIGO)	1	40.106	40.106	162.39	<.0001
0.4 M	1	0.446	0.446	1.81	0.1973
0.7 M	1	0.131	0.131	0.53	0.4765
1 M	1	0.027	0.027	0.11	0.7435

El análisis de efectos simples para la interacción con respecto a los niveles de sal muestra resultados altamente significativos solamente para el TESTIGO ($p < .0001$), y no significativo para el resto de los niveles de sal ($p = 1.81$), ($p = 0.53$), ($p = 0.11$), correspondientes a 0.4M, 0.7M y 1M respectivamente.

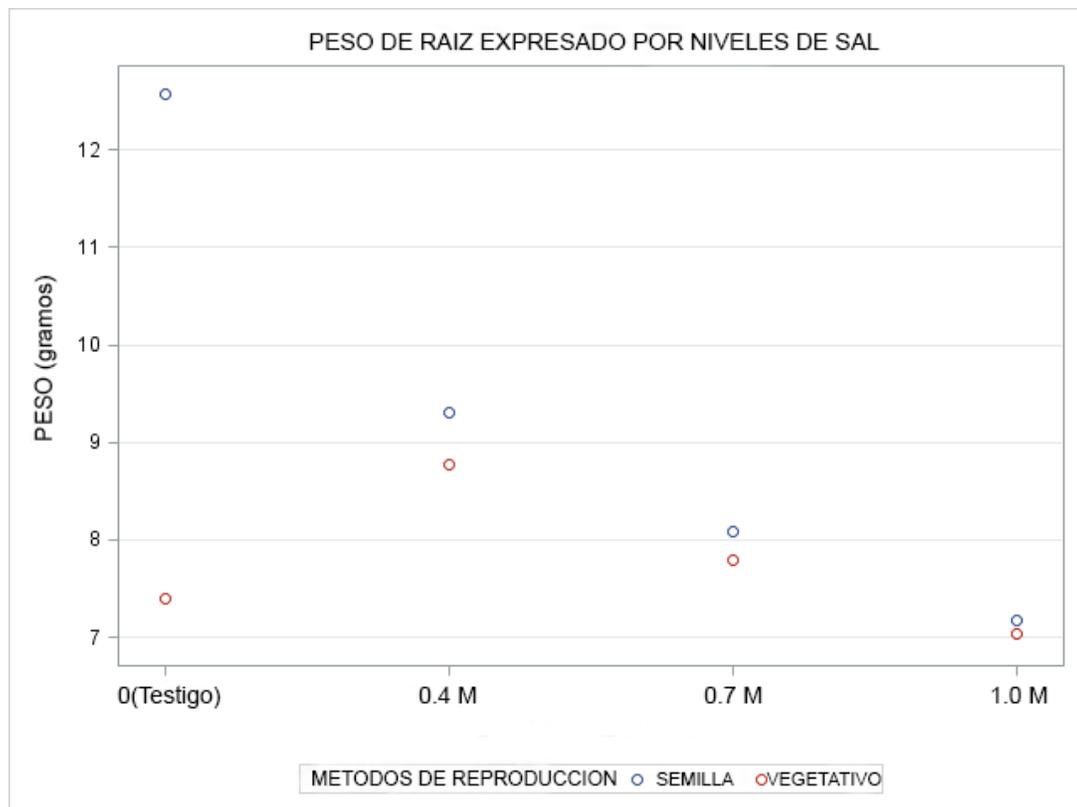


Figura 11: Peso de raíz expresado por niveles de sal

En la figura 10 se puede apreciar tal efecto, donde, se obtiene como resultado que a mayor nivel de salinidad el peso y volumen de raíz es menor, este peso y volumen de raíz estadísticamente es no significativo en los tratamientos que contienen niveles de salinidad, es decir, 0.4 M, 0.7 M, y 1 M, ya sea el método de reproducción que se utilice el peso y volumen de la raíz es estadísticamente similar, esto indica que los métodos de reproducción no afectaron al peso y volumen de la raíz en los distintos niveles de salinidad, que se aprecia de manera detallada en la figura 11.

No obstante, el peso y volumen de raíz en los tratamientos T1 y T5, correspondientes a los Testigos, es diferente de manera significativa, puesto que, el peso y volumen de la raíz en el tratamiento reproducido mediante semilla (T1) es notablemente mayor que el resto de los tratamientos, y de manera opuesta, el tratamiento reproducido de manera vegetativa (T5) es comparable con el peso y volumen de tratamientos con altos niveles de sal (figura 10).

Este fenómeno particular posiblemente se debe a que a niveles de salinidad el efecto osmótico genera un comportamiento donde no importando el tipo de reproducción, las raíces se adecuan a la necesidad de conseguir agua y por ende nutrientes, aspecto que es dificultoso por la cantidad de sales en el sustrato y la toxicidad específica de iones de esta, a esto sumarle la tolerancia genética de esta especie, que demuestra un comportamiento muy diferente cuando el sustrato es óptimo para su desarrollo (Testigo), puesto que en la presente investigación se ha demostrado que a pesar de que el tratamiento T5 presenta menor peso y volumen de raíz, tiene mayor altura de planta.

Al respecto Santamaría-Cesar *et al.* (2004) menciona que este efecto osmótico consiste en que altas concentraciones de sales incrementan las fuerzas potenciales que retienen al agua en la solución del suelo y hace más difícil la extracción del agua por las raíces de la planta, incrementando la energía necesaria para su absorción (citado en Martínez *et al.*, 2011).

En investigaciones realizadas por Zapata *et al.* (2003), se observaron efectos adicionales al estrés por salinidad, donde la producción de etileno tanto de la parte aérea y de la raíz disminuyó de manera significativa (más de un 25%) como consecuencia de la salinidad en el tomate, melón y brócoli, mientras que aumentó más de cuatro veces en la parte aérea del pimiento y alrededor de un 20% en la raíz (citado en Martínez *et al.*, 2011).

El etileno, como hormona vegetal o fitohormona, es una de las hormonas más importantes de las plantas, ya que actúa de forma directa sobre la maduración de frutos, sobre el crecimiento de la planta y sobre la caída y abscisión de la hoja además de estimular las respuestas del envejecimiento (Murray, 2005; Rodríguez, 2016)

Efectos comparativos se han señalado en otras investigaciones realizadas con *Manilkara achras* Meza *et al.* (2004), *Solanum lycopersicum*, *Phaseolus vulgaris*, *Kochia scoparia*, *Tabebuia serratifolia* y *Allium cepa* (Morales *et al.* 2010; García *et al.* 2010; Sisov *et al.* 2011; Ramírez *et al.* 2014; García *et al.* 2015 citados en Ramírez *et al.*, 2017) puesto que el poco desarrollo de las raíces fue causado por las condiciones salinas.

Efecto contrario se reportó por Dasberg *et al.* (1991) y Cerda *et al.* (1990) puesto que, en cítricos, el crecimiento en la zona radicular de los árboles se incrementa, mediante el aumento de la salinidad en el sustrato (citados en Casierra-Posada, 2006).

Investigaciones realizadas por García *et al.* (2010) reportaron en cuanto al sistema radical a altas concentraciones salinas provocó una disminución del peso seco de las raíces en variedades de carota y que en concentraciones de NaCl altas provocó una reducción de la biomasa de las raíces. Efectos similares se encontraron en la presente investigación

6.7 Rendimiento

6.7.1 Peso fresco de la parte aérea

El análisis de varianza para el rendimiento en peso fresco de la parte aérea se presenta en el cuadro 37.

Cuadro 37: ANVA peso fresco de la parte aérea

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F	
Modelo	7	5.743	0.820	3.71	0.0142	
Método de repr.	1	3.251	3.251	14.69	0.0015	**
Nivel de sal	3	1.686	0.562	2.54	0.0931	NS
Método*Nivel	3	0.805	0.268	1.21	0.3372	NS
Error	16	3.542	0.221			
Total	23	9.286				

CV= 8.2% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

Según el análisis de varianza de la cuadro 37 los valores obtenidos para los métodos de reproducción son altamente significativos ($p=0.0015$), el cual indica que uno de los métodos de reproducción fue diferente respecto al peso fresco, de manera opuesta, los resultados obtenidos en el análisis de varianza indican que no hubo significancia en los niveles de sal ($p=0.0931$), efecto posiblemente relacionado por el lavado de sales producido por las lluvias en el año 2017 que se realizó la investigación.

De igual manera, la interacción de los métodos de reproducción por los niveles de sal obtuvo un resultado no significativo ($p=0.3372$) en el análisis de varianza.

- Métodos de reproducción

Cuadro 38: Comparación de medias Duncan para peso fresco de la parte aérea en el factor "métodos de reproducción"

Duncan Agrupamiento	Media (g)	N	Método de Reproducción
A	6.1228	12	SEMILLA
B	5.3866	12	VEGETATIVO

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los datos obtenidos mediante las comparaciones de medias de la prueba Duncan, muestran un rendimiento por planta mayor en la reproducción por semilla.

El rendimiento de peso fresco de la parte aérea se expresó en toneladas por hectárea, el cual fue el resultado de la conversión del rendimiento promedio por tratamiento y la superficie de una maceta o bolsa de dimensiones 20X30cm expresado en m², obteniendo como resultado 0.02m², transformado a hectárea, el cual se presenta en la figura 12.

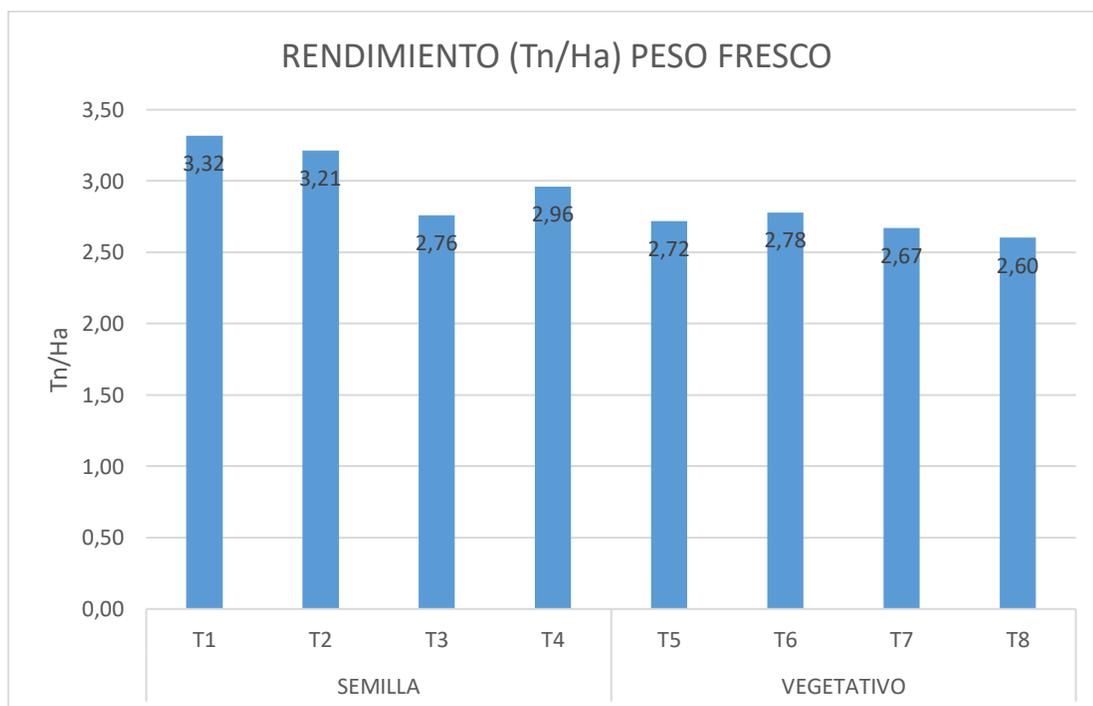


Figura 12: Rendimiento (Tn/Ha) Peso fresco

6.7.2 Peso seco de la parte aérea

El análisis de varianza para el peso seco de la parte aérea se presenta en el cuadro 39:

Cuadro 39: ANVA peso seco de la parte aérea

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F	
Modelo	7	0.907	0.129	1.04	0.4439	
Método de repr.	1	0.421	0.421	3.37	0.0848	NS
Nivel de sal	3	0.406	0.135	1.09	0.3832	NS
Método*Nivel	3	0.078	0.026	0.21	0.8880	NS
Error	16	1.998	0.124			
Total	23	2.905				

CV= 7.1% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

En el análisis de varianza para el rendimiento en peso seco de la parte aérea se obtuvo resultados no significativos para métodos de reproducción ($p=0.0848$), niveles de sal ($p=0.3832$) y para la interacción de métodos de reproducción por niveles de sal ($p=0.8880$).

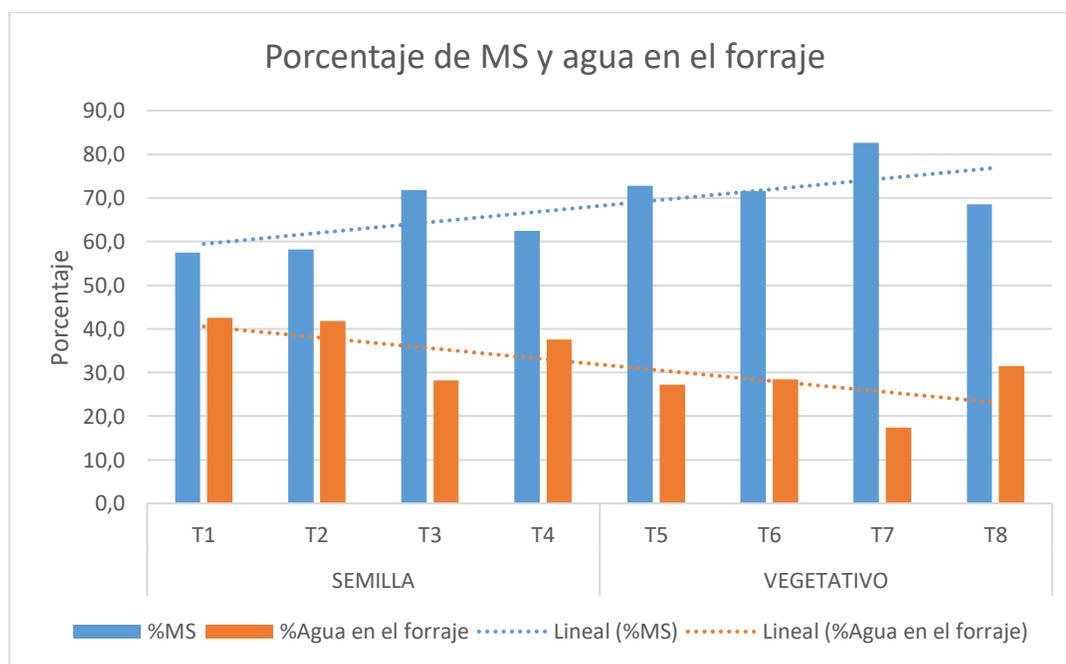


Figura 13: Porcentaje de Materia seca y agua en el forraje

El valor de la variable peso seco por planta no se vio afectado ni por los métodos de reproducción, ni por los niveles de sal, posiblemente esto se debe a que el porcentaje de materia seca tiene una tendencia a aumentar en la reproducción vegetativa, pero el porcentaje de agua que tiene este forraje tiene una tendencia a disminuir.

Durante la investigación se pudo observar que los tratamientos correspondientes a la reproducción vegetativa formaron de manera temprana tallos, y los reproducidos por semilla, presentaron mayor cantidad de hojas (Anexo 8).

Este factor pudo afectar el peso seco y la no significancia en el análisis de varianza, puesto que, en la variable peso fresco, la reproducción por semilla obtuvo mayor rendimiento a comparación del peso fresco de la reproducción vegetativa.

En el proceso de secado, la reproducción por semilla, que tiene mayor cantidad de hojas y área foliar, se redujo, a comparación del secado en la reproducción vegetativa, que su reducción en cuanto a peso fue menor, este fenómeno pudo incidir en la no significancia en el análisis de varianza.

Estudios realizados por Casierra-Posada (2006), demostraron que el peso seco total por planta fue afectado severamente por la salinidad en el sustrato, por tanto, se presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$) entre los tratamientos de guayabo. Una disminución originada por la salinidad sobre el peso seco total de las plantas fue del orden de 16.6, 20.4, 43.1 y 49.4%, en comparación con las plantas control, para tratamientos con 20; 40; 60 y 80 mili moles de NaCl.

Acuña *et al.* (2015) reporta que la producción de materia seca por planta disminuye respecto a la concentración salina en sustratos sódicos, salinos, salino-sódicos, respectivamente, cabe recalcar que esta investigación uso solo el método de reproducción vegetativa.

El rendimiento de peso seco de la parte aérea se expresó en toneladas por hectárea, el cual fue el resultado de la conversión del rendimiento promedio por tratamiento y la superficie de una maceta o bolsa de dimensiones 20X30cm expresado en m², obteniendo como resultado 0.02m², transformado a hectárea, el cual se presenta en la figura 14.

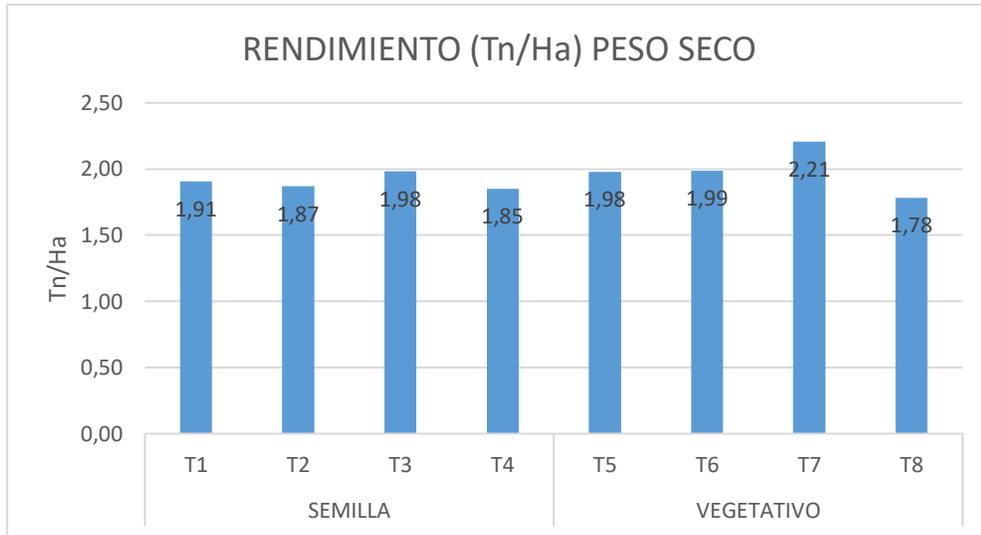


Figura 14: Rendimiento (Tn/Ha) Peso seco

6.8 Cociente raíz/parte aérea (respecto al peso)

En el cuadro 40 se presenta el análisis de varianza para la variable cociente raíz/parte aérea, se expresó los datos en tanto por ciento.

Cuadro 40: ANVA coeficiente raíz/parte aérea

Fuente	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F	
Modelo	7	0.868	0.124	5.51	0.0023	
Método de repr.	1	0.035	0.035	1.57	0.2285	NS
Nivel de sal	3	0.376	0.125	5.57	0.0082	**
Método*nivel	3	0.456	0.152	6.76	0.0037	**
Error	16	0.360	0.022			
Total	23	1.228				

CV= 10.2% **Altamente significativo (1%) *Significativo (5%) NS No significativo

En cuanto al cociente raíz/tallo, el resultado para el factor métodos de reproducción fue no significativo ($p=0.2285$), esto indica que el coeficiente raíz/tallo respecto al peso es estadísticamente similar.

Sin embargo, para los niveles de sal y la interacción entre métodos de reproducción y niveles de sal el resultado fue altamente significativo ($p=0.0082$) y ($p=0.0037$) respectivamente, esto indica que el coeficiente raíz/tallo está influenciado por los niveles de sal y su correspondiente interacción con los métodos de reproducción.

- Nivel de sal

Cuadro 41: Comparación de medias Duncan para el cociente raíz/parte aérea en el factor "niveles de sal"

Duncan Agrupamiento		Media (g)	N	NIVEL_DE_SAL
	A	1.63238	6	0(TESTIGO)
	A	1.52578	6	0.4 M
B	A	1.46478	6	0.7 M
B		1.28711	6	1 M

- Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Los datos obtenidos mediante las comparaciones de medias de la prueba Duncan, muestran un coeficiente mayor en los niveles 0 (Testigo), 0.4 M, y 0.7 M respecto al nivel más alto 1 M.

Si bien el agrupamiento de la prueba Duncan divide las medias en dos grupos, se puede observar que a medida que la concentración de sales aumenta, el coeficiente raíz/parte aérea disminuye.

La longitud y peso de las raíces determinan el tamaño del sistema radical y el volumen de suelo que puede explorar, para la absorción de agua y nutrientes; la velocidad de

crecimiento (tasa relativa de crecimiento o tasa de elongación radical) y la abundancia de las ramificaciones de las raíces laterales, son también características importantes para el desarrollo de un sistema radical extendido y profundo, que pueda capturar humedad eficazmente en las capas cercanas a la superficie del suelo y a mayor profundidad en el perfil del suelo (Barrios-Gómez *et al.*, 2012).

Cabe recalcar que, en la presente investigación, se usó bolsas de plástico para plántulas LDPE (20x30), el cual pudo haber limitado el crecimiento o la expansión de la raíz, aunque no se evidencio tal efecto.

Estudios realizados por Ramirez *et al.* (2017), demostraron que las soluciones salinas de NaCl no produjeron diferencias significativas en cuanto al coeficiente raíz/tallo hasta 3 dS/m en Guayabo durante la germinación.

Así mismo, estudios realizados por Casierra-Posada (2006), encontraron que las plantas tratadas con NaCl en el sustrato no produjeron diferencias significativas, a pesar de lo cual se observa un incremento en relación con las plantas control. Este mismo autor reporta que en investigaciones en cultivares de *Psidium guajava* la relación raíz/parte aérea, no presentaron diferencias significativas de acuerdo con los factores concentración NaCl en el sustrato.

Sin embargo, la presente investigación presenta resultados altamente significativos en el coeficiente raíz/parte aérea, esto puede atribuirse principalmente a la tolerancia de la especie a condiciones salinas, puesto que en esta misma investigación se demostró que el volumen de raíz de esta especie está influenciado por la concentración salina en el sustrato, y que depende de la concentración de sal, la raíz se comporta de manera diferente para adecuarse a las condiciones, lo que concuerda con los resultados obtenidos en el coeficiente raíz/parte aérea, puesto que, la parte aérea estaría influenciada por el crecimiento y expansión de la raíz, debido a la asimilación de agua y nutrientes, afectado por el efecto osmótico, problema inducido por la salinidad.

- Interacción

La interacción correspondiente a los métodos de reproducción y los niveles de sal en el coeficiente raíz/parte aérea, obtuvieron una alta significancia según el análisis de varianza del cuadro 40.

- Análisis de efectos simples

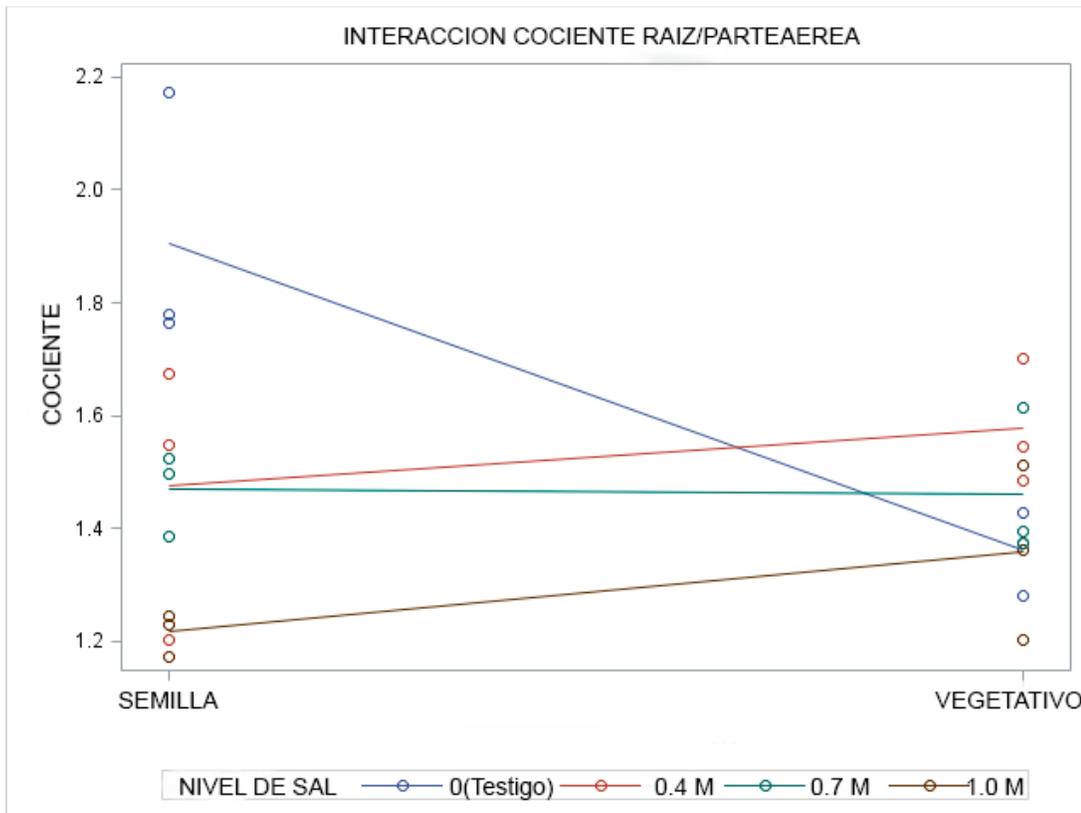


Figura 15: Interacción cociente raíz/parte aérea expresado por métodos de reproducción

En la figura 15 se puede observar que a medida que se aumenta la concentración salina el coeficiente raíz/parte aérea disminuye, en todos los tratamientos con concentración salina en el sustrato, el comportamiento del TESTIGO es diferente puesto que en la reproducción por semilla el coeficiente raíz/parte aérea es alto, en contraste al coeficiente raíz/parte aérea de la reproducción vegetativa, ya que este es equivalente al coeficiente raíz/parte aérea de las concentraciones más altas en el sustrato. Efecto parecido ocurrió

en el peso y volumen de la raíz, esta desarrolló de manera similar a la raíz en la concentración más alta de salinidad (1M).

Cuadro 42: Análisis de efectos simples para la interacción, efecto dividido por método de reproducción para cociente raíz/parte aérea

METODO DE REPRODUCCION*NIVEL DE SAL EFECTO DIVIDIDO POR METODO DE REPRODUCCION PARA COCIENTE					
Método de reproducción	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F
Semilla	3	0.736	0.245	10.90	0.0004
Vegetativo	3	0.096	0.032	1.43	0.2696

El análisis de efectos simples para la interacción con relación a los métodos de reproducción muestra efectos significativos en la reproducción por semilla ($p=0.0004$), lo que indica que, el coeficiente raíz/parte aérea en este método de reproducción es mayor, y no así en el método de reproducción vegetativa, dado que este obtuvo resultados no significativos ($p=0.2696$).

Cuadro 43: Análisis de efectos simples para la interacción, efecto dividido por niveles de sal para cociente raíz/parte aérea

METODO DE REPRODUCCION*NIVEL DE SAL EFECTO DIVIDIDO POR NIVEL DE SAL PARA COCIENTE					
NIVEL DE SAL	DF	SC	CM	F-Valor	Pr > F
0(TESTIGO)	1	0.445	0.445543	19.79	0.0004
0.4 M	1	0.015	0.015840	0.70	0.4139
0.7 M	1	0.0000848	0.000084847	0.00	0.9518
1 M	1	0.030645	0.030645	1.36	0.2604

El análisis de efectos simples para la interacción respecto a los niveles de sal muestra resultados altamente significativos solamente para el TESTIGO ($p < 0.0004$), y no significativo para el resto de los niveles de sal ($p = 0.4139$), ($p = 0.9518$), ($p = 0.2604$), correspondientes a 0.4 M, 0.7 M y 1 M respectivamente.

Según Mascarini *et al.* (2010) este cociente también se ha utilizado para explicar las adaptaciones de los individuos ante procesos de estrés ambiental.

El cociente raíz/parte aérea constituye otro factor importante en la adaptación a la sequía; los genotipos tolerantes a sequía requieren desarrollar un sistema radical extenso y profundo, constituido por raíces delgadas y con vasos de xilema de menor diámetro, que permita mantener la absorción de agua y nutrientes, para la expansión de nuevos tejidos tanto en el sistema radical como en los órganos aéreos de la planta (área foliar, tallos y estructuras reproductoras). En este sentido es importante señalar que el cociente de raíz/parte aérea por sí mismo, no es un criterio de selección efectivo para incrementar la absorción de agua y nutrientes y la tolerancia a la sequía y rendimiento, habrá que tener cuidado de seleccionar cultivares que además de producir sistemas radicales y extensos también tengan alta acumulación de biomasa en la parte aérea; de otra manera un crecimiento radical excesivo a expensas de los órganos aéreos de la planta puede resultar en bajo rendimiento (Barrios-Gómez *et al.*, 2012).

En otras especies se ha observado en cuanto a la longitud de las raíces de trigo, cebada y avena, maíz, trigo y sorgo (López-Castañeda *et al.*, 1996; Pérez de la Cerda *et al.*, 2007; Liao *et al.*, 2004; Valadez-Gutierrez *et al.*, 2007 citados en Barrios-Gómez *et al.*, 2012), respectivamente, que un mayor desarrollo de la plántula es debido a un mayor número de raíces. La opinión tradicional sugiere que un sistema radical vigoroso y extenso combinado con mecanismos de escape de déficit hídrico de la planta es una de las mejores estrategias de la resistencia a sequía, así mismo un alto vigor en el crecimiento de las raíces favorece una alta absorción de agua y nitrógeno de muchas especies.

7 CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

- Las soluciones salinas de 0.1 M y 0.2 M de NaCl afectaron significativamente el porcentaje de germinación, a partir de 0.3 M la semilla de pasto agropiro demostró ser sensible. Así mismo estas concentraciones retrasan los días a la germinación hasta 5 veces más con respecto al testigo.
- Las concentraciones 0.4 M; 0.7 M y 1M produjeron una disminución y retraso en el porcentaje de emergencia. La población de los plantines emergidos se reduce en medida que aumenta la concentración de la salinidad.
- El crecimiento en altura de planta está influenciado por el método de reproducción, obteniendo mayor altura la reproducción por vía vegetativa. En cuanto a los niveles de sal respecto a la altura de planta, la no significancia fue resultado de un lavado paulatino de sales provocado por lluvias.
- La velocidad de crecimiento está influenciada por el método de reproducción y por los niveles de sal, ésta disminuye cuando está afectada por concentraciones salinas.
- El peso y volumen de raíz fue influenciado por el método de reproducción, niveles de sal y la interacción entre estos factores, se observó que la reproducción por semilla produce un mayor crecimiento radicular. Los niveles de sal afectaron el volumen y peso de raíz, mostrando que, a mayor concentración de sal, menor fue el volumen y el peso de raíz.
- Se demostró que las raíces del agropiro se adecuan a la necesidad de conseguir agua y por ende nutrientes en consecuencia de las soluciones salinas.

- El rendimiento en peso fresco de la parte aérea fue mayor en la reproducción por semilla, y no tuvo diferencias significativas en los niveles de sal, pero el peso seco de la parte aérea no obtuvo diferencias significativas en ambos factores (métodos de reproducción y niveles de sal) ni en la interacción, esto debido a que la reproducción vegetativa presentó tallos gruesos y la reproducción por semilla solo presentó hojas y tras el secado dio como resultado diferencias no significativas.

8 RECOMENDACIONES

En base a los resultados y conclusiones obtenidos en la presente investigación se plantean las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios en suelos salinos naturales de la región altiplánica con conductividades eléctricas elevadas en diferentes locaciones.
- Realizar estudios comparativos con diferentes variedades de agropiro en sustrato salino.
- Se recomienda incrementar el cuidado respecto al lavado de sales.
- Investigar el efecto de otras sales en el crecimiento de especies tolerantes a la salinidad.

9 BIBLIOGRAFIA

Trabajos citados

- Acuña, M., Grunberg, K., & Andres, A. (Diciembre de 2015). Evaluacion agronomica de agropiro alargado en sustratos halomorficos. *Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuaria*, 10(29), 43-46.
- Al-Químicos. (21 de Marzo de 2010). *Søren Sørensen: El pionero del pH*. Recuperado el 1 de Enero de 2018, de Blog de cursos y estudiantes de Químicas del Departamento de Ciencias Químico-Biológicas en la Universidad de las Américas Puebla: <http://al-quimicos.blogspot.com/2010/03/sren-sensen-el-pionero-del-ph.html>
- Argentel, L., López, R., González, L., López, R., Gómez, E., & Fonseca, I. (2010). Evaluacion de la tolerancia a la salinidad en estadios tempranos y finales del desarrollo en triticales (X *Triticum secale*). *Cultivos Tropicales*, 31(1), 48-53.
- arvensisagro. (25 de abril de 2014). *arvensis*. Recuperado el 1 de Diciembre de 2017, de <https://www.arvensis.com/blog/el-suelo-salinidad-y-alcalinidad/>
- Badia Villas, D. (1992). *Suelos afectados por sales* (Vol. XIII). Barcelona: Butll. Soc. Cat. Cien.
- Barbaro, L. A., Karlanian, M. A., & Mata, D. A. (s.f.). *Importancia del Ph y la Conductividad Electrica (CE) en los sustratos para plantas*. Argentina: INTA.
- Barrios-Gómez, E. J., López-Castañeda, C., Kohashi-Shibata, J., Acosta-Gallegos, J. A., Miranda-Colín, S., Canul Ku, J., & Mayek-Pérez, N. (2012). Comparacion de las estructuras morfologicas en raiz e hipocótilo en frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(4), 655-669.
- Bazzigalupi, O., Pistorale, S., & Andrés, A. (2008). Tolerancia a la salinidad durante la germinacion de semillas provenientes de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado (*Thynopyrum ponticum*). *Ciencia e Investigacion Agraria*, 35(3), 277-285.
- Bertram, N. (2017). Efecto de la salinidad en la produccion forrajera. *25º Congreso anual Aapresid; 7º Congreso mundial de Agricultura Convencional*. Rosario, Santa Fe Argentina: kairós.

- Borrajo, C., Alonso, S., Mazzanti, A., & Monterubbianesi, G. (1998). Caracterización de poblaciones naturalizadas de agropiro alargado. 2. Macollaje y caracteres reproductivos. *Revista Argentina de Producción Animal*, 18(3-4), 183-192.
- Can Chulim, Á., Ramírez Ayala, C., Ortega Escobar, M., Trejo López, C., & Cruz Días, J. (2008). Evaluación de la relación de adsorción de sodio en las aguas del río Tulancingo, estado de Hidalgo, México. *Terra Latinoamericana*(26), 243-252.
- Casierra-Posada, F. (2006). Distribución y producción total de materia seca en guayabo (*Psidium guajava* L. cv. Palmira ICA-1) bajo estrés salino. *ORINOQUIA*, 10(2), 59-66. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89610208>
- Casierra-Posada, F., & García, N. (2005). Crecimiento y distribución de materia seca en cultivares de fresa (*Fragaria* sp.) bajo estrés salino. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 83-89.
- Cruz, J., Pelacani, C., Soares, W., Castro, M., Ferreira, E., Tosta, A., & Amoedo, R. (2003). PRODUÇÃO E PARTIÇÃO DE MATÉRIA SECA E ABERTURA ESTOMÁTICA DO LIMOEIRO 'CRAVO' SUBMETIDO A ESTRESSE SALINO. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 528-531.
- Csete, S., Streanczinger, S., Szalontai, B., Farkas, A., Pál, R., Salamon-Albert, E., . . . Borhidi, A. (2011). Tall Wheatgrass Cultivar Szarvasi-1 (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvasi-1) as a Potential Energy Crop for Semi-Arid Lands of Eastern Europe. (D. M. Nayeripour, Ed.) *Sustainable Growth and Applications in Renewable Energy*. Obtenido de <https://www.intechopen.com/books/sustainable-growth-and-applications-in-renewable-energy-sources/tall-wheatgrass-cultivar-szarvasi-1-elymus-elongatus-subsp-ponticus-cv-szarvasi-1-as-a-potential-ene>
- Flores, A., Gálvez Valcácel, V., Hernández Lara, O., López Aguirre, J. G., Obregón Santoyo, A., Orellana Gallego, R., . . . Valdés Pérez, M. (1996). *Salinidad un nuevo concepto*. Colima, México.
- Galussi, A., Arguello, J., Cerana, M., Maximino, M., & Moya, M. (2015). Características anatómicas y químicas del tegumento seminal de *Medicago sativa* L. (alfalfa) cv. Baralba 85 y su asociación con la dormición. *Pyton*, 84, 163-175.

- García Zamorano, F., Ruiz Coletto, F., Cano Rodríguez, J., Pérez García, J., & Molina de la Rosa, J. L. (2004). *Suelo, riego, nutrición y medio ambiente del olivar*. Viseconsejería Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- García, Á. (6 de Junio de 2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego PRIMERA PARTE. *Chair Person Soil Fertility and Plant nutrition Commission*, 27-36.
- García, Á. (7 de Septiembre de 2012). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego SEGUNDA PARTE. *Chair Person Soil Fertility and Plant Nutrition Commission*, 26-34.
- García, M., García, G., & Sanabria, M. E. (Noviembre de 2010). Efecto de la salinidad sobre el crecimiento, daño oxidativo y concentración foliar de metabolitos secundarios en dos variedades de caraota (*Phaseolus Vulgaris L.*). *Interciencia*, 35(11), 840-846. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33915598009>
- Gat Fertilizados. (2017). Salinidad en cultivos agrícolas. España: Departamento Agropnomico.
- González, L. M., González, M. C., & Ramírez, R. (2002). Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. *Cultivos tropicales*, 23(2), 27-37. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193218114005>
- Herández, E. (2004). *Evaluación de tres factores de enraizamiento en estacas de morena (Morus alba)*. Santiago.
- Hervé, D., Ledezma, R., & Orsag, V. (2002). *Limitantes y manejo de los suelos salinos y/o sodicos en el altiplano Boliviano*. La Paz: Talleres Graficos "Perez".
- INTAGRI. (2018). Clasificación de aguas para riego agrícola. *Serie agua y riego*(20), 5.
- Israelsen, O., & Hansen, V. (2003). *Principios y aplicaciones del riego* (Segunda ed.). (A. García Palacios, Trad.) Barcelona, España: Reverté, S.A.
- Jacobsen, S., Ruiz, E., Mujica, A., Christiansen, J., & Ortiz, O. (s.f.). Evaluación de Acepciones de Quinoa para la Tolerancia a Salinidad. Recuperado el 2018
- Jauregui, C. G., Ruiz, M., & Ernst, R. (2017). Tolerancia a la salinidad en plantulas de agropiro criollo (*Elymus scabrifolius*) y agropiro alargado (*Thinopyron ponticum*). *Pastos y Forrajes*, 40(1), 29-36.

- Javier. (6 de Abril de 2016). *Logaritmos IV: LA MEDIDA DE LA ACIDEZ (El pH)*. Recuperado el 1 de Enero de 2018, de Instinto Logico: <http://instintologico.com/logaritmos-iv-la-medida-de-la-acidez-el-ph/>
- Killian, S., & Leiva, M. (2005). Efecto de sales de sodio y potasio sobre la germinacion de semillas de tomate (*Lycopersicum esculentum* MILL.) y albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista del CIZAS*, 6(1 y 2), 40-47.
- Marchegiani, G. (1985). Morfología de plantas forrajeras. *Sitio Argentino de Produccion Animal*, 36, 6-16. Obtenido de www.produccion-animal.com.ar
- Martinez, N., Lopez Alonzo, c., Basurto Sotelo, M., & Perez Leal, R. (Septiembre-Diciembre de 2011). Efectos por salinidad en el desarrollo vegetativo. *TECNOCENCIA Chihuahua*, V(3), 156-161.
- Mascarini, A., Papone, M., & Fatta, N. (2010). Relaciones Tallo / Raíz y SRL: Estimadores del desempeño en cultivo de tres híbridos de *Primula obconica*. *V Congreso de Floricultura y Plantas Ornamentales*. Concordia. Entre Ríos. Obtenido de nfatta@agro.uba.ar
- Meza, N., Arizaleta, M., & Bautista, D. (2007). Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de semillas de parchita (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*). *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(1), 69-80. Recuperado el 30 de Mayo de 2018, de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000100005&lng=es&tlng=es.
- Meza, N., Pereira, A., & Bautista, D. (2004). Efecto de la salinidad en la germinacion y emergencia de semillas de nispero (*Manilkara achras* Miller Fosberg). *Rev. Fac. Agron. (Luz)*, 21(1), 60-66.
- Mohedano-Caballero, L., Cetina-Alcalá, V., Chacalo-Hilu, A., Trinidad-Santos, A., & Gonzáles-Cossio, F. (2005). Crecimiento y estrés post-transplante de árboles de pino en suelo salino urbano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 43-50.
- Moreno, R., Gutierrez, J., & Aguilera, L. (1990). El efecto del NaCl en la germinacion de semillas de poblaciones de *Atriplex repanda* de la region semiárida de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*, 63, 61-68.
- Murray, W. (2005). *Introduccion a la botanica*. (P. Gonzáles-Barreda, Trad.) Pearson Educacion.

- Ochoa Torrez, R. R. (2014). *Diseños experimentales*. Bolivia: Ochoa Torrez.
- Olmos, S. (2007). Apunte de morfología, fenología, ecofisiología y mejoramiento genético del arroz. En *Catedra de cultivos II* (págs. 1-13). Corrientes, Argentina.
- Orozco, M., & Gonzáles, J. (1980). Comportamiento de seis variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo diferentes sistemas de siembra en un suelo salino-sódico. *Acta Agron.*, 30(1/4), 79-87.
- Orsag, V. (2010). *El recurso suelo Principios para su manejo y conservacion*. La Paz, Bolivia: Zeus.
- Otero, L., Francisco, A., Gálvez, V., Morales, R., Sánchez, I., Labaut, M., . . . Rivero, L. (2007). Caracterización y evaluación de la salinidad. *Instituto de suelos Cuba*.
- Ovando, G. L., Enciso, M., Ovelar, G., & Villalba, N. (s.f.). Propagación vegetativa de *tabebuia heptaphylla* (vell.) Toledo (lapacho negro), mediante esquejes de raíz. *Investigación Agraria*, 9(1), 73-79. Recuperado el 1 de Junio de 2018, de <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/download/91/87/>
- Parés, J., Arizaleta, M., Sanabria, M., & Garcia, G. (2008). Efecto de los niveles de salinidad sobre la densidad estomática, índice estomático y el grosor foliar en plantas de carga papaya I. *ACTA BOT. VENEZ.*, 27-34.
- Paulet Iturri, M. (1983). *Relacion agua suelo planta*. Santo Domingo: Publicaciones Miscelaneas N°425.
- Pistorale, S., Abbott, L., & Andrés, A. (Septiembre - Diciembre de 2008). Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thinopyrum ponticum*. *Ciencia e Investigación agraria*, 35(3), 259-264.
- Pizarro, F. (1996). *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) gotio, microaspersión, exudación*. (3ra edición ed.). Ediciones Mundi-Prensa.
- Polón, R., Castro, R., Ruiz, M., & Maqueira, L. (2012). Práctica de diferentes alturas de corte en el rebrote y su influencia en el rendimiento del arroz (*Oriza sativa* L.) en una variedad de ciclo medio. *Cultivos tropicales INCA*, 33(4), 59-62.
- Raj Gheyi, H., da Silva Dias, N., & Feitosa de Laceda, C. (Edits.). (2016). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos basicos y aplicados* (Segunda ed.). Brasil: Fortaleza, CE.

- Raj, H., da Silva, N., & Feitosa de Lacerda, C. (Edits.). (2010). *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados*. Fortaleza: INCT sal.
- Ramirez, M., Urdaneta, A., & Perez, E. (2017). Germinacion del guayabo tipo "Criolla roja" bajo condiciones de salinidad por cloruro de sodio. *Bioagro*, 29(1), 65-72.
- Ramirez, O., Carneiro da Silva, S., Hernandez, A., Enriquez, J., Pérez, J., Quero, A., & Herrera, J. (2011). Rebrote y estabilidad de la poblacion de tallos en el pasto *Panicum maximum* CV. "Mombaza" cosechado en diferentes intervalos de corte. *Rev.Ditotec. Mex*, 34(3), 213-220.
- Rios, P., Negreiros, S., Quilcate, R., Pinna, J., & Valdivia, S. (2013). Efectos del contenido de sales en la germinacion del cultivo de maíz, en un suelo franco arcillo limoso, calcáreo de la costa árida peruana. *Pueblo Cont.*, 24(1), 167-169.
- RODAS. (2018). *Repositorio de objetos de aprendizaje de la Universidad de Sevilla*. Recuperado el 29 de Enero de 2018, de Estres salino: https://rodas5.us.es/file/349b1966-d030-97ee-0af9-5895c03382e5/1/estres_salino_apuntes_SCORM.zip/page_10.htm
- Rodriguez, P. (16 de Septiembre de 2016). *infobiología*. Recuperado el 29 de Enero de 2018, de <https://www.infobiologia.net/2016/09/hormonas-vegetales-etileno.html>
- Ruiz Baena, N. (2017). *La salinidad del agua de riego y del suelo*. Recuperado el 1 de Enero de 2018, de Instituto de investigacion y formacion agraria y pesquera: <http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/-/action/90004fc0-93fe-11df-8d8b-f26108bf46ad/e5747030-1bb8-11df-b7e2-35c8dbbe5a83/es/02f9e190-faff-11e0-929f-f77205134944/alfrescoDocument?i3pn=contenidoAlf&i3pt=S&i3l=es&i3d=e5747030-1bb8-11df-b7e2->
- Ruiz, M., & Terenti, O. (2012). Evaluacion comparativa de cuatro especies forrajeras bajo condiciones de estrés hidrico y salino durante la germinacion. *Agriscientia*, 29(2), 91-97. Recuperado el 1 de Junio de 2018, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-298X2012000200004&lng=es&tlng=es.

- Suarez, D. L. (1981). Relation between pHc and Sodium Adsorption Ratio (SAR) and an alternative method of estimating SAR of soil or drainage waters. *Soil Science Society America Journal*, 45, 469-475.
- United States Department of Agriculture & Natural Resources Conservation Service. (2017). *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Z.-W. Liu & R.-C. Wang tall wheatgrass. *Plant Guide*.
- USDA. (2017). *Thinopyrum ponticum* (Podp.) Z.-W. Liu & R.-C. Wang tall wheatgrass. Recuperado el 6 de Noviembre de 2017, de <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=THPO7>
- USSL STAFF. (1954). *Diagnosis and Improvement of saline and alkali soils* (Vol. Handbook 60). (L. A. Richards, Ed.) Washington: United States Department of Agriculture.
- Velázquez Monroy, M. D., & Ordorica Vargas, M. A. (julio de 2009). Ácidos, Bases, pH y soluciones reguladoras.

ANEXOS

Anexo 1: Tolerancia de algunos cultivos a las sales

Cultivo	Nivel crítico dS m-1 (A)	Disminución en el rendimiento / unidad de aumento en la salinidad más allá del nivel crítico (B)	Clasificación
Alfalfa	2.0	7.3	MS
Almendro	1.5	19.0	S
Aguacate	-	-	S
Albaricoque	1.6	24	S
Algodón	7.7	5.2	T
Arroz	3.0	12	MS
Brócoli	2.8	9.2	MS
Uva	1.5	9.6	MS
Zanahoria	1.0	14	S
Cebada (grano)	8.0	5.0	T
Caupí	1.3	14	MS
Cebolla	1.2	16	S
Ciruela	1.5	18	S
Dátil	4.0	3.6	T
Espincaca	2.0	7.6	MS
Trigo	6	7.1	MT
Fresa	1.0	33	S
Frijol	1.0	19	S
Limón	-	-	S
Lechuga	1.3	13	MS
Soya	5.0	20	MT
Maní	3.2	29	MS

Maíz dulce	1.7	12	MS
Naranja	1.7	16	S
Toronja	1.8	16	S
Tomate	2.5	9.9	MS
Pimienta	-	14	MS
Papa	1.7	12	MS
Pasto bermuda	6.9	6.9	T
Rygrass perenne	5.6	7.6	MT
Pasto Rhoades	-	-	MS
Pasto Sudán	2.8	4.3	MT
Rábano	1.2	13	MS
Repollo	1.8	9.7	MS
Remolacha	4.0	9.0	MT

S= Susceptible, MS= Medianamente susceptible, MT= Medianamente tolerante, T=Tolerante

Fuente: (García Á. , 2012)

Anexo 2:Tolerancia de algunos cultivos a los cloruros en el extracto de saturación en agua de riego.

Cultivo	Patrones	Concentración permisible de cloruros	
		Extracto de saturación (Cle)	Agua de riego (Cla)
		me l-1	
Aguacate	Indias occidentales	7.5	5.0
	Guatemalteco	6.0	4.0
	Mexicano	5.0	3.3
Cítricos	Mandarina sunki	25	16.6
	Toronja		
	Mandarina cleopatra		
	Lima rangur		
	Tangelo		
	Limón rugoso		
	Naranja agria		
	Mandarina Ponkan	15.0	10.0
	Citromelo 4475		
	Naranja trifoliada		
Naranja dulce	10.0	6.7	
Calamondin			
Uva	Salt creek 1613-3	40.0	27.0
	Dog ridge	30.0	20.0
	Thompson sin semilla	20.0	13.3
	Perlete	20.0	13.3
	Cardenal	10.0	6.7
	Rosa negra	10.0	6.7
Fresa	Lassen	7.5	5.0
	shasta	5.0	3.3

Origen: adaptado de Maas. (1984)

Fuente: (García Á. , 2012)

Anexo 3:Tolerancia relativa de ciertos cultivos a la saturación de sodio intercambiable en el suelo, Ayers y Westcot (1985). Adaptado de FAO UNESCO (1973); Pearson (196) y Abrol (1982).

Sensible PSI <15	Semitolerantes PSI = 15-40	Tolerantes PSI >40
Aguacate	Zanahoria	Alfalfa
Frutales deciduis	Trébol Ladina	Algodón
Nueces habichuela	Festuca alta	Cebada
Algodón (germinación)	Lechuga	Pasto bermuda
Maíz	Caña de azúcar	Pasto Rhoades
Arveja	Avena	Pasto Pará
Toronja	Cebolla	Remolacha
Frijol	Rábano	Remolacha Azucarera
Lenteja	Arroz	Sorgo
Maní	Mango	
Caupí	Espinaca	
	Trigo	

Anexo 4:Tolerancia relativa de algunos cultivos al B contenido en las aguas de riego
(Maas, 1984)

Muy sensibles (<0.5 mg l-1)	Moderadamente sensibles (1.0-2.0 mg l-1)
Limón	Arveja
Zanahoria	Rabano
	Papa
Sensibles (0.5-0.75 mg l-1)	Pimienta
Aguacate	Pepino
Tomate	
Naranja	Moderadamente tolerantes (2.0-4.0 mg l-1)
Ciruela	Lechuga
Cereza	Repollo
Durazno	Apio
Albaricoque	Nabo
Higos	Avena
Uva	Maíz
Caupí	Tabaco
Cebolla	Mostaza
Nogal	Trébol
	Calabaza
Sensibles (0.75-1.00 mg l-1)	
Ajo	Tolerantes (4.0-6.0 mg l-1)
Patata	Sorgo
Trigo	Tomate
Cebada	Alfalfa
Girasol	Remolacha
Frijol	Remolacha azucarera
Ajonjolí	Perejil
Lupino	
Fresa	Muy tolerantes (6.0-15.0 mg l-1)
Alcachofa	Algodón
Maní	Esparrago

Anexo 5:

Interpretación de la calidad de aguas para el riego según el USDA

Tipos	Calidad y normas de uso
C1	CE entre 0.10 y 0.25 dS/m. Agua de baja salinidad, apta para riego en todos los casos. Pueden existir problemas solo en suelos de muy baja permeabilidad
C2	CE entre 0.25 y 0.75/dS/m. agua de salinidad media, apta para el riego. En ciertos casos puede ser necesario emplear volúmenes de agua en exceso y utilizar cultivos tolerantes a la salinidad
C3	CE entre 0.75 y 2.25 dS/m. agua de salinidad alta que puede utilizarse para el riego de suelos con buen drenaje, empleando volúmenes de agua en exceso para lavar el suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad
C4	CE entre 2.25 y 4.00 dS/m. Agua de salinidad muy alta que en muchos casos no es apta para el riego. Solo debe usarse en suelos muy permeables y con buen drenaje, empleado volúmenes en exceso para lavar las sales del suelo y utilizando cultivos muy tolerantes a la salinidad
C5	CE entre 4.00 y 6.00 dS/m. Agua de salinidad excesiva, que solo debe emplearse en casos muy contados, extremando todas las precauciones apuntadas anteriormente.
C6	CE entre 6.00 y 10.00 dS/m. Agua de salinidad excesiva, no aconsejable para riego.
S1	Valor RAS entre 10 y 18. Agua con bajo contenido en sodio, apta para el riego en la mayoría de los casos, sin embargo, pueden presentarse problemas con cultivos muy sensibles al sodio.
S2	Valor RAS entre 10 y 18. Agua con contenido medio en sodio, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de sodio en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de sodio cambiante del suelo, corrigiendo en caso necesario.
S3	Valor RAS entre 18 y 26. Agua con alto contenido en sodio y gran peligro de acumulación de sodio en el suelo. Son aconsejables aportaciones de materia orgánica y empleo de yeso para corregir el posible exceso de sodio en el suelo. También se requiere un buen drenaje y el empleo de volúmenes copiosos de riego
S4	Valor RAS mayor a 26. Agua con contenido muy alto de sodio. No aconsejable para el riego en general, excepto en caso de baja salinidad y tomando todas las precauciones apuntadas.

Anexo 6:

CLASIFICACION DE AGUAS

PARAMETRO	Unidades	TESTIGO	0,4 M	0,7 M	1 M
pH	-	6,41	6,17	6,66	5,85
CE	μS/cmμ	251	42550	71950	104600
Sodio	mg/l	17	6102,86	10814,96	15341,13
Potasio	mg/l	4,68	56,74	93,47	127,23
Calcio	mg/l	15,72	42	56,67	72,15
Magnesio	mg/l	4,64	53,26	88,39	119,85
Cloruros	mg/l	6,01	9274,43	15472,96	23045,97
Carbonatos	mg/l	0	0	0	0
Bicarbonatos	mg/l	94,85	101,01	98,54	97,31
Sulfatos	mg/l	17,27	123,89	194,72	256,65

CONVERSIÓN DE UNIDADES

PARAMETRO	Unidades	TESTIGO	0,4 M	0,7 M	1 M
pH	-	6,41	6,17	6,66	5,85
CE	dS/m	0.251	42.550	71.950	104.600
Sodio	meq/l	0.74	265.46	470.42	667.30
Potasio	meq/l	0.12	1.45	2.39	3.25
Calcio	meq/l	0.78	2.10	2.83	3.60
Magnesio	meq/l	0.38	4.38	7.27	9.86
Cloruros	meq/l	0.17	261.60	436.44	650.04
Carbonatos	meq/l	0	0	0	0
Bicarbonatos	meq/l	1.55	1.66	1.61	1.59
Sulfatos	meq/l	0.36	2.58	4.05	5.34

CALCULO DEL RAS

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

- TESTIGO

$$RAS = \frac{0.74}{\sqrt{\frac{0.78 + 0.38}{2}}} = 0.97$$

- 0.7 M

$$RAS = \frac{470.42}{\sqrt{\frac{2.83 + 7.27}{2}}} = 209.33$$

- 0.4 M

$$RAS = \frac{265.46}{\sqrt{\frac{2.10 + 4.38}{2}}} = 147.47$$

- 1 M

$$RAS = \frac{667.30}{\sqrt{\frac{3.60 + 9.86}{2}}} = 257.225$$

CALCULO DEL RAS CORREGIDO

- TESTIGO

$$\begin{aligned} HCO_3^- / Ca^{+2} &= \\ 1.55 / 0.78 &= \\ &= 1.98 \end{aligned}$$

Según cuadros las concentraciones esperadas de calcio con los valores de HCO_3Ca^{+2} y conductividad eléctrica (CE) es de 1.18.

$$RAS^o = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^o + Mg}{2}}} = \frac{0.74}{\sqrt{\frac{1.18 + 0.38}{2}}} = 0.837$$

Por la limitante de las tablas con respecto a la conductividad eléctrica, el cual llega hasta 8dS/m, no se calculó el RAS corregido para las concentraciones 0.4M, 0.7M y

1M, por lo cual se concluyó la clasificación de estos como las más altas en la respectiva clasificación según USDA (Anexo 5).

Según la Cuadro de clasificación de aguas (anexo 5) y los cálculos realizados (anexo 6), las aguas utilizadas en la presente investigación se clasifican de la siguiente manera:

CONCENTACION DE SAL EN EL AGUA DE RIEGO	CE	RAS	CLASIFICACION USDA
Testigo	0.25 dS/m	0.83	C1S1
0.4M	42.550 dS/m	147.47	C6S4
0.7M	71.950 dS/m	209.33	C6S4
1M	104.600 dS/m	257.225	C6S4

Anexo 7:



Figura 16: Acumulación de sales en la raíz durante la cosecha

Anexo 8:

