

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA



**“MANEJO DE SALINIDAD EN LA INSTALACIÓN DE CULTIVOS
DE EXPORTACIÓN EN SANTA RITA DE SIGUAS”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERA AGRÓNOMA

GISELLE SARA TIXE PÉREZ

LIMA – PERÚ

2023

MANEJO DE SALINIDAD EN LA INSTALACIÓN DE CULTIVOS DE EXPORTACIÓN EN SANTA RITA DE SIGUAS

INFORME DE ORIGINALIDAD




FUENTES PRIMARIAS

1	apthapi.agro.umsa.bo Fuente de Internet	9%
2	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	4%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
4	escholarship.org Fuente de Internet	1%
5	rcta.unah.edu.cu Fuente de Internet	1%
6	www.ojs.agro.umsa.bo Fuente de Internet	1%
7	bibliotecadigital.ciren.cl Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA

**“MANEJO DE SALINIDAD EN LA INSTALACIÓN DE CULTIVOS
DE EXPORTACIÓN EN SANTA RITA DE SIGUAS”**

Giselle Sara Tixe Pérez

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Mg. Sc. Gilberto Rodríguez Soto
PRESIDENTE

.....
Dra. Lily Tello Peramás
ASESOR

.....
Ing. Mg. Sc. Pedro Pablo Gutiérrez Vélchez
MIEMBRO

.....
Dr. Oscar Loli Figueroa
MIEMBRO

LIMA - PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Elsa y Gianella, mis personas favoritas.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
	1.1 PROBLEMÁTICA	1
	1.2 OBJETIVOS	1
	1.2.1 Generales	1
	1.2.2 Específicos	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
	2.1 SALINIDAD DE SUELOS	3
	2.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS.....	3
	2.2.1 Suelo Normal	4
	2.2.2 Suelo Salino	4
	2.2.3 Suelo Sódico	5
	2.2.4 Suelos Salinos Sódicos	6
	2.3 EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LAS PLANTAS Y EL SUELO.....	7
	2.4 EFECTO OSMÓTICO DE LAS SALES DISUELTAS EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO	7
	2.4.1 Relación Salinidad – Producción de los Cultivos.....	8
	2.4.2 Toxicidad	8
	2.5 EFECTOS DEL SODIO ADSORBIDO.....	10
	2.6 PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA DAR USO A SUELOS AFECTADOS POR SALES.....	10
	2.6.1 Mejora de la Resistencia de las Plantas a la Salinidad.....	10
	2.6.2 Recuperación de Suelos Salinos	11
	2.7 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO Y SUS EFECTOS SOBRE EL SUELO	19
	2.7.1 Criterio de Salinidad	19
	2.7.2 Criterios de Sodicidad.....	19
	2.7.3 Criterio de Toxicidad	20
	2.8 SUSCEPTIBILIDAD DEL PALTO A LA SALINIDAD	20
III.	DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL.....	22
	3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE TRABAJO	22
	3.1.1 Ubicación	22
	3.1.2 Características del Suelo	23

3.1.3	Agua.....	26
3.2	MANEJO MECANIZADO DE SUELOS.....	28
3.2.1	Nivelación.....	28
3.2.2	Subsolado.....	29
3.2.3	Limpieza del Campo.....	31
3.2.4	Micro Nivelación con Rastra de Púas y/o Dientes Rígidos.....	31
3.2.5	Preparación de Surcos.....	32
3.2.6	Riego por Gravedad.....	33
3.2.7	Labranza.....	35
3.2.8	Mullido y Nivelación del Terreno.....	35
3.2.9	Replanteo Topográfico.....	36
3.2.10	Estercolado de Compost.....	36
3.2.11	Subsolado en Líneas de Siembra.....	37
3.2.12	Formación de Camas (camellones).....	38
3.3	CONSIDERACIONES PREVIAS AL MANEJO DE SUELOS.....	39
3.3.1	Sistema de Riego.....	39
3.3.2	Pruebas.....	40
3.4	DESCRIPCIÓN DEL MANEJO DE LAVADO.....	43
3.4.1	Monitoreo de la Conductividad Eléctrica en Extracto de Pasta de Saturación.....	47
3.5	PRESUPUESTO EJECUTADO EN PREPARACIÓN Y LAVADO LOCALIZADO DE SUELOS.....	48
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1	EFFECTO DEL AGUA DE RIEGO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO.....	50
4.2	RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS POST MANEJO.....	51
4.3	EFFECTO SOBRE LAS PLANTAS.....	54
V.	CONCLUSIONES.....	58
VI.	RECOMENDACIONES.....	59
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de los suelos salinos.....	4
Tabla 2 Clasificación de suelos salinos en función a la intensidad de la salinidad	5
Tabla 3 Clasificación de suelos salinos y su efecto sobre las cosechas.....	5
Tabla 4 Clasificación de los suelos sódicos en función del PSI.....	6
Tabla 5 Técnicas de recuperación de suelos afectados por sales.....	12
Tabla 6 Ventajas y desventajas del lavado por inundación continua	13
Tabla 7 Ventajas y desventajas del lavado por inundación intermitente.....	14
Tabla 8 Resumen de mejoradores comunes usados para tratar suelos sódicos	15
Tabla 9 Análisis de caracterización de la zona de estudio a 30 y 60 cm de profundidad...	25
Tabla 10 Análisis de salinidad en extracto de pasta saturada, a 30 y 60 de profundidad...	26
Tabla 11 Resultados del análisis del agua de riego	28
Tabla 12 Descripción del sistema de riego	39
Tabla 13 Información de los componentes de enmiendas líquidas para el desplazamiento de sodio.....	42
Tabla 14 Resumen del manejo de lavado de sales durante 29 semanas previo a la instalación del cultivo.....	45
Tabla 15 Presupuesto para manejo de salinidad	49
Tabla 16 Comparativo del análisis de caracterización pre y post manejo de sales a dos profundidades	52
Tabla 17 Comparativo del análisis de salinidad en extracto de pasta de saturación, pre y post manejo de sales a 30 cm de profundidad	53
Tabla 18 Porcentaje de prendimiento de plantas de palto post siembra en suelos tratados	54
Tabla 19 Resultados del análisis foliar de dos cultivares de palto sobre un mismo patrón, post instalación en suelos tratados.....	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del área de trabajo.....	22
Figura 2: Condición inicial del terreno	23
Figura 3: Calidad de agua de la irrigación en épocas de lluvia.....	27
Figura 4: Tractor de cadenas D8 Caterpillar para nivelación gruesa	29
Figura 5: Diferencia entre un pase simple y doble del subsolador (bulldozer D8)	30
Figura 6: Verificación de profundidad ejecutada por el ripper del bulldozer D8	30
Figura 7: Extracción y carguío de bloques de caliche y piedras	31
Figura 8: Ingreso de implemento con dientes rígidos post subsolado.....	32
Figura 9: Comparación visual del terreno antes y después del ingreso de rígido	32
Figura 10: Acondicionamiento del campo para riego por gravedad	33
Figura 11: Conducción del agua a través de surcos a favor de la pendiente en un riego por gravedad	34
Figura 12: Afloramiento de sales post riego de inundación.....	34
Figura 13: Arado de discos.....	35
Figura 14: Rastra de discos con riel de nivelación	36
Figura 15: Replanteo topográfico, delimitación y marcado de líneas de siembra	36
Figura 16: Incorporación de compost a través de la abonadora	37
Figura 17: Subsulado en las líneas de siembra post estercolado de compost.....	38
Figura 18: Implemento formador de camas	38
Figura 19: Escorrentía con pulsos largos de riego en.....	40
Figura 20: Desplazamiento del sodio en el complejo de cambio	41
Figura 21: Prueba de productos en campo	42
Figura 22: Desprendimiento entre partículas del caliche por acción de azufre.....	43
Figura 23: Formación de grietas por colapso superficial de	43
Figura 24: Afloramiento de sales en suelos sin cobertura y/o mulch.....	46
Figura 25: Avena en suelos calcáreos y con CE_{eps} muy altos	46
Figura 26: Movimiento de mangueras a diferentes distancias para lavado de sales	47
Figura 27: Extracción de muestras de suelo mediante calicatas	47
Figura 28: Determinación de la conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación.....	48
Figura 29: Efecto del volumen de riego (m^3/Ha)	50

Figura 30: Efecto del volumen de riego (m ³ /Ha)	51
Figura 31: Crecimiento uniforme de plantas de palto en líneas de	54
Figura 32: Plantas de hass sobre zutano con brotes	57
Figura 33: Plantas de hass sobre patrón antillano con	57

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre el manejo técnico realizado en suelos agrícolas salinos de la irrigación Santa Rita de Sigüas, zona con características climáticas y edafológicas similares al próximo Proyecto Especial Majes Sigüas II, con la finalidad de instalar cultivos de exportación como el palto (*Persea americana Mill.*). El objetivo principal fue lograr niveles de conductividad eléctrica cercanos a $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en extracto de pasta de saturación, mediante diversas técnicas agronómicas en un periodo de tiempo de 7 meses. Se realizaron actividades fundamentales como el lavado de suelos mediante el riego por goteo y el uso de mejoradores químicos (enmiendas líquidas a base de calcio y azufre solubles en agua). También se ejecutaron prácticas complementarias como labores mecanizadas, incorporación de residuos orgánicos y el uso de cultivos asociados como la avena para favorecer la infiltración y el drenaje. Estas actividades realizadas permitieron obtener los siguientes resultados: un incremento en la materia orgánica a 30 cm de profundidad, de 0.14 a 2.47%; reducción del PSI y de la conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación, de 44.8 a $3.84 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$; reducción en los niveles de cloruro y sodio, de 352.99 a 7.81 meq/L y de 372.29 a 8.16 meq/L respectivamente y el RAS pasó de 45.98 a 1.74. A los 133 días post instalación de plántones de palto se registraron bajos porcentajes de mortandad. El patrón con mayor tolerancia a conductividades eléctricas cercanos a $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ fue la raza (subespecie o variedad botánica) antillana, seguido por zutano (raza híbrido mexicano-guatemalteco) y topa-topa (raza mexicana). Los cultivares injertados como Hass y Maluma presentaron bajas concentraciones de sodio en las hojas, 0.008 y 0.01% respectivamente. Las técnicas agronómicas: acondicionamiento de suelo, lavados localizados y siembra de cultivo asociado, permitieron reducir la concentración salina favoreciendo la plantación del cultivo del palto.

Palabras clave: suelos salinos; lavado de sales; cultivos.

ABSTRACT

The present work deals with the technical management carried out in saline agricultural soils of the Santa Rita de Sigüas irrigation, an area with climatic and soil characteristics similar to the next Majes Sigüas II Special Project, with the purpose of installing export crops such as avocado (*Persea americana* Mill.). The main objective was to achieve electrical conductivity levels close to 3 dS.m⁻¹ in saturation paste extract, through various agronomic techniques in a period of 7 months. Fundamental activities such as soil washing through drip irrigation and the use of chemical improvers (liquid amendments based on calcium and sulfur that are soluble in water) were carried out. Complementary practices such as mechanized work, incorporation of organic waste and the use of associated crops such as oats to promote infiltration and drainage were also carried out. These activities carried out allowed to obtain the following results: an increase in organic matter at a depth of 30 cm, from 0.14 to 2.47%; reduction of PSI and electrical conductivity in saturation paste extract, from 44.8 to 3.84 dS.m⁻¹; reduction in chloride and sodium levels, from 352.99 to 7.81 meq/L and from 372.29 to 8.16 meq/L respectively, and the RAS went from 45.98 to 1.74. At 133 days after installation of avocado seedlings, low mortality rates were recorded. The rootstock with the highest tolerance to electrical conductivities close to 3 dS.m⁻¹ was the Antillean race (subspecies or botanical variety), followed by zutano (Mexican-Guatemalan hybrid race) and topa-topa (Mexican race). Grafted cultivars such as Hass and Maluma presented low sodium concentrations in the leaves, 0.008 and 0.01% respectively. The agronomic techniques: soil conditioning, localized washing and planting of associated crops, allowed to reduce the saline concentration favoring the planting of the avocado crop.

Keywords: saline soils; salt washing; crops.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país, la siembra de palta se ha incrementado cada año debido a la alta demanda internacional. En base a registros oficiales de SENASA, durante el año 2020 se certificaron 32,187 hectáreas y en el 2021 se lograron certificar 40,496 hectáreas de palta, logrando un incremento en alrededor de 8,000 hectáreas y con tendencia a seguir creciendo con nuevas áreas en los próximos años. La Libertad se ha consolidado como la líder en las exportaciones y es seguida por la región de Lambayeque, siendo el norte del Perú la principal zona de producción.

1.1 PROBLEMÁTICA

La ejecución del Proyecto Majes Sigvas II Etapa, constituye la más importante oportunidad en el incremento de áreas de cultivos de exportación en la zona sur del Perú, y dadas las características climáticas de la irrigación permitirán realizar cosechas tempranas de palta con la finalidad de ampliar la ventana comercial.

Santa Rita de Sigvas, lugar donde se desarrolló el presente trabajo monográfico, tiene características edafológicas similares a este próximo proyecto. Suelos calcáreos de ligera a moderada alcalinidad, con baja disponibilidad de micronutrientes, bajo contenido de materia orgánica, con un porcentaje de sodio intercambiable menor a 15% (suelo no sódico); con alta conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación, con valores de 44.8 dS.m⁻¹ a 30 cm y de 86.3 dS.m⁻¹ a 60 cm de profundidad, suelos extremadamente salinos son los principales problemas a manejar para instalar cultivos de exportación en esta zona.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Generales

- Lograr niveles de conductividad eléctrica menores a 3 dS.m⁻¹ en extracto de pasta de saturación en líneas de siembra y/o camellones, mediante diversas técnicas agronómicas, en un periodo de tiempo de 7 meses en la irrigación Santa Rita de Sigvas.

1.2.2 Específicos

- Utilizar un sistema de monitoreo de CE_{eps} que permita realizar el seguimiento a las técnicas aplicadas en la reducción de concentración salina en los suelos.
- Determinar la técnica de riego adecuada para lavados de suelo que permitan reducir las concentraciones salinas hasta niveles menores a $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$.
- Implementar un sistema de actividades mecanizadas para acondicionar el suelo de tal manera que permita realizar los lavados para la reducción de las concentraciones salinas.
- Seleccionar la siembra de un cultivo asociado que permitan acondicionar el suelo, mejorándolo para la plantación del cultivo del palto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SALINIDAD DE SUELOS

Terrazas (2019) indica que la salinidad es uno de los problemas más antiguos para la agricultura, este problema se incrementa año tras año en regiones áridas y semiáridas del mundo como consecuencia de bajas precipitaciones y en respuesta a un mal manejo del agua de riego y fertilizantes. Propone la recuperación de suelos salinos mediante técnicas consideradas fundamentales como el lavado de sales, la aplicación de mejoradores químicos y el uso de técnicas auxiliares, mecánicas, biológicas o técnicas modernas para cultivos más sensibles.

2.2 CLASIFICACIÓN DE SUELOS SALINOS

Según Richards (1954) y Massoud (1971) mencionados por Pizarro (1996) utilizan fundamentalmente dos parámetros para identificar a los suelos, la CE_e (conductividad eléctrica en solución suelo) y el PSI (porcentaje de sodio de intercambio); a partir de estas características se puede diagnosticar el tipo de suelo salino, los problemas que causa y el método de recuperación. O'Geen (2018), añade otros indicadores que permiten la clasificación de suelos salinos como el índice de absorción de sodio (o SAR, por sus siglas en inglés) (la proporción de sodio en relación al calcio y magnesio solubles), la condición física/estructura del suelo y el pH. En función a los indicadores antes mencionado, los suelos afectados por la sal se clasifican en suelos salinos, sódicos y salino-sódicos.

Según, Pizarro (1996) los valores de la CE_e del orden de 2 y 3 mmhos.cm⁻¹ (dS.m⁻¹) provocan fuertes disminuciones en los rendimientos de muchos cultivos, sobre todo hortalizas, por tal razón para clasificar un suelo salino considera una $CE_e > 2$ dS.m⁻¹; y considera que el valor PSI igual a 7 marca el límite entre suelos sódicos y no sódicos, debido que se encuentran en la naturaleza suelos con PSI inferiores a 15 con síntomas característicos de sodicidad. Sin embargo, según Courel (2019) y O'Geen (2018), el umbral de la conductividad eléctrica para considerar un suelo salino es de $CE_e > 4$ dS.m⁻¹ y un PSI < 15 %; mientras que un suelo es

considerado sódico cuando el PSI es $> 15\%$, el RAS (SAR) de la solución suelo es $>13\%$ y la $CE_e < 4 \text{ dS.m}^{-1}$.

Tabla 1: Clasificación de los suelos salinos

Localización de sales	Denominación del suelo	Identificación		Recuperación
		Según Pizarro (1996)	Según Courel (2019)	
Inexistentes	Normal	$CE_e < 2 \text{ dS.m}^{-1}$ $PSI < 7 \%$	$CE_e < 4 \text{ dS.m}^{-1}$ $PSI < 15 \%$ $RAS < 13$ $pH < 8.0$	-
Disueltas en la solución del suelo	Salino	$CE_e > 2 \text{ dS.m}^{-1}$ $PSI < 7 \%$	$CE_e > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ $PSI < 15 \%$ $RAS < 13$ $pH < 8.5$	Lavado de sales
Adsorbidas por el complejo de cambio	Sódico	$CE_e < 2 \text{ dS.m}^{-1}$ $PSI > 7 \%$	$CE_e < 4 \text{ dS.m}^{-1}$ $PSI > 15 \%$ $RAS > 13$ $pH > 8.5$	1.- Mejora química (aporte de cal) 2.- Lavado de sales
Adsorbidas por el complejo de cambio y disueltas en la solución del suelo	Salino – sódico	$CE_e > 2 \text{ dS.m}^{-1}$ $PSI > 7 \%$	$CE_e > 4 \text{ dS.m}^{-1}$ $PSI > 15 \%$ $RAS > 13$ $pH < 8.5$	1.- Mejora química 2.- Lavado de sales

Fuente: Adaptado de Pizarro (1996) y Courel (2019).

2.2.1 Suelo Normal

Cuando las sales disueltas en la solución del suelo y el sodio adsorbido por el complejo de cambio se encuentran por debajo de los límites perjudiciales para las plantas.

2.2.2 Suelo Salino

Los suelos salinos son los que contienen en la solución del suelo una concentración de sales suficientemente alta para restringir el desarrollo de los cultivos. En cambio, tienen poco sodio adsorbido, por lo que la estructura no se ve afectada (O'Geen, 2018). La conductividad eléctrica es superior a 4 dS.m^{-1} , pero es importante señalar que este es el límite inferior de un valor que depende también de la tolerancia de las plantas (Sóle-Benet y Cantón, 2005).

“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-})” (Terrazas, 2019, p. 1541). “En proporciones mucho menores, pero con gran influencia, se presenta el borato que es fuertemente fitotóxico” (Fassbender y Bomemisza, 1987, p.189).

La mejor manera de describir la salinidad es mediante la conductividad eléctrica del agua de riego (CE_w) o la CE de la pasta de suelo saturada (CE_{eps}); entre más alta sea la concentración de sal disuelta, más alto es el valor de la conductividad eléctrica. Se usa como unidad de medida el $dS.m^{-1}$ ($mS.cm^{-1}$) o $mmho.cm^{-1}$. Para los valores de conductividad menores a $5 dS.m^{-1}$, $1 dS.m^{-1}$ es igual a $640 mg. L^{-1}$ total de sólidos disueltos (TDS) y $1 dS.m^{-1}$ es igual a $800 mg. L^{-1}$ para valores de conductividad mayores a $8 dS.m^{-1}$ (Grattan, 2018).

Tabla 2: Clasificación de suelos salinos en función a la intensidad de la salinidad

	$CE_e (mmhos.cm^{-1})$
Ligeramente salinos	2 – 4
Medianamente salinos	4 – 8
Fuertemente salinos	8 – 16
Extremadamente salinos	>16

Fuente: Pizarro (1996).

Tabla 3: Clasificación de suelos salinos y su efecto sobre las cosechas

Conductividad ($mS. cm^{-1}$)	Clasificación	Efecto sobre cosecha
0 – 2	No salino	Comúnmente despreciable
2 – 4	Poco salino	Cultivos muy sensibles afectados
4 – 8	Medianamente salino	Muchos cultivos afectados
8 – 16	Muy salino	Solamente cultivos tolerantes crecen bien
>16	Extremadamente salino	Solamente crecen cultivos muy tolerantes

Fuente: Adaptado de Fassbender y Bomemisza (1987).

2.2.3 Suelo Sódico

Los suelos sódicos se originan cuando el ion monovalente sodio desplaza otras bases del complejo de adsorción y queda fijado en esta (Courel, 2019). La sodificación no es solo el resultado de un aumento absoluto del Na^+ en la solución del suelo, sino sobre todo en la disminución drástica del contenido en iones Ca y Mg debido a la precipitación de las sales que los contienen (Sóle-Benet y Cantón, 2005).

Exhiben una condición física pobre porque el sodio intercambiable dispersa minerales de arcilla que se mueven con el agua filtrada y eventualmente tapan poros grandes de la tierra que son críticos en la aireación (problemas respiratorios y penetración de las raíces de las plantas) y movimiento del agua (drenaje). Esto a su vez reduce el índice de infiltración y permeabilidad del suelo, formándose con frecuencia capas impermeables cerca de la superficie de la tierra (O’Geen, 2018).

Tabla 4: Clasificación de los suelos sódicos en función del PSI

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

Fuente: Adaptado por Pizarro (1996) de Taj *et al.* (2010).

2.2.4 Suelos Salinos Sódicos

Los suelos salino-sódicos presentan alta concentración de sales en la solución del suelo ($CE_e > 4dS.m^{-1}$) y alto porcentaje de sodio adsorbido en el complejo de cambio ($PSI > 15\%$). O’Geen (2018) y Pizarro (1996) señalan que este tipo de suelos tienen una mejor condición física que los suelos sódicos, porque su alto contenido de sal soluble mantiene floculados a los minerales arcillosos (sin dispersarse) y establece la estructura edáfica o del suelo. De manera similar, el contenido de sal amortigua el pH a 8.5 o menos.

Un suelo de $CE_e = 5$ mmhos.cm-1 y $PSI = 25$ se clasifica como medianamente salino-fuertemente sódico. Un suelo con $CE_e = 22$ mmhos.cm-1 y $PSI = 13$ es extremadamente salino-ligeramente sódico.

Al igual que los suelos salinos, los rendimientos de los cultivos se ven reducidos por el efecto osmótico de las sales disueltas. Asimismo, como ocurre con los suelos sódicos, presentan problemas de toxicidad debido al alto PSI.

2.3 EFECTOS DE LA SALINIDAD SOBRE LAS PLANTAS Y EL SUELO

Según Lamz y Gonzáles (2013), los efectos de los suelos salinos consisten en una reducción en el crecimiento y el desarrollo de las plantas por la inducción de estrés hídrico que generan los solutos disueltos y los problemas de toxicidad de algunos iones como el sodio y cloruro. Así mismo el sodio adsorbido por encima de los valores permitidos puede generar suelos con poca estructura y no permeables.

2.4 EFECTO OSMÓTICO DE LAS SALES DISUELTAS EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO

El aumento de sales en la solución suelo dificulta a la planta compensar los valores tan negativos del potencial hídrico. Tadeo y Gómez – Cadenas (2008) mencionan que:

Los espacios capilares del suelo contienen agua con solutos disueltos y, por tanto, su potencial hídrico es negativo, con valores que se sitúan entre -1 y -5 bares. En estas condiciones, las plantas pueden absorber el agua fácilmente, ya que las células de la raíz consiguen alcanzar potenciales inferiores. Cuando la concentración de solutos en el agua de los suelos salinos se incrementa, el potencial hídrico se reduce, y las plantas experimentan dificultades para absorber agua. (p. 582)

Entonces cuanto mayor es la concentración salina del agua del suelo, mayor es la presión osmótica que las plantas han de superar y puede llegar un momento en que la absorción de agua se detiene. Por esta razón los síntomas de salinidad coinciden en los de sequía.

Al reducirse la capacidad de absorción de agua, la expansión foliar de la planta se ve reducida y se genera un ajuste entre la parte aérea y radicular con el fin de recuperar el balance hídrico (Medina, 2016). “Influye directamente en el metabolismo de las plantas y por consiguiente en su crecimiento y desarrollo lo que tiene un costo desde el punto de vista del rendimiento agrícola” (Lamz y Gonzales, 2013, p.34).

Aumentar el volumen de riego no siempre garantiza una mayor tolerancia a la salinidad por los cultivos, ya que el mayor abastecimiento hídrico puede significar también una mayor absorción de sales si es que hay alta transpiración (Gonzáles et al., 2002).

2.4.1 Relación Salinidad – Producción de los Cultivos.

Mass y Hoffman (1977) han encontrado que entre la salinidad del suelo y la producción de los cultivos existe una relación lineal, que se puede expresar por la formula siguiente:

$$Y = 100 - B (CE_e - A) \leq 100$$

Donde:

Y = producción del cultivo en % respecto al máximo.

CE_{eps} = salinidad del suelo expresada como conductividad eléctrica del extracto de saturación y medida en mmhos.cm⁻¹.

A = es el umbral de salinidad (CE_e) para cada cultivo en mmhos.cm⁻¹.

B = pérdida porcentual de rendimiento al elevarse la salinidad en una unidad.

Por ejemplo, los rendimientos de la alfalfa disminuyen aproximadamente 7.3% por mmhos.cm⁻¹ cuando la salinidad del suelo excede los 2 mmhos.cm⁻¹, por lo tanto, a una salinidad del suelo de 5,4 mmho / cm, el rendimiento relativo, $Y = 100 - 7.3 (5.4 - 2) = 75\%$.

Pizarro (1996), indica para el cultivo del palto (*Persea americana*) un valor de “a” igual a 1.3 y para “b” 20.83, ambos constantes, y avala que con conductividades eléctricas en mmhos.cm⁻¹ de 1.3, 1.8, 2.5, 3.7 y 6 se obtiene rendimientos igual a 100, 90, 75, 50 y 0 % respectivamente.

2.4.2 Toxicidad

En general el problema de la toxicidad es más frecuente en especies arbóreas o plantas leñosas de hoja perenne que en plantas anuales. Los iones que con más frecuencia ocasionan toxicidad son el sodio, cloruro y boro, aunque otros oligoelementos también pueden causar estos problemas.

Por otra parte, las altas concentraciones de sodio y cloro en suelos salinos impiden la absorción de elementos como el potasio (K⁺), calcio (Ca²⁺) o nitratos (NO₃⁻), generando un desequilibrio en el balance nutricional de las plantas al no tomar los elementos benéficos (Medina, 2016).

Sodio. Las plantas absorben sodio del suelo junto con el agua. A medida que el agua es transpirada el Na se va concentrando en las hojas y cuando alcanza ciertas concentraciones

produce efectos tóxicos. El límite de tolerancia de cada cultivo es distinto, pero para muchas especies arbóreas la toxicidad se presenta cuando el Na^+ representa un porcentaje superior al 0.25 – 0.50 por 100 respecto al peso seco de la hoja.

Los síntomas de toxicidad por sodio consisten en sequedad o quemadura del tejido en los bordes exteriores de las hojas y entre las nerviaciones, siendo tanto mayor la superficie de tejido afectada cuanto mayor es el porcentaje de sodio. Estos síntomas se presentan en primer lugar en las hojas viejas, por ser las que más sodio han acumulado (Porta y López-Acebedo, 1986).

El efecto tóxico del sodio no depende de la concentración absoluta de este catión en el suelo, sino de su proporción respecto al calcio. Por tal razón la tolerancia de los cultivos se relaciona con el PSI del suelo.

Pearson (1960, como se citó en Niborsky, 2000) clasifica al palto (*Persea americana*) como un cultivo sumamente sensible, presentando síntomas de toxicidad aún a valores PSI bajos (2 - 10%).

Cloruros. El cloruro es necesario en pequeñas cantidades (no más de 0.5 meq. L^{-1} en la solución del suelo) para actuar en el metabolismo de la planta, la fotosíntesis y en algunas puede ser útil en la apertura y el cierre de estomas regulando el equilibrio interno de agua, pero cuando su concentración es muy alta puede convertirse en un elemento muy tóxico (Terrazas, 2019).

El anión cloro no es adsorbido por el complejo de cambio, pero se encuentra disuelto en la solución del suelo, de donde puede ser absorbido por las raíces y conducido a las hojas, donde se puede acumular hasta niveles perjudiciales. Estos generalmente son del orden del 0.3 – 0.5 por 100 respecto a la hoja en peso seco.

La toxicidad del cloruro se presenta en forma de necrosis o quemaduras en las puntas y las orillas de las hojas más viejas.

García (2003, como se citó en Gambini, 2019) menciona que una concentración permisible de cloruros en el extracto de saturación es de 5.00 meq. L^{-1} y 6.00 meq. L^{-1} para portainjertos

de palto de la variedad botánica (raza) mexicana y guatemalteca respectivamente; mientras que 3.30 meq. L⁻¹ y 4.00 meq. L⁻¹ de cloruros en el agua de riego para la raza mexicana y guatemalteca, respectivamente.

Boro. El boro es un oligoelemento esencial para el crecimiento de las plantas, pero en cantidades excesivas se vuelve tóxico. En la mayoría de los casos es incorporado al suelo por el agua de riego.

Los estudios de tolerancia han relacionado esta característica más con el contenido de boro en el agua de riego que en la solución del suelo. Las plantas se agrupan como tolerantes, si soportan entre 4 y 2 ppm de boro en el agua de riego; semitolerantes, entre 2 y 1 ppm, y sensibles, entre 1 y 0.3 ppm (Porta y López-Acebedo, 1986).

2.5 EFECTOS DEL SODIO ADSORBIDO

Altos porcentajes de Na⁺ en el complejo de cambio, es decir, elevados valores del PSI, tienen un efecto importante sobre la estructura del suelo.

2.6 PRÁCTICAS AGRÍCOLAS PARA DAR USO A SUELOS AFECTADOS POR SALES

Existe un conjunto de prácticas que nos permiten cultivar en zonas afectadas por la salinidad, métodos que van desde mejorar y revitalizar suelos degradados, así como el uso de plantas de interés agronómico resistentes a condiciones salinas.

2.6.1 Mejora de la Resistencia de las Plantas a la Salinidad

Terrazas (2019), indica que “Entre las plantas cultivadas, no existen especies o formas con alta tolerancia a la salinidad, esta característica es propia de las plantas halófitas” (p. 1551). Pero las plantas en su transcurso evolutivo han logrado desarrollar estrategias frente a la salinidad, habiendo para cada especie y variedad un límite diferente de tolerancia que no ocasiona daños. Esta característica se fija genéticamente y se transmite de generación en generación (González *et al.*, 2002).

Para definir la tolerancia a la salinidad es necesario establecer dos aspectos fundamentales: uno biológico y otro agronómico. Desde el punto de vista biológico la tolerancia es

determinada por aquellas plantas que son capaces de completar su ciclo de desarrollo y producir semillas viables (González *et al.*, 2002) y desde el punto de vista agronómico “la tolerancia a la sal se basa en la habilidad del cultivo para mantener su producción y calidad a pesar de un incremento en la salinidad” (Grattan, 2018, p.2).

Para Porta y López-Acebedo (1986), la tolerancia puede expresarse porcentualmente refiriendo la producción obtenida en medio salino a la producción en condiciones óptimas no salina:

$$\text{Tolerancia a la salinidad} = \frac{\text{rendimiento (Kg/Ha) con salinidad}}{\text{rendimiento (Kg/Ha) sin salinidad}} \times 100$$

Hoy en día la mejora genética es una herramienta muy importante para recuperar áreas agrícolas no usadas y mejorar los rendimientos en estas. Desde el cultivo de tejidos, la multiplicación *in vitro*, la selección o adaptación de suspensiones celulares o callos en condiciones de salinidad y el aprovechamiento de la variación somaclonal para posterior regeneración de plantas con mayor tolerancia, han sido uno de los métodos propuestos para la mejora, así como radiaciones ionizantes y los mutágenos químicos (Lamz y González, 2013). Por otra parte, Pizarro (1996) menciona métodos como la selección artificial, cruzamiento intervarietal e hibridación como posibles métodos para lograr obtener variedades resistentes, así como técnicas que aumentan la tolerancia de las plantas como tratamientos de semillas con aguas saladas antes de la siembra (Terrazas, 2018), vernalización en soluciones nutritivas y tratamientos con ciertos inhibidores de crecimiento, que hacen a las plantas más resistentes a la acción tóxica de las sales.

2.6.2 Recuperación de Suelos Salinos

“Desde el punto de vista global, la salinidad se divide en dos categorías; la de origen natural conocida por la salinidad primaria debido a la intemperización de las rocas y la solubilización de sus componentes minerales, y la salinidad secundaria o antrópica provocada por la irrigación, la fertilización mineral del suelo, además de otros factores” (Cavalcante *et al.*, 2016, p.461). Ambas alcanzan niveles salinos que afectan negativamente la agricultura. Por tal razón diversas técnicas son utilizadas para la recuperación de estos suelos, entre ellos, dos fundamentales: el lavado de sales y el uso de mejoradores químicos que actúan directamente en la reducción y corrección de elementos presentes en la solución suelo y en el complejo de intercambio catiónico. También existen técnicas auxiliares como labores

mecánicas, aplicación de residuos orgánicos y uso de cultivos de alta evapotranspiración que hacen que las técnicas fundamentales de recuperación inicialmente mencionadas sean más eficientes (Terrazas, 2019).

Tabla 5: Técnicas de recuperación de suelos afectados por sales

Técnicas de recuperación de suelos afectados por sales		
Técnicas básicas (fundamentales)	Lavado de sales Mejoramiento químico	
	Técnicas Mecánicas	Aradas profundas Subsolado Mezcla con arena
Técnicas auxiliares	Técnicas Biológicas	Inversión de perfiles geológicos Fertilización Orgánica Cultivos con elevada ET
	Técnicas Modernas	Métodos eléctricos

Fuente: Terrazas (2019).

a) **Técnicas Básicas (fundamentales).** Que comprenden:

- **Lavado de Sales.** Esta práctica consiste en originar un flujo descendente del agua a través de perfil de suelo (vertical y horizontalmente) para arrastrar las sales en condiciones de saturación (Babelis y Liotta, 2016). En ese sentido debe existir un adecuado drenaje, para que no se produzcan encharcamientos o escorrentías.

Solé-Benet y Cantón (2005) señala que en el invierno la solubilidad de las sales disminuye al bajar la temperatura, por tal razón Babelis y Liotta (2016) recomienda realizar las operaciones de lavado en épocas de verano ya que las sales son más solubles y por ende fáciles de eliminar.

Según Pizarro (1996) y (Cavalcante *et al.*,2016) la técnica del lavado se puede realizar con dos propósitos: el primero para disminuir la salinidad inicial del suelo a niveles tolerables por la mayoría de los cultivos, denominada lavado de recuperación. Realizado muchas veces sin aprovechamiento agrícola del suelo, suelen requerir grandes cantidades de agua y dependiendo de la textura del suelo casi siempre deben ir precedidos de mejoras en el drenaje de los terrenos; el segundo para prevenir en los suelos desalinizados las aportaciones de sales

del agua de riego, agua freática etc lo re salinicen. Para ello se realizan lavados de mantenimiento.

- **Métodos de Lavado.** Se refieren al mantenimiento del suelo cubierto con una lámina definida de agua por todo un período determinado caracterizado por el lavado continuo, o en intervalos alternos conocido como lavado intermitente o intercalado para la remoción de las sales solubles del perfil del suelo.

Según Fassbender y Bomemisza (1987), existen tres situaciones que dificultarían obtener buenos resultados con las metodologías de lavado: problemas causados por las propiedades del suelo; por ejemplo, un mal drenaje, capas poco permeables en el suelo o una baja conductividad hidráulica; escasez de agua de riego de buena calidad (poca salina), factores económicos relacionados con el costo del agua.

- Lavado por inundación continua: el método de la aplicación de agua y la textura del suelo son las principales variables para la estimación del volumen o lámina de agua requerida para lixiviar las sales utilizando este método.

Tabla 6: Ventajas y desventajas del lavado por inundación continua

Ventajas	Desventajas
Lixiviación de las sales en el perfil del suelo, de la capa superficial a las profundidades además de la zona radicular de las plantas	Requiere más tiempo para la recuperación que cualquier otro método de recuperación
Adecuado para el suelo con una capa freática salina y cerca de la superficie, debido a que la lámina para el lavado por inundación continua impide el flujo capilar a la superficie, reduciendo la acumulación de sales	Es necesario mayor lamina de lavado, debido a que el agua se mueve más rápidamente por los poros mayores, ocurriendo gran desperdicio de agua
	Exige nivelación de terreno o construcción de parcelas en curvas de nivel
	La eficiencia del lavado depende de la textura del suelo, siendo mayor en suelos de textura media en relación con suelos arcillosos

Fuente: Cavalcante *et al.*, 2016, p.464-465.

- Lavado por inundación intermitente: consiste en aplicaciones de láminas de agua por ciclo a intervalos de tiempo inundaciones señales, quincenales o mensuales

Tabla 7: Ventajas y desventajas del lavado por inundación intermitente

Ventajas	Desventajas
Mayor eficiencia en comparación con el lavado continuo, porque necesita una menor lámina de agua para el mismo grado de lixiviación de sales	No lixivia las sales de las capas de profundidades por encima de 1.0 m o menos
No es necesario nivelar o construir parcelas en curvas de nivel en el suelo	No puede aplicarse cuando la sabana este cerca de la superficie y al agua freática
En el flujo no saturado de agua en la lixiviación intermitente, la humedad es más baja y su desplazamiento es más lento, permitiendo una mayor difusión de las sales del suelo	Necesita de un sistema de irrigación (aspersión o microaspersión) para aplicar láminas de agua uniformes
La recuperación del suelo es más rápida en menor profundidad	

Fuente: Cavalcante *et al.*, 2016, p. 464-465.

Pizarro (1996) indica realizar las siguientes prácticas post lavado de suelos:

- A continuación de un riego bien aplicado, el suelo queda con una humedad próxima a la capacidad de campo. A partir de ese momento, la evapotranspiración disminuye el contenido de humedad, sin disminuir grandemente el contenido en sales. En consecuencia, la concentración salina del agua del suelo aumenta, y si se permite que alcance ciertos valores, puede llegar a perjudicar el normal desarrollo de los cultivos. Por esta razón es recomendable aplicar riegos con mayor frecuencia y menor dosis de lo que se haría si no hubiese problemas de sal. De esta manera la humedad del suelo no se aparta mucho de la capacidad de campo y las sales no alcanza una concentración excesiva.
- Las lluvias de pequeña cuantía suelen ser contraproducentes porque lavas las sales de la superficie del terreno, acumulándolas en la zona radicular. La escasa precipitación no llega a transportar las sales a mayor profundidad. Por esta razón, a continuación de una lluvia ligera es recomendable aplicar agua de riego, con objeto de lavar las sales acumuladas en la zona radicular.

Solé-Benet y Cantón (2005), señala que no solo la calidad de agua sino la técnica de riego empleada influye en la variación del potencial hídrico del suelo encontrándose fluctuaciones más amplias en los sistemas de gravedad y aspersión y manteniéndose constantes en los riegos de alta frecuencia (goteo).

El riego por goteo te permite tener bajo el emisor una zona muy lavada, rodeada por una zona de baja salinidad, pero con una acumulación de sales en la periferia del bulbo. Después de la aplicación de un riego, de haber sales disueltas en la solución suelo, al disminuir la humedad la concentración salina va aumentando hasta la aplicación del siguiente riego. Por ende, en estos sistemas cuanto mayor sea el intervalo entre riegos mayor será la salinidad de la solución del suelo (Pizarro, 1996). La alta frecuencia en los riegos facilitará la absorción del agua por el doble efecto de mantener alta la humedad y baja la salinidad. Céspedes (1996) menciona que los riegos tecnificados no sólo resultan positivos por su alta frecuencia sino también por ser altamente eficientes por los bajos volúmenes que se pueden emplear; sin embargo, un mal manejo de este sistema puede causar la salinización.

- **Mejoramiento Químico.** En los suelos salinos, el lavado es suficiente para recuperación, debido a las sales solubles ya disueltas en la solución suelo, siendo fácilmente lixiviados; sin embargo, en suelos salino-sódicos y sódicos el uso de mejoradores o correctivos químicos que contengan preferentemente calcio se hace necesario para remover el sodio que está adsorbido en el complejo de intercambio catiónico, “esto se logra comúnmente agregando *gypsum* (yeso), pues es relativamente soluble y barato” (O’Geen, 2018, p.4).

Tabla 8: Resumen de mejoradores comunes usados para tratar suelos sódicos

Mejorador químico	Función	Se usa en suelos	Reacciones en el suelo	Observaciones
Sales solubles de Calcio: 1.- Yeso 2.- Cloruro de calcio	Suministrar calcio al suelo	1.- Con contenido de carbonatos alcalinotérricos 2.- Libres de carbonatos alcalinotérricos	$2\text{NaX} + \text{CaSO}_4 \rightarrow \text{CaX}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4$	La eficiencia depende del tamaño de la partícula, es mejor entre más pequeña sea. Tienen la ventaja de poderse aplicar con el agua de riego. No requieren incorporación. El yeso no solamente previene y corrige los problemas que ocasiona el Na en los suelos, sino también contribuye a la nutrición eficiente de las plantas

Mejorador químico	Función	Se usa en suelos	Reacciones en el suelo	Observaciones
Ácidos o formadores de ácido: 1.- Azufre 2.- Ácido sulfúrico 3.- Sulfato de hierro 4.- Sulfato de aluminio	Reaccionar con los carbonatos presentes en el suelo para liberar Calcio	Con contenido de carbonatos alcalinotérricos	$2S + 3O_2 \rightarrow 2SO_3$ (oxidación microbológica) $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$ $H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O$ $2NaX + CaSO_4 \rightarrow CaX_2 + Na_2SO_4$	La oxidación microbológica es muy lenta toda vez que la transferencia de oxígeno no es la más apropiada. El tiempo de oxidación depende del tipo de suelo, su estado de dispersión y su contenido de humedad. Debido a la baja solubilidad de la cal (0.01 gr. L^{-1} a 20°C), las reacciones 1 y 2 son muy lentas por lo que el uso de la cal requiere de un medio ácido para mejorar la disolución y liberación del calcio.
Sales de calcio de baja solubilidad: 1.- Caliza	Suministrar calcio	Libres de carbonatos alcalinotérricos	$1.- 2NaX + CaCO_3 \rightarrow CaX_2 + Na_2CO_3$ $2.- 2HX + CaCO_3 \rightarrow CaX_2 + CO_2 + H_2O$ $H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4 + CO_2 + H_2O$	

Fuente: Terrazas, 2019, p.1556.

- b) **Técnicas Auxiliares (mecánicas y biológicas).** Con el objetivo de tener éxito con las técnicas básicas y/o fundamentales como el lavado de suelos es muy importante realizar prácticas complementarias para favorecer la infiltración y el drenaje para que las sales se desplacen por debajo de la zona de raíces. Las prácticas como la labranza profunda, la incorporación de acondicionares de tierra como el compost o gypsum (yeso) y la rotación con cultivos de cobertura de raíces profundas, como los cereales, pueden incrementar el volumen de macroporos en la tierra y mejorar el drenado (Cahn y Bali, 2018).
- **Labranza Profunda.** Consiste en arar el suelo hasta la profundidad de 60 -70 cm, con el objetivo de promover la ruptura del suelo y la formación de terrones. Esta práctica contribuye para la mejora de la estructura del suelo, favoreciendo la infiltración y la percolación del agua, resultando en menor acumulación de sales solubles en la zona de cultivo. Esta técnica se recomienda cuando el suelo posee capas de baja permeabilidad entre dos capas más permeables, debido al arado revertir y mezclar el suelo, haciéndolo

más homogéneo, más poroso para el movimiento de agua, aire y nutrientes (Cavalcante et al.,2016).

- **Subsolado.** Tiene como objetivo romper las capas compactadas en el perfil del suelo para aumentar la porosidad total mejorando el drenaje. La subsolación reduce los efectos perjudiciales de las capas compactadas que están a más de 30 cm de profundidad. El efecto de este tipo de práctica tiene una duración limitada (uno a dos años).
- **Mezclado con Arena.** La adición y mezcla de arena en capas de suelos de textura fina tiene la finalidad de aumentar la macroporosidad y la permeabilidad para el crecimiento más efectivo de las raíces. Así mismo, mejora la infiltración del agua y por consiguiente el lavado de sales (Terrazas, 2019). Sin embargo, modificar la estructura puede resultar muy antieconómico y poco práctico; debido a que, si queremos convertir un suelo franco con 40% de arena, 40% de limo y 20% de arcilla a un suelo franco arenoso con 70% arena, 20% de limo y 10% de arcilla, se necesitaría 1 tonelada de arena por cada tonelada de suelo a modificar.
- **Inversión de Perfiles.** Consiste en desplazar el horizonte superficial de un suelo de características indeseables y sustituirlo por materiales provenientes de horizontes más profundos para mejoras en los atributos fisicoquímicos. En el caso de que el horizonte superior del suelo presente características no deseables (arcilloso) y el subsuelo tenga condiciones más favorables (franco), se puede invertir los horizontes del suelo con la ayuda de un arado de vertedera (Orsag, 2010).
- **Fertilización Orgánica.** La adición de materia orgánica tiene como objetivo, mejorar la estructura, reducir la densidad y aumentar la permeabilidad y la actividad microbológica con reflejos positivos en la mejora física (Cavalcante et al., 2016), además añaden al suelo diversas cantidades de nutrimentos que mejoran la fertilidad del suelo (Serrato *et al.*, 2002).

Hoy en día existen una serie de enmiendas sólidas y líquidas que brindan los beneficios en la estructura del suelo favoreciendo indirectamente el correcto lavado de sales. Ante lo expuesto Hernández (2011), indica que el uso de compost y vermicompost en proporciones de 1.5% (p/p) pueden ser utilizadas para la bio recuperación de suelos salino-sódicos

mientras Quintanilla (2019), señala que la aplicación de vinaza disminuye la densidad aparente del suelo y posee un buen potencial para la remediación de la sodicidad.

Luego de algunos lavados se pueden implantar especies tolerantes, tales como algunas gramíneas (cebada, sorgo, centeno y agropiro) u hortalizas (acelga y remolacha). Es un practica complementaria sin fines económicos pero la cobertura vegetal que produce reduce la evaporación por ende el ascenso de sales y la actividad radicular e incorporación posterior de los restos ayudará a mejorar la infiltración y la estructura del suelo (Babelis y Liotta, 2016).

- **Uso de Cultivos de Elevada Evapotranspiración (ET).** Son cultivos que por la elevada absorción y transpiración de agua provocan el descenso de la capa freática, contribuyendo a mayor eficiencia del lavado de las sales. Además de esta ventaja la sombra de las plantas reduce la intensidad de la evaporación por la superficie del suelo, disminuyendo la acumulación de sales. Cuando el alto nivel de la salinidad inicial del suelo no permita el cultivo de especies económicamente viables, se pueden utilizar cultivos de alta evapotranspiración tales como caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y bambú (*Bambus avulgaris*) (Cavalcante *et al.*, 2016).
- **Uso de Cultivos que Absorban Iones Tóxicos.** Con la finalidad de recuperar suelos salinos se pueden usar plantas resistentes a la sal y que tengan la capacidad de absorber sales del suelo. Pizarro (1996), destaca al girasol como una planta con las características antes mencionadas, además aporta una gran cantidad de materia vegetal mejorando indirectamente la estructura del suelo y debido a su elevada evapotranspiración disminuye el aporte capilar de sales. Asimismo, menciona a la alfalfa como un cultivo que elimina cantidades importantes de sales debido a que puede extraer hasta 25 kg de Na⁺ por hectárea.

Técnicas Modernas. El paso de corriente eléctrica mediante electrodos instalados en el suelo durante el lavado acelera el proceso de recuperación de los suelos afectados por sales. El cátodo, electrodo negativo, atrae los cationes de la solución del suelo, principalmente el sodio, haciendo el lavado más eficiente; en cuanto al anión cloruro, es atraído por el ánodo, electrodo positivo, transformando en gas (Cl₂) que es altamente corrosivo y liberado a la atmósfera. Los métodos eléctricos de recuperación fueron tentados en los años setenta del

siglo pasado, en condiciones de campo, pero debido a altos costos no tuvieron continuidad, mientras que las técnicas térmicas mostraron eficacia en la escala de laboratorio (Cavalcante *et al.*, 2016).

2.7 CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO Y SUS EFECTOS SOBRE EL SUELO

El riego es un importante factor de salinización del suelo cuando no es manejado correctamente. "Los parámetros que configuran la base de la mayoría de las evaluaciones de calidad de agua para el riego son la salinidad, la sodicidad y la toxicidad" (Aragües, 1986, p.29).

2.7.1 Criterio de Salinidad

El criterio de salinidad evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales en el suelo, a través de su efecto osmótico y disminución de rendimientos en los cultivos. Se basan en índices que expresan la concentración de sales del agua de riego, y de ellos el más frecuentemente utilizado es la conductividad eléctrica de dicha agua (Pizarro, 1996).

2.7.2 Criterios de Sodicidad

Un alto contenido de sodio en el agua de riego puede inducir elevados valores de PSI en el suelo, disminuyendo las propiedades como la permeabilidad e infiltración. La posibilidad de que un agua ocasione estos problemas es evaluada a través del índice RAS, relación de adsorción de sodio (Tartabull y Betancourt, 2016), definida como:

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

Donde las concentraciones vienen expresadas en meq. L⁻¹.

Según Ayers y Westcot (1976) mencionado por Aragües (1986) han clasificado las aguas de riego atendiendo al riesgo de un descenso en la permeabilidad del suelo a través del parámetro RAS ajustado del agua de riego, pero también afirma que desde el punto de vista de las relaciones entre el sodio de cambio y el de la solución del suelo, hoy en día existen aproximaciones más rigurosas que la del RAS ajustado.

2.7.3 Criterio de Toxicidad

Los iones tóxicos más frecuentes en las aguas de riego son el sodio, cloro y boro. El catión de sodio puede ser absorbido por las hojas más eficaz que la radicular, sobre todo en períodos de alta temperaturas y baja humedad; el anión cloro no es retenido por el complejo de cambio del suelo, se desplaza fácilmente con el agua del suelo y es absorbido por las raíces y al igual que el sodio puede ser absorbido vía foliar.

Gardiazabal (2004), señala los siguientes valores referenciales que se debe considerar en el agua de riego para el cultivo del palto: conductividad eléctrica menor a 0.75 mmhos/cm; cloruros menores a 2.8 meq/litro o 100 ppm y el elemento boro debe ser menor a 0.2 meq/litro.

2.8 SUSCEPTIBILIDAD DEL PALTO A LA SALINIDAD

Mass and Grattan (1999) clasifican al palto como un cultivo sensible a la salinidad; sin embargo, existen importantes diferencias entre las distintas razas o subespecies. Los paltos con propósitos de agricultura intensiva se componen del patrón y la variedad injertada siendo el primero, el componente más importante al momento de evaluar la tolerancia frente a condiciones salinas.

Gardiazabal (2004), considera que uno de los iones más importantes en la salinidad son los cloruros y dependiendo de la raza (var. botánica) a la que pertenezcan, las mexicanas toleran hasta 5 meq/L, mientras que los antillanos resisten hasta 8 meq/L.

“Los portainjertos antillanos exhiben una marcada acumulación en las raíces no sólo del ion cloro sino también del sodio, y un reducido transporte hacia las hojas. Estos patrones presentan un mejor desarrollo del sistema radicular, que se incrementa aún más como reacción frente a las condiciones salinas” (Díaz *et al.*, 1984, p.855).

Según Kadman (1963), la concentración foliar de cloruro no puede usarse siempre como criterio de tolerancia, pues algunas variedades de aguacate con altos niveles de Cl^- en las hojas no muestran sintomatología. Por otro lado, de tratarse del ion sodio, este autor encuentra que las variedades antillanas y guatemaltecas son más tolerantes al Na^+ que las mexicanas.

Muñoz *et al.* (2017) estudió el efecto de tres niveles de conductividad eléctrica (CE_w) en el agua de riego en dos portainjertos de aguacate (Topa-topa y Maoz). Maoz (raza antillana) presentó un mayor desarrollo foliar que pudo relacionarse con un mayor consumo de agua y una mayor capacidad para limitar la entrada de sales en la raíz, retrasando así la senescencia foliar y manteniendo la capacidad fotosintética durante más tiempo.

Castro *et al.* (2015) evaluó el efecto de riego con agua salina en plantas de la variedad Hass injertadas sobre portainjertos de variedad botánica antillana (UCV7), guatemalteca (nabal) y mexicana (duke7) y concluyó que las dos primeras no traslocan Na^+ a la parte aérea, lo que los hace más tolerantes en comparación a las mexicanas que la absorción de Cl y Na provocan daño foliar, sin embargo de las tres razas evaluadas afirma que el portainjerto antillano presenta una notable ventaja frente al resto de portainjerto evaluados, al exhibir una menor sensibilidad frente a condiciones de alta salinidad en el agua de riego.

III. DESARROLLO DE LA EXPERIENCIA PROFESIONAL

3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE TRABAJO

3.1.1 Ubicación

El proyecto piloto y/o campos experimentales pertenecen al distrito de Santa Rita de Sigwas, provincia y departamento de Arequipa, zona con características climáticas y edafológicas similares al Proyecto Especial Majes Sigwas II (Figura 1).

La altitud oscila entre 1,270 msnm, clima desértico, precipitación anual de 2 mm con una temperatura media anual de 19.2 °C.

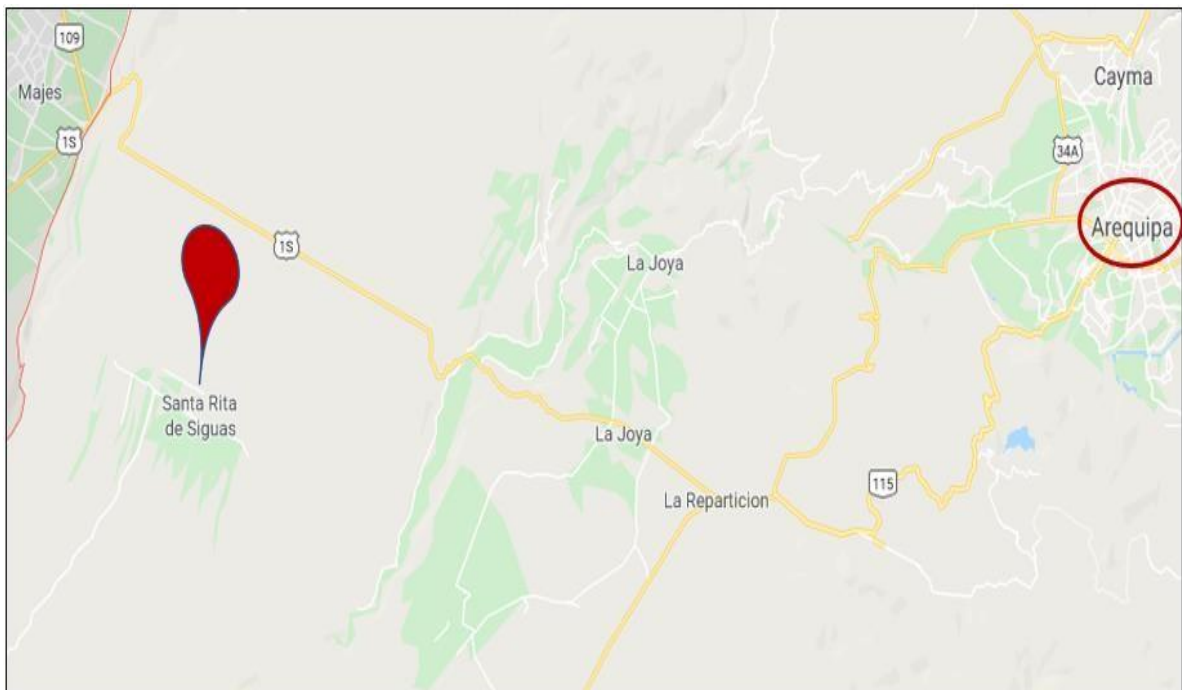


Figura 1: Ubicación del área de trabajo

Nota: Ubicación de Santa Rita de Sigwas en el mapa del Perú tomado de <https://goo.gl/maps/npmajm1XCdyEQBc76>

3.1.2 Características del Suelo

Como podemos ver en la Figura 2, las actividades se realizaron en terrenos eriazos, desérticos, no sembrados, no cultivados y/o labrados con anterioridad.



Figura 2: Condición inicial del terreno

Nota: (A) Terreno eriazo, condición inicial. (B) Perfil del suelo a 60 cm de profundidad.

De las muestras de suelos enviadas al laboratorio se solicitaron un análisis de caracterización que nos permita conocer las propiedades químicas y físicas del suelo, para su clasificación y manejo; y debido a la presencia de eflorescencias salinas en nuestros suelos también se solicitó un análisis de salinidad en extracto de pasta de saturación que nos permita diagnosticar el problema de salinidad y determinar el manejo mediante lavados.

Análisis de Caracterización. Según los resultados presentados en la Tabla 9, nuestros suelos son calcáreos, de ligera a moderada alcalinidad, lo cual origina baja disponibilidad de micronutrientes y elementos como el fósforo.

Los niveles de Fe, Zn y Mn son bajos, pudiendo presentar deficiencias en las plantas. Las aplicaciones de fertilizantes como sulfatos de zinc, hierro o manganeso normalmente son poco eficientes en suelos calcáreos, por lo que se recomiendan aplicaciones foliares y el ingreso con elementos quelatados.

Se tiene un promedio de bajo a regular de fósforo; de añadir fertilizantes fosfóricos a un suelo calcáreo, estos se someten a una serie de reacciones químicas que terminan por disminuir la solubilidad del fósforo (fijación). Por lo tanto, la disponibilidad de fósforo a largo plazo para el cultivo depende de la aplicación de dosis regulares de fósforo soluble y de la disolución de fósforo fijado.

Los suelos presentan de medio a bajo contenido de materia orgánica, típico de suelos de la irrigación, se recomienda el aporte continuo de materia orgánica para mejorar la estructura, retención de humedad y nutrientes. Los niveles de potasio y magnesio en el complejo de cambio son muy bajos.

Por otra parte, el laboratorio nos indica que tenemos a 30 cm de profundidad, 0.9 me/100 g de sodio cambiabile y una CIC de 102.85 me/100g, lo que nos da un PSI de 0.87 (suelo no sódico). Sin embargo, mucho calcio que aparece como cambiabile puede venir en realidad del calcáreo así que es probable que la CIC determinada por suma de cationes (efectiva) se encuentre alterada. En estos casos es importante tomar el valor de la CIC determinada por acetato de amonio (total) como el valor de CIC real del suelo.

Al no contar con el valor de la CIC determinado por acetato de amonio, podemos determinar una CIC teórica en función al contenido y tipo de arcilla. Si del 10 % de arcilla, presente a 30 cm de profundidad, 100 % es montmorillonita (150 me/100g); en 100 gramos de suelo, 10 gramos serán arcillas y nuestro valor del CIC asumido sin considerar la materia orgánica será 15 me/100g. Con este valor de CIC, el PSI se eleva al 6% pero no supera los 15% para poder clasificarlo como sódico; sin embargo, es un suelo con tendencia a problemas de sodio.

Tabla 9: Análisis de caracterización de la zona de estudio a 30 y 60 cm de profundidad

	Prof.			Prof.			Prof.	
	30 cm	60 cm		30 cm	60 cm		30 cm	60 cm
Arena %	75.0	80.0	Ca^d cambiabile me/100g	99.54	104.90	Ca^f disponible me/100g	114.91	112.36
Arcilla %	10.0	7.5	Mg^d cambiabile me/100g	0.49	0.29	Mg^f disponible me/100g	0.86	0.77
Limo %	15.0	12.5	K^d cambiabile me/100g	1.92	0.99	K^f disponible me/100g	1,067.9	812.16
Textura	Franco Arenoso	Arena Franca	Na^d cambiabile me/100g	0.90	0.84	Na^f disponible me/100g	10.58	20.62
CE^a dS/m	14.4	27.2	H^e cambiabile me/100g	<0.01	<0.01	P^g disponible mg/Kg	10.50	2.60
pH (1:1 v/v)	8.2	8.3	Al^e cambiabile me/100g	<0.01	<0.01	B soluble^h ppm	15.10	15.50
CaCO₃^b %	11.9	8.1	CIC me/100g	102.85	107.02	Feⁱ ppm	2.60	3.70
Materia orgánica^c %	0.14	0.07	Saturación de Bases^d %	100	100	Mnⁱ ppm	0.60	0.20
N total %	<0.01	<0.01	PSI	0.87	0.78	Znⁱ ppm	0.20	0.10

Nota: Emitido por laboratorios SGS del Perú S.A.C.

^a Método SGS-MN-ME-190 /Abril.2015 Rev.02 / Suelos agrícolas: conductividad eléctrica (1:1).

^b Método, SGS-MN-ME-193 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos agrícolas: carbonatos de calcio.

^c Materia orgánica por volumetría – método Walkley y Black.

^d Método, SGS-MN-ME-263 / Diciembre.2014 Rev.00 / Determinación de cationes cambiabiles por saturación de acetato de amonio-ICPOES.

^e Método, SGS-MN-ME-217 / Agosto.2011 Rev.00 / Determinación de aluminio e hidrógeno intercambiabiles (acidez intercambiabile).

^f Método, SGS-MN-ME-262 / Diciembre.2014. Rev.00 / Determinación de cationes disponibles por saturación con acetato de amonio-ICPOES.

^g Determinación colorimétrica de fósforo disponible soluble en bicarbonato de sodio.

^h Determinación de boro soluble por UV-VIS.

ⁱ Determinación de microelementos disponibles: manganeso, cobre, zinc y hierro en suelos agrícolas (método de Olsen modificado).

Análisis de Salinidad. Se muestran los resultados en la Tabla 10; donde la conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación es muy alta, con valores de 44.8 dS.m⁻¹ a 30 cm y de 86.3 dS.m⁻¹ a 60 cm de profundidad y en ambas profundidades el valor del RAS (índice de absorción de sodio) es muy alto; sin embargo, al tener un bajo porcentaje de sodio (PSI < 15%) (Tabla 9) nos permite clasificar a este suelo como extremadamente salino y no sódico.

La concentración de boro del suelo es extremadamente alta. El tipo de sal predominante en la solución suelo es el cloruro de sodio (NaCl). No hay presencia de carbonatos, por tanto, no hay riesgo de sodificación.

Tabla 10: Análisis de salinidad en extracto de pasta saturada, a 30 y 60 de profundidad

	Prof.			Prof.			Prof.	
	30 cm	60 cm		30 cm	60 cm		30 cm	60 cm
CO₃^a meq/L	<0.01	<0.01	Suma Cationes meq/L	520.96	1,072.9	H₂PO₄^c mg/L	0.78	0.34
HCO₃^a meq/L	1.80	1.20	Cl^f meq/L	352.99	742.98	B^c mg/L	21.39	23.10
C.E.^b dS/m	44.80	86.30	SO₄^c meq/L	52.06	70.01	NH₄^g meq/L	0.12	0.13
pH^d	7.80	7.70	NO₃^c meq/L	72.60	96.16	Zn^c mg/L	0.81	0.69
Ca^c meq/L	118.64	180.57	Suma Aniones meq/L	479.45	910.35	Mn^c mg/L	0.05	0.02
Mg^c meq/L	12.48	19.37	Na^c porcentaje %	71.46	78.28	Fe^c mg/L	5.84	11.33
Na^c meq/L	372.29	839.93	RAS^c	45.98	84.01	Al^c mg/L	<1	<1
K^c meq/L	17.55	33.08	Dureza^c °fH	655.70	999.90	Cu^c mg/L	0.04	0.05

Nota: Emitido por laboratorios SGS del Perú S.A.C.

^a Método, SGS-MN-ME-255 / Agosto.2014 Rev.00 / Determinación de carbonatos y bicarbonatos en soluciones salinas.

^b Método, SGS-MN-ME-245 / Marzo.2015. Rev.01 / Suelos agrícolas-salinidad: Conductividad eléctrica.

^c Método, SGS-MN-ME-256 / Febrero.2015 Rev.01 / Análisis de aguas de fertirriego en extracto de pasta saturada por ICPMS.

^d pH en extracto de pasta saturada

^e Método SGS-MN-ME-259 / Agosto.2014 Rev.00 / Determinación de nitrato.

^f Determinación de cloruros por UV-VIS.

^g Método, SGS-MN-ME-278 / Octubre.2015 Rev.00 / Aguas y soluciones de fertirriego: Determinación de amonio por espectrofotometría UV-VIS.

3.1.3 Agua

El agua de riego depende exclusivamente de la regulación y derivación de recursos hídricos de las cuencas del río Colca, represa de Condoroma. Más adelante para el proyecto especial Majes Siguan II se sumará la cuenca del río Apurímac, represa Angostura.

El agua de riego de ambas, tiene limitaciones para el uso de riego por goteo, principalmente en las épocas de lluvia en las alturas de las cuencas, haciendo que en su curso tenga altas concentraciones de sólidos en suspensión, específicamente el limo, hecho que genera un aumento en la frecuencia de retrolavados de los filtros y mantenimiento de lavado de cintas de riego en campo.

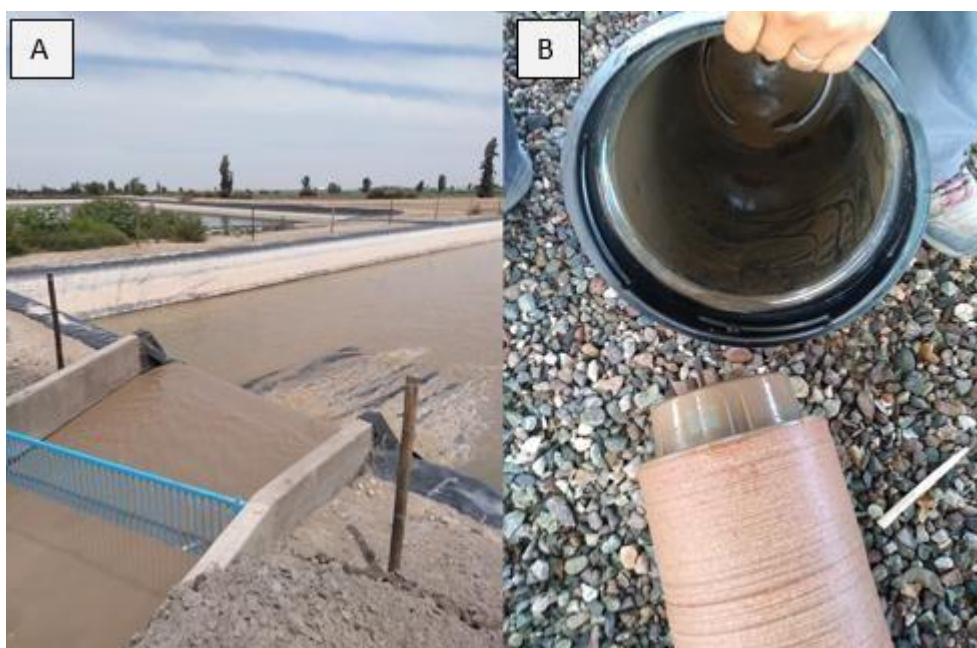


Figura 3: Calidad de agua de la irrigación en épocas de lluvia

Nota: (A) Ingreso de agua al reservorio con altas concentraciones de sólidos en suspensión. (B) Condición de los filtros de anillos en los meses y/o épocas de lluvias.

Análisis de Agua de Riego. Según los datos presentados en la Tabla 11, son aguas con un pH de 7.5 y con una conductividad eléctrica (CE) de 0.91 dS m^{-1} . La CE del agua de riego puede representar cierto riesgo de acumulación de sales en los suelos en el futuro, sin embargo, la textura tipo arena franca del suelo entre 30-60 cm (Tabla 9) puede promover la rápida lixiviación de estas.

La relación de absorción del sodio (RAS del agua) es baja, por ende, el riesgo de sodicidad es bajo. El contenido de cloruro de sodio limita su calidad, sin embargo, el agua también contiene una importante concentración de calcio, lo que mitiga de alguna forma el problema del sodio. Otros elementos que limitan su calidad son sus concentraciones de boro y bicarbonato.

Tabla 11: Resultados del análisis del agua de riego

pH^d	C.E.^b	Dureza^c	Durez^a	RAS	K^c	Mg^c	Ca^c	Na^c
SOL	SOL	ppm	°fH		meq/L	meq/L	meq/L	meq/L
	dS/m							
7.5	0.91	209	20.9	2.78	0.19	1.14	3.03	4.02
Na	SO₄^c	CO₃^a	HCO₃^a	Cl^f	NO₃^e	Suma	Suma	B
porcentaj	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	anione	catione	mg/L
e						s	s	
%						meq/L	meq/L	
47.98	2.38	<0.01	2.48	3.74	<0.01	8.56	8.38	61
NH₄^g	P^c	Cu^c	Fe^c	H₂PO₄^c	Zn^c			
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L			
0.09	0.03	0.008	0.16	0.09	0.003			

Nota: Emitido por laboratorios SGS del Perú S.A.C.

^a Método, SGS-MN-ME-229 / Abril.2014 Rev.02 / Soluciones de fertirriego: Determinación de carbonatos y bicarbonatos.

^b Método, SGS-MN-ME-250 / Abril.2014 Rev.00 / Soluciones de fertirriego: Conductividad eléctrica en aguas.

^c Método, SGS-MN-ME-225 / Mayo.2014 Rev.02 / Análisis de agua de fertirriego por ICPMS.

^d Método, SGS-MN-ME-251 / Abril.2014 Rev.00 / Soluciones de fertirriego: pH en aguas.

^e Método, SGS-MN-ME-228 / Noviembre.2014 Rev.04 / Soluciones de fertirriego: Determinación de nitratos.

^f Método, SGS-MN-ME-277 / Stiembre.2015 Rev.00 / Aguas y soluciones de fertirriego: Determinación de cloruros por UV-VIS.

^g Método SGS-MN-ME-278 / Octubre.2015 R.00 / Aguas y soluciones de fertirriego: Determinación de amonopor espectrofotometría.

3.2 MANEJO MECANIZADO DE SUELOS

Después de diagnosticar el problema, previo al manejo de lavado y ejecución del resto de actividades que conlleven al objetivo, se debe acondicionar el suelo de tal forma que permita la eliminación de sales con un drenado adecuado. Dada las características del suelo presentes en la irrigación (terrenos eriazos con cero labranzas), de capas compactas entre otros mencionados con anterioridad se implementó las siguientes actividades mecanizadas.

3.2.1 Nivelación

Esta práctica es muy importante para una mejor distribución de la lámina de agua, evitar la acumulación de sales durante los riegos por gravedad; así como para armar camas y/o camellones de siembra para favorecer el drenaje, menor pendiente mejor composición. Para esta nivelación gruesa del terreno se usó un tractor de cadenas D8 Caterpillar, con un ratio de trabajo 2.3 horas por hectárea.



Figura 4: Tractor de cadenas D8 Caterpillar para nivelación gruesa

3.2.2 Subsulado

Esta práctica de rotura de capas restrictivas del subsuelo en la instalación de un frutal se realiza con la finalidad de mejorar el componente poroso del suelo, favorecer la velocidad de penetración del agua y las raíces, facilitando el control de la salinidad. El subsulado tiene requerimientos muy altos de potencia del tractor, por tal razón bajo las condiciones de Santa Rita se recomienda usar un tractor de oruga o bulldozer D8, con altura del clavo (ripper) de 1.25 metros, potencia 320 HP. Para conseguir un mayor efecto agrietador y/o rotura en las capas endurecidas del terreno, se debe operar en suelos secos a un 1 metro de distancia y a una profundidad de trabajo de 0.85-0.9 metros.

El ratio de trabajo con un pase simple y doble del tractor oruga es de 5.4 y 8.9 horas por hectárea, respectivamente. Se puede tener mejores ratios de avance si se ejecuta en campos más grandes (>10 has), pero no se recomienda acelerar la marcha del tractor para evitar menor profundidad de trabajo, la velocidad y la profundidad son inversamente proporcionales. En los dos pases de ripper, el primero debe ser perpendicular y el segundo 15° aproximadamente de inclinación en dirección a la línea de siembra.



Figura 5: Diferencia entre un pase simple y doble del subsolador (bulldozer D8)

Nota: (A) Formación de grieta y/o surco, por acción del ripper de la máquina. (B) Se observa una menor presencia superficial de bloques de caliche en suelos con doble pase de ripper.

Control de Profundidad. El encargado de supervisar las labores del operador bulldozer, mide con una vara graduada, la profundidad de la labor, para comprobar si se está cumpliendo el objetivo de romper la zona deseada del perfil del suelo.



Figura 6: Verificación de profundidad ejecutada por el ripper del bulldozer D8

3.2.3 Limpieza del Campo

Esta actividad tiene como objetivo principal retirar bloques de caliche y piedras de dimensiones que pueden dañar los implementos faltantes por ingresar; consta de un volquete de 15 m³ y un cargador frontal, con un ratio de trabajo en conjunto de 1.7 horas por hectárea.

Previo a esta actividad se ingresa con un implemento que consta de un bastidor que sostiene tres brazos de hierro acerado de 80 cm de largo y separado entre sí a 50 cm. Labor con un ratio de 0.8 horas por hectárea necesaria para la extracción, exposición de piedras y caliche del terreno, y favorecer el retiro de éstas por el personal obrero a puntos de carguío con las máquinas inicialmente mencionadas.



Figura 7: Extracción y carguío de bloques de caliche y piedras

Nota: Limpieza de campo. (A) Acopio de ‘caliche’ (rocas) con personal agrícola. (B) Retiro de ‘caliche’ (roca) acopiado, con cargador y volquete.

3.2.4 Micro Nivelación con Rastra de Púas y/o Dientes Rígidos

Tiene como objetivo desmenuzar los terrones, cerrar las grietas que quedan en el campo subsolado y nivelar la superficie. Esta actividad debe realizarse con un tractor (110 hp TDF) con un implemento rígido que consta de un marco portaherramientas, donde va montado unas púas aceradas. Ratio de trabajo 2 horas por hectárea.



Figura 8: Ingreso de implemento con dientes rígidos post subsolado

Nota. (A) Tractor con rígido más riel. (B) Micro nivelación del terreno, cierre de grietas post subsolado.



Figura 9: Comparación visual del terreno antes y después del ingreso de rígido

3.2.5 Preparación de Surcos

La finalidad de esta actividad es la formación de surcos para el riego por gravedad y es de suma importancia para lograr un riego uniforme en todo el campo. Antes debe determinarse

la entrada y salida del agua de riego, el largo de los surcos está determinado por la topografía del terreno y debe ir a favor de la pendiente para una mejor conducción del agua.

Para esta labor se usa un tractor 110 hp TDF con un bastidor de 4 discos. Ratio de trabajo: 0.2 horas por hectárea.

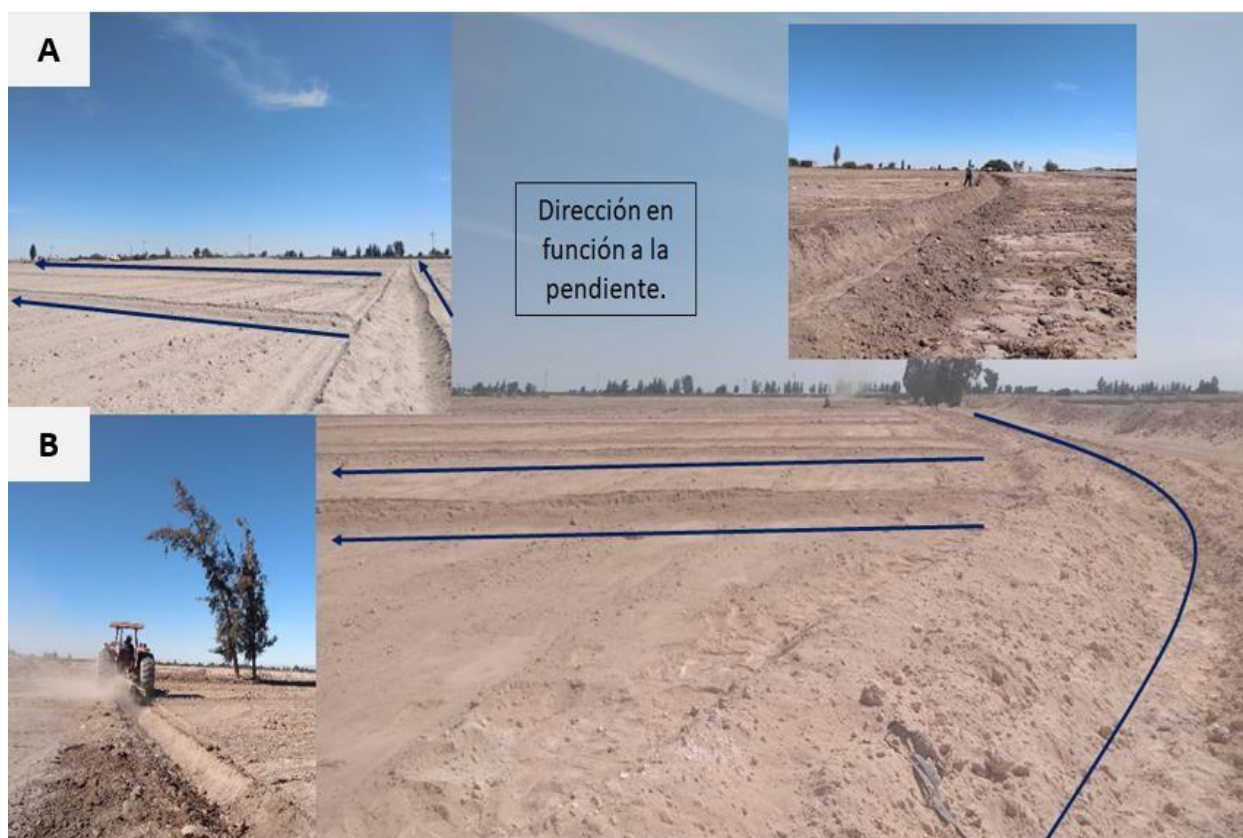


Figura 10: Acondicionamiento del campo para riego por gravedad

Nota: (A) Formación de surcos a favor de la pendiente. (B) Uso de un tractor de discos para formar surcos.

3.2.6 Riego por Gravedad

Esta actividad tiene como finalidad acondicionar el suelo a capacidad de campo para el ingreso del arado y resto de implementos.

Para un suelo con una conductividad en pasta de saturación por encima de $40 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, no es recomendable realizar esta labor con fines de lavado ya que no se hace un uso eficiente del agua y no reduce las conductividades a niveles idóneos ($< 3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en la fase de establecimiento del cultivo frutal a sembrar. En la práctica para regar una hectárea con 2 horas de riego con un caudal de ingreso de canal a 180 litros/segundo consume $1,296 \text{ m}^3$ de agua. Bajo nuestras condiciones de terreno eriazo y presencia de bloques de caliche el ingreso de un primer riego con este volumen de agua solo profundiza 30 cm, de bajar un

punto de la conductividad eléctrica a 10 cm al día siguiente se concentra el doble en la parte superficial por el afloramiento de sales, el clima típico de la zona con más horas de sol y alta radiación no evita dicho proceso, por tanto la frecuencia de riegos tendría que ser diario y con los altos volúmenes de agua se llegaría a un consumo por encima de lo permitido, generando altos costos y con resultados no tan favorables en el manejo de las sales.



Figura 11: Conducción del agua a través de surcos a favor de la pendiente en un riego por gravedad



Figura 12: Afloramiento de sales post riego de inundación

3.2.7 Labranza

Labor que consiste en cortar y voltear el prisma o pan de tierra, para brindar un mejor resquebrajamiento del suelo. Se realiza con un arado de discos (bastidor con 4 discos de reversión hidráulica) enganchado a un tractor de 110 hp TDF.

Este implemento es recomendado para suelos arenosos, pero bajo las condiciones presentes en la irrigación es usado en suelos franco arenosos para un mayor desmenuzamiento y corte de pequeños bloques de caliche y/o suelo compactado, función que no es realizado por un arado de vertederas. La profundidad de corte es de 35 a 40 cm, ratio de trabajo referencial de 2.4 horas por hectárea, ancho de trabajo, 1.1 metro.



Figura 13: Arado de discos

Nota: (A) Arado de discos. (B) Control de profundidad de trabajo a través de una cinta métrica.

3.2.8 Mullido y Nivelación del Terreno

Se utilizó un tractor 110 hp TDF con rastra (polidiscos) y riel. Ratio de trabajo referencial: 1.8 horas por hectárea. Es necesario dar dos pases en sentidos diferentes con el fin de desmenuzar los terrones que quedan.



Figura 14: Rastra de discos con riel de nivelación

3.2.9 Replanteo Topográfico

Se realiza para marcar las líneas de siembra, delimitar las calles y las áreas experimentales a sembrar. Labor realizado previo al ingreso de estercolado de compost en las líneas de siembra y formación de camas.



Figura 15: Replanteo topográfico, delimitación y marcado de líneas de siembra

3.2.10 Estercolado de Compost

En suelos salinos es fundamental la incorporación de compost para mejorar la estructura y porosidad del suelo, debido a que aumenta la capacidad de retención y facilita el movimiento del agua a través del perfil. Bajo nuestras condiciones se consideró ingresar con 67 toneladas de compost por hectárea.

Para esta actividad se usan dos implementos: un cargador frontal que junta y abastece de enmienda a una abonadora y/o desparramador de compost, el ratio de trabajo en conjunto es de 3.6 horas por hectárea.

La calibración del implemento depende del resultado del ensayo previo, que determina la cantidad de kilos o toneladas de compost a incorporar por cada línea de siembra. De tener 14 camas de 100 metros cada uno, debe ingresar 4.8 toneladas por cada una de ellas, 48 kilos por metro lineal. En función a los datos teóricos se regula la descarga del estercolador y se determina la marcha a la que debe avanzar el tractor. Se sugiere que el ancho de voleo de compost no supere los 1.5 metros para que al momento de formar las camas de siembra no desborde por los costados.

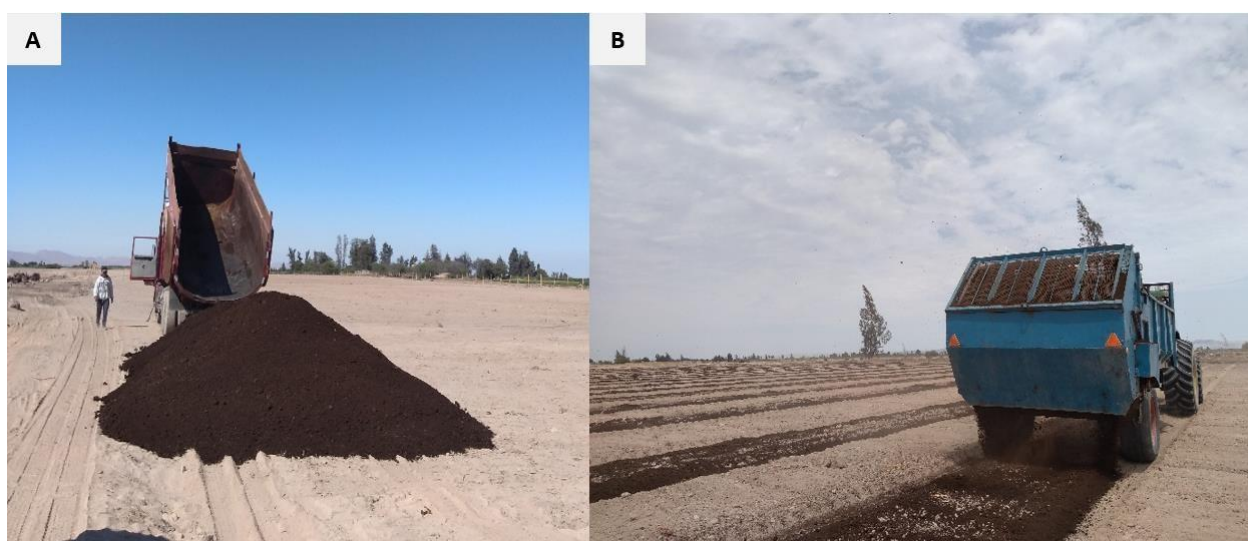


Figura 16: Incorporación de compost a través de la abonadora.

Nota: (A) Traslado y descarga de compost. (B) Estercolado en líneas de siembra.

3.2.11 Subsulado en Líneas de Siembra

Esta labor tiene por finalidad romper capas duras en la línea de siembra y favorecer la extracción de bloques de caliche remanentes para evitar daños en el implemento formador de camas. Se utiliza un tractor 120 hp TDF con un semi-subsolador que consta de un marco portaherramientas donde va montado tres brazos de hierro acerado de 80 cm de longitud. Ratio de trabajo referencial: 1.9 horas por hectárea.



Figura 17: Subsulado en las líneas de siembra post estercolado de compost.

3.2.12 Formación de Camas (camellones)

Esta actividad se realiza en la línea de siembra, mediante el uso del implemento “encamadora” con un tractor de 123 hp TDF John Deere y apoyado por dos obreros que van direccionando la máquina. Dependiendo del frutal se forman camas con una base mayor de 1.5 a 1.8 metros, base menor de 1.0 a 1.2 metros, altura 0.5 mt de alto. El ratio de trabajo referencial es de 7.4 horas por hectárea.



Figura 18: Implemento formador de camas

3.3 CONSIDERACIONES PREVIAS AL MANEJO DE SUELOS

3.3.1 Sistema de Riego

Para el lavado de sales en la fase de recuperación y acondicionamiento pre instalación del cultivo (palto) se hizo uso del sistema o técnica de riego por goteo. Caracterizado por ser un riego localizado y de alta frecuencia que suponen ventajas agronómicas y económicas. Permite un ahorro importante del recurso agua con respecto a los otros, se puede controlar fácilmente la lámina de agua aplicada, hay ausencia de escorrentía, reduce la mano de obra y su automatización es fácil de emplear.

Bajo las condiciones de la irrigación con presencia de suelos salinos, la aplicación localizada y frecuente de agua evita situaciones de daño por salinidad en plantas, su alta frecuencia hace que las sales estén más diluidas, disminuyendo su efecto osmótico y lavando de forma continua el bulbo húmedo que se forma alrededor del gotero.

Los componentes del sistema se describen en la Tabla 12.

Tabla 12: Descripción del sistema de riego

Descripción	Comentario
Caseta:	De 200 m ² para operación del sistema de riego y fertilización.
Sistema eléctrico:	Para una demanda máxima de 100 kW. Una subestación de distribución (SAB) que sostiene un transformador con una potencia de 160 kVA, 22.9/0.40 kV.
Cabezal de riego:	Sistema computarizado (DREAM2). Sistema de bombeo (Grundfos) 15 HP goteo y 10 HP hidrantes. Sistema de filtrado, grava x 24" con filtros de anillos x 3". Mesa de fertilización TALGIL con inyección proporcional.
Sistema de riego:	Goteo
Válvulas:	Arco Bermad 2" serie 120. Automatización RTU's
Tipo de manguera:	Mangueras de 16 mm de diámetro con un espesor de 15 mil, con goteros autocompensados de 2 LPH y a 40 cm de distancia entre ellos.
Almacenamiento de agua:	Reservorio de 10,000 m ³ de capacidad, con un desarenador para ingreso de agua a 200 l/s.
Otros parámetros:	
Goteros / Ha:	10,714
Metros de manguera / Ha:	4,286
Caudal (m ³ /Hr/Ha):	21.4
Caudal máx. por válvula (m ³ /Hr):	36.4

3.3.2 Pruebas

Volumen de Agua. En la práctica se debe ingresar con pulsos de 10 m^3 como máximo, para evitar que el suelo colapse en la parte superficial y se genere escorrentías por los laterales de las camas de siembra. Debe haber una diferencia de 1 a 1.5 horas entre pulsos de riego.



Figura 19: Escorrentía con pulsos largos de riego en suelos con baja capacidad de infiltración

Enmiendas Líquidas para Desplazamiento de Sodio. Según los análisis de suelo, el manejo será básicamente con agua, por tener las sales en la solución suelo. Por tal razón la preparación del terreno y las consideraciones señaladas en cada etapa, son fundamentales para poder reducir la conductividad eléctrica a valores idóneos ($<3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) mediante lavados.

Bajo nuestras condiciones no tenemos mucho sodio en el complejo de cambio; entonces, el uso de yeso como enmienda en las líneas de siembra queda descartado. Este corrector químico sólido es incorporado principalmente en suelos sódicos para desplazar el sodio del complejo de cambio. Si un miliequivalente de calcio contenido en el yeso desplaza 1 miliequivalente de sodio, 86 mg de yeso por 100 gramos de suelo desplazaría 1 miliequivalente de sodio por 100 gramos de suelo.

Para desplazar bajos niveles de sodio del complejo de cambio en los suelos de la irrigación se hizo uso de enmiendas líquidas aplicados mediante el sistema de riego tecnificado.

Se realizaron pruebas con dos productos: el Asalt, que es principalmente a base de calcio y azufre solubles en agua y el Marvert sal que contiene calcio y magnesio (Tabla 13). Sin embargo, para fines de lavado y/o acondicionamiento inicial del suelo, se usó el primer producto por las siguientes ventajas: precio más económico, con mayor contenido de calcio y con azufre ideal para suelos con contenido de CaCO_3 . El segundo producto se usó posterior al manejo de suelos, para mantenimiento de cultivo, por su aporte de calcio y magnesio, siendo el primer componente el encargado de desplazar el sodio del suelo de la zona radicular.

El aporte de calcio de ambos productos evita la sodificación y actúa en el complejo de cambio desplazando el Na^+ (Figura 20).

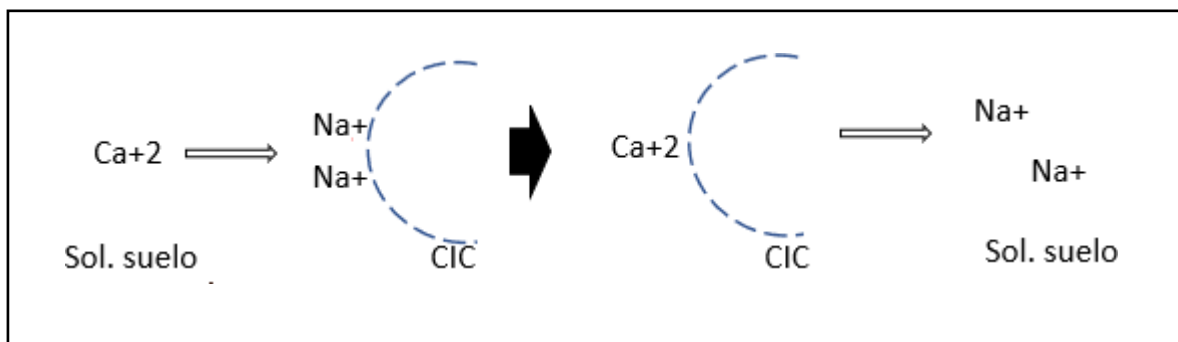
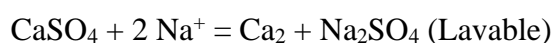
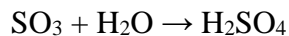
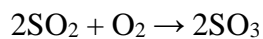
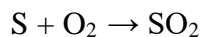


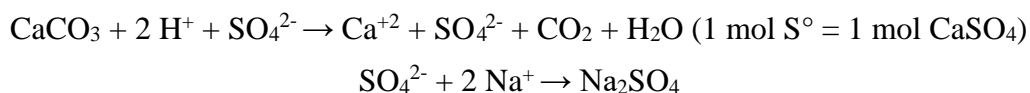
Figura 20: Desplazamiento del sodio en el complejo de cambio

El aporte de azufre del Asalt en suelos calcáreos, desplaza al sodio y hace posible su eliminación por lavado en forma de sal soluble, según la siguiente reacción química:



Por otro lado; hay un producto cuyo componente principal es el azufre (Solver), que puede usarse en la etapa inicial de acondicionamiento, por actuar en suelos con presencia de

carbonatos, así como en la etapa de mantenimiento, ya que al tener suelos con 11.2 % de CaCO_3 a 30 cm de profundidad y con presencia de sodio, el aporte de azufre permite formar sulfatos de sodio para su lavado posterior.



Se ha observado que este producto al actuar en el caliche de los suelos de la irrigación genera un desprendimiento entre ellas, favoreciendo la penetración de las raíces (Figura 22). Y en la fase de mantenimiento de cultivo, es una fuente muy buena de acidificación bajo las condiciones de suelos calcáreos.

Tabla 13: Información de los componentes de enmiendas líquidas para el desplazamiento de sodio

Producto	Composición (% P/P)				
	CaO	MgO	Azufre (S)	Ácidos fúlvicos	Nitrógeno
Asalt	16.99	-	0.69	10.04	3.09
Manvert	9.00	0.50	-	-	-
sal Solver	-	-	16	-	15



Figura 21: Prueba de productos en campo

Nota: (A) Inyección con mochila en válvula de riego. (B) Medición de pH y conductividad eléctrica.



Figura 22: Desprendimiento entre partículas del caliche por acción de azufre

3.4 DESCRIPCIÓN DEL MANEJO DE LAVADO

Finalizado la conformación de camas de siembra, los riegos por semana deben oscilar entre 100 a 303 m³ con una frecuencia de riego de 3.5 días y con pulsos que no superen los 10 m³, para evitar el colapso en la parte superficial como lo mostrado en la figura 23.



Figura 23: Formación de grietas por colapso superficial de suelo por grandes láminas de riego

Bajo la experiencia lograda en la irrigación no es recomendable el lavado de sales solo con agua, a pesar de tener 0.9 de conductividad y de elevarse a 1 en ciertas épocas del año, tenemos que complementar el manejo con el uso de enmiendas líquidas que aporten calcio y azufre soluble, la siembra de avena y movimiento de cintas.

Los días que toque ingresar con las enmiendas líquidas, estas deben ir proporcional al riego de tal forma que el agua en conjunto con el producto logre infiltrar, reposar, reaccionar 3.5 días hasta el próximo ingreso de agua, siendo esta última la que logre desplazar y lavar las sales encapsuladas (sulfatos sódicos).

La avena juega un papel muy importante en mejorar la estructura del suelo y en la práctica soportan conductividades por encima de $20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en extracto de pasta de saturación, las raíces llegan hasta 60 cm de profundidad (mejorando el drenaje) y previo a la floración se realizan cortes con la finalidad de generar mulch, cubrir las camas de siembra y evitar el afloramiento de sales por ascenso capilar (Figura 24).

El distanciamiento entre mangueras no debe ser la misma durante todo el tratamiento, cambiándose post riego con agua + enmienda y post riego con sólo agua. De 15 cm pasar a 30 cm y posteriormente a 40 cm de distancia entre cintas de manguera. Lo expuesto se resume en la tabla 14.

Tabla 14: Resumen del manejo de lavado de sales durante 29 semanas previo a la instalación del cultivo

Nº Sem	M ³ / Ha / Sem	Nº pulsos / sem	M ³ / pulso	F.R.	Enmiendas Asalt (Lts.)	Distancia entre cintas ^a	CE _{eps} (30 cm) ^b	CE _{eps} (60 cm) ^c	Eventos
S-1	120.0	12	10.0	3.5		15 cm	>20	>20	
S-2	120.0	12	10.0	3.5		15 cm	>20	>20	
S-3	120.0	12	10.0	3.5		30 cm	>20	>20	
S-4	120.0	12	10.0	3.5		30 cm	>20	>20	
S-5	120.0	12	10.0	3.5		40 cm	>20	>20	
S-6	120.0	12	10.0	3.5		40 cm	>20	>20	
S-7	120.0	12	10.0	3.5		40 cm	19.2	>20	
S-8	151.8	15	10.1	3.5	7.6	15 cm	18.3	>20	Siembra de avena
S-9	150.0	15	10.0	3.5		15 cm	17.3	19.5	Emergencia de avena
S-10	151.8	15	10.1	3.5	7.6	30 cm	17.1	18.3	
S-11	150.0	15	10.0	3.5		30 cm	16.5	18	
S-12	151.8	15	10.1	3.5	7.6	40 cm	16.4	17.9	
S-13	150.0	15	10.0	3.5		40 cm	15.2	16.7	Avena 30 cm de altura
S-14	151.8	15	10.1	3.5	7.6	15 cm	15.1	16.6	
S-15	150.0	15	10.0	3.5		15 cm	14.2	15.7	
S-16	303.6	30	10.1	3.5	15.2	30 cm	13.2	14.4	
S-17	300.0	30	10.0	3.5		30 cm	10.3	11.8	Avena 60 cm de altura
S-18	303.6	30	10.1	3.5	15.2	40 cm	9.1	10.2	
S-19	300.0	30	10.0	3.5		40 cm	7.4	8.9	
S-20	151.8	15	10.1	3.5	7.6	15 cm	6.4	7.9	Primer corte de avena
S-21	150.0	15	10.0	3.5		15 cm	5.2	6.7	
S-22	151.8	15	10.1	3.5	7.6	30 cm	4.9	6.4	
S-23	150.0	15	10.0	3.5		30 cm	4.2	5.4	Avena rebrote 30 cm
S-24	151.8	15	10.1	3.5	7.6	40 cm	3.7	3.9	
S-25	150.0	15	10.0	3.5		40 cm	3.4	3.7	
S-26	151.8	15	10.1	3.5	7.6	15 cm	3.6	3.6	Avena rebrote 60 cm
S-27	150.0	15	10.0	3.5		15 cm	3.3	3.6	
S-28	100.0	10	10.0	3.5	7.6	30 cm	3.3	3.6	Segundo corte de avena
S-29	200.0	20	10.0	3.5		30 cm	2.9	3.1	
S-30									Siembra de Palto
Total	4,762				98.7				

Nota: Los datos de la conductividad eléctrica fue determinado por un medidor de bolsillo (HANNA HI-98130) en extracto de pasta de saturación, con fines de monitoreo. Valor máximo de lectura 20 dS/m.

^a Por cada línea y/o cama de siembra se tuvo 3 cintas de riego con las características resumidas en la tabla 12.

^b C.E. en dS.m⁻¹ en extracto de pasta a 30 cm de profundidad.

^c C.E. en dS.m⁻¹ en extracto de pasta a 60 cm de profundidad.



Figura 24: Afloramiento de sales en suelos sin cobertura y/o mulch

Nota: (A) Corte de avena para mulch. (B) Afloramiento de sales en zonas no cubiertas.

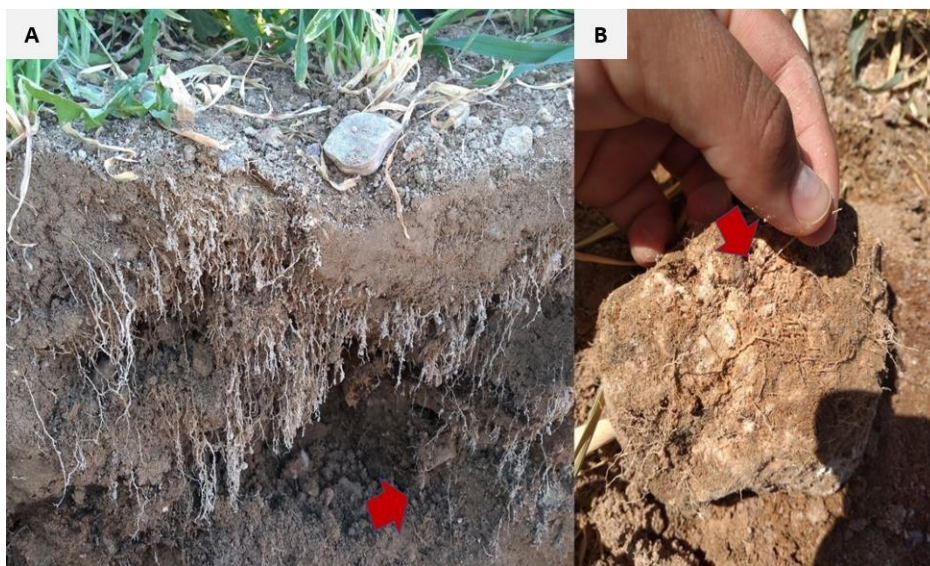


Figura 25: Avena en suelos calcáreos y con CE_{eps} muy altos

Nota: (A) Masa radicular en el perfil del suelo. (B) Crecimiento de raíces en bloques de caliche.



Figura 26: Movimiento de mangueras a diferentes distancias para lavado de sales

3.4.1 Monitoreo de la Conductividad Eléctrica en Extracto de Pasta de Saturación

Se realiza con la finalidad de verificar el descenso de la conductividad en las zonas de interés de acuerdo al programa establecido, hasta tener cifras acordes para la instalación del cultivo de estudio. Post siembra nos obliga a realizar un monitoreo permanente, para tomar medidas correctivas de ser necesario y asegurar el buen desarrollo de las plantas.

Toma de Muestras de Suelo. De acuerdo al perfil del suelo, las profundidades de interés en función al comportamiento de las raíces de cada cultivo y la desuniformidad del terreno se determinó sacar muestras de 5 puntos en una hectárea de terreno. De los cuales se obtiene 2 muestras globales, de 15 submuestras a 30 y 15 submuestras a 60 cm de profundidad.



Figura 27: Extracción de muestras de suelo mediante calicatas

Determinación de la Conductividad Eléctrica. Previo a esta labor se realiza el secado y tamizado de las muestras. De una muestra global se realiza dos repeticiones, se coloca en partes iguales en los frascos y se adiciona agua desionizada hasta formar una pasta. Se deja reposar 12 horas, moviendo la pasta de tres a cuatro veces para finalmente filtrar la solución y tomar la lectura con la ayuda de un medidor de bolsillo HANNA (HI-98130). Este equipo te permite evaluar in-situ un gran número de muestras a bajo costo; sin embargo, el valor máximo de lectura de este equipo es de $20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, y al tener suelos con CE_{eps} altos es necesario enviar muestras a laboratorios certificados en dos oportunidades, el primero antes del manejo para tener un dato inicial real de la conductividad en extracto de pasta de saturación y el segundo post manejo para tener un dato final real.



Figura 28: Determinación de la conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación

3.5 PRESUPUESTO EJECUTADO EN PREPARACIÓN Y LAVADO LOCALIZADO DE SUELOS

Bajo las características del suelo presentes en la irrigación, según la Tabla 15, en maquinaria se utilizó 1,338.4 US\$/Ha para las actividades de acondicionamiento de terreno y representó el 61% del costo total del manejo realizado; en mano de obra se utilizó 240 US\$/Ha para las actividades de limpieza de campo, recojo de caliches y movimientos de mangueras y/o cintas de riego; se utilizó 2,592 m^3 /Ha de agua para el riego de inundación en 4 horas (solo con fines de preparación de suelo) con un costo de 160.7 US\$/Ha, según la experiencia descrita, esta técnica de riego no es favorable para el lavado y descenso de sales bajo nuestras condiciones, por lo que se decidió realizar el lavado localizado (riego por goteo) con un gasto de 4,762 m^3 /Ha, con costo de 295.2 US\$/Ha.

Si calculamos las horas usadas en riego por goteo, según la Tabla 12 al tener un caudal de 21.4 m^3 /Hr/Ha se descargó 4,762 m^3 /Ha de agua en 222.5 horas; de usar esa misma cantidad de tiempo en la primera técnica de riego por gravedad gastaríamos 144,180 m^3 /Ha lo que

implica un gasto de 8,939.16 US\$/Ha sin incluir mano de obra, una cifra que supera el costo de maquinaria y el costo total del manejo realizado.

Por otro lado, es importante mencionar que por tratarse de una prueba piloto con miras al proyecto Majes Siguan II, se trabajó en pequeñas áreas, pero es factible reducir el costo de maquinaria en el acondicionamiento de grandes extensiones de terrenos (50-100 hectáreas) porque te permite obtener mejores ratios de avance.

Tabla 15: Presupuesto para manejo de salinidad

Recurso	USD/Ha	%		
Mano de obra	240.0	11		
Maquinaria	1,338.4	61		
Insumos	177.7	8		
Agua	455.9	21		
Total (USD/Ha)	2,212.0	100%		
			Detalle	
Mano de obra	Ratio		U.M.	Unit. USD
Limpeza de campo	2		Jor/Ha	11.4
Recojo de caliche	5		Jor/Ha	11.4
Movimiento de mangueras	14		Jor/Ha	11.4
Maquinaria	Ratio		U.M.	Unit. USD
Nivelación gruesa	2.3		Hr/Ha	71.4
Nivelación fina	2.0		Hr/Ha	22.9
Subsolado	7.15		Hr/Ha	71.4
Limpeza de campo	1.7		Hr/Ha	34.3
Bastidor	0.8		Hr/Ha	22.9
Surcado para riego machaco	0.2		Hr/Ha	22.9
Labranza	2.4		Hr/Ha	22.9
Pasado de rastra	1.8		Hr/Ha	22.9
Subsolado líneas de siembra	1.9		Hr/Ha	22.9
Incorporación compost	3.6		Hr/Ha	45.7
Armado de camellones	7.4		Hr/Ha	31.4
Insumos	Ratio		U.M.	Unit. USD
Asalt	98.7		L/Ha	1.8
Agua	Ratio		U.M.	Unit. USD
Agua	7,354		m ³ /Ha	0.062

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 EFECTO DEL AGUA DE RIEGO SOBRE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DEL SUELO

El manejo de lavado de suelos logró reducir niveles altos de conductividad eléctrica de la solución suelo ($>20 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) a niveles muy cercanos a $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para la instalación del cultivo de palto. La conductividad eléctrica óptimo para la fase inicial del cultivo, bajo las condiciones y resultados obtenidos, fue de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en solución suelo; sin embargo, según experiencia, no garantiza que bajo estas condiciones se pueda obtener rendimientos por encima de las 25 toneladas por hectárea como se obtiene en la zona norte del Perú.

En la figura 29 se puede observar que a 30 cm de profundidad se logró reducir la conductividad eléctrica a valores muy cercanos al óptimo ($2.9 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) en extracto de pasta de saturación evaluado con un medidor de bolsillo HANNA (HI-98130). El volumen total de agua acumulado fue de 4,762 metros cúbicos por hectárea.

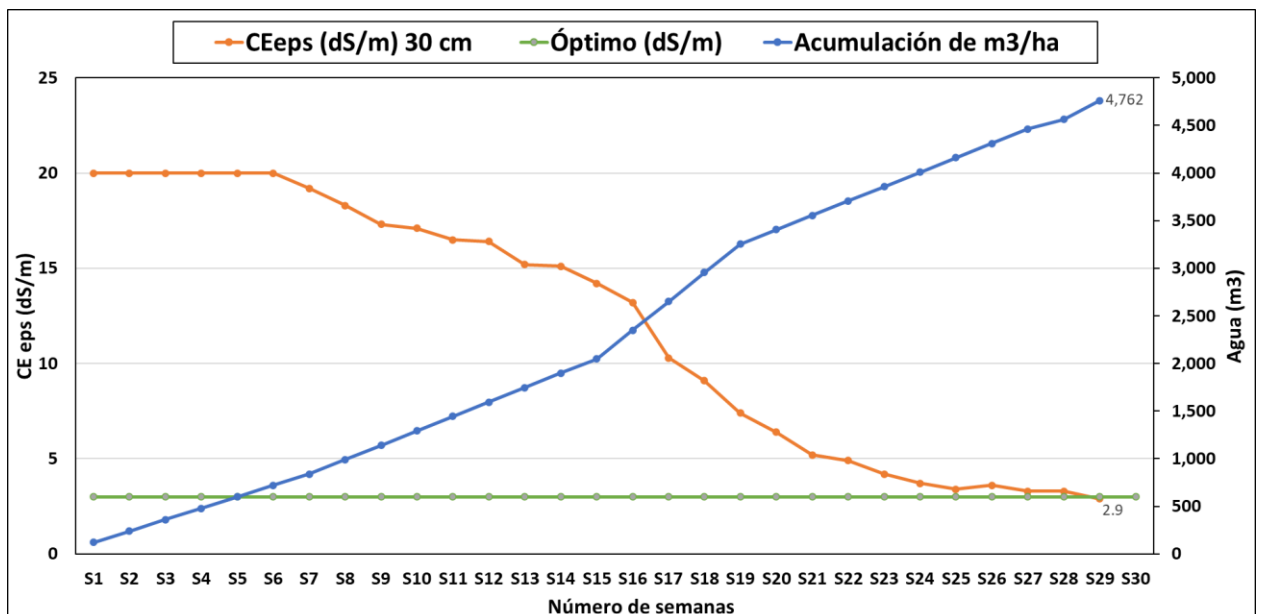


Figura 29: Efecto del volumen de riego (m^3/Ha) sobre la CE_{eps} (dS/m) a 30 cm de profundidad

Nota: Gráfico elaborado con la data de la tabla 14.

En la figura 30 también se observa que a 60 cm de profundidad se logró reducir la conductividad eléctrica a valores muy cercanos al óptimo ($3.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) con el mismo volumen de agua mostrado en el gráfico anterior (4,762 metros cúbicos). Es importante señalar que el dato inicial de CE_{eps} analizado en laboratorio, resultado presentado en la Tabla 10, fue de $86.3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a 60 cm de profundidad y de $44.8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a 30 cm de profundidad.

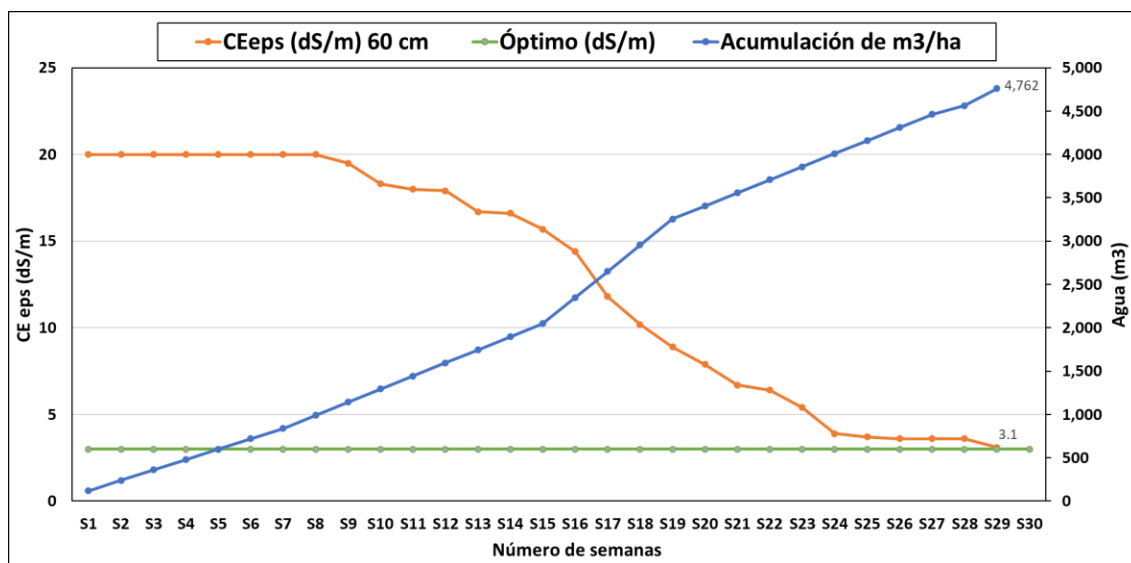


Figura 30: Efecto del volumen de riego (m^3/Ha) sobre la CE_{eps} (dS/m) a 60 cm de profundidad

Nota: Gráfico elaborado con data de la tabla 14.

4.2 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE SUELOS POST MANEJO.

El lavado del suelo, la incorporación de compost, aplicación de enmiendas líquidas, siembra de un cultivo asociado sumado al manejo mecanizado, permitieron obtener los siguientes resultados:

Un incremento en la materia orgánica a 30 cm de profundidad, de 0.14 a 2.47 %; reducción en la conductividad eléctrica en ambas profundidades, así como también los valores de PSI y del boro (de 15.1 a 1.7 ppm a 30 cm de profundidad).

Hubo un aumento en el calcio y magnesio cambiabile. Los microelementos como el zinc, manganeso y hierro, se incrementaron principalmente a 30 cm de profundidad; sin embargo, es importante señalar que la presencia de carbonatos de calcio en nuestros suelos limita la disponibilidad de estos elementos, así como también el fosforo.

Por otro lado; en el análisis realizado a 60 cm de profundidad se observa un cambio textural, y puede deberse a la alta variabilidad del suelo a esa profundidad, pudiendo encontrar considerables diferencias en la textura en el rango de unos pocos metros a partir de un punto de muestreo.

Tabla 16: Comparativo del análisis de caracterización pre y post manejo de sales a dos profundidades

	30 cm		60 cm			30 cm		60 cm	
	Pre manej o	Post manej o	Pre manej o	Post manej o		Pre manej o	Post manej o	Pre manej o	Post manej o
Arena %	75.0	77.5	80.0	77.4	Al cambiable me/100g	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Arcilla %	10.0	12.5	7.5	12.5	CIC me/100g	102.85	115.01	107.02	115.40
Limo %	15.0	10.0	12.5	10.0	Saturació n de bases %	100	100	100	100
Textura	Franco arenos o	Franco arenos o	Arena franca	Franco arenos o	PSI	0.87	0.18	0.78	0.14
C.E. ^a dS/m	14.43	2.77	27.2	3.03	Ca disponible me/100g	114.91	125.88	112.36	121.90
pH (1:1 v/v)	8.2	8.0	8.3	8.0	Mg disponible me/100g	0.86	1.26	0.77	0.95
CaCO₃ %	11.85	11.57	8.13	11.33	K disponible ppm	1,067.9	752.95	812.16	1,025.2
M.O. %	0.14	2.47	0.07	0.31	Na disponible me/100g	10.58	0.76	20.62	0.52
N total %	<0.01	0.12	<0.01	0.02	P disponible mg/Kg	10.5	124.0	2.6	12.3
Ca cambiabl e me/100g	99.54	112.7	104.9	112.84	B soluble ppm	15.1	1.7	15.5	1.4
Mg cambiabl e me/100g	0.49	0.69	0.29	0.52	Fe ppm	2.6	7.6	3.7	3.3
K cambiabl e me/100g	1.92	1.42	0.99	1.88	Mn ppm	0.6	2.4	0.2	0.5
Na cambiabl e me/100g	0.90	0.20	0.84	0.16	Zn ppm	0.2	2.2	0.1	0.2
H cambiabl e me/100g	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01					

Nota: Emitido por laboratorios SGS del Perú S.A.C.

^a Método SGS-MN-ME-190 /Abril.2015 Rev.02 / Suelos agrícolas: conductividad eléctrica (1:1).

Según la Tabla 17, en términos de corrección de salinidad en extracto de pasta de saturación, la conductividad eléctrica disminuyó de 44.8 a 3.84 ds.m⁻¹ a 30 cm de profundidad. A pesar de la alta concentración de boro del agua de riego, la concentración de este elemento disminuyó considerablemente, sin embargo, no ocurrió lo mismo para el bicarbonato, en donde la disminución en la concentración de este elemento fue mínima. Los niveles de cloruro bajaron de 352.99 a 7.81 meq/L, el sodio pasó de 372.29 a 8.16 meq/L y en cuanto al RAS se logró reducir de 45.98 a 1.74.

Tabla 17: Comparativo del análisis de salinidad en extracto de pasta de saturación, pre y post manejo de sales a 30 cm de profundidad

	Pre manejo	Post manejo		Pre manejo	Post manejo		Pre manejo	Post manejo
CO₃ Sol. Salinas meq/L HCO₃ Sol. Salinas meq/L C.E.^e dS/m pH	<0.01	<0.01	Suma cationes meq/L	520.96	54.02	H₂PO₄ mg/L	0.78	8.95
	1.8	1.7	Cl meq/L	352.99	7.81	B mg/L	21.39	1.16
	44.8	3.84	SO₄ meq/L	52.06	40.25	NH₄ meq/L	0.12	0.07
	7.8	8.0	NO₃ meq/L	72.60	0.58	Zn mg/L	0.81	0.36
Ca meq/L	118.64	39.96	Suma aniones meq/L	479.45	50.33	Mn mg/L	0.05	0.02
Na meq/L	372.29	8.16	Na %	71.46	15.10	Fe mg/L	5.84	2.56
Mg meq/L	12.48	3.88	RAS	45.98	1.74	Al mg/L	<1	<1
K meq/L	17.55	2.04	Dureza °fH	655.7	219.2	Cu mg/L	0.04	0.02

Nota: Emitido por laboratorios SGS del Perú S.A.C.

^a Método, SGS-MN-ME-245 / Marzo.2015. Rev.01 / Suelos agrícolas-salinidad: Conductividad eléctrica en eps.

4.3 EFECTO SOBRE LAS PLANTAS

Según Tabla 18, 133 días post instalación de plantas en suelos donde se realizaron el lavado de sales se logró un bajo porcentaje de mortandad. El 65 % en promedio de plantas calificadas como buenas presentaron brotes vigorosos (figura 32) y con un segundo flujo de brotamiento muy bueno (figura 33). El patrón más representativo, que mostró mejores porcentajes de prendimiento y podría decirse mayor tolerancia a conductividades eléctricas cercanos a $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en extracto de pasta de saturación fue la raza (subespecie o variedad botánica) antillana, seguido por zutano (raza híbrido mexicano-guatemalteco) y topa-topa (raza mexicana).

Tabla 18: Porcentaje de prendimiento de plantas de palto post siembra en suelos tratados

Item	Cultivo	DDS ^a	Porcentaje del estado de plantas (%)			
			Buenas	Regulares	Observación	Muertas
1	Maluma/Zutano	136	69%	21%	10%	0.2%
2	Hass/Topa-topa	130	37%	53%	10%	0.3%
3	Hass/Zutano	131	75%	14%	11%	0.1%
4	Hass/Antillanos	136	80%	14%	6%	0.1%
Promedio		133	65 %	26%	9%	0.2%

^a Días después de siembra.



Figura 31: Crecimiento uniforme de plantas de palto en líneas de siembra libres de sales respecto a las presentes en las calles

Análisis Foliar. Post instalación y desarrollo de los cultivos se enviaron al laboratorio muestras de hojas con fines de monitoreo.

En la práctica, para relacionar los resultados obtenidos, se usaron principalmente los valores referenciales propuestos por el laboratorio AGQ Perú SAC para cultivos de palto de 2 años de instalación, dado que los valores de nutrientes en hojas presentados por Téliz (2000) y otros autores en su mayoría referencian a paltos en producción.

Ambos cultivares Hass y Maluma sobre el patrón Zutano presentaron concentraciones bajas de sodio 0.008 y 0.01 % respectivamente. En cuanto a los cloruros ambos cultivares presentan en promedio 0.35%, dato que está por encima de los rangos sugeridos; sin embargo, es importante señalar que las hojas enviadas y las plantas muestreadas no presentaban daños o sintomatologías por el ion cloro al momento de la recolección y concuerda con lo señalado por Kadman (1963): la concentración foliar de cloruro no puede usarse siempre como criterio de tolerancia, pues algunas variedades de aguacate con altos niveles de Cl⁻ en las hojas no muestran sintomatología.

Los elementos macro están dentro de los rangos sugeridos para los paltos en la etapa post instalación. Los niveles de hierro (Fe) y zinc (Zn) se encuentran por debajo de lo recomendado; debido al contenido de calcáreo y la concentración de bicarbonato del suelo que aún persisten, se debe prestar atención a un posible problema de clorosis férrica que puede aparecer más adelante.

Tabla 19: Resultados del análisis foliar de dos cultivares de palto sobre un mismo patrón, post instalación en suelos tratados

Elemento	Niveles óptimos según		Maluma sobre Zutano	Hass sobre Zutano	Elemento	Niveles óptimos según		Maluma sobre Zutano	Hass sobre Zutano
	AGQ ^a	Téliz ^b				AGQ ^a	Téliz ^b		
	(2000)					(2000)			
N. Dumas (%)	2.1	1.6	2.35	2.44	B (ppm)	40	50	45	40
	Min	Min				Min	Min		
	2.9	2.0				150	100		
P (%)	Max	Max	0.19	0.19	Fe (ppm)	Max	Max	77	85
	0.14	0.08				138.6	50		
	Min	Min				Min	Min		
K (%)	0.20	0.25	1.41	1.48	Mn (ppm)	198.9	200	55	86
	Max	Max				Max	Max		
	1.08	0.75				40	30		
Ca (%)	Min	Min	2.54	2.59	Cu (ppm)	Min	Min	6.23	6.42
	1.65	2.0				100	500		
	Max	Max				Max	Max		
Mg (%)	1.33	0.5	0.512	0.548	S (%)	5	4	0.34	0.30
	Min	Min				Min	Min		
	2.15	1.0				0.32	0.2		
Zn (ppm)	Max	Max	20	24	Cl (ppm)	0.32	0.2	3,500	3,600
	0.32	0.25				300	-		
	Min	Min				Min	-		
Mo (ppm)	0.51	0.8	0.52	0.6	Na (ppm)	0.5	0.6	100	80
	Max	Max				Max	Max		
	40	30				250	-		
Mo (ppm)	Min	Min	-	-	Na (ppm)	Min	-	-	-
	100	150				1,000	-		
	Max	ppm				Max	-		
	0.05	ppm							
	-	1.0							
	-	ppm							

Fuente: Emitido por laboratorios SGS de Perú S.A.C.

^a Niveles referenciales de nutrimentos en las hojas, propuesto por el departamento técnico de la empresa AGQ Perú S.A.C. para paltos de 2 años de instalación.

^b Valores óptimos de los nutrientes en las hojas de palto, Téliz (2000).



Figura 32: Plantas de hass sobre zutano con brotes vigorosos en campos post manejo de sales



Figura 33: Plantas de hass sobre patrón antillano con segundo flujo de brotamiento en suelos tratados

V. CONCLUSIONES

Conclusión general

- Las técnicas agronómicas: acondicionamiento de suelo, lavados localizados y siembra de cultivo asociado, permitieron reducir la concentración salina en el suelo hasta niveles de $3 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en los camellones, favoreciendo la plantación del cultivo del palto.

Conclusiones específicas

- Se realizó un sistema de medición de conductividad eléctrica, mediante el método de extracto de pasta saturada (EPS), para contar con la información y decidir los volúmenes de agua a usar.
- La técnica de riego que permitió disminuir la concentración salina sobre los camellones fue la del riego por goteo, que fue ejecutado con frecuencia de 3.5 días y con movimientos de mangueras sobre los camellones, el volumen de agua para el lavado utilizado fue de: $4,762 \text{ m}^3/\text{ha}$.
- Se implementó el sistema de actividades mecanizadas para acondicionamiento de suelo: Nivelación gruesa, fina, subsolado, limpieza de campo (retiro de “caliches”), incorporación de compost y armado de camellones con un gasto de $1,338.4 \text{ US}\$/\text{ha}$.
- El cultivo asociado sembrado para el acondicionamiento del suelo fue la avena, que permitió estructurar y airear el suelo mediante el desarrollo de sus raíces que llegaron hasta 60 cm de profundidad mejorando el drenaje; además, mediante 3 cortes de avena se colocó mulch sobre los camellones disminuyendo el ascenso capilar de las sales.

VI. RECOMENDACIONES

- Ejecutar conocimientos técnicos aprendidos en la etapa universitaria, para una correcta toma de decisiones sobre el manejo.
- Valerse de herramientas como los análisis de suelos, metodologías de evaluación de conductividad eléctrica en extracto de pasta de saturación entre otros para monitorear el avance del manejo de salinidad de los suelos.
- Realizar más pruebas para validar productos de corrección química que permitan bajar el contenido de sodio en los suelos, a bajo costo y que sean eficientes en su empleo.
- Usar cultivos asociados como la avena u otros que sean tolerantes a la salinidad para favorecer el acondicionamiento del suelo.
- Emplear portainjertos de distintas variedades botánicas que sean tolerantes a la salinidad y validar otras subespecies o variantes nuevas en el mercado.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aragües, R. (1986). Calidad del agua y efectos sobre el suelo. En J. Herrero (Ed.), *Salinidad en los suelos: aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca* (pp. 27-49). DGA.
- Babelis, G. y Liotta, M. (2016). *Recuperación de suelos salinos* [Archivo PDF].
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-recuperacion_suelos_salinos.pdf
- Cahn, M. y Bali, K. (2018). Consejos sobre la sequía: El manejo de las sales por medio de la filtración. <http://dx.doi.org/10.3733/ucanr.8594>.
- Castro, M., Fassio, C., Cautin, R. y Ampuero, J. (2015). UCV7, portainjerto de aguacate tolerante a la salinidad. *Rev. Fitotec. Mex.*, 38(1). 85-92.
- Cavalcante, L. F., dos Santos, R. V., Hernandez, F. F., Gheyi, H. R., Dias, T. J., Nunes, J. C., & de Lima, G. S. (2016). Recuperação de solos afetados por sais. En H. R. Gheyi, N. da Silva, & C. Feitosa (Eds), *Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados* (pp. 461-477). Fortaleza: INCT Sal.
- Céspedes, R. (1996). *La salinidad del suelo y del agua de riego y su relación con los cultivos* [Archivo PDF].
<http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/9916/CNR-0282.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Courel, G.F. (2019). *Guía de estudios: suelos salinos y sódicos*. [Archivo PDF].
<https://www.edafologia.org/descargas/>
- Díaz, A., Altares, M., Álvarez, C.E. y Fernández, M. (1984). Criterios para determinar la tolerancia a la salinidad de portainjertos de aguacates. *Anales de edafología y agrobiología*, 43(5-6), 855-869.

- Fassbender, H. y Bomemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. Editorial IICA.
- Gambini, T. (2019). *Tolerancia a la salinidad del sustrato de cuatro portainjertos de palto (Persea americana Mill.), injertados con dos cultivares en vivero*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional – Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Grattan, S.R. (2018). Consejos sobre la sequía: La tolerancia del cultivo a la sal. <http://dx.doi.org/10.3733/ucanr.8630>.
- González, L., González, M. y Ramírez, R. (2002). Aspectos generales sobre la tolerancia a la salinidad en las plantas cultivadas. *Cultivos tropicales*, 23(2), 27-37.
- Guardiazabal, F. (29 de setiembre - 1 de octubre del 2004). *Factores agronómicos a considerar en la implantación de un huerto de paltos*. Segundo seminario internacional de paltos, Quillota, Chile.
- Hernández, J. (2011). *Bio recuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Madrid].
- INTAGRI. (2019). Requerimientos de clima y suelo en el cultivo de aguacate. Serie frutales Num.56 Artículos técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
- Kadman, A. (1963). The uptake and accumulation of chloride in avocado leaves and the tolerance of avocado seedlings under saline conditions. *American Society for Horticultural Science*, 83. 280-286.
- Lamz Piedra, A. y González Cepero, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos tropicales*, 34(4), 31-42.
- Mass, E.V. and Hoffman, G.J. (1977). Crop salt tolerance – current assessment. <https://doi.org/10.1061/JRCEA4.0001137>.

- Mass, E.V. and Grattan, S.R. (1999). Crop yields as affected by salinity. In *Agricultural Drainage* (eds R. Skaggs and J. Shilfgaarde). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr38.c3>.
- Medina García, L. R. (2016). La agricultura, la salinidad y los hongos micorrízicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa. *Cultivos Tropicales*, 37(3). 42-49.
- Muñoz, D., Jaime, E., Gonzales, J., Gómez, R. y Romero, M. (2017). *Efecto de la conductividad eléctrica del agua de riego sobre dos portainjertos de aguacate*. XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Tarragona.
- Niborski, M. (2000). *El exceso de sales y sodio en los suelos de las regiones áridas y semiáridas*. [Archivo PDF]
Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/UNLU2008/sales-manejo-uba>
- O'Geen, A. (2018). *Consejos sobre la sequía: Recuperar los suelos salinos, sódicos y salino-sódicos* [Archivo PDF]
<https://anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8629.pdf>
- Orsag, V. (2010). *El recurso suelo: Principios para su manejo y conservación*. Editorial Zeus.
- Pizarro, F. (1996). Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión y exudación. Ediciones Mundi – Prensa, Madrid. pp (83-158).
- Porta, J. y López-Acebedo, M. (1986). La salinidad como condicionante del comportamiento de los cultivos. En J. Herrero (Ed.), *Salinidad en los suelos: aspectos de su incidencia en regadíos de Huesca* (pp. 51-73). DGA.
- Quintanilla, J. (2019). *Aplicación de residuos de la industria azucarera para la remediación de un suelo salino – sódico de costa central*. [Tesis de ingeniero, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional – Universidad Nacional Agraria la Molina.

- Serrato, R., Ortíz, A., Dimas, J., Berúmen, S. (2002) Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra Latinoamericana*, 20(3), 329-336.
- Solé-Benet, A. y Cantón, Y. (2005). *Mejora de suelos salinos y control de la erosión en zonas áridas* [Archivo PDF].
https://www.researchgate.net/publication/233541012_Mejora_de_suelos_salinos_y_control_de_la_erosion
- Tadeo, R. y Gómez – Cadenas, A. (2008). Fisiología de las plantas y el estrés. En J. Azcón-Bieto, M. Talón (Eds.), *Fundamentos de fisiología vegetal* (pp. 577-597). McGraw-Hill Interamericana.
- Tartabull, T. y Betancourt, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), 47-61.
- Téliz, O.D. (2000). El aguacate y su manejo integrado. Mundi Prensa.
- Terrazas Rueda, J. M. (2018). Efecto de tres niveles de salinidad en el crecimiento del pasto agropiro variedad Alkar (*Thinopyrum ponticum*) mediante reproducción sexual y vegetativa. *Apthapi*, 4(3), 1295-1311.
Obtenido de <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/261>
- Terrazas Rueda, J. M. (2019). Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Apthapi*, 5(1), 1539 – 1563.
Obtenido de <http://ojs.agro.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/333>