

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“CONDICIONES DE SALINIDAD Y RECUPERACIÓN DE LOS
SUELOS SALINOS EN UN ÁREA REPRESENTATIVA DE LA ZONA
DE CAYALTÍ, ZAÑA-LAMBAYEQUE”**

**TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

KOKY EYNER RAMOS GUEVARA

LIMA- PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGRÍCOLA
N° 010-2021/FIA**

Los que suscriben, miembros del Jurado para la Sustentación virtual de la Tesis titulada: **“CONDICIONES DE SALINIDAD Y RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS EN UN ÁREA REPRESENTATIVA DE LA ZONA DE CAYALTÍ, ZAÑA-LAMBAYEQUE”**, presentada por su autor:

KOKY EYNER RAMOS GUEVARA

Bachiller en Ciencias-Ingeniería Agrícola, luego de estudiar su contenido, se han reunido en la fecha, y han procedido a escuchar la exposición virtual del autor, a formular las observaciones, preguntas pertinentes y luego de una evaluación del conjunto, lo declaran:

(*) **Aprobado**

Con el calificativo de:

(**) **Muy bueno**

En consecuencia, el autor de la Tesis queda apto de recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGRÍCOLA**, de conformidad con lo estipulado en el artículo 89° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en concordancia con la Ley 30220.

La Molina, 19 de Julio del 2021.

Mg. Sc. MIGUEL ÁNGEL SÁNCHEZ DELGADO
Presidente

Mg. Sc. JAVIER ANTONIO GOICOCHEA RÍOS
Miembro

Mg. Sc. JULIO CÉSAR NAZARIO RIOS
Miembro

Mg. Sc. TORIBIO SEBASTIÁN SANTAYANA VELA
Asesor

(*) Puede ser: APROBADO o DESAPROBADO

(**) Puede ser: REGULAR, BUENO, MUY BUENO ó SOBRESALIENTE

OBSERVACIONES: *****

DEDICATORIA

*A mis padres Felipe y Celinda,
por su apoyo incondicional.*

*A mis hermanos, por sus
consejos y experiencias
compartidas.*

AGRADECIMIENTOS

Al Mg. Sc. Sebastián Santayana Vela, por la oportunidad, confianza y apoyo en el proceso de ejecución de investigación y redacción de esta tesis.

A mis hermanas; Luz, Tina y María, por su apoyo desinteresado en el recorrido para ser parte de la familia molinera.

A mi hermano, Ing. Roque Ramos Guevara, por el apoyo brindado durante el desarrollo de la etapa de campo del presente trabajo de investigación.

A mi sobrino, Juan Rojas, por su colaboración desinteresada en la fase de campo en la realización de este trabajo.

A mis ahijados: Ariana, Matías, Gael y Antonella, por alegrarme la vida con sus ocurrencias y travesuras.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. GENERALIDADES.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. ANTECEDENTES.....	3
2.2. LA SALINIDAD EN EL PERÚ Y EL MUNDO.....	5
2.2.1. Salinidad en el mundo	5
2.2.2. Salinidad en el Perú	6
2.3. LA SALINIDAD.....	7
2.4. ORIGEN DE LAS SALES Y SU EFECTO EN LOS SUELOS.....	7
2.4.1. Formación de los suelos salinos	11
2.4.2. Descripción de los suelos salinos	11
2.4.3. Clasificación de los suelos con problemas de salinidad.....	12
2.4.4. Ciclos de la salinización	14
2.5. SUELOS SALINOS.....	15
2.6. SALES PRESENTES EN LOS SUELOS SALINOS.....	16
2.6.1. Sulfato de magnesio ($MgSO_4$).....	16
2.6.2. Sulfato de sodio (Na_2O_4)	16
2.6.3. Cloruro de sodio ($NaCl$)	16
2.6.4. Cloruro de potasio (KCl).....	17
2.6.5. Carbonato y bicarbonato de sodio (Na_2CO_3 y $HNaCO_3$)	17
2.6.6. Cloruro de magnesio y cloruro de calcio ($MgCl_2$ y $CaCl_2$).....	17
2.6.7. Sulfato de calcio ($CaSO_4$).....	18
2.6.8. Sulfato de potasio (K_2SO_4)	18
2.6.9. Nitratos ($NaNO_3$, KNO_3).....	18
2.7. DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD.....	18
2.8. EFECTO DE LAS SALES SOBRE LAS PLANTAS.....	19
2.9. MANEJO Y RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS.....	21
2.9.1. Métodos físicos.....	21

2.9.2. Métodos químicos.....	21
2.9.3. Método de lavado del suelo	22
III. METODOLOGÍA	23
3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	23
3.1.1. Ubicación.....	23
3.1.2. Vías de acceso	23
3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	23
3.2.1. Calidad de agua para riego y lavado de suelos.....	25
3.2.2. Suelo	25
3.3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	25
3.3.1. Clima	25
3.4. MATERIALES Y EQUIPOS.....	26
3.4.1. Materiales	26
3.4.2. Equipos	28
3.4.3. Programas de ingeniería	29
3.5. METODOLOGÍA.....	29
3.5.1. Actividades preliminares	29
3.5.2. Etapa de campo.....	29
3.5.3. Fase de laboratorio.....	35
3.5.4. Fase de gabinete.....	37
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
4.1. EVALUACIÓN DE LA SALINIDAD.....	39
4.1.1. Perfiles de salinidad.....	39
4.1.2. Mapa de isoconductividad eléctrica	43
4.2. EVALUACIÓN DE LA SODICIDAD.....	45
4.3. EVALUACIÓN DEL DRENAJE.....	45
4.3.1. Condiciones de drenaje de la zona de estudio	45
4.3.2. Evaluación del nivel freático	45
4.3.1. Evaluación del suelo y subsuelo con fines de drenaje.....	49
4.4. PRUEBAS DE LAVADO.....	49
4.4.1. Perfiles de lavado.....	49
4.4.2. Curvas de lavado	52
V. CONCLUSIONES.....	56

VI. RECOMENDACIONES.....	57
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	58
VIII. ANEXOS	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Suelos con problemas de salinidad.....	6
Tabla 2: Suelos salinos en la costa peruana.....	9
Tabla 3: Rangos generales de las plantas tolerantes a la salinidad.....	20
Tabla 4: Tolerancia de la salinidad en algunos cultivos.....	20
Tabla 5: Climatología de temperatura y precipitación en Cayaltí.....	27
Tabla 6: Resultados de CE y pH a diferentes profundidades	40
Tabla 7: Puntos de control para la elaboración de mapa de isoconductividad eléctrica	43
Tabla 8: Resultados de PSI y RAS del suelo a 20 cm de profundidad.....	45
Tabla 9: Evaluación del nivel freático.....	46
Tabla 10: Resultados de la prueba de lavado para la poza P1 (CE en dS/m).....	49
Tabla 11: Resultados de la prueba de lavado para la poza P2 (CE en dS/m).....	50
Tabla 12: Resultados de la prueba de lavado para la poza P3 (CE en dS/m).....	51
Tabla 13: Resultados de la prueba de lavado para la poza P4 (CE en dS/m).....	52
Tabla 14: CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo a lavar. Poza P1	53
Tabla 15: CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo a lavar. Poza P2	54
Tabla 16: CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo a lavar. Poza P3	54
Tabla 17: CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo a lavar. Poza P4	55
Tabla 18: Resultados del análisis de agua	64
Tabla 19: Resultados del análisis de suelo-salinidad y sodicidad	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clases de suelo en función a los valores de CE y PSI	14
Figura 2: Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	24
Figura 3: Mapa vial que conduce a la zona de estudio.....	25
Figura 4: Vista de costras de sal, suelo de clase textural franco arenosa	26
Figura 5: Diagrama de la temperatura en Cayaltí.....	27
Figura 6: Climograma de Cayaltí	28
Figura 7: Vista de la zona de estudio.....	29
Figura 8: Vista del trabajo de levantamiento topográfico	30
Figura 9: Vistas de la excavación de calicatas	31
Figura 10: Calicatas para analizar los perfiles de salinidad.....	31
Figura 11: Vistas de la toma de muestras del suelo de las calicatas.....	32
Figura 12: Vistas de la instalación de pozos de observación	32
Figura 13: Vista de la medición del nivel freático.....	32
Figura 14: Vistas de la medición de la CE del agua.....	33
Figura 15: Vista del muestreo de agua superficial	33
Figura 16: Vistas de los sectores con mayores problemas de salinidad	34
Figura 17: Vista del estacado de las pozas de lavado.....	34
Figura 18: Vistas de la instalación de las pozas de lavado.....	35
Figura 19: Vistas de la aplicación de agua en las pozas de lavado	35
Figura 20: Vista de las muestras de suelo recolectadas en las pruebas de lavado.....	36
Figura 21: Otra vista de las muestras recolectadas durante las pruebas de lavado	36
Figura 22: Vistas del análisis de las muestras de suelo en el laboratorio.....	37
Figura 23: Vista de la medición de la CE del agua en laboratorio	37
Figura 24: Perfil de salinidad del suelo de la calicata C1.....	41
Figura 25: Perfil de salinidad del suelo de la calicata C2.....	41
Figura 26: Perfil de salinidad del suelo de la calicata C3.....	42
Figura 27: Perfil de salinidad del suelo de la calicata C4.....	42
Figura 28: Perfiles de salinidad del suelo de las cuatro calicatas.....	43
Figura 29: Mapa de isoconductividad eléctrica en el área de estudio	44
Figura 30: Vista de las condiciones actuales de los drenes en la zona de estudio.....	46
Figura 31: Mapa de isoprofundidad del nivel freático del área de estudio.....	47

Figura 32: Mapa de isoconductividad eléctrica del agua subterránea del área de estudio ..	48
Figura 33: Perfil de salinidad de la poza P1	50
Figura 34: Perfil de salinidad de la poza P2	51
Figura 35: Perfil de salinidad de la poza P3	51
Figura 36: Perfil de salinidad de poza de lavado P4.....	52
Figura 37: Curvas de lavado de la poza P1	53
Figura 38: Curvas de lavado de la poza P2	54
Figura 39: Curvas de lavado de la poza P3	55
Figura 40: Curva de lavado de la poza P4.....	55
Figura 41: Plano topográfico y mapa de ubicación del área representativa de estudio.....	66
Figura 42: Plano topográfico del área representativa de estudio.....	67
Figura 43: Plano topográfico del área con problemas de salinidad.....	68

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	64
ANEXO 2: MAPAS	66

RESUMEN

En la presente investigación se evaluaron las condiciones de salinidad, sodicidad y drenaje de suelos agrícolas de un área representativa del valle de Zaña, en la zona de Cayaltí, región Lambayeque. El estudio se realizó en tres etapas: fase de campo, con el reconocimiento de la zona de estudio, levantamiento topográfico, excavación de calicatas y muestreo de suelos, instalación de pozos de observación, muestreo de agua subterránea y superficial, y pruebas de lavado; fase de laboratorio, con los análisis químicos en muestras de suelo, agua subterránea y superficial; y, finalmente, fase de gabinete, con la elaboración de planos topográficos, mapas de isosalinidad e isoprofundidad de la napa freática, perfiles de salinidad, y perfiles y curvas de lavado. Los resultados obtenidos de CE del suelo varían de 15,30 a 10,23 dS/m, clasificándolo como fuertemente salino; para el agua de lavado, la CE fue 0,23 dS/m y el agua subterránea presentó una CE de 2,02 a 0,83 dS/m (salinidad media a alta); los valores PSI y RAS, fueron 5,2 y 11,97, respectivamente, que indican que no existe problema de sodicidad; con lámina de lavado de 40 cm se redujo la salinidad del suelo a niveles de 3,56 a 2,54 dS/m (de 0 -15 cm de profundidad); de 3,2 a 2,56 dS/m (de 15 a 30 cm de profundidad); de 2,1 a 1,34 dS/m (a profundidad de 30 a 45 cm); y, de 1,61 a 0,97 dS/m (de 45 a 60 cm de profundidad). Para mejorar la efectividad del lavado se recomendaron actividades de limpieza del terreno, nivelación, subsolación y elección de un cultivo tolerante a los cambios de salinidad.

Palabras clave: salinidad, drenaje, lavado de sales, perfiles de salinidad.

ABSTRACT

In the present investigation, the salinity, sodicity and drainage conditions of agricultural soils of a representative area of the Zaña valley, in the Cayaltí area, Lambayeque region, were evaluated. The study was carried out in three stages: field phase, with the recognition of the study area, topographic survey, excavation of pits and soil sampling, installation of observation wells, underground and surface water sampling, and washing tests; laboratory phase, with chemical analyzes on soil, groundwater and surface samples; and, finally, the office phase, with the preparation of topographic plans, isosalinity and iso-depth maps of the water table, salinity profiles, and wash profiles and curves. The results obtained from the EC of the soil vary from 15.30 to 10.23 dS / m, classifying it as strongly saline; for the washing water, the EC was 0.23 dS / m and the groundwater presented an EC of 2.02 to 0.83 dS / m (medium to high salinity); PSI and RAS values were 5.2 and 11.97, respectively, which indicate that there is no problem of sodicity; With a 40 cm wash sheet the salinity of the soil was reduced to levels of 3.56 to 2.54 dS / m (0 -15 cm deep); 3.2 to 2.56 dS / m (15 to 30 cm deep); from 2.1 to 1.34 dS / m (at a depth of 30 to 45 cm); and, from 1.61 to 0.97 dS / m (45 to 60 cm deep). To improve the effectiveness of the washing, activities were recommended to clean the land, leveling, subsoiling and choosing a crop tolerant to changes in salinity.

Keywords: salinity, drainage, salt washing, salinity profiles.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

La salinización y el incremento de ésta en los suelos cultivables, es en la actualidad un problema mundial para la agricultura y los estándares de máxima producción que se imponen en el agro del presente, lo cual supone un desafío más para este sector productivo en el siglo XXI; dicha problemática, que presenta un escenario limitante en la productividad agrícola, también, atañe a Perú debido y a su agricultura eminentemente costera. De los suelos cultivables en la región costa, un alto porcentaje de estos presentan problemas de salinidad. Los problemas de salinidad se presentan en regiones áridas y semiáridas, donde la evaporación excede a la precipitación. Oosterbaan (1975) señala que dichos problemas de salinización también puede ocurrir de forma natural, especialmente en terrenos bajos y planos que periódicamente son inundados por ríos, o cuando el nivel de las aguas subterráneas es poco profundo y el agua asciende a la superficie por capilaridad; también puede darse la salinización por procesos antrópicos, asociados al sistema de riego e inadecuada infraestructura de drenaje; todas estas características hacen que las sales se acumulen en el perfil del suelo y que, posteriormente, a lo largo del tiempo estas se irán desplazando y por, lo general, ascendiendo y acumulándose en la superficie del terreno.

Según el MINAM (2011), la degradación de las tierras en la costa peruana se debe principalmente a la salinidad del suelo, la cual afecta el 40 por ciento de la superficie cultivable, siendo los más perjudicados los valles de la costa norte (Piura, Tumbes y Lambayeque), que son las áreas más importantes para la producción agrícola de exportación. La problemática peruana se agrava más, debido a que la mayor parte de la agricultura se desarrolla en la costa, región con excelentes condiciones de producción agrícola, por presentar características favorables, tales como: relieve plano y fácil acceso al mercado, que la hacen ideal para el desarrollo de la agricultura intensiva; en ella se han desarrollado grandes proyectos de irrigación, que aseguran agua para los campos de cultivo, pero por la falta de capacitación e implementación técnica, se han convertido en solución y problema,

debido a los riegos inadecuados y falta de redes de drenaje, que han incrementado la salinización de los suelos cultivables.

En esta investigación se determinaron las condiciones de salinidad, cuyos resultados servirán para plantear una solución aplicando métodos de lavado, para mitigar este problema de altas concentraciones de sales en el perfil del suelo y llevar a condiciones de suelos normales, en un área representativa de la zona de Cayaltí, en el valle de Zaña (Lambayeque). Con la finalización de este estudio, se plantearán alternativas de solución ante este problema en dicho lugar y predios aledaños.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo general de la presente investigación fue establecer las condiciones de salinidad y recuperación de suelos salinos en un área representativa de la zona de Cayaltí, en el valle de Zaña, Lambayeque, mientras que los objetivos específicos fueron: (a) determinar las condiciones actuales de salinidad y sodicidad; (b) evaluar las condiciones de drenaje; y, (c) estimar las condiciones de lavado de los suelos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

La ONERN (1973) realizó un estudio sobre la evaluación de los problemas de salinidad en los valles costeros, a nivel macro, siendo la única información generada hasta la fecha. En esa década, se estimó cerca de 300 000 ha con problemas de drenaje y salinidad, a lo largo de la zona costera. Según Abraham y Torres (2007), es necesario contar con un sistema de evaluación, monitoreo y remediación de problemas de salinidad de suelos, para facilitar el acceso y manejo de información, que sirva para seleccionar las áreas más afectadas, para luego determinar los métodos de recuperación más permitentes.

Pastor (2010) realizó la evaluación de las condiciones de recuperación de suelos salinos para la instalación de césped deportivo en la playa de Asia, Cañete, Lima. Estableció una metodología para la aplicación del lavado de sales, con un diagnóstico de las condiciones iniciales de salinidad y condiciones de sales posterior al lavado. La salinidad de los suelos encontrada en la zona de estudio fue extremadamente alta, pero a través de la aplicación de pruebas de lavado de suelos se demostró que se podía reducir a niveles de salinidad de suelos normales.

Fox (2013) efectuó un diagnóstico de pérdida de suelos por salinización en el sector San Pedro de Lloc. Para ello hizo un levantamiento de información, recolección de muestras de suelo y mediciones in situ de conductividad eléctrica y salinización. En el trabajo de laboratorio, hizo un análisis de parámetros tales como textura, pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO); y, por último, en el trabajo de gabinete, donde se combinaron métodos cartográficos y de teledetección y, fotografías aéreas e imágenes satelitales, se determinó la variación de áreas de cultivo entre 1980 y 2003.

Marchese (2015) estudió la salinización que afrontan los suelos destinados a cultivos agrícolas en el sector bajo de San Pedro de Lloc. El estudio comprendió la implementación y validación de metodologías de análisis físicos (textura, densidad aparente, humedad) y químicos (potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, carbono inorgánico, sodio, potasio, calcio, magnesio, materia orgánica, carbono inorgánico, relación C/N, cloruros, sulfatos y nitratos). Además, se diseñó un programa de monitoreo de suelos.

Soca (2015) identificó el grado y extensión de las tierras degradadas por salinidad del suelo en los cultivos de caña de azúcar de la Empresa Agroindustrial Pomalca (Lambayeque), Evaluó los suelos afectados por salinidad, empleando imágenes de satélite de alta resolución espacial. Se utilizaron datos de imágenes del sensor *HRG-2*, *TM* y *ETM+* que corresponden a los satélites *Spot-5*, *Landsat-5* y *Landsat-7*, respectivamente; y datos de campo de conductividad eléctrica (CE) del suelo. La investigación estimó la reflectancia de la superficie del suelo, Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) e Índice de Salinidad (IndSal) a partir de las imágenes, con la aplicación del software de procesamiento de imágenes ENVI 4.5 y el lenguaje de programación IDL.

Ramírez (2016) diagnosticó las condiciones de salinidad y sodicidad del suelo de la Cancha Pública de Golf, ubicada en el distrito de San Bartolo, Lima, con fines de recuperación y la posterior implementación del cultivo de césped en esta área deportiva. Según los resultados obtenidos en la investigación, se concluyó que: el contenido de sales en esta zona era muy elevada, dado que aproximadamente el 80 por ciento del campo presentaba niveles superiores a 50 dS/m, clasificándolo como extremadamente salino; en tanto el área restante tenía niveles de salinidad inferiores de hasta 8,08 dS/m.

Con respecto de la sodicidad, los valores calculados de PSI, menores a 15 por ciento, indican que no hay peligro de este tipo; por otro lado, la RAS estimada de 23,6 y 35,5 indica bajo y moderado riesgo de sodicidad; también se encontró un valor muy alto (215,2), considerado como fuertemente sódico. Finalmente, se determinó que el suelo posee permeabilidad moderada, debido a que presenta capas muy compactadas, que dificulta su recuperación mediante el proceso de lavado directo; es por ello que se recomendó subsolar el suelo previamente, con el fin de favorecer el lavado, además, de considerar la especie *Paspalum*

vaginatum para implementar la cancha de golf.

2.2. LA SALINIDAD EN EL PERÚ Y EL MUNDO

2.2.1. Salinidad en el mundo

La FAO (2016) sostiene que, en todo el mundo hay más de 324 millones de hectáreas equipadas para el riego, de las cuales, aproximadamente, el 85 por ciento (275 millones), están efectivamente regadas, que representa el 20 por ciento de la superficie total de tierra cultivada, lo que supone el 40 por ciento de los alimentos producidos en todo el mundo, pero gran parte de estas tierras se encuentran en las regiones áridas y semiáridas, con peligro de salinizarse, trayendo como consecuencia la reducción en la productividad de los cultivos y la degradación de las tierras.

Los suelos salinos y alcalinos son típicos de las regiones de clima seco pues dada la alta solubilidad de las sales, estas tienden a moverse por capilaridad hacia la superficie del suelo. Son abundantes en las regiones áridas como Egipto, Irán, India, Paquistán, China, Ecuador, Perú, Chile, México, entre otros; también, se pueden encontrar en zonas de clima húmedo, como España, Países Bajos y Bélgica (Pastor, 2010).

“En América Latina 31 millones de hectáreas presentan problemas de salinidad; México, Perú, Colombia, Ecuador y Chile, destacan como los más afectados” (INTAGRI, 2016).

La salinidad afecta a la humanidad desde el inicio de la agricultura. Existen registros históricos de migraciones provocadas por la salinización del suelo cultivable. La actividad antrópica ha incrementado la extensión de áreas salinizadas al ampliarse las zonas de riego con el desarrollo de grandes proyectos hidrológicos, los cuales han provocado cambios en la composición de sales en el suelo (Lamz y Gonzáles, 2013). En la Tabla 1 se muestra las áreas de suelos con problemas de salinidad, en millones de hectáreas.

2.2.2. Salinidad en el Perú

Según el MINAM (2011), la degradación de tierras en las costa peruana se debe, principalmente, a la salinidad del suelo, lo cual afecta el 40 por ciento de las superficie cultivable, siendo los más perjudicados Piura, Tumbes y Lambayeque, que son las áreas más importantes para la producción agrícola, por presentar características favorables, tales como, relieve plano y fácil acceso al mercado, que la hacen ideal para el desarrollo de la agricultura intensiva, donde se han desarrollado grandes proyectos de irrigación, que aseguran agua para los campos de cultivo, pero por falta de capacitación e implementación técnica, se han convertido en solución y problema, debido a los riegos inadecuados y falta de redes de drenaje que han incrementado la salinización de los suelos cultivables.

Tabla 1: Suelos con problemas de salinidad

Región	Millones de hectáreas
México y Centro América	2,00
América del Norte	15,70
Sudeste de Asia	20,00
Europa	50,80
África	80,50
Sur de Asia	84,80
América del Sur	129,20
Norte y Centro de Asia	211,70
Australia	357,30
Total	952,00

FUENTE: Szabolcs (1979)

La presencia de una alta tasa de evapotranspiración y baja precipitación, hacen de la costa un lugar ideal para realizar el almacenamiento de un alto contenido de sales, que quedan retenidas en la superficie del suelo (Ramírez, 2016).

El INADE (2010) señala que en el Perú la salinidad de los suelos se presenta, mayoritariamente, en la región costa (Tabla 2) y que está estrechamente ligada a un mal drenaje y por una inadecuada fertilización. En las zonas de cordillera, la salinización de los

suelos tiende a desaparecer, aunque un caso particular son las mesas altiplánicas que se sitúan entre los 3500 a 4000 m.s.n.m., el problema en esta región podría empezar a ser serio si es que no se tiene un plan de lixiviación en las áreas nuevas que se están implementando para el riego. En el caso de la Región Selva la salinidad del suelo es nula debido al clima tropical, contrario a la región árida que representa la costa peruana.

2.3. LA SALINIDAD

“El término salinidad se refiere a la presencia en el suelo de una elevada concentración de sales que perjudica a las plantas por su efecto tóxico y la disminución del potencial osmótico del suelo” (Lamz y Gonzáles, 2013).

Asimismo, la salinidad es consecuencia de la acumulación excesiva de sales solubles (cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, nitratos), tanto en el agua como en el suelo, que a su vez poseen un efecto negativo en las propiedades físicas y químicas de éste, además de afectar el desarrollo de la vegetación (Ramírez, 2016).

Al hablar de salinidad, es necesario referirse al agua como al suelo, debido a que ambos podrían contar con sales. Además, es un factor ambiental importante y, en buena parte, determina los tipos de organismos que pueden vivir en un cuerpo de agua.

2.4. ORIGEN DE LAS SALES Y SU EFECTO EN LOS SUELOS

Las sales pueden proceder de diversas partes, siempre y cuando el agua esté presente, existirán sales en solución de modo natural. Esto ocurre tanto en el agua de lluvia, como en las aguas, continentales, superficiales, subterráneas y marinas; también, se origina del mal uso que se le da al agua en las actividades humanas.

“Los suelos sódicos se originan cuando el ion monovalente sodio desplaza otras bases del complejo de adsorción y se fija a esta estructura superficial, en un nivel de concurrencia que sobrepasa el 15 por ciento entre los cationes intercambiables” (Lamz y Gonzáles, 2013).

La alta concentración de sodio en el suelo no solo afecta a las plantas directamente, sino que

también degradan la estructura del suelo, reduciendo la porosidad y la permeabilidad del mismo, haciendo necesario prácticas especiales para su mejoramiento y manejo (Lamz y Gonzáles, 2013).

Al hablar de salinidad, es necesario referirse al agua como al suelo, ya que ambos podrían contar con sales. Además, es un factor ambiental importante y, en buena parte, determina los tipos de organismos que pueden vivir en un cuerpo de agua.

Tabla 2: Suelos salinos en la costa peruana

Valle	Superficie con aptitud para riego (ha)	Superficie física bajo riego actual (ha)	Área bajo riego sin problema drenaje ni salinidad (ha)	Salinidad ligera a moderada, drenaje imperfecto (ha)	Fuertemente salinos sin problemas de drenaje (ha)	Severa a muy severamente salinos y mal drenaje (ha)	Total, afectado por salinidad y mal drenaje (ha)
Tumbes	28 099	13 230	8 350			4 880	4 880
Chira	50 744	34762	28748	5514	500	4 050	10 064
Medio y Bajo Piura	39 400	39400	15813	15734	4674	1 8336	38 744
Alto Piura	26 500	15 288	4 288	2 000	5 000	4 000	11 00
Col. San Lorenzo	43 800	41 550	33 750	5 000	2 800	5 200	13 000
Chancay - Lambayeque	111 000	83 000	47 000	14 000	10 360	23 640	48 000
Olmos	35 134	5 134	5 134				N.D.
Jequetepeque - Zaña	65 246	46 996	28 768	2 385	3 515	22 328	28 228
Chicama	65 938	46 528	28 181	4 400	3 600	22 347	30 347
Moche	23 965	14 091	11 191	1 032	2 000	747	3 779
Virú	18 880	14 106	11 080	4 333	N.D.	1 596	5 929
Chao	19 768	6 404	3 904	578	2 500	549	360
Santa- Lacramarca	25 241	18 151	13 315	2 820	2 016	4 182	9 018
Nepeña	15 851	14 381	10 601	2 100	1 560	120	3 780
Casma - Sechín	22 905	17 015	13 835	1 150	1 130	900	3 180
Huarmey	4 250	3 026	1 956	290	490	290	1 070
Fortaleza–Supe-Pativílca	31 630	31 630	30 417	1 248	15	1 656	2 919
Huaura – Sta. Rosa	30 410	30 410	25 430	3 420	508	2 052	5 980
Chancay - Huaral	21 690	21 690	18 290	1770	610	2 020	4 400
Chillón – Rímac - Lurín	20 000	16 500	13 786	1000		1 714	2 714
Mala	6 000	5 048	4 608		440	1 150	1 590

«continuación»

Valle	Superficie con aptitud para riego (ha)	Superficie Física bajo riego actual (ha)	Área bajo riego sin problema de drenaje ni salinidad (ha)	Salinidad ligera a moderada, drenaje imperfecto (ha)	Fuertemente salinos sin problemas de drenaje (ha)	Severa, muy severamente salinos y mal drenaje (ha)	Total, afectado por salinidad y mal drenaje (ha)
Cañete	24 050	24 050	19 990	1 036	1 000	2 024	4 060
Chincha	24 000	23 360	21 700		800	1 460	2 260
Pisco	24 383	14 735	9 735	5 000		2 500	7 500
Ica - Villacurí	54 546	34 000	29 085	2 615	7 100	200	9 915
Ingenio – Palpa - Nazca	23 876	8 000	7 886		114	66	180
Acarí	3 042	3 042	2 078			964	964
Yauca	3 336	3 336	2 368	219	576	173	968
Chaparra y Atico	1 202	1 140	1 024	56	60		116
Ocoña	782	782	393	370		19	389
Camaná	6 930	6930	5 630		300	1 000	1 300
Pampa de Majes - Siguas	55 150	21 277	6 085	14 036	1 156		15 192
Valle Majes	7 830	7 187	4 927		1 260	1 500	2 760
La Joya Antigua y Nueva	8 663	8 663	8 663				N.D.
Tambo	10 652	10 652	5 911	2 341	1000	1 400	4 741
Locumba	7 548	6 584	3 405		1 179	2 000	3 179
Sama	8 748	5688	2 792		971	1 925	2 896
Moquegua	16 092	4 826	4 309			517	517
Caplina – La Yarada	12 848	10 959	5 006	3 027	2 926		5 953
TOTAL (ha)	1 034 165	750 477	534 486	98 382	61 260	138 819	298 461

FUENTE: INADE (2010)

2.4.1. Formación de los suelos salinos

Los suelos salinos se originan de forma natural o por influencia de las actividades humanas:

a. Descomposición de rocas

“La principal fuente de iones son los minerales primarios del suelo y las rocas expuestas de la corteza terrestre, que durante el proceso de meteorización se fueron liberando y pasaron a formar parte del suelo” (Perelman, 1959).

b. Agua de mar

La mayor parte de los suelos eriazos de la costa peruana tiene su origen en el Terciario, donde estuvieron cubiertos por el mar, luego sufrieron un levantamiento o simplemente el agua de mar se alejó. En estos suelos abundan los iones del cloruro de sodio, que permanecen en el mismo lugar debido a la poca precipitación de la zona (Perelman, 1959).

c. Malas prácticas agrícolas

Según Perelman (1959), existen sales en los suelos debido a malas prácticas agrícolas como las aguas de percolación las cuales se provocan cuando hay suelos lavados en partes altas de una cuenca, las partes medias y bajas reciben el agua provocando la salinización. También, están las aguas salinas que se usan para el riego.

“El uso de riego localizado de alta frecuencia con agua salina sin considerar la aplicación de una lámina de lixiviación genera suelos salinos” (Hurtado, 2003).

2.4.2. Descripción de los suelos salinos

Los efectos de la acumulación de sales solubles en el perfil son diversos en todas las formaciones de suelos y su intensidad depende de la cantidad de arcillas presentes en el suelo, de la magnitud de los procesos de precipitación- evaporación y del régimen de lavado y drenaje de una región dada (Pastor, 2010).

“Los efectos de las sales en los suelos son el hinchamiento de las arcillas del suelo, la formación de costras y la disminución de la actividad y eficiencia de los microorganismos

del suelo” (Moya, 2012).

“El efecto de agregación o floculación de las partículas del suelo se debe a las fuerzas de atracción que se generan sobre la superficie de las arcillas cargadas negativamente” (García, 2003).

Estos suelos se encuentran en zonas desérticas o semidesérticas, áreas de lagunas o zonas pantanosas costeras porque se desarrollan en aquellas regiones en donde las lluvias son insuficientes para compensar las pérdidas de agua por la evapotranspiración, favoreciendo los procesos de concentración y precipitación de minerales. También, se pueden desarrollar en regiones húmedas bajo condiciones de alta evaporación, nivel freático superficial y por la actividad humana (Pastor, 2010).

2.4.3. Clasificación de los suelos con problemas de salinidad

a. Suelos salinos

Los suelos salinos, son también conocidos como "álcalis-blancos", debido a la presencia de costras blancas en su superficie. Son aquellos cuya conductividad eléctrica en el extracto saturado es mayor de 4 dS/m a 25 °C., con un porcentaje de sodio de cambio inferior al 15 por ciento y un pH, generalmente, menor de 8,5. En estos suelos se origina un depósito de sales más solubles que el yeso, de tal manera que es suficiente para interferir en el incremento de la generalidad de los cultivos y de otras plantas no especializadas (Ramírez, 2016).

Por otro lado, las sales solubles se eliminan lavando con agua que contiene una menor concentración o se reducen por aplicación de altas cargas de agua de riego (Aguirre, 2009).

b. Suelos sódicos

Tienen una conductividad del extracto saturado menor a 4 dS/m a 25 °C, con un porcentaje de sodio intercambiable superior al 15 por ciento. Suelen originarse por un proceso de salinización y acumulación de sodio y en ellos, si el contenido en sales es elevado, el pH raramente es superior a 8,5 (Madrid, 2008). También llamados alcalinos, estos suelos tienden a dispersarse. Las fuerzas que mantienen unidas a las partículas de arcilla se interrumpen por los iones de sodio.

c. Suelos salino-sódicos

En este tipo de suelos pueden presentarse dos circunstancias. La primera, cuando la concentración de sales se presenta en la fase líquida y le da características predominantes de un suelo salino. La segunda circunstancia se da cuando las sales se lixivian y pueden adquirir características de un suelo sódico. Ambos casos presentan condiciones que dificultan la entrada y circulación del agua (USSLR, 1954).

Algunas características de los suelos salino-sódicos son: un pH menor de 8,5, conductividad eléctrica mayor de 4 dS/m; y, porcentaje de sodio intercambiable (PSI) mayor a 15 por ciento (Ramírez, 2016).

Sánchez (2006) sostiene que las malas prácticas agrícolas son las causantes del aumento de los suelos salino-sódicos en el planeta, y que su recuperación se realiza mediante el intercambio del sodio por un catión que generalmente es el calcio.

d. Suelos normales

Son aquellos cuya presencia de sales no es perjudicial tanto para el suelo como para los cultivos. Usualmente, poseen una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), menor de 15 por ciento (Badia, 1992). En la Figura 1 se muestra un esquema de resumen con las clases de suelo en función de ellos valores de CE y PSI.

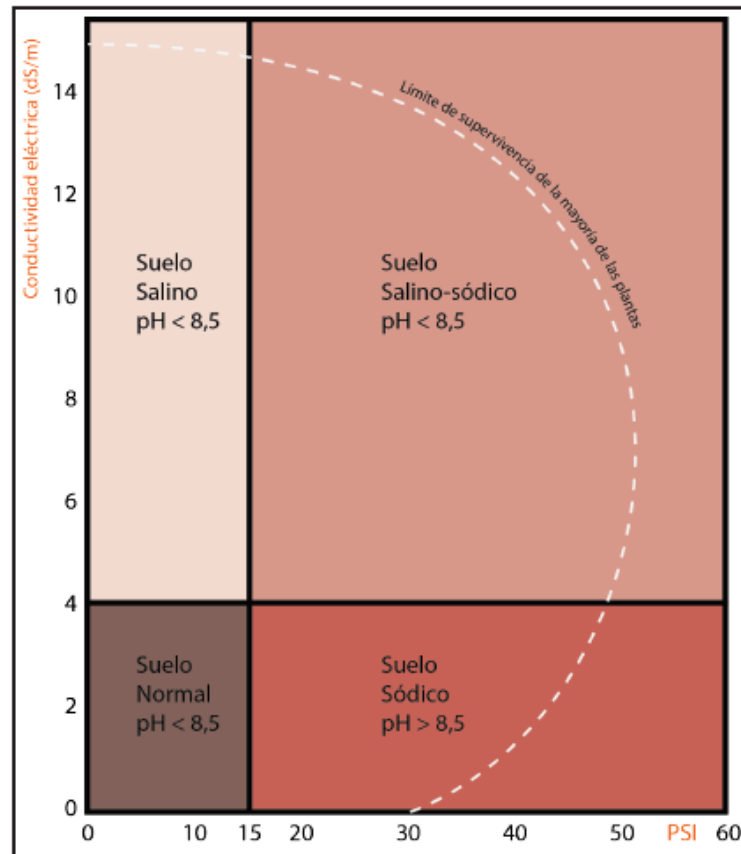


Figura 1: Clases de suelo en función a los valores de CE y PSI

FUENTE: Fernández (2019)

2.4.4. Ciclos de la salinización

a. Ciclos continentales

Son los suelos formados en el interior del continente; tienen su origen en la movilización, redistribución y acumulación de cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonatos de sodio que se hallan condicionados por el clima, régimen de humedad no percolante y posición geomorfológica baja y/o clases de drenaje deficiente (Alconada *et al.*, 2018).

b. Ciclos marinos

“Los suelos de llanuras a lo largo de las costas pueden presentar acumulación de sales marinas, principalmente, cloruro de sodio. Pueden provenir de superficies freáticas salinas poco profundas, agua de inundación por mareas, sales transportadas por el viento” (Alconada *et al.*, 2018).

c. Ciclos deltaicos

Estos suelos se presentan como espacios ideales para el desarrollo de la agricultura debido a la disponibilidad hídrica y la alta fertilidad que presentan. Sin embargo, estas características propician una elevada vulnerabilidad en los suelos, ya que la interacción de agua de mar, el agua transportada por los ríos y el agua de la napa freática conlleva a procesos de salinización (Ramírez, 2016).

d. Ciclos artesianos

En ciertas áreas existen fallas o fracturas del suelo que permiten afloraciones de aguas subterráneas salinizadas. Esto es típico en lugares lejanos al litoral y en donde las condiciones ambientales no son favorables para la acumulación de sales (Ramírez, 2016).

e. Ciclos antropogénicos

Originados por interposición humana, en riegos o cualquier otra actividad” (Ramírez, 2016).

2.5. SUELOS SALINOS

La particularidad de los suelos salinos es la presencia de altas concentraciones de sales solubles, de tal manera que incrementa el potencial osmótico de la solución del suelo, causando estrés fisiológico (Wahome *et al.*, 2001).

Este problema es común en las regiones áridas y semiáridas, como una consecuencia del déficit hídrico, por la escasez de lluvias, prolongados periodos de sequía y la alta tasa de evaporación. Además, de que la salinidad degrada químicamente al suelo ocasionando cambios significativos en su comportamiento físico y en la relación suelo - planta - cultivo (Ferreira *et al.*, 2001).

Las sales solubles originalmente presentes en el suelo y aquellas formadas por prolongados periodos de sequía, generalmente, son llevadas aguas abajo y transportadas, posteriormente, por las corrientes a los océanos. En regiones áridas el lavado y transporte de las sales solubles al océano no es tan completo o simplemente no sucede como en las regiones húmedas (Richards, 1954).

El drenaje inadecuado y la falta de este contribuyen a la salinización de los suelos, provocando el aumento del nivel freático y la disminución de su permeabilidad. Las condiciones del clima árido favorecen el movimiento ascendente del agua subterránea o la evaporación del agua superficial dando lugar a la formación de suelos salinos debido a la acumulación de sales en la zona de raíces (USDA, 1973).

2.6. SALES PRESENTES EN LOS SUELOS SALINOS

Pastor (2010) resalta que las sales solubles del suelo se presentan en varias proporciones de cationes de sodio, calcio, magnesio y de los aniones cloruro y sulfato, el catión potasio y los aniones bicarbonato, carbonato y nitrato se encuentran, generalmente, en cantidades menores. Para que se produzca la acumulación de sales en los suelos debe existir el aporte de sales sin su posible eliminación.

2.6.1. Sulfato de magnesio ($MgSO_4$)

Goicochea (2012) indica que es un componente típico de casi todos los suelos salinos del mundo. Se encuentra en aguas freáticas salinizadas y lagos salinos. Presenta una alta solubilidad, nunca se acumula en los suelos en forma pura sino en combinación con otras sales, es una de las sales más perjudiciales.

2.6.2. Sulfato de sodio (Na_2O_4)

Es típico de suelos salinos y aguas freáticas, pero de toxicidad mucho menor que la sal anterior. Los suelos de las regiones costeras presentan esta sal como componente. Su solubilidad varía con la temperatura, lo que hace que tienda a concentrarse en la superficie del suelo, ya que durante el periodo de estiaje asciende a la superficie. El lavado de estos suelos no es fácil porque se requiere aplicar abundante agua. Ocasiona la presencia de eflorescencias características de los suelos salinos, dando un aspecto esponjoso (Pastor, 2010).

2.6.3. Cloruro de sodio ($NaCl$)

El cloruro de sodio es una de las sales más frecuentes en los suelos del desierto costero. También, forma parte de la eflorescencia blanca que aparece en la superficie del suelo. Su toxicidad para las plantas es elevada, debido a que su solubilidad no varía con la temperatura

(Goicochea, 2012).

2.6.4. Cloruro de potasio (KCl)

Es una sal fertilizante, pero es tan perjudicial como el ClNa. Sin embargo, no se acumula debido a que el K^+ es tomado en grandes cantidades por las plantas y por los microorganismos del suelo; además, se fija de forma intercambiable en el complejo coloidal, inmovilizándose en el suelo. Un error grave es el empleo de esta sal como fertilizante en los suelos de la costa, donde es más recomendable el uso del sulfato de potasio (Pastor, 2010).

2.6.5. Carbonato y bicarbonato de sodio (Na_2CO_3 y $HNaCO_3$)

Son sales muy peligrosas, pues su catión, el sodio, está compensado por aniones muy débiles, el CO_3 y el CO_3H , lo que hace que su reacción sea muy alcalina, originando los suelos alcalinos. El carbonato de sodio se encuentra, con alguna frecuencia, en suelos salinos y aguas freáticas. Su solubilidad es extremadamente elevada, pero varía con la temperatura, al ser muy soluble es mucho más perjudicial que los bicarbonatos (Pastor, 2010).

2.6.6. Cloruro de magnesio y cloruro de calcio ($MgCl_2$ y $CaCl_2$)

Goicochea (2012) sostiene que son sales muy perjudiciales debido a su elevada solubilidad; son muy higroscópicas y, muchas veces se encuentran juntas.

Pastor (2010) indica que se forman, generalmente, en suelos muy salinos o debido al ascenso del agua subterránea salinizada, predominantemente, con ClNa. El cloruro cálcico, es una sal poco frecuente en los suelos debido a la mayor estabilidad de otras sales cálcicas, como los sulfatos o los carbonatos, donde el yeso o el carbonato cálcico precipitan. Estos cloruros son sales extremadamente higroscópicas, pudiendo absorber agua del vapor de la atmósfera. Los suelos que contienen estas sales están siempre húmedos y son de color oscuro, comparados con los del entorno, por lo que muchas veces son confundidos con los alcalinos. La diferencia radica en la presencia de Ca^{+2} y Mg^{+2} en proporciones muy altas respecto al Na^+ ; además, estos suelos tienen una adecuada floculación coloidal, es decir, con estructura (Pastor, 2010).

2.6.7. Sulfato de calcio (CaSO₄)

El sulfato de calcio precipita formando yeso (CaSO₄·2H₂O), cuya solubilidad es extremadamente baja, por lo que no es perjudicial para las plantas, siendo frecuente en los suelos salinos. El yeso es una enmienda química que se utiliza en la recuperación de suelos sódicos (Pastor, 2010).

2.6.8. Sulfato de potasio (K₂SO₄)

Esta sal no es responsable de salinización debido a que es escasa en condiciones naturales. Puede crear problemas cuando se hace un mal uso de los abonos. Junto con el cloruro de potasio son las sales menos tóxicas (Pastor, 2010).

2.6.9. Nitratos (NaNO₃, KNO₃)

Normalmente, no se acumulan en grandes cantidades en el suelo, rara vez superan el 0,05 por ciento. Son más tóxicas que los cloruros de Na⁺ y de K⁺. El nitrato de sodio presenta una extremada solubilidad (Goicochea, 2012). El nitrato de potasio es menos soluble que el de Na⁺. Es una sal fertilizante excepcional. En forma natural se presenta en algunos desiertos (Chile, India), encontrándose depósitos de nitratos en un 50 por ciento, por lo que las plantas son inexistentes en estos desiertos (Pastor, 2010).

2.7. DETERMINACIÓN DE LA SALINIDAD

La conductividad eléctrica (CE) del suelo, es un método indirecto que sirve para estimar la concentración total de sales en una solución, pero no indica que sales están presentes. Se expresa en dS/m. Se determina conductividad eléctrica del agua de riego, agua de drenaje y de la solución del suelo.

En los laboratorios de suelos, se mide la conductividad eléctrica del extracto de suelo saturado o a una relación determinada de suelo-agua. A una misma cantidad de sales aplicada al suelo, la concentración de las sales en la solución del suelo en capacidad de campo será menor en cuanto más agua sea capaz de retener el suelo.

2.8. EFECTO DE LAS SALES SOBRE LAS PLANTAS

Cuando el contenido de sales solubles en la solución del suelo es alto, la tensión osmótica aumenta, esto hace que la planta tenga que hacer un mayor esfuerzo de succión para absorber el agua por las raíces, generándose un estrés hídrico que se traduce en problemas fisiológicos (Fuentes, 2003).

La salinidad, también, disminuye la facilidad de ingreso del agua a las raíces y, además, puede originar un daño duradero debido a la acumulación de iones tóxicos en la planta. La germinación es el estado más crítico en el desarrollo de las plantas llegando a inhibir su crecimiento (Paliwall *et al.*, 2001).

Las sales del suelo afectan a las plantas por la acumulación de iones tóxicos en los tejidos, incremento de la presión osmótica del suelo y alteraciones de la nutrición mineral (Allison, 1964).

Algunos síntomas que se encuentran en las plantas que son afectadas por la salinidad son el retraso general en su crecimiento, quemaduras en el borde de las hojas, que luego se extienden hacia la misma lamina foliar y hojas pequeñas de color verde oscuro (Resh, 1987). En las huertas y plantaciones cercanas a la costa, la brisa marina puede transportar cantidades tóxicas de sodio y cloro, siendo las especies más susceptibles aquellas que son sensibles a estos elementos y tienen una considerable velocidad de absorción foliar.

La tolerancia a la salinidad de un cultivo no es absoluta, si no que depende de factores ambientales como la humedad relativa, un manejo conveniente del riego y la dosis de fertilización que se aplique (Hoffman y Jobes, 1977).

Las características de las plantas tolerantes a la salinidad, según Awad (1966), son:

- Tienen una satisfactoria capacidad de absorción de agua.
- Sensibilidad de las estomas, debido que les permite abrirse avivadamente temprano por la mañana y cerrarse cuando se presenta una tensión hídrica en la planta.
- Gran resistencia del protoplasma a altas concentraciones de sales necesarias para mantener la turgidez.

Richards (1954) señala que los suelos salinos son los que contienen suficientes sales solubles en la zona de la raíz de tal manera que afectan negativamente el crecimiento de la mayoría de los cultivos (Tabla 3).

Mientras los niveles de salinidad aumentan, las plantas extraen el agua del suelo con mayor dificultad, agravando las condiciones de estrés hídrico. También, puede causar desequilibrios de nutrientes que dan lugar a la acumulación de elementos tóxicos para la planta. En muchas áreas, la salinidad es el factor que limita el crecimiento de las plantas (Tabla 4).

Tabla 3: Rangos generales de las plantas tolerantes a la salinidad

CE (dS.m-1)	Clases de salinidad	Efectos
0-2	No salino	Suelos normales
2-4	Ligeramente salino	Son afectados los rendimientos de los cultivos muy sensibles
4-8	Moderadamente salino	Son afectados los rendimientos de la mayoría de los cultivos
8-16	Fuertemente salino	Solo se obtienen rendimientos aceptables en los cultivos tolerantes
> 16	Extremadamente salino	Muy pocos cultivos dan rendimientos aceptables

FUENTE: Richards (1954)

Tabla 4: Tolerancia de la salinidad en algunos cultivos

Cultivo	Valor umbral	10% Pérdida de rendimiento	25% Pérdida de rendimiento	50% Pérdida de rendimiento	100% Pérdida de rendimiento
	CE (dS.m ⁻¹)	CE (dS.m ⁻¹)	CE (dS.m ⁻¹)	CE (dS.m ⁻¹)	CE (dS.m ⁻¹)
Frijoles	1,00	1,50	2,30	3,60	6,50
Algodón	7,70	9,60	13,00	17,00	27,00
Sorgo	1,70	2,50	3,80	5,90	10,00
Caña de azúcar	4,00	5,10	7,20	11,00	18,00
Alcachofa	6,00	7,40	9,50	13,00	20,00

FUENTE: FAO (1976)

2.9. MANEJO Y RECUPERACIÓN DE SUELOS SALINOS

Si bien la salinización puede ser perjudicial para el suelo y las plantas que crecen sobre él, no todo es negativo en este proceso, ya que no solo existen cultivos adaptados para sobrevivir a estas condiciones, sino también que se pueden plantear su mitigación y control. Existen diversas técnicas y procesos para mejorar y recuperar el suelo, tales como métodos físicos y biológicos, técnicas eléctricas, métodos químicos y lavado del suelo (Flores, 1991).

2.9.1. Métodos físicos

En estos métodos es necesario el uso de maquinaria para mejorar las condiciones naturales del terreno en la que se encuentra el área con problemas de salinidad.

- **Adición de arena:** es ideal para suelos salinos con presencia de arcilla, pero solo aplicado a capas superficiales, para mejorar la permeabilidad y en caso de existir cultivos facilitar el enraizamiento (Flores, 1991).
- **Aplicación de materia orgánica:** contribuye al mantenimiento de la estructura del suelo, ya que tiene influencia en el comportamiento del agua, incrementando la capacidad de retención de ésta y facilitando su movimiento a través del perfil. En los suelos salinos, este efecto es de vital importancia; mientras que, en los sódicos, es necesario tener precauciones con la aplicación de la materia orgánica, pues bajo ciertas condiciones la producción de ácidos húmicos o fúlvicos (humificación) puede dar origen a la formación de complejos con el sodio, contribuyendo a la dispersión de las arcillas (García, 2003).
- **Subsolar el suelo:** con el objetivo de romper las capas duras e impermeables del suelo compactado, de tal modo que se facilite su drenaje natural. Se debe tomar precauciones con el uso de subsoladores, debido a que si el suelo tiene un nivel freático bajo presión este puede tender a elevarse, afectando la fertilidad del suelo (Flores, 1991).
- **Nivelación del terreno:** contribuye a una mejor distribución de la lámina de agua, disminución de pérdida y a la eliminación de la acumulación de sales, como resultado de la distribución irregular de las mismas (García, 2003).

2.9.2. Métodos químicos

Pueden ser aplicados, tanto en suelos sódicos como en salino - sódicos. Consisten en acondicionar al suelo un mejorador químico para desplazar y liberar el sodio intercambiable y reemplazarlo por calcio. Las sustancias usadas pueden ser sales con calcio (yeso) o

materiales acidificantes como fertilizantes nitrogenados de reacción ácida o materia orgánica (Badia, 1992).

- **Yeso:** es usado como fuente de calcio para desplazar y liberar el sodio del complejo de cambio para posteriormente ser lavado, con resultados variables. La aplicación superficial, si bien mejora la velocidad de infiltración y recupera el suelo, es un proceso muy lento debido a la baja movilidad del yeso en el suelo. También, puede añadirse con el agua de riego obteniendo buenos resultados.

2.9.3. Método de lavado del suelo

Consiste en la aplicación de agua en exceso a los suelos con problemas de salinidad, considerando un buen nivel de permeabilidad natural del suelo, o adquirida mediante movimiento de tierras. Para que este método sea aplicado con éxito, se requiere que el suelo este nivelado para facilitar la distribución homogénea del agua (Badia, 1992).

Lograr efectividad en el lavado de las sales del suelo, va a depender si este es salino, sódico o salino-sódico. Si el suelo es salino, el lavado debe ir asociado a un drenaje adecuado para que las sales solubles sean eliminadas y el suelo vuelva a una condición normal (Navarro y Navarro, 2013).

En el caso de los suelos sódicos, el lavado no es suficiente, se requiere añadir enmiendas químicas u orgánicas para mejorar las propiedades físicas del suelo. Luego de ese proceso, se debe aplicar agua de mayor a menor salinidad en los lavados posteriores. Es importante resaltar que aplicar este método, específicamente en este caso, es difícil de lograr y tiene costos muy elevados. Además, es importante resaltar que luego del lavado, las sales deben ser eliminadas del perfil edáfico a través de un sistema de drenaje. En los suelos salinos-sódicos, los niveles de salinidad dependen del riego, además del lavado y drenaje; ello, debido a que las sales se desplazan en conjunto con el agua, participando en la recuperación del suelo necesariamente, estos tres factores para obtener la máxima eficacia (Badia, 1992). En general, la recuperación de los suelos salinos y/o sódicos consiste en la eliminación del exceso de sales solubles (suelos salinos) y del sodio del complejo de cambio (suelos sódicos), determinándose primero los parámetros de conductividad eléctrica (CE), porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y pH, que permitan clasificar el suelo, para finalmente tomar las medidas necesarias para su recuperación (Navarro y Navarro, 2013).

III. METODOLOGÍA

3.1. ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

El área de estudio se encuentra localizada en el valle de Zaña, distrito de Cayaltí, provincia de Chiclayo y región Lambayeque. Geográficamente, se ubica entre las coordenadas UTM: 9237519 – 9237458 y 660926 – 662331 (Figura 2).

3.1.2. Vías de acceso

Partiendo de la ciudad de Lima, el acceso se realiza por la carretera Panamericana Norte, siguiendo hasta el desvío de la carretera conocido como cruce de Zaña, el cual conduce hacia la zona de estudio (Figura 3). Asimismo, se podría arribar también a la zona de estudio por vía aérea Lima-Chiclayo y, posteriormente, hacia Zaña-Cayaltí, por vía terrestre.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

En la actualidad en la zona de estudio, se reconocen tierras degradadas por efecto de la salinidad, donde solo crecen pastos y arbustos que toleran elevadas concentraciones de sales, las cuales sirven para pastoreo de animales caprinos y ovinos; en zonas con menor problemática de salinidad, se siembra caña de azúcar, con baja productividad y un periodo de vida hasta 50 por ciento menor al de lo normal.

Para esta investigación, de las 167,50 ha que presentan problemas de salinidad, cuya ubicación puede observarse en la Figura 41 (ANEXO 2), se ha tomado un área representativa, de 10,14 ha (Figura 42, ANEXO 2). En esta área se tiene la mayor concentración de salinidad, donde se pueden observar costras de sal en la superficie.

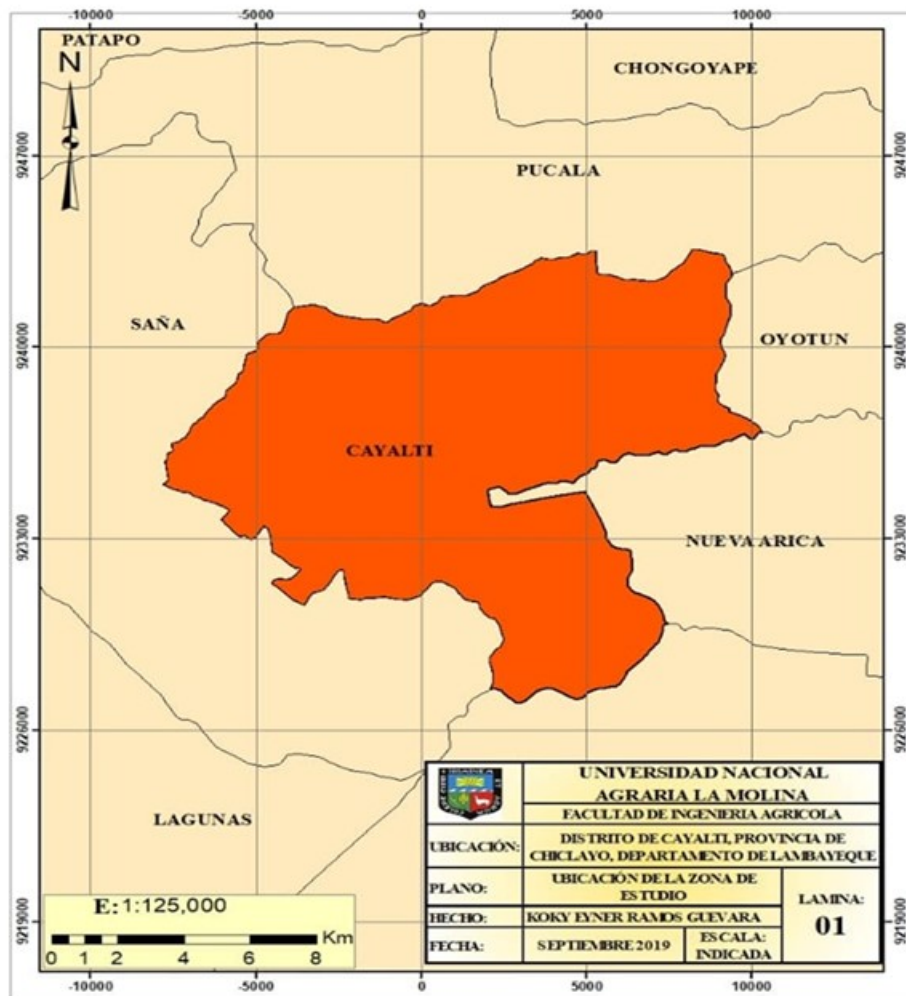


Figura 2: Mapa de ubicación de la zona de estudio



Figura 3: Mapa vial que conduce a la zona de estudio

3.2.1. Calidad de agua para riego y lavado de suelos

El agua para riego de la zona de estudio proviene del río Zaña; en cuanto a su calidad, se trata de agua con buena aptitud para el riego, así como para el lavado y la recuperación de los suelos con problemas de salinidad. En la Tabla 18 (ANEXO 1), se presentan los resultados de los análisis de Agua-rutina.

3.2.2. Suelo

Según los análisis realizados, el área de estudio presenta un suelo de clase textural franco arenosa, con presencia de limo y arcilla, esto se debe a que estas tierras en algún momento se utilizaron para la agricultura intensiva y fueron irrigadas con aguas provenientes del río Zaña, que transportan sedimentos, entre ellos las partículas mencionadas, pero al agravarse los problemas de salinidad, muchas áreas fueron abandonadas, elevándose mucho más la concentración de sales. Por ello, en varios sectores del área en estudio se observan costras de sal en su superficie, tal como se puede apreciar en la Figura 4.

3.3. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.3.1. Clima

El clima de la costa norte peruana, en general, es semitropical; en el caso de Cayaltí, además, presenta alta humedad atmosférica y escasa precipitación.



Figura 4: Vista de costras de sal, suelo de clase textural franco arenosa

La temperatura varía de 15 °C (junio y julio) a 35 °C (enero a abril), con un promedio de 22,5 °C. Marzo es el más caluroso (26,2 °C). Las temperaturas medias más bajas ocurren en agosto (alrededor de 19,7 °C) (Figuras 5 y 6 y Tabla 5). La variación anual de la temperatura es 6,5 °C.

La precipitación es baja a casi nula; en junio, el promedio es de 1 mm, mientras que, en marzo, es de 11 mm (Tabla 5). La humedad relativa fluctúa entre 55 a 91 por ciento, con valor máximo en enero y febrero; y, las mínimas, en septiembre y octubre. Los vientos están influenciados por el Anticiclón Norte y pueden alcanzar los 40 Km/h.

3.4. MATERIALES Y EQUIPOS

3.4.1. Materiales

- **Bolsas plásticas:** recipientes herméticos para recolectar muestras de suelo.
- **Papel filtro:** material poroso, que sirve para separar la parte líquida del sustrato de suelo mediante la bomba de vacío.
- **Formato de toma de datos:** tablas elaboradas en hojas bond, las cuales tienen los datos necesarios recogidos en campo.
- **Agua destilada:** agua pura que se utiliza para el lavado de equipos de laboratorio y para preparar el sustrato de suelo, sin que se altere las variables a evaluar.

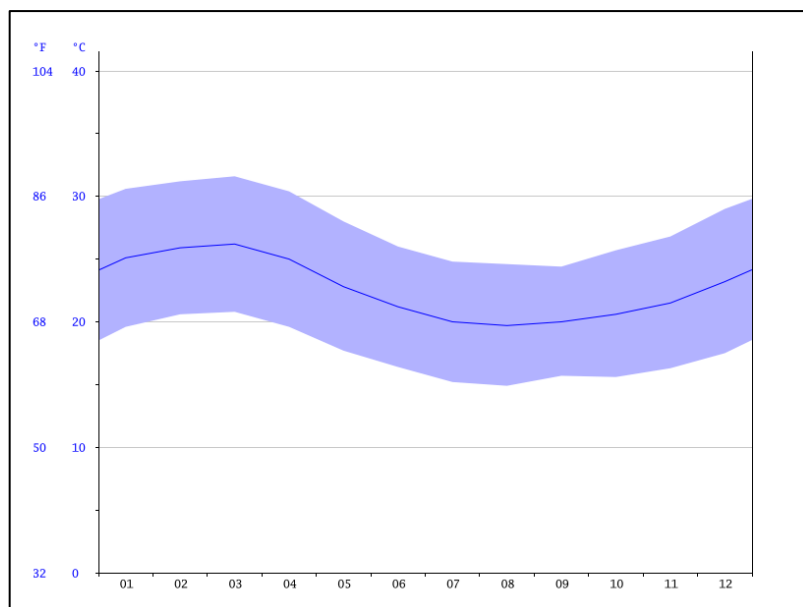


Figura 5: Diagrama de la temperatura en Cayaltí

Tabla 5: Climatología de temperatura y precipitación en Cayaltí

	Tmed (°C)	Tmín (°C)	Tmáx (°C)	P (mm)
Enero	25.1	19.6	30.6	5
Febrero	25.9	20.6	31.2	7
Marzo	26.2	28.8	31.6	11
abril	25	19.6	30.4	5
Mayo	22.8	17.7	28	2
Junio	21.2	16.4	26	1
Julio	20	15.2	24.5	1
Agosto	19.7	14.9	24.6	1
Setiembre	20	15.7	24.4	2
Octubre	20.6	16.6	25.7	3
Noviembre	21.5	16.3	26.8	2
Diciembre	23.2	17.5	29	3

FUENTE: Climate-data (2020)

- **Plásticos de impermeabilizado:** manta plástica que se usa para evitar pérdidas de agua en las pozas de lavado.
- **Hojas bond:** papel para numerar e identificar pozas y puntos de muestreo.
- **Tablero de identificación:** usado para colocar las hojas numeradas con la identificación en pozas de lavado y puntos de muestreo.

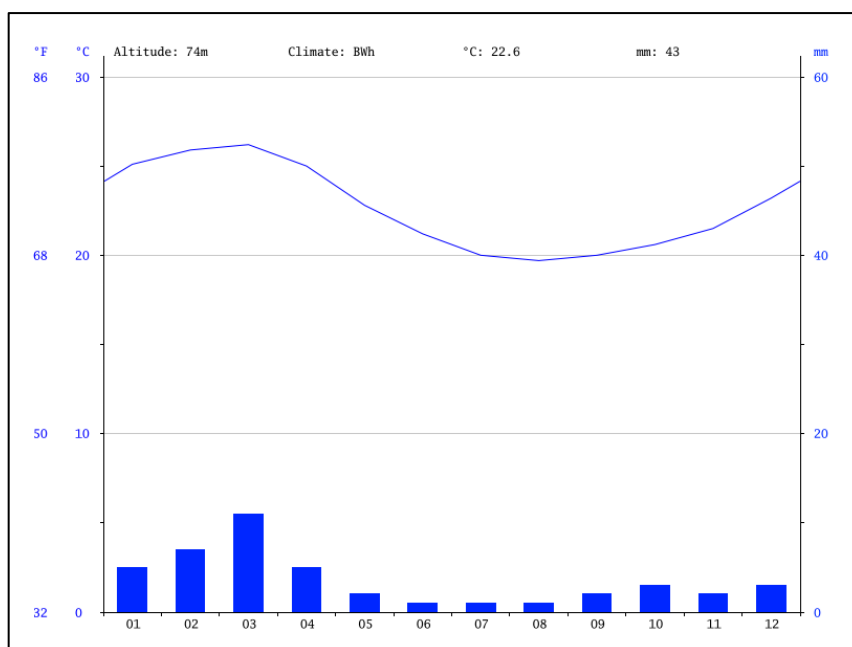


Figura 6: Climograma de Cayaltí

3.4.2. Equipos

- **Estación total:** instrumento electro-óptico que realiza la medición de ángulos y distancias permitiendo la obtención de coordenadas de puntos.
- **Prismas:** serie de cristales que reflectan la señal EMD emitida por la estación total.
- **GPS:** Sistema de Posicionamiento Global, basado en 24 satélites que permite conocer la ubicación de un punto en cualquier parte de la Tierra, en coordenadas.
- **Laptop:** equipo de cómputo que permite hacer uso de los diversos sistemas operativos para el desarrollo de la investigación.
- **Conductivímetro:** instrumento que mide de manera indirecta la salinidad a través de la conductividad eléctrica.
- **pH-metro:** equipo que se usa para medir el pH.
- **Bomba de vacío:** equipo que facilita el filtrado de la solución del suelo en la cual se realiza la medición de parámetros como pH y CE.
- **Tamices:** separa la grava de los finos.
- **Pala:** herramienta que facilita la remoción y extracción de muestras de suelo.
- **Tornillo muestreador:** herramienta que permite la extracción de muestras de suelo a distintas profundidades y en diversos puntos.
- **Wincha:** equipo que mide dimensiones como longitud y profundidad de pozas.

3.4.3. Programas de ingeniería

- **ArcGIS:** permite la generación de distintos mapas y otros procesos de resultados.
- **AutoCAD civil 3D 2020:** sistema operativo donde se procesa los datos obtenidos de la estación total y genera mapas según los requerimientos.
- **QGIS:** permite la modelización de mapas y otros procesos de resultados.

3.5. METODOLOGÍA

Para el estudio de las condiciones de salinidad y sodicidad del área representativa se realizaron las siguientes actividades:

3.5.1. Actividades preliminares

- **Recopilación y revisión de la información existente:** se recopiló y evaluó la información existente sobre la zona de estudio, encontrándose poca información preliminar, tanto en topografía, estudio de suelos, análisis de agua y evaluación de drenaje.

3.5.2. Etapa de campo

- **Reconocimiento de la zona de estudio:** se realizó el levantamiento de información directa en campo, efectuándose el recorrido del área de estudio, identificándose las posibles áreas de muestreo de suelo, agua superficial y subterránea. En la Figura 7, se muestra una vista del reconocimiento de campo.



Figura 7: Vista de la zona de estudio

- **Levantamiento topográfico del área de estudio:** se procedió al marcado de puntos en el terreno y a tomar coordenadas topográficas tanto de límites perimétricos, como puntos representativos en campo, con lo cual se estableció el área (Figura 8). También, se tomaron puntos donde se excavaron las calicatas, pozos de observación y puntos de control.



Figura 8: Vista del trabajo de levantamiento topográfico

- **Excavación de calicatas:** se excavaron cuatro calicatas representativas, de un metro de profundidad, tal como puede observarse en las Figuras 9 y 10.
- **Muestreo de suelo:** se colectaron muestras de suelo en 10 puntos (P1 a P10); también, se tomaron muestras en las cuatro calicatas (C1 a C4), a diferentes profundidades (0, 15, 30, 45, 60 y 90 cm), para determinar la conductividad eléctrica (Figura 11). Para la evaluación de la salinidad, se tomaron muestras a 30 cm de profundidad en los cuatro puntos de ubicación de las calicatas, colectando una muestra total que se envió a laboratorio para realizar un análisis completo de salinidad.
- **Instalación de pozos de observación:** se instalaron 10 pozos de observación (Pz-1 a Pz-10), distribuidos a lo largo del área de estudio, en cuya excavación se encontró agua subterránea a profundidades menores de 1,50 m; para ello, se utilizó un barreno muestreador (Figura 12).
- **Medición del nivel freático (piezometría):** se efectuó la medición de la profundidad del nivel freático en la red de 13 pozos de observación, con una regla que, también, contenía un envase muestreador (Figura 13).



Figura 9: Vistas de la excavación de calicatas



Figura 10: Calicatas para analizar los perfiles de salinidad



Figura 11: Vistas de la toma de muestras del suelo de las calicatas



Figura 12: Vistas de la instalación de pozos de observación



Figura 13: Vista de la medición del nivel freático

- **Determinación de CE del agua en los pozos de observación:** se muestreó agua subterránea y se determinó su CE in situ, con un conductivímetro portátil, en los 13 pozos de observación instalados (Figura 14), cuyos valores fueron registrados en los formatos correspondientes, para su posterior análisis en gabinete.



Figura 14: Vistas de la medición de la CE del agua

- **Muestreo de agua superficial:** en la fuente de agua del área de estudio, se procedió a coleccionar una muestra (Figura 15), que se llevó al laboratorio para su análisis correspondiente.



Figura 15: Vista del muestreo de agua superficial

- **Instalación de pozas de lavado:** en los sectores con mayores problemas de salinidad, se instalaron cuatro pozas de lavado, de 4 m² de área (2mx2m), las cuales fueron aisladas lateralmente para minimizar fugas de agua.
- **Pruebas de lavado:** se realizaron pruebas de lavado del suelo en las cuatro pozas experimentales (PE-1 a PE-4), con la aplicación de láminas de agua, de hasta 40 cm (Figura 16).



Figura 16: Vistas de los sectores con mayores problemas de salinidad

Para la localización de las pozas experimentales, en el campo se eligió las zonas con mayores problemas de salinidad. Luego, se procedió al dimensionamiento de las mismas, con medidas de 2mx2m (Figura 17). Para su instalación se utilizó herramientas de labranza convencionales, tales como palana, pico y barreno (Figura 18).



Figura 17: Vista del estacado de las pozas de lavado



Figura 18: Vistas de la instalación de las pozas de lavado

Antes de la aplicación de la primera lámina de lavado, se realizó el muestreo del suelo a diferente profundidad. Luego, se procedió a la aplicación de los primeros 10 cm de lámina de agua (Figura 19). Después de la percolación del agua se volvió a muestrear el suelo a diferentes profundidades (Figuras 20 y 21). Se repitió el procedimiento anterior con la aplicación de nuevas láminas de 10 cm de agua, hasta alcanzar láminas acumuladas de 30 y 40 cm.



Figura 19: Vistas de la aplicación de agua en las pozas de lavado

3.5.3. Fase de laboratorio

Se determinó la conductividad eléctrica de todas las muestras de suelo, en el extracto de saturación; así como también el pH (Figura 22).

- **Análisis de suelo:** se determinó la conductividad eléctrica de las muestras de suelo, en el extracto de saturación; también, se midió el pH (Figura 22). Asimismo, se enviaron muestras de suelo al Laboratorio de Análisis de Suelos y Agua de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para realizar un

análisis de caracterización completo.



Figura 20: Vista de las muestras de suelo recolectadas en las pruebas de lavado



Figura 21: Otra vista de las muestras recolectadas durante las pruebas de lavado

- **Análisis de agua:** la muestra de agua superficial fue llevada al laboratorio de Análisis de Suelos y Agua de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para que se realice un examen de rutina completo (Figura 23). La conductividad eléctrica de las muestras de agua subterránea se midió *in situ*, con la ayuda de un conductivímetro portátil.

3.5.4. Fase de gabinete

Con los resultados de campo y laboratorio, se procesaron e interpretaron los valores encontrados, para establecer las condiciones de salinidad, sodicidad y drenaje de la zona de estudio.



Figura 22: Vistas del análisis de las muestras de suelo en el laboratorio



Figura 23: Vista de la medición de la CE del agua en laboratorio

a. Evaluación de la salinidad

- **Elaboración de perfiles de salinidad:** los perfiles de salinidad se elaboraron con la información de conductividad eléctrica (dS/m), medida en muestras extraídas a diferentes profundidades (0 – 90 cm), de cuatro calicatas (C1 a C4), localizadas dentro del área representativa de estudio.
- **Mapas de isoconductividad eléctrica:** se elaboraron con los valores de conductividad eléctrica del suelo, a 20 cm de profundidad, correspondientes a 15 puntos de control (PC1 a PC15), procesados con el software ArcGIS.

b. Evaluación de la sodicidad

Para evaluar la sodicidad del suelo se determinó el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de adsorción de sodio (RAS), a partir del análisis de suelo – salinidad y sodicidad (Tabla 19, ANEXO 1). Con los valores de cationes cambiables (meq/100g), se determinó el PSI mientras que con los cationes solubles (meq/l), se calculó la RAS.

c. Evaluación del drenaje

Para evaluar las condiciones de drenaje de la zona de estudio, se realizó el diagnóstico de las redes de drenaje existentes, incidiendo en sus condiciones de conservación y mantenimiento. Asimismo, se midió la profundidad del nivel freático en la red de pozos de observación.

d. Pruebas de lavado

- **Perfiles de lavado:** Se elaboraron con los resultados obtenidos de la conductividad eléctrica, a diferente profundidad, antes y después de cada aplicación de lámina de agua, para cada una de las cuatro pozas de lavado.
- **Curvas de lavado:** se elaboraron relacionando el contenido de sales del suelo, expresado como conductividad eléctrica (CE), a diferentes profundidades, con la lámina de agua aplicada.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DE LA SALINIDAD

Los resultados de la evaluación de las condiciones de salinidad del suelo en el área de estudio se muestran en la Tabla 6, tanto los valores de CE como de pH. En la Tabla 19 (ANEXO 1), se muestran los resultados de salinidad obtenidos en el laboratorio.

En las calicatas C1, C2 y C4, a la profundidad de 0 a 30 cm, los valores fueron elevados, presentaron CE de: 15,30; 14,10 y 14,00 dS/m respectivamente, así como pH de: 8.8; 8.6 y 8.5, evidenciando un alto contenido de sales y pH del suelo en la capa superficial; en tanto que en la calicata la CE de la C3 es de 10,23 dS/m y de pH 8.4, evidenciándose que los valores fueron menores, debido a que en esta zona se realizó movimiento de tierras de labranza.

De los análisis de suelos en laboratorio (Tabla 6), se obtuvo los valores promedio de CE (14,73 dS/m) y pH (8,5), que permiten clasificar al suelo de la zona de estudio como fuertemente salino.

4.1.1. Perfiles de salinidad

En la Tabla 6 se presentan los resultados de la conductividad eléctrica del extracto de saturación de las muestras de suelo procedentes de las calicatas; así como también los valores de pH, a diferentes profundidades.

Para la evaluación de la salinidad del suelo, se elaboraron los “perfiles de salinidad”, que permitieron establecer la variación de la salinidad respecto de la profundidad.

Se observa que la salinidad es más alta en la capa superficial del suelo, lo cual puede explicarse por el ascenso capilar y acumulación de las sales a lo largo del tiempo. Se aprecia que en las calicatas C1, C2 y C4, se presentaron los valores más altos de salinidad, con valores extremos de 15,30 dS/m (calicata C1); 14,10 y 11,35 dS/m (calicatas C2 y C4, respectivamente). También se reconoce (Tabla 6) que, a la profundidad de 90 cm, la CE presentó los valores más bajos, que varían de 1,98 dS/m (Calicata C1) a 0,91 (calicata C3).

Tabla 6: Resultados de CE y pH a diferentes profundidades

Calicata C1				
Prof. (cm)	CE (dS.m-1)	pH	Clases de salinidad	Efectos en cultivos
0 cm	15.30	8.8	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
15 cm	15.10	8.7	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
30 cm	14.73	8.7	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
45 cm	8.61	8.7	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
60 cm	5.34	8.7	Moderadamente salino	Crecen cultivos tolerantes
90 cm	1.98	8.5	No salino	Crecen cultivos
Calicata C2				
Prof.	CE (dS.m-1)	pH	Clases de salinidad	Efectos en cultivos
0 cm	14.10	8.6	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
15 cm	13.00	8.6	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
30 cm	10.33	8.7	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
45 cm	7.25	8.7	Moderadamente salino	Crecen cultivos tolerantes
60 cm	4.67	8.5	Moderadamente salino	Crecen cultivos tolerantes
90 cm	1.63	8.5	No salino	Crecen cultivos
Calicata C3				
Prof.	CE (dS.m-1)	pH	Clases de salinidad	Efectos en cultivos
0 cm	10.23	8.4	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
15 cm	9.12	8.4	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
30 cm	8.01	8.4	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
45 cm	6.70	8.4	Moderadamente salino	Crecen cultivos tolerantes
60 cm	2.86	8.4	Ligeramente salino	Crecen cultivos tolerantes
90 cm	0.98	8.4	No salino	Crecen cultivos
Calicata C4				
Prof.	CE (dS.m-1)	pH	Clases de salinidad	Efectos en cultivos
0 cm	14.00	8.5	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
15 cm	13.20	8.5	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
30 cm	12.13	8.5	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
45 cm	8.61	8.5	Fuertemente salino	Crecen cultivos tolerantes
60 cm	3.78	8.4	Ligeramente salino	Crecen cultivos tolerantes
90 cm	1.12	8.3	No salino	Crecen cultivos

En la Figura 24 se muestra el perfil de salinidad de la calicata C1, observándose que la CE del suelo disminuye conforme aumenta la profundidad, de 15,30 a 1,98 dS/m. La variabilidad del perfil se debe a la presencia de costras de sal entre 0 a 30 cm de profundidad.

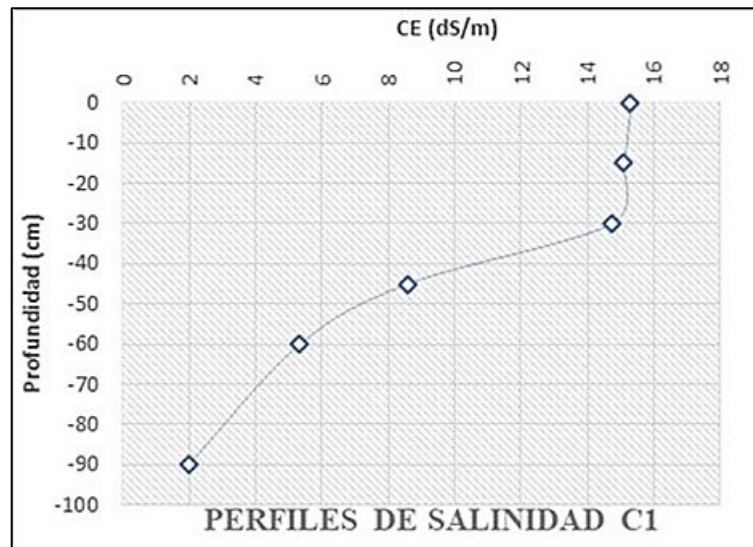


Figura 24: Perfil de salinidad del suelo de la calicata C1

En la Figura 25 se presenta el perfil de salinidad de la calicata C2, en la que se puede apreciar que la CE disminuye con la profundidad, de 14,1 a 1,63 dS/m, presentando condiciones muy parecidas a la calicata C1.

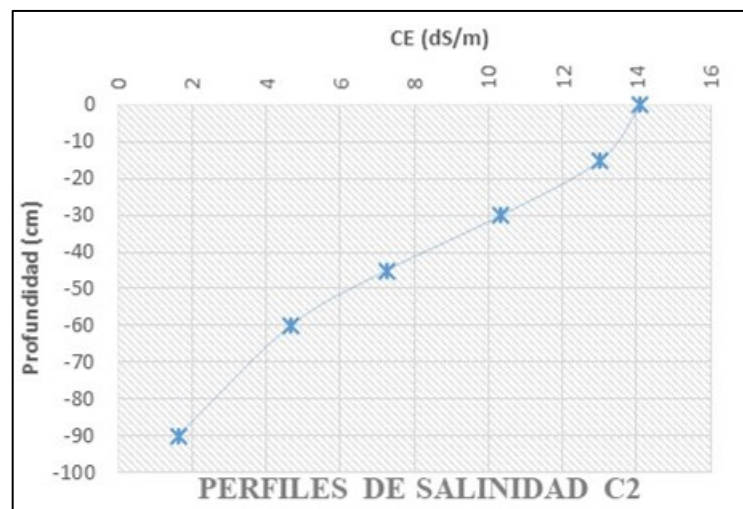


Figura 25: Perfil de salinidad del suelo de la calicata C2

El perfil de salinidad de la calicata C3 (Figura 26) muestra que la CE disminuye de 10,23 a

0,98 dS/m, presentando condiciones de menor salinidad que las calicatas C1 y C2.

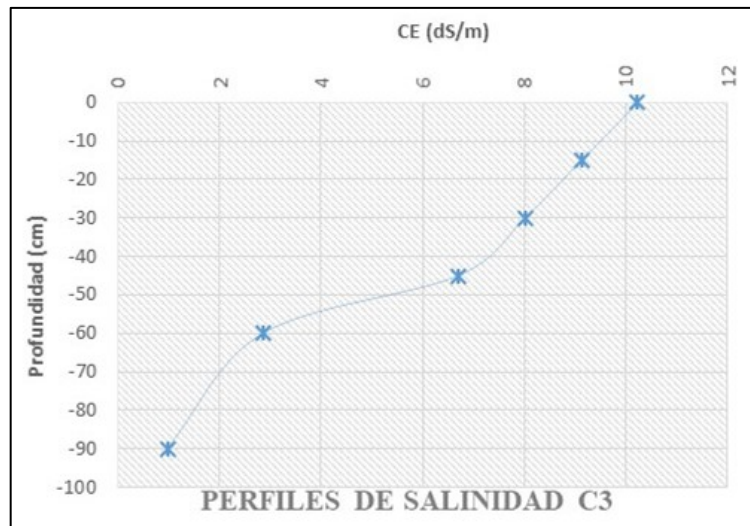


Figura 26: Perfil de salinidad del suelo de la calicata C3

En la Figura 27 se presenta el perfil de salinidad de la calicata C4. Se observa que la CE disminuye de 14,00 a 1,12 dS/m, presentando condiciones muy parecidas a las calicatas C1 y C2.

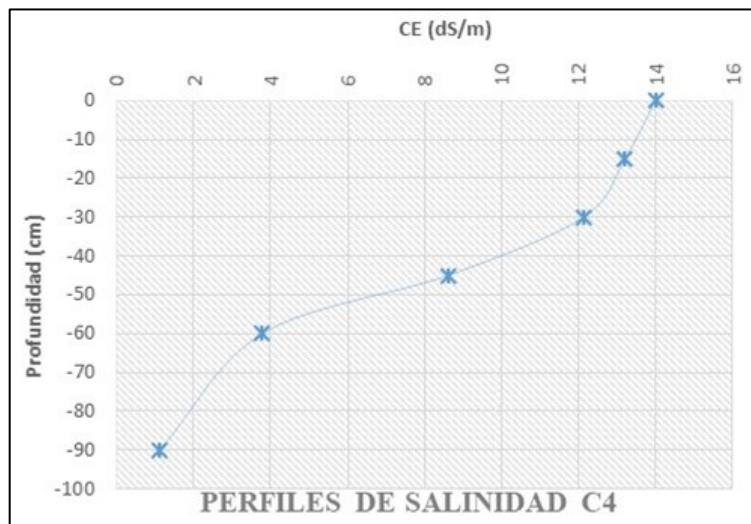


Figura 27: Perfil de salinidad del suelo de la calicata C4

En la Figura 28 se presenta los cuatro perfiles de salinidad de las calicatas C1 a C4. Se observa que en la calicata C1 se tiene la mayor CE a nivel superficial (15,30 dS/m), mientras que en la calicata C3, el menor valor (10,23 dS/m). También se puede apreciar en los cuatro

perfiles la CE disminuye a medida que aumenta la profundidad.

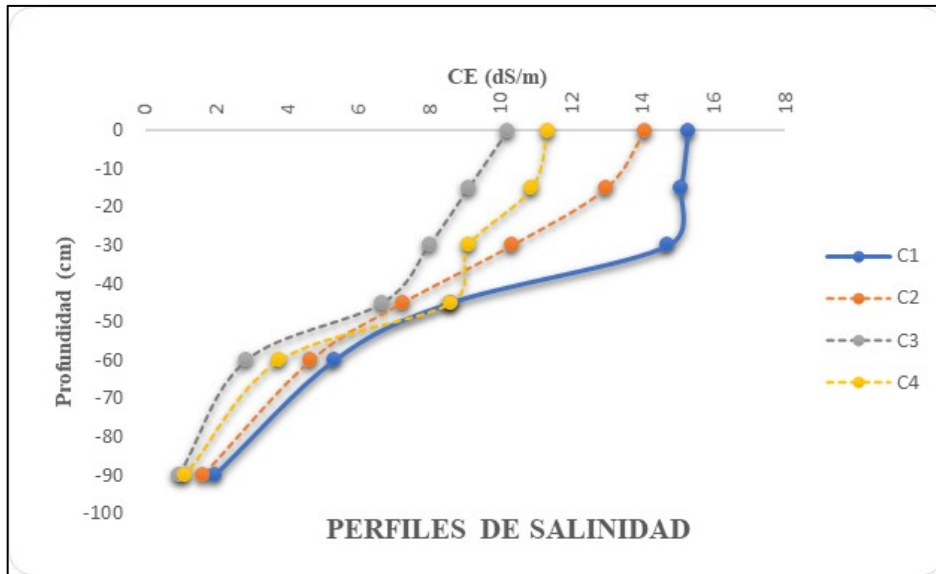


Figura 28: Perfiles de salinidad del suelo de las cuatro calicatas

4.1.2. Mapa de isoconductividad eléctrica

En la Figura 29 se presenta el mapa de isoconductividad eléctrica del suelo del área de estudio, elaborado con la información de conductividad eléctrica (CE) de las muestras de suelo de los puntos de control (PC1 a PC15), a 20 cm de profundidad (Tabla 7).

Tabla 7: Puntos de control para la elaboración de mapa de isoconductividad eléctrica

Nº	E	N	Z	CÓDIGO	CE (dS/m)	pH
1	660935.831	9237506.65	74.5	PC1	12.47	8.5
2	660989.553	9237561.34	76.5	PC2	9.89	8.4
3	661077.505	9237558.66	73.5	PC3	13.85	8.5
4	661028.855	9237512.16	70.5	PC4	14.87	8.5
5	660981.14	9237458.74	68	PC5	15.21	8.5
6	661195.115	9237539.54	74.5	PC6	13.1	8.5
7	661146.098	9237468.62	75	PC7	10.32	8.4
8	661099.293	9237419.85	71	PC8	12.86	8.4
9	661044.881	9237376.05	66	PC9	15.87	8.5
10	661128.182	9237278.05	70.5	PC10	14	8.5
11	661171.448	9237346.3	71	PC11	12.23	8.4
12	661220.075	9237409.91	72.5	PC12	11.52	8.4
13	661264.825	9237470.08	73	PC13	10.64	8.4
14	661185.822	9237252.55	71.5	PC14	12.53	8.4
15	661237.819	9237358.15	69	PC15	15.1	8.5

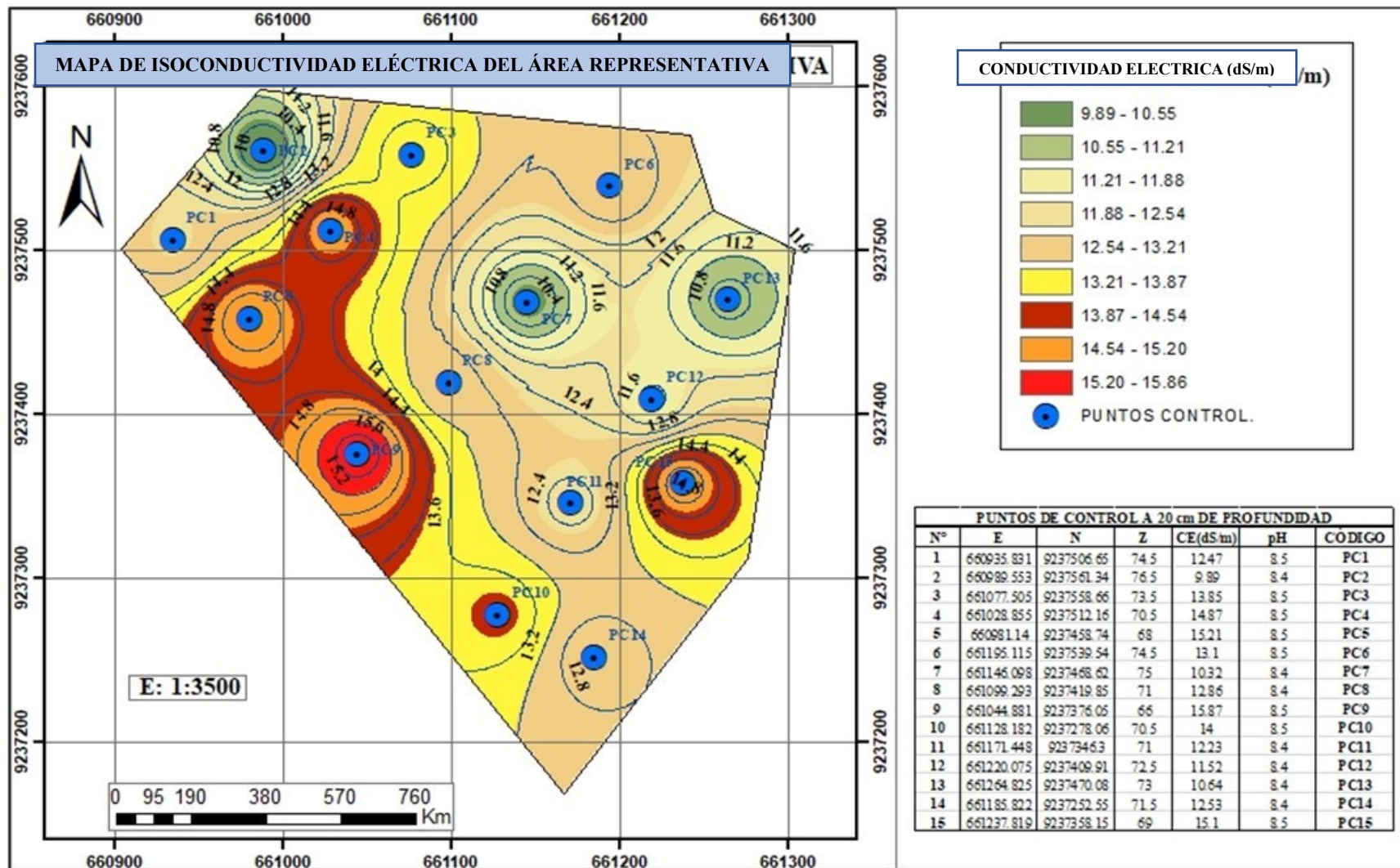


Figura 29: Mapa de isoconductividad eléctrica en el área de estudio

4.2. EVALUACIÓN DE LA SODICIDAD

Los resultados de la evaluación de la sodicidad del suelo del área de estudio, se presentan en la Tabla 8, en la que se detalla los valores obtenidos del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de adsorción de sodio (RAS), obtenidos con los datos de la Tabla 19 (ANEXO 1).

El valor de PSI obtenido fue de 5,2 por ciento, por lo que se trata de suelos no sódicos ($PSI < 7\%$); en cuanto al valor de RAS (11,97), también, indica que se trata de suelos no sódicos ($RAS < 15$).

En la Tabla 19 (ANEXO 1), se muestra los resultados del laboratorio, donde se tiene los valores de cationes cambiabiles (meq/100g), con los que se calculó el porcentaje de sodio intercambiable (PSI); también, los cationes solubles (meq/l), con los que se determinó la relación de adsorción de sodio (RAS).

Tabla 8: Resultados de PSI y RAS del suelo a 20 cm de profundidad

PSI y RAS		
PSI	5.2	No sódico
RAS	11.97	No sódico

4.3. EVALUACIÓN DEL DRENAJE

4.3.1. Condiciones de drenaje de la zona de estudio

La zona de estudio presenta una red de drenaje muy deteriorada, se observaron canales que en el pasado sirvieron como redes de drenaje, que conducían el agua sobrante y de filtraciones hacia el mar, tal como se observa en la Figura 30 (dren totalmente colmatado y vegetado, sin mantenimiento). Dicha situación ha contribuido a acelerar la salinización de los suelos.

4.3.2. Evaluación del nivel freático

Los resultados de la piezometría, muestran valores de profundidad del nivel freático que varían de 0,97 a 1,35 m; en cuanto a la salinidad del agua subterránea, los valores de CE medidos varían de 0,83 a 2,02 dS/m (Tabla 9). Con los datos de la Tabla 9 se elaboraron los

mapas de isoprofundidad de la napa subterránea (Figura 31) y de isoconductividad eléctrica del agua subterránea (Figura 32).



Figura 30: Vista de las condiciones actuales de los drenes en la zona de estudio

Tabla 9: Evaluación del nivel freático

Pozo	Coordenadas			Prof. NF (m)	CE (dS/m)
	E	N	Z		
Pz1	660949.12	9237494.42	72.00	1.20	1.50
Pz2	661004.50	9237556.15	75.50	1.35	0.83
Pz3	661010.08	9237415.90	66.50	0.98	2.02
Pz4	661055.47	9237459.07	66.50	0.97	2.01
Pz5	661097.41	9237497.05	72.00	1.10	1.45
Pz6	661134.42	9237540.52	75.00	1.22	0.89
Pz7	661234.24	9237496.72	73.50	1.20	1.10
Pz8	661201.33	9237447.91	74.00	1.26	0.96
Pz9	661162.61	9237392.31	74.32	1.18	0.93
Pz10	661101.54	9237339.55	68.50	1.00	1.98
Pz11	661151.65	9237254.86	71.00	0.97	1.61
Pz12	661208.57	9237310.88	70.50	1.10	1.64
Pz13	661259.17	9237393.23	71.00	1.14	1.55

Los niveles freáticos más superficiales se encuentran en las zonas más bajas, con mayores problemas de drenaje. En el mapa de isoconductividad eléctrica del agua subterránea (Figura 32), se aprecia que los valores más altos de salinidad se encuentran en la zona con mayores problemas de drenaje, por tratarse de las áreas más bajas y planas del ámbito de estudio, y donde se evidencia, físicamente, mayor degradación de las tierras de cultivo.

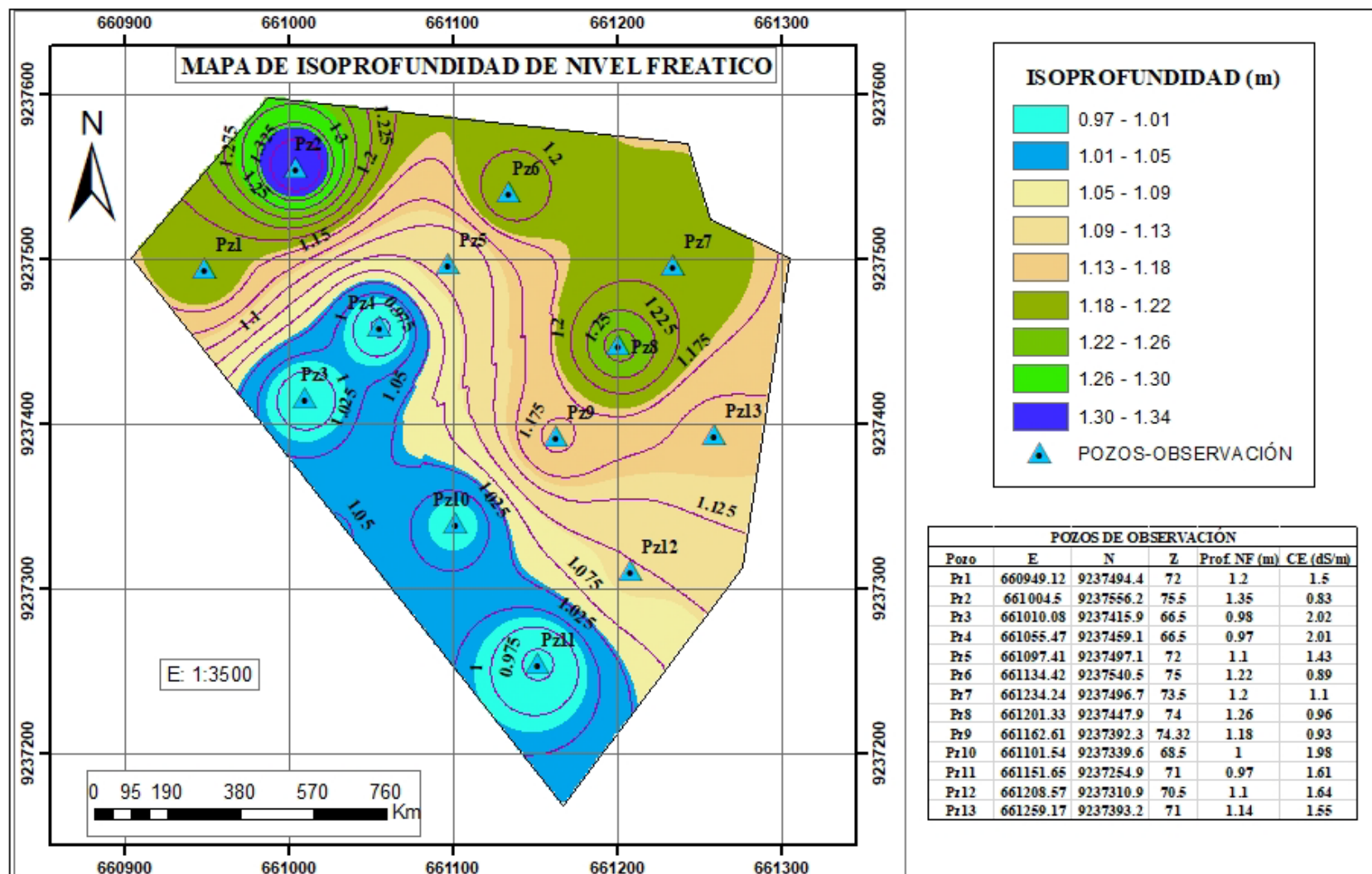


Figura 31: Mapa de isoprofundidad del nivel freático del área de estudio

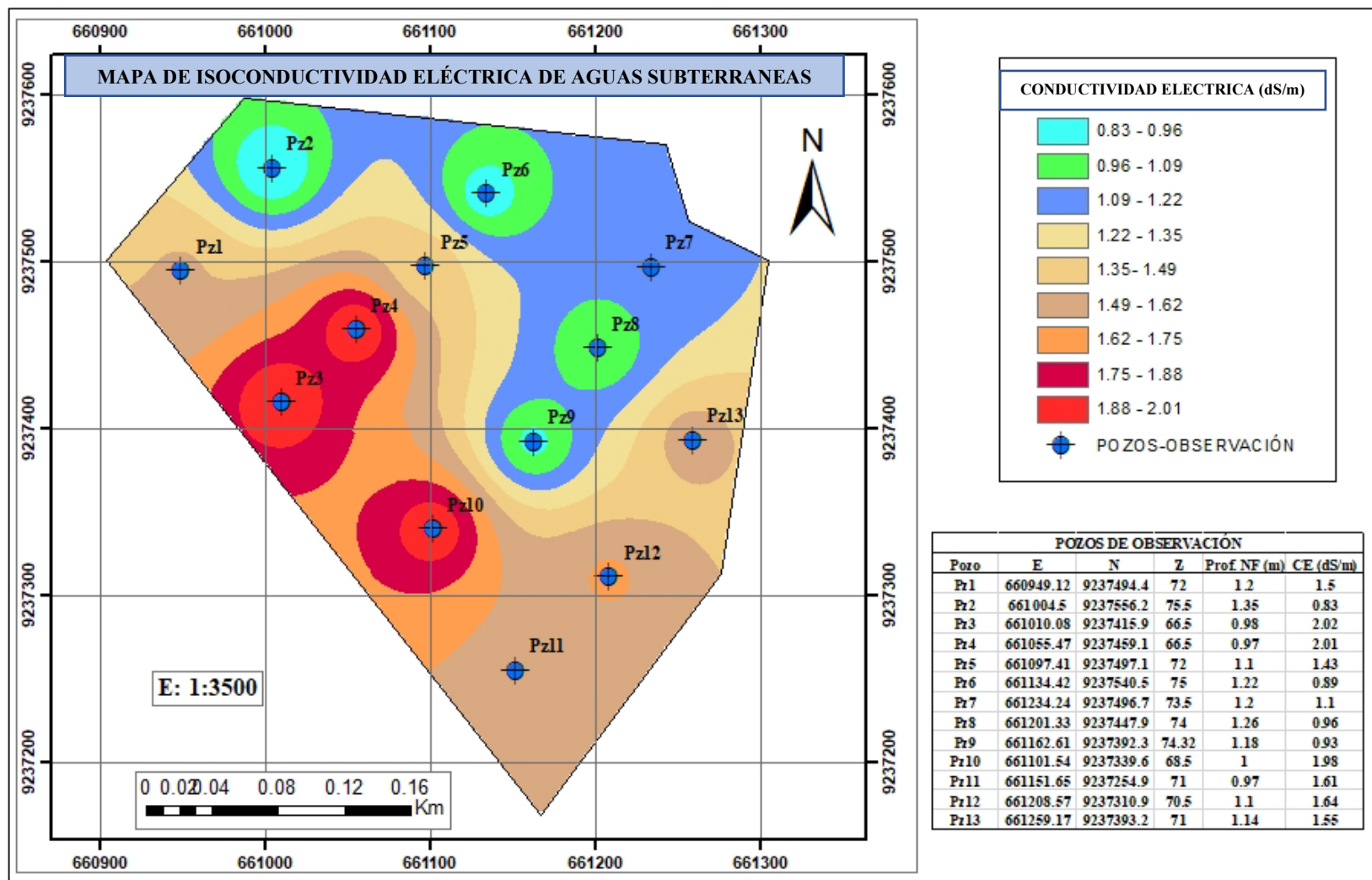


Figura 32: Mapa de isoconductividad eléctrica del agua subterránea del área de estudio

Los valores de la CE muestran que se trata de agua subterránea con concentraciones ligeramente altas de sales; y, que, por encontrarse superficialmente, ascienden por capilaridad, acumulándose las sales en la capa superficial del suelo.

4.3.1. Evaluación del suelo y subsuelo con fines de drenaje

En la Tabla 19 (ANEXO 1), se detalla los resultados de laboratorio, que indican que el área de estudio presenta suelos de textura franca, cuyo análisis mecánico muestra presencia de arena (35,58%), limo (39,38%) y arcilla (25,04%), propiedades del suelo que agrava el mal drenaje natural; por otro lado, el relieve plano, característico de la costa, con poca pendiente, no facilita el drenaje natural, dado que dificultan la escorrentía, acumulándose el agua sobre la superficie, que posteriormente se evapora, dejando las sales en la superficie del suelo. En la Figura 43 (ANEXO 2) se muestra el plano del área con problemas de salinidad.

4.4. PRUEBAS DE LAVADO

Los resultados de las pruebas de lavado se presentan en las Tablas 10 a 13, con los que se elaboró los perfiles de salinidad (Figuras 33 a 36) y las curvas de lavado (Figuras 37 a 40).

4.4.1. Perfiles de lavado

En la Tabla 10 se presentan los datos con los que se elaboró los perfiles de salinidad de la poza de lavado P1 (Figura 33). Puede observarse que la salinidad inicial que se encontraba comprendida entre de 15,2 - 6,98 dS/m, disminuyó con la aplicación de 10 cm de lámina de agua, a valores de 13,41 a 5,69 dS/m; con 20 cm de lámina de agua, a intervalos entre 9,46 y 5,12 dS/m; con 30 cm de lámina de agua, a rangos entre 5,89 y 1,98 dS/m; y, con 40 cm de lámina de agua, a intervalos entre 2,54 y 1,58 dS/m (condición de suelo normal).

Tabla 10: Resultados de la prueba de lavado para la poza P1 (CE en dS/m)

Prof. (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0-15	15.2	13.41	9.46	5.89	2.54
15-30	14.92	11.23	7.59	3.45	2.66
30-45	11.67	10.98	5.32	2.88	2.1
45-60	6.98	5.69	5.12	1.98	1.58

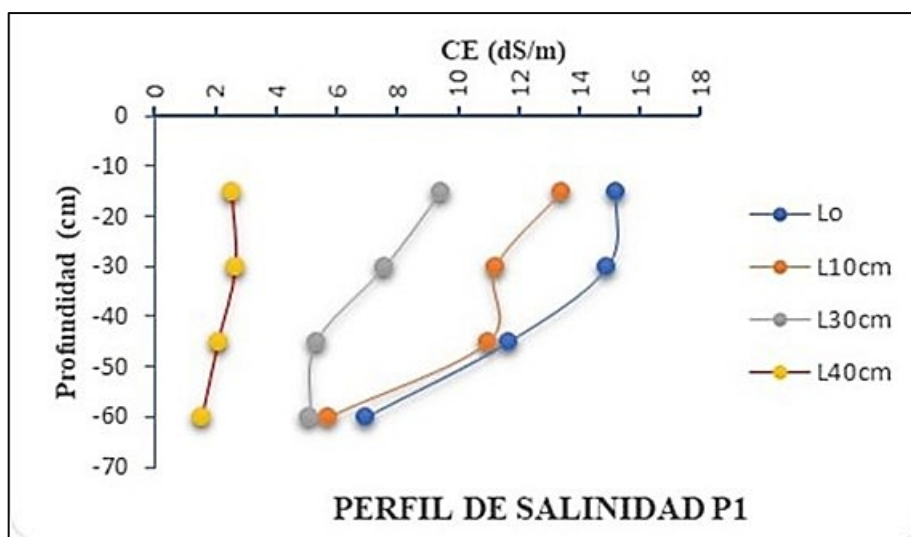


Figura 33: Perfil de salinidad de la poza P1

En la Tabla 11 se presentan los datos con los que se elaboraron los perfiles de salinidad de la poza de lavado P2 (Figura 34). Se tiene que la salinidad inicial está comprendida en valores entre 13,55 - 5,96 dS/m, disminuyó con la aplicación de 10 cm de lámina de agua, a valores entre 12,78 - 5,89 dS/m; con 20 cm de lámina de agua, a rangos entre 10,61 - 4,31 dS/m; con 30 cm de lámina de agua, a intervalos entre 6,87 - 3,45 dS/m; y, con 40 cm de lámina de agua, a rangos entre 3,25 - 1,61 dS/m (condición de suelo normal).

Tabla 11: Resultados de la prueba de lavado para la poza P2 (CE en dS/m)

Prof. (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0-15	13.55	12.78	10.61	6.87	3.25
15-30	11.67	10.36	8.98	6.12	2.98
30-45	8.79	9.68	8.5	5.67	1.87
45-60	5.96	5.89	4.31	3.45	1.61

Con los datos de la Tabla 12, se elaboraron los perfiles de salinidad de la poza de lavado P3 (Figura 35). Se observa que salinidad inicial, está en valores entre 9,68 - 4,78 dS/m, con la aplicación de 10 cm de lámina de agua disminuyo a intervalos entre 10,12 - 5,41 dS/m; con 20 cm de lámina de agua, se redujo a rangos entre 8,64 - 4,33 dS/m; con 30 cm de lámina de agua, a intervalos entre 4,65 - 2,54 dS/m; y, con 40 cm de lámina de agua, a valores entre 3,56 - 0,98 dS/m (condición de suelo normal).

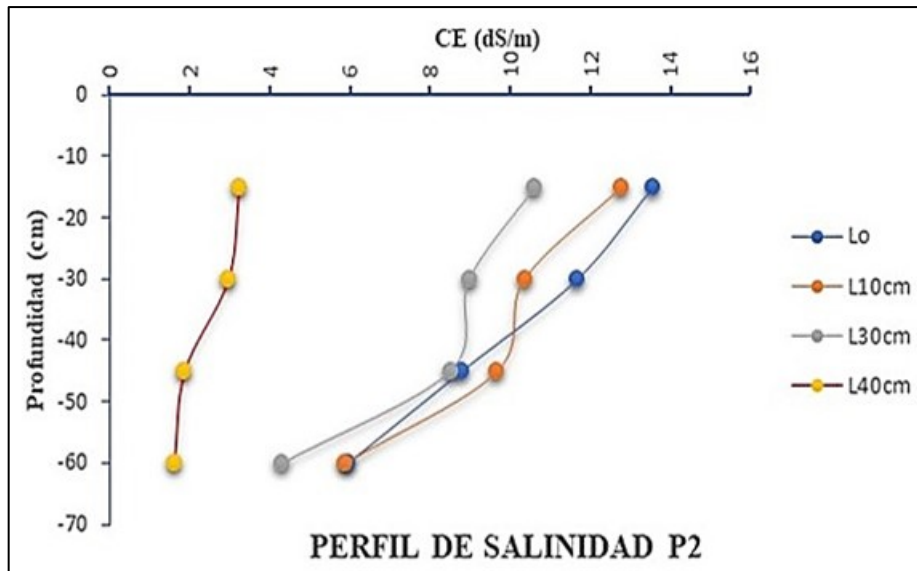


Figura 34: Perfil de salinidad de la poza P2

Tabla 12: Resultados de la prueba de lavado para la poza P3 (CE en dS/m)

Prof. (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0-15	9.68	10.12	8.64	4.65	3.56
15-30	8.57	9.31	7.95	3.89	3.12
30-45	7.36	6.78	6.36	2.98	1.96
45-60	4.78	5.41	4.33	2.54	0.98

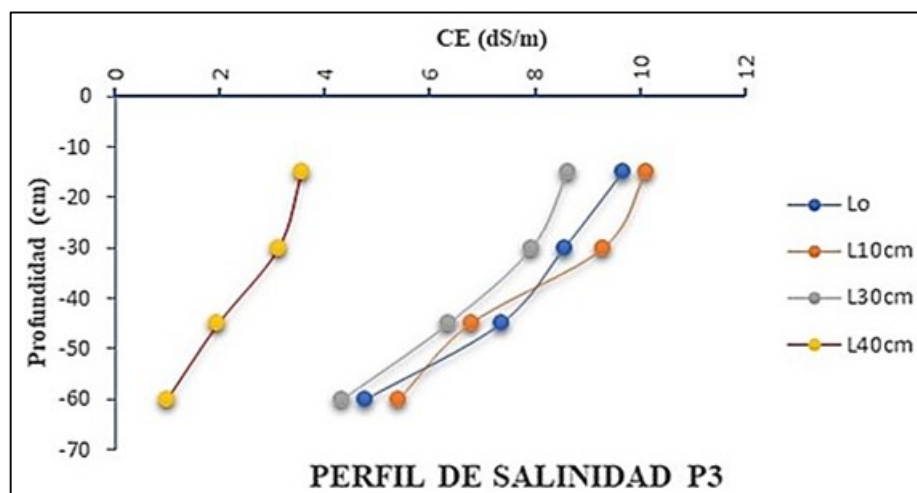


Figura 35: Perfil de salinidad de la poza P3

En la Tabla 13 se presenta los datos con los que se elaboró los perfiles de salinidad de la poza de lavado P4 (Figura 36). Se tiene que la salinidad inicial que estaba entre 11,12 y 6,2 dS/m, disminuyó con la aplicación de 10 cm de lámina de agua, a valores entre 10,78 y 5,71 dS/m; con 20 cm de lámina de agua, a intervalos entre 9,35 y 4,32 dS/m; con 30 cm de lámina de agua, a rangos entre 9,35 y 4,32 dS/m; y, con 40 cm de lámina de agua, a valores entre 3,26 y 0,97 dS/m (condición de suelo normal).

Tabla 13: Resultados de la prueba de lavado para la poza P4 (CE en dS/m)

Prof. (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0-15	11.12	10.78	9.35	4.15	3.26
15-30	10.00	9.69	7.99	3.88	2.56
30-45	8.86	8.1	6.67	2.68	1.34
45-60	6.20	5.71	4.32	2.1	0.97

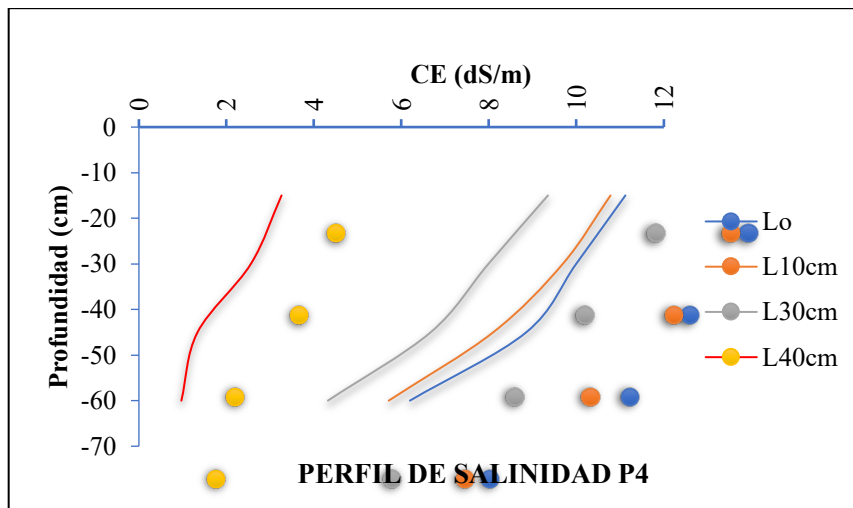


Figura 36: Perfil de salinidad de poza de lavado P4

4.4.2. Curvas de lavado

Con los valores medios de la CE a profundidades de lavado del suelo de 0 - 15 cm, 0 - 30 cm, 0 - 45 cm y 0 - 60 cm (Tablas 14 a 17), se elaboraron las respectivas curvas de lavado (Figuras 37 a 40), para cada poza de lavado. En la Figura 37 se observa que, luego de la aplicación de una lámina de agua de 30 cm a la poza P1, se logró reducir la salinidad del perfil del suelo a niveles comprendidos entre 5,89 y 3,55 dS/m; y, con la aplicación de 40

cm de lámina de agua, a valores entre 2,54 y 2,22 dS/m (Tabla 14).

Tabla 14: CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo a lavar. Poza P1

Prof. (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0-15	15.2	13.41	9.46	5.89	2.54
0-30	15.06	12.32	8.525	4.67	2.6
0-45	13.93	11.87	7.457	4.073	2.43
0-60	12.19	10.33	6.87	3.55	2.22

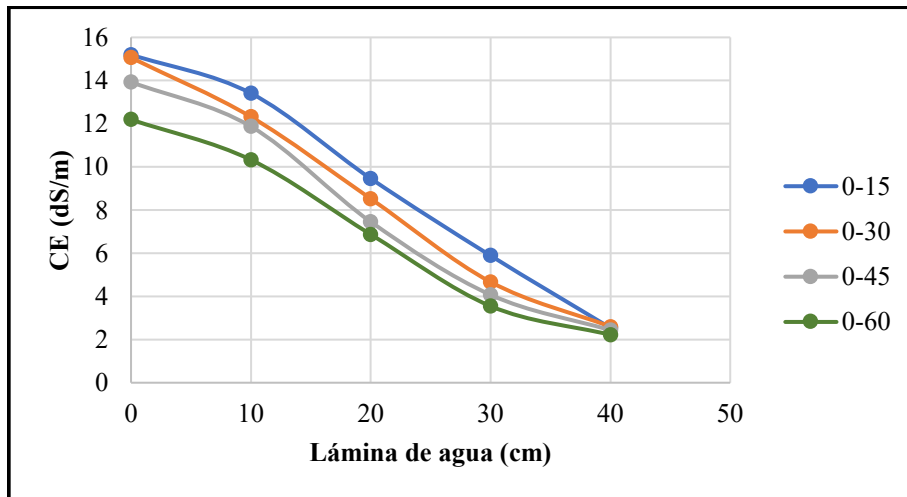


Figura 37: Curvas de lavado de la poza P1

En la Figura 38 se puede observar que, al aplicar 30 cm una lámina de agua a la poza P2, los valores de CE se reducen a niveles entre 6,87 y 5,53 dS/m (Tabla 15); y, para una lámina de 40 cm, se redujo a valores entre 3,25 y 2,43 dS/m. En la ubicación de la poza P2, se tenía presencia de capas muy compactadas en el suelo que dificultaban la infiltración del agua; por ello, para recuperar el suelo de esta área mediante un proceso de lavado de sales, se requerirá de un trabajo previo de subsolación del suelo.

En las curvas de lavado de la poza P3 (Figura 39), se observa que, con la aplicación de una lámina acumulada de 40 cm, se logró disminuir la salinidad media del perfil del suelo a intervalos entre 3,56 y 2,41 dS/m (Tabla 16), lo que indica que se mejoró su condición a suelo normal.

Tabla 15: CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo a lavar. Poza P2

Prof. (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0-15	13.55	12.78	10.61	6.87	3.25
0-30	12.61	11.57	9.795	6.495	3.115
0-45	11.34	10.94	9.36	6.22	2.70
0-60	9.99	9.68	8.10	5.53	2.43

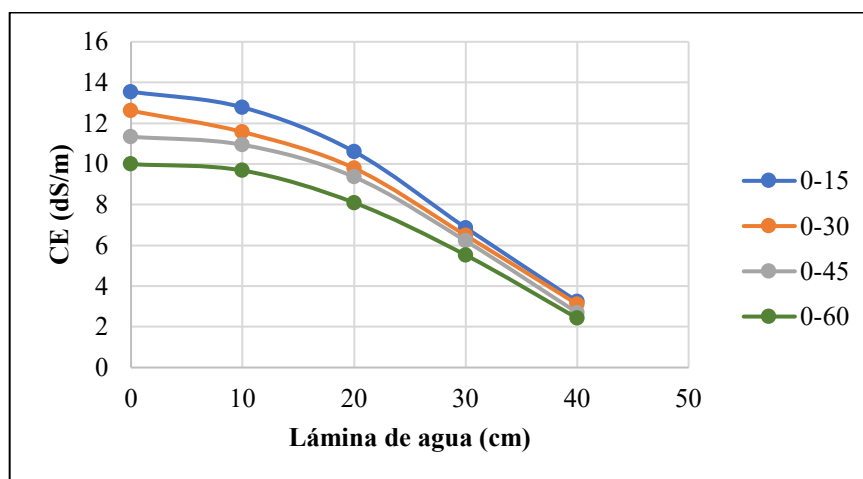


Figura 38: Curvas de lavado de la poza P2

Tabla 16: CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo a lavar. Poza P3

Prof. (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0-15	9.68	10.12	8.64	4.65	3.56
0-30	9.125	9.715	8.295	4.27	3.34
0-45	8.54	8.74	7.65	3.84	2.88
0-60	7.60	7.91	6.82	3.52	2.41

En las curvas de lavado de la poza P4 (Figura 40), se observa que, con la aplicación de una lámina acumulada de 40 cm se logró disminuir la salinidad media a rangos entre 3,26 y 2,03 dS/m (Tabla 17), lo que indica que se mejoró su condición a suelo normal.

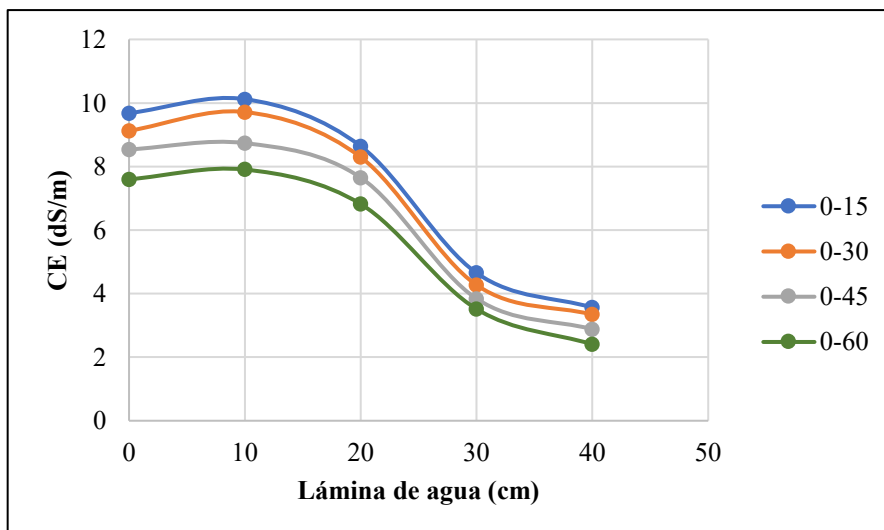


Figura 39: Curvas de lavado de la poza P3

Tabla 17: CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo a lavar. Poza P4

Prof. (cm)	Lamina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0-15	11.12	10.78	9.35	4.15	3.26
0-30	10.56	10.235	8.67	4.015	2.91
0-45	9.99	9.52	8.00	3.57	2.39
0-60	9.05	8.57	7.08	3.20	2.03

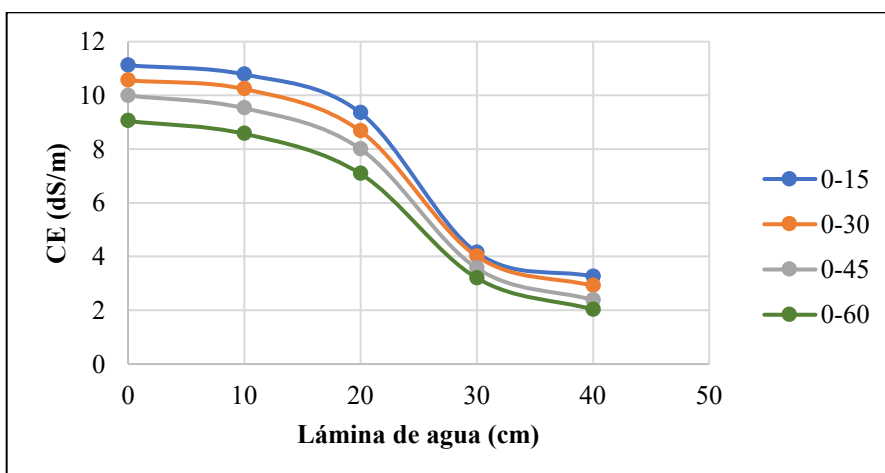


Figura 40: Curva de lavado de la poza P4

V. CONCLUSIONES

1. El área de estudio presenta niveles de salinidad elevados requiriéndose de un programa de lavado de sales con fines de recuperación.
2. Para una lámina de lavado de sales 40 cm aplicada en la capa arable los valores de la conductividad eléctrica del suelo disminuyeron de 3.56 a 0.98 dS/m, lámina que debe ser representativa para un programa de lavado de suelos con fines de recuperación de suelos salinos.
3. El sistema de drenaje del área representativa de la zona en estudio presenta graves deficiencias en su operación por falta de mantenimiento, profundidades del nivel freático muy cerca de la superficie (valores hasta de 0.97 m.) y problemas de salinidad.

VI. RECOMENDACIONES

1. La Junta de Usuarios de Cayaltí, deben promover un programa de recuperación de suelos salinos que contemple un plan de lavado de suelos y mejoramiento del sistema de drenaje.
2. Promover la investigación sobre los cultivos tolerantes a salinidad que podrían desarrollarse como alternancia a la caña de azúcar, arroz y maíz en el área de riego de la Junta de Usuarios de Cayaltí.
3. Para mejorar la efectividad y rapidez de la aplicación de un plan de lavado de suelos con fines de recuperación de suelos salinos, se recomienda:
 - Efectuar previamente la limpieza del terreno, nivelación y subsolado de los suelos.
 - Realizar análisis de suelos periódicamente para verificar las condiciones de salinidad, de esta forma prevenir la salinización por ascenso capilar o acumulación de sales.
 - Aplicar láminas de mantenimiento en forma periódica para prevenir la resalinización del suelo.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Abraham, E.M.; Torres, L.M. (2007). Estado del arte en el uso de indicadores y puntos de referencia en la lucha contra la desertificación y la sequía en América Latina y El Caribe, *Interciencia*, vol. 32 (núm. 12), pp. 827-833. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913505>.

Aguirre, A. (2009). *El manejo de la conductividad eléctrica en Fertirriego*. [Tesis de grado]. Centro de Investigación en Química Aplicada <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/344/1/Alberto%20Aguirre%20Hernandezz.pdf>.

Alconada, M.; Lanfranco, J.; Pellegrini, A. (2018). *Suelo en el paisaje: Parte. Condiciones de dotación*. Editorial Universidad de la Plata (EDULP). <https://libros.unlp.edu.ar/index.php/unlp/catalog/book/861>.

Allison, L. (1964). Salinity in relation to irrigation. *ELSEVIER. Volumen (16)*, 139-180 p. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60023-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60023-1)

Awad, M. (1966). *Las plantas en los suelos salinos y alcalinos*. Actas del Simposio sobre salinidad. IICA- Dirección Regional para la Zona Andina. La Molina, Perú. 191 p.

Badia, D. (1992). Suelos afectados por sales. *Unitat d'Ecologia (UAB), Bellaterra*. (12^a ed.). Recuperado de <http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000120%5C00000090.pdf>.

- Fernando, G. (2019). *Suelos salinos y sódicos*. Cátedra de Edafología. Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. Recuperado de <https://www.edafologia.org/app/download/9026474176/Suelos+Salinos+y+s%C3%B3dicos+2019.pdf?t=1563476239>.
- Ferreira, R.; Tavora, F.; Ferreyra, F. (2001). Dry matter partitioning and mineral composition of roots, stems and leaves of guava grown under salt stress conditions. *Pesq. Agropecu. Bras.* 36(1): pp. 79-88.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (1976). Water quality for agriculture. *Irrigation and drainage paper*. Roma, IT. 29: 3-12 p.
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2010). *La sal de la tierra: peligro para la producción de alimentos*.
- Fox, E. (2013). Evaluación de pérdida de suelo por salinización en la parte baja de la cuenca del Jequetepeque: San Pedro de Lloc (1980-2003) [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Perú. 99 p.
- Fuentes, Y. (2003). *Técnicas de riego*. Mundi-Prensa. 613 p.
- García, A. (2003). *Manejo de suelos con acumulación de sales*. VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Ecuador. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2-Manejo-de-suelos-con-acumulacion-de-sales-Garcia-A.pdf>.
- García, S. (2000). Suelos salinos y sódicos: Problemática y manejo. *Agronomía*. XLVI: 32-34 p.
- Goicochea, J. (2012). *Ingeniería de drenaje*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Gupta, R.; Abrol, I. (1990). Affected soils. Reclamation and management for crop production. *Advances in Soil Sciences*, 11, 223-289. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-3322-0_7
- Hoffman, T.; Jobes, A. (1977). Growth and water relations of cereal crops as influenced by salinity and relative humidity. *Agronomy Jour.* 765-769 p.
- Hurtado, L. (2003). *Manejo y conservación del suelo: Fundamentos y prácticas*. (2ª ed.). Lima, Perú. s.n.t. 221-233, 347-350, 354-366 p.
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Comisión Nacional de Riego [IIA-CNR]. (1995). *La salinidad del suelo y del agua de riego y su relación con los cultivos*. Cartilla de divulgación N° 5. Atacama, Chile. 16 p.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA]. (1996). *Programa de Acción Nacional de Lucha contra la Desertificación*.
- Lamz, A.; Gonzáles, M. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos tropicales*, vol. 34, núm. 4, octubre-diciembre, 2013, pp. 31-42 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana.
- Madrid. (4 de enero de 2008). Tipos de suelos salinos [Mensaje de un Blog]. Recuperado de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/01/04/81822>.
- Marchese, A. (2015). *Estudio físico y químico de suelos agrícolas para la estimación del nivel de salinización en el sector bajo de San Pedro de Lloc* [Tesis de grado]. Pontificia Universidad Católica del Perú. 125 p.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2011). *La desertificación en el Perú. Cuarta comunicación Nacional del Perú a la convención de lucha contra la desertificación y la sequía*.

- Moya, E. (2012). *Evaluación de la salinidad del agua de riego en el desarrollo y nutrición del maíz bajo diferentes niveles de fertilización* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Navarro, G.; Navarro, S. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. 3 ed. Mundi-prensa. 217-223 p.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN]. (1966). *Segunda aproximación sobre inventario de estudios de suelos*. s.n.t. 44-46 p.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales [ONERN]. (1973). *Evaluación de la salinidad en el Perú*. 33 p.
- Oosterbaan, R. (1975). Interception drainage and drainage of sloping lands. *Bull. of the Bull. Drain. and Flood Control Research Council, Pakistan. Vol.5, Nº 1*.
- Paliwall, M.; Granados, G.; Lafitte, H. y Vioch, A. (2001). Respuestas fenotípicas de híbridos y variedades de maíz (*Zea Mays* L.) al estrés salino y toxicidad de boro bajo condiciones de laboratorio y campo. *IDESIA*. 22 (2): 11-28 p.
- Pastor, R. (2010). *Recuperación de suelos salinos para la instalación de césped deportivo en la playa de Asia, Cañete, Lima* [Tesis maestría]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Perelman, G. (1959). *Estudio comparativo de resistencia a concentraciones crecientes de sales en el agua de riego entre variedades de alfalfa Var. San Pedro y Ureta* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ramírez, P. (2016). *Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos salinos de la cancha pública de Golf, San Bartolo, Lima* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Resh, H. (1987). *Cultivos hidropónicos*. (2ª ed.). Mundi-Prensa
- Rhoades, J.; Chanduvi, F.; Lesch, S. (1999). Soil salinity assessment: methods and interpretation of electrical conductivity measurements. *FAO Irrigation and Drainage paper 57*, pp. 1-165.
- Richards, L. (1954). *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. Agricultural hand book 60. U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C., 160 p.
- Sánchez, L.C.; Arguello, H. (2006). *Capacidad de bacterias halófilas para capturar sodio in Vitro y su posible aplicación en bioremediación en suelos salinos-sódicos*. *Nova*, 4(6), 19-32. <https://doi.org/10.22490/24629448.357>
- Schmid, T.; Koch, M.; Gumuzzio, J. (2005). Multisensor approach to determine changes of wetland characteristics in semiarid environments (Central Spain). *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 43: 2516–2525.
- Soca, R. (2015). *Identificación de tierras degradadas por salinidad del suelo en los cultivos de caña de azúcar en Pomalca usando imágenes de satélite* [Tesis de maestría]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Szabolcs, I. (1897). The global problem of salt – affected soils, *Act Agronomic Hungarian*, 36, 159-1772 p.
- Szabolcs, S. (1979). Review of research on salt affected soils. *Natural Resources Research, XV. UNESCO. Paris*. P. 137.
- United States Department of Agriculture [USDA]. (1973). *Suelos salinos y sódicos*. Trad. L.A. Richards. (6ª ed.). LIMUSA. 3-9,18-26, 71-72 p.

United States Salinity Laboratory de Riverside [USSLR]. (1954). *Diagnose and Improvement of saline and alkali soils*. United States Department of Agriculture.

Wahome, P.; Jesch, H.; Grittner, I. (2001). Mechanisms of salt stress tolerance in two rose rootstocks: *Rosa Chinensis* “Major” and *R. rubiginosa*. *Scientia Horticulturae* 87(3):207-216.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Tabla 18: *Resultados del análisis de agua*



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 006764

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : RAMOS GUEVARA KOKY
PROYECTO : Recuperacion de Suelos Salinos - Sodicas
PROCEDENCIA : Cayalti- Laña -Chiclayo - Lambayeque
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 28 de Enero del 2016

Nº LABORATORIO	6764
Nº DE CAMPO	Agua
CE dS/m	0.21
pH	7.17
Calcio meq/l	1.22
Magnesio meq/l	0.38
Sodio meq/l	0.65
Potasio meq/l	0.03
SUMA DE CATIONES	2.27
Cloruro meq/l	0.34
Sulfato meq/l	0.27
Bicarbonato meq/l	1.64
Nitratos meq/l	0.00
Carbonatos meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES	2.26
SAR	0.73
CLASIFICACION	C1-S1
Boro ppm	0.12

Tabla 19: Resultados del análisis de suelo-salinidad y sodicidad



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
 DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
 LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO
 Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Análisis de Suelo - Salinidad y Sodicidad

SOLICITANTE : RAMOS GUEVARA KOKY EYNER
PROYECTO : Recuperación de suelos salinos - sodicos - Zaña
PROCEDENCIA : Cayalti - Zaña - Chiclayo - Lambayeque
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 29 de Enero del 2016

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	MO %	P ppm	K ₂ O ppm	CaCO ₃ %	Cationes						PSI
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						LiC TOTAL	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺⁺⁺ -H ⁺	
9226	Suelo	14.73	35.68	39.28	25.04	Franco	8.5	2.32	36.10	1,802.00	12.29	31.36	21.84	2.90	3.39	3.23	-	5.02

MUESTRA		Saturación %	pH Suelo-Agua 1:3	C.E. dSm 1:3	CATIONES SOLUBLES (meq/l)					ANIONES SOLUBLES (meq/l)					Yeso Soluble %	Boro Soluble ppm	
Lab.	Campo				Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SUMA	Cl	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃			SUMA
9226	Suelo	42.00	8.4	19.20	18.00	25.00	5.31	143.48	191.79	140.00	40.89	0.00	9.96	0.80	191.66	0.10	0.00

ANEXO 2: MAPAS

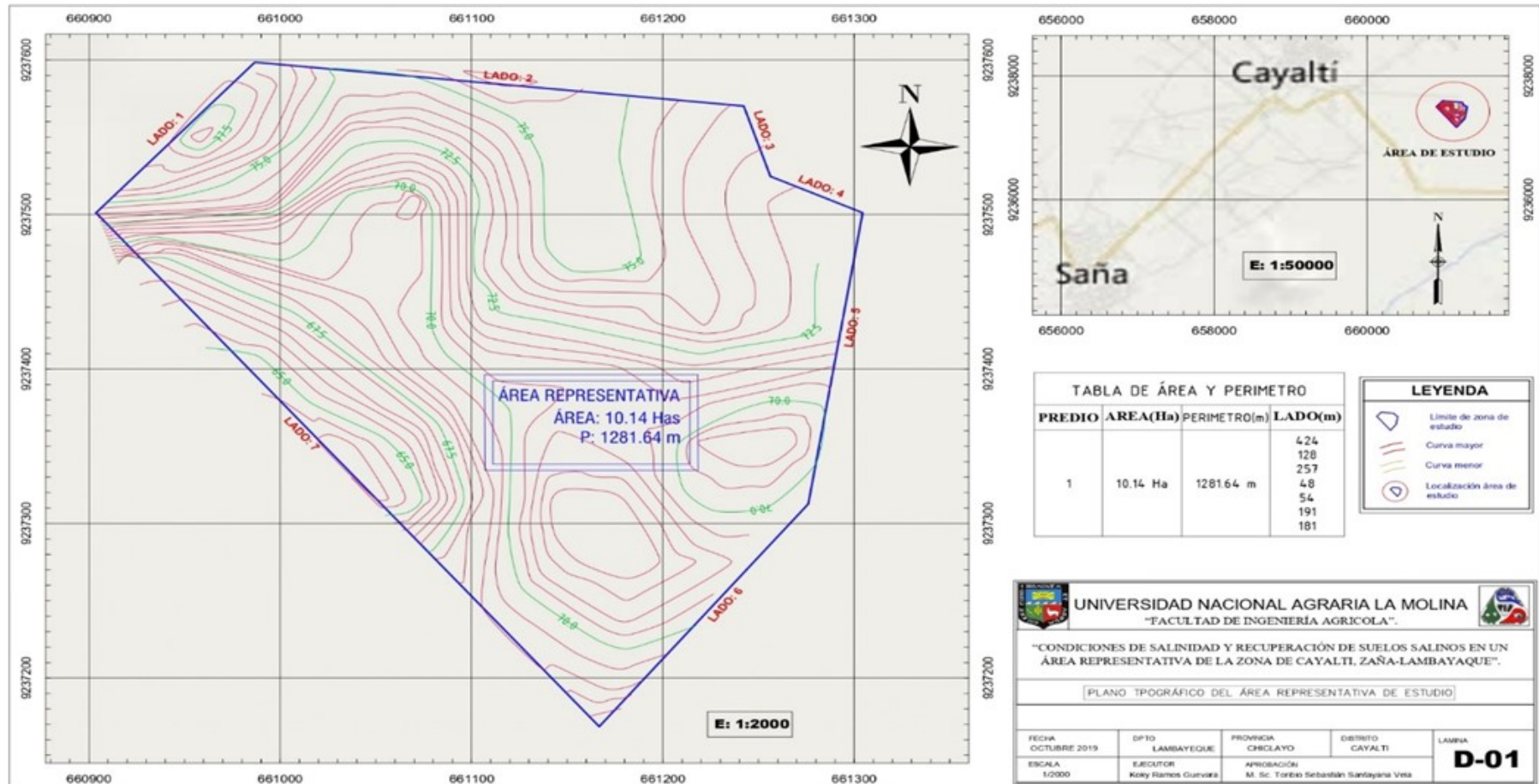


Figura 41: Plano topográfico y mapa de ubicación del área representativa de estudio

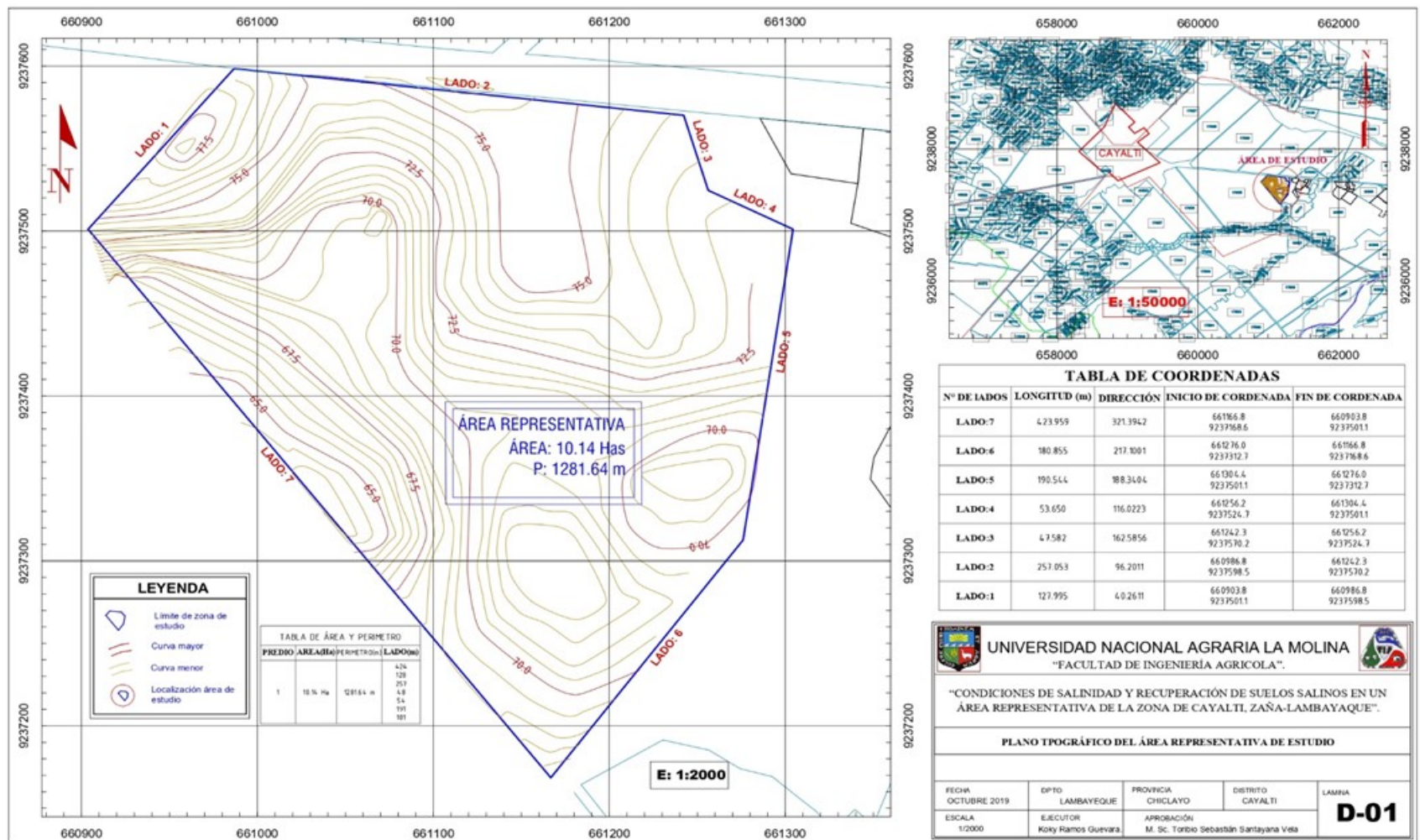


Figura 42: Plano topográfico del área representativa de estudio

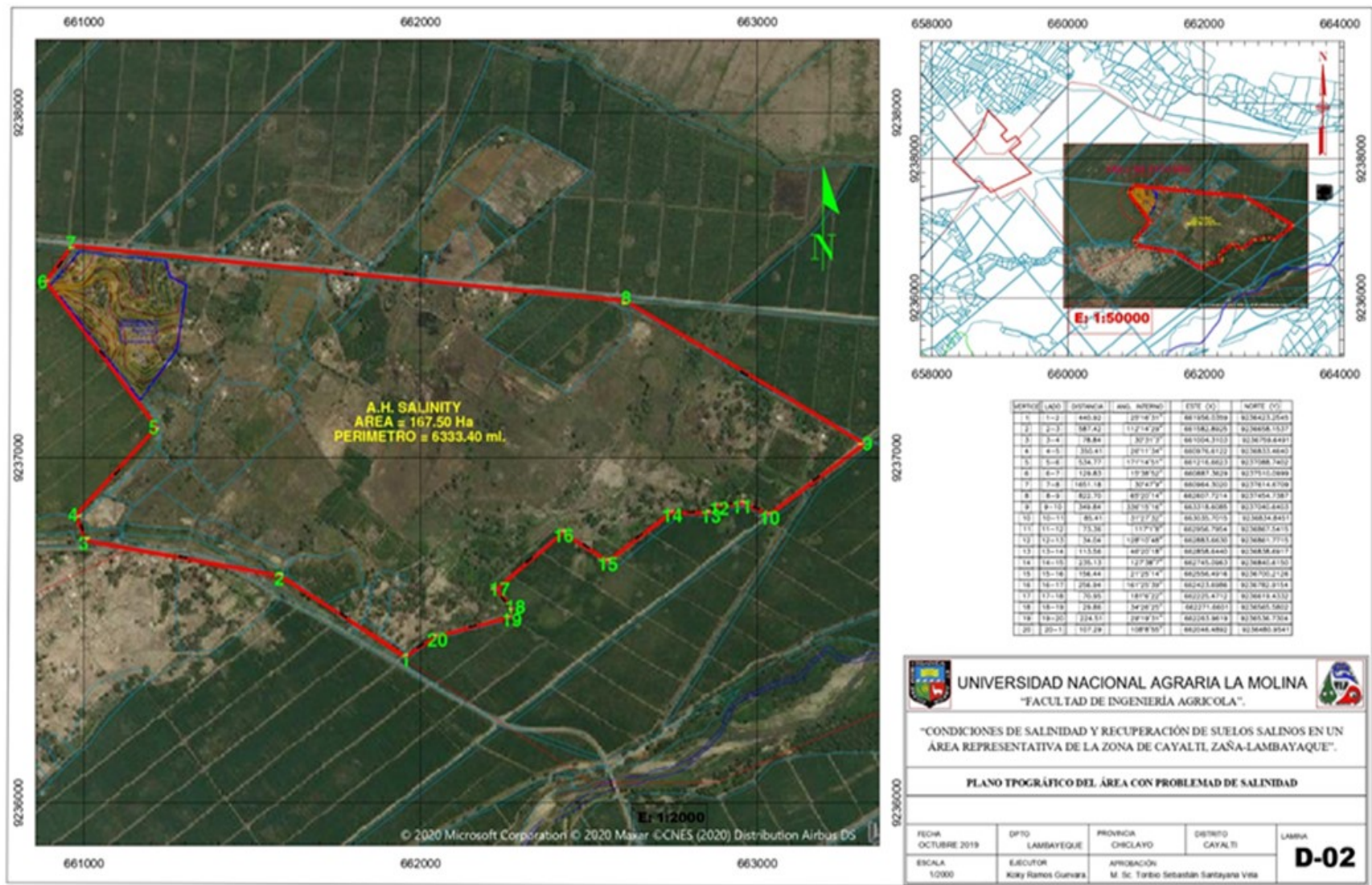


Figura 43: Plano topográfico del área con problemas de salinidad