

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“CONDICIONES DE SALINIDAD Y RECUPERACIÓN DE LOS
SUELOS DE LA CANCHA PÚBLICA DE GOLF - SAN
BARTOLO, LIMA”**

Presentada por:

PAMELA MARGARITA RAMIREZ ALALUNA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

Lima – Perú

2016

*A mis padres Guillermo y Luzmila,
por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional.*

*A mi hermana Magaly,
por los momentos compartidos.*

AGRADECIMIENTOS

Al M.Sc. Sebastián Santayana Vela, por la confianza, oportunidad y compromiso en la realización de esta tesis.

Al Bach. Romer Asencios Astorayme, por el apoyo brindado durante el desarrollo de la etapa de campo del presente trabajo de investigación.

Al personal del Laboratorio de Riego y Drenaje de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, por su orientación técnica y la amistad brindada.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. OBJETIVOS GENERALES	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. SALINIDAD	4
2.1.1. SALINIDAD EN EL PERÚ	4
2.2. ORIGEN DE LAS SALES	5
2.2.1. CICLOS DE SALINIZACIÓN	8
2.2.2. FORMACIÓN DE SUELOS SALINOS	9
2.3. SALES PRESENTES EN LOS SUELOS	10
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS AFECTADOS POR SALES	11

2.4.1.	METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL SUELO	12
2.4.2.	SUELOS SALINOS	17
2.4.3.	SUELOS SÓDICOS	17
2.4.4.	SUELOS SALINOS-SÓDICOS	18
2.4.5.	SUELOS NORMALES	18
2.5.	SALINIZACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS	18
2.6.	EFFECTOS DE LA SALINIZACIÓN EN LOS SUELOS	19
2.7.	ALTERNATIVAS DE RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS	21
2.7.1.	MÉTODOS FÍSICOS	21
2.7.2.	MÉTODOS QUÍMICOS	22
2.7.3.	MÉTODO DE LAVADO DEL SUELO	23
2.8.	SALINIDAD EN LAS CANCHAS DE GOLF	26
2.8.1.	CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO DE UNA CANCHA DE GOLF	26
2.8.2.	PASPALUM VAGINATUM	29
2.9.	ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO	30
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	34
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	34
3.1.1.	UBICACIÓN	34
3.1.2.	CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ENTORNO	35
3.1.3.	CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	39
3.2.	MATERIALES Y EQUIPOS	43
3.3.	PROCEDIMIENTO	44
3.3.1.	RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN	45
3.3.2.	ETAPA DE CAMPO	49
3.3.3.	ETAPA DE LABORATORIO	52

3.3.4. ETAPA DE GABINETE	53
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1. EVALUACIÓN DE LA SALINIDAD	55
4.2. EVALUACIÓN DE LA SODICIDAD	60
4.3. EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD	61
4.4. PRUEBAS DE LAVADO	63
V. CONCLUSIONES	74
VI. RECOMENDACIONES	75
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
VIII. ANEXOS	81
ANEXO 1. TABLAS Y FIGURAS	81
ANEXO 2. MAPAS	90

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Página
2.1: Suelos salinos en la costa peruana	6
2.2: Categorización de los suelos de acuerdo a la especie mineral	10
2.4: Clasificación de los suelos de acuerdo a la especie mineral	12
2.5: Suelos salinos según la conductividad eléctrica	14
2.6: Categorización de los suelos según el porcentaje de sodio intercambiable	15
2.7: Capacidad de intercambio catiónico (CIC) según el tipo de suelo	15
2.8: Categorización de los suelos según la relación de adsorción de sodio	17
2.9: Alternativas de recuperación según las condiciones del suelo	25
2.10: Características del <i>Paspalum vaginatum</i>	29
3.1: Aspectos fisiográficos de la costa	38
3.2: Análisis de calidad de agua	41
3.3: Materiales, equipos y herramientas computacionales	43
3.4: Conductividad eléctrica a diferentes profundidades	45
3.5: Resultados de las pruebas de permeabilidad	46
3.6: Resultados de pruebas de lavado	46
3.7: Conductividad eléctrica en los puntos de muestreo a 30 cm de profundidad	47
3.8: Informe del análisis textural en muestras de suelo (Calicatas CP1 y CP2)	47
4.1: Resultados de pH, CE a 15 cm y 30 cm de profundidad	55
4.2: Resultados de PSI y RAS del suelo a 15 cm y 30 cm de profundidad	60
4.3: Resultados de las pruebas de permeabilidad	61

4.4: Resultados de la prueba de lavado, Poza - 1 (CE en dS/m)	65
4.5: Valores medios de CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo de la prueba de lavado, Poza - 1	65
4.6: Resultados de la prueba de lavado, Poza - 2 (CE en dS/m)	66
4.7: Valores medios de CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo de la prueba de lavado, Poza - 2	66
4.8: Resultados de la prueba de lavado, Poza - 3 (CE en dS/m)	67
4.9: Valores medios de CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo de la prueba de lavado, Poza - 3	67
4.10: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 45 cm de profundidad, Poza - 1	68
4.11: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 60 cm de profundidad, Poza - 1	69
4.12: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 45 cm de profundidad, Poza - 2	70
4.13: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 60 cm de profundidad, Poza - 2	71
4.14: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 45 cm de profundidad, Poza - 3	72
4.15: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 60 cm de profundidad, Poza - 3	73

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Página
2.1: Variación e interpretación en la escala de pH respecto a la solución del suelo	14
2.2: Gráfico para el cálculo del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en función de la relación de adsorción de sodio (SAR o RAS)	16
2.3: Esquema para diagnosticar la recuperación por lavado de suelos salinos y sódicos	25
2.4: Clasificación de las aguas de riego	28
2.5: Vista del perfil de la calicata profunda CP1	31
2.6: Vista del perfil de la calicata profunda CP2	31
2.7: Mapa de la Cancha Pública de Golf (marzo, 2012)	32
2.8: Mapa del diseño de la Cancha Pública de Golf (julio, 2012)	33
3.1: Mapa de la zona sur de Lima Metropolitana	34
3.2: Ubicación de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo	35
3.3: Variación típica anual de la temperatura del distrito de San Bartolo según el Modelo Köppen	36
3.4: Climograma típico anual del distrito de San Bartolo según el Modelo Köppen	36
3.5: Plano de Ubicación de la Cancha Pública de Golf	40
3.6: Esquema de la metodología del estudio	44
3.7: Mapa de isoconductividad (julio, 2012)	48
3.8: Vista panorámica del área de estudio (C-1)	49
3.9: Plano de ubicación de los puntos de control, calicatas, pruebas de permeabilidad y pruebas de lavado	50

3.10: Disposición del equipo para medir la variación del nivel de agua en los cilindros infiltrómetros	51
3.11: Construcción y llenado de las pozas de lavado (Poza-2 y Poza-3)	51
3.12: Muestreo de suelo luego de la aplicación de la lámina de agua, Poza - 2	52
3.13: Análisis de las muestras de suelo en el Laboratorio de Riego y Drenaje (DRH - FIA)	53
4.1: Perfiles de salinidad de las calicatas C-1, C-2 y C-3	57
4.2: Mapa de isoconductividad eléctrica a 15 cm de profundidad	58
4.3: Mapa de isoconductividad eléctrica a 30 cm de profundidad	59
4.4: Curvas de infiltración	62
4.5: Perfil del suelo hasta 60 cm antes y después de la aplicación de las dos primeras láminas (Poza - 2)	63
4.6: Perfiles de salinidad de las pruebas de lavado	64
4.7: Curva de lavado, Poza - 1	65
4.8: Curva de lavado, Poza - 2	66
4.9: Curva de lavado, Poza - 3	67
4.10: Curva de lavado teórica a 45 cm, Poza - 1	68
4.11: Curva de lavado teórica a 60 cm, Poza - 1	69
4.12: Curva de lavado teórica a 45 cm, Poza - 2	70
4.13: Curva de lavado teórica a 60 cm, Poza - 2	71
4.14: Curva de lavado teórica a 45 cm, Poza - 3	72
4.15: Curva de lavado teórica a 60 cm, Poza - 3	73

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
ANEXO 1. TABLAS Y FIGURAS	81
TABLAS	
A1.1: pH en los puntos de control (02.10.2015)	81
A1.2: pH en las calicatas (03.10.2015)	82
A1.3: Conductividad Eléctrica (CE) en los puntos de control (02.10.2015)	82
A1.4: Conductividad Eléctrica (CE) en las calicatas (03.10.2015)	83
A1.5: pH y conductividad eléctrica de la prueba de lavado, Poza - 1	83
A1.6: pH y conductividad eléctrica de la prueba de lavado, Poza - 2	84
A1.7: pH y conductividad eléctrica de la prueba de lavado, Poza - 3	85
A1.8: Resultados de análisis de cationes cambiables (meq/100g) para determinación de la CIC y el PSI en las calicatas a 15 cm de profundidad	88
A1.9: Resultados del análisis de iones solubles (meq/l) en muestras tomadas a 30 cm de profundidad de las calicatas	88
A1.10: Datos de las pruebas de permeabilidad	89
FIGURAS	
A1.1: Reporte del laboratorio del análisis de caracterización del suelo para las calicatas C-1, C-2 y C-3 (PM-14, PM-15 y PM-16), a 15 cm de profundidad	86
A1.2: Reporte del laboratorio del análisis especial del suelo para las calicatas C-1, C-2 y C-3 (PM-14, PM-15 y PM-16), a 30 cm de profundidad	87
ANEXO 2. MAPAS	90
A2.1: Mapa de replanteo (mayo, 2015)	90

RESUMEN

La presente investigación consistió en evaluar 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, posteriormente, implementar el cultivo de césped en ésta área deportiva. Este trabajo se desarrolló en tres etapas, una fase de campo, en donde se reconoció la zona, tomaron muestras de suelo y efectuaron pruebas de lavado y permeabilidad; una fase de laboratorio, en donde se caracterizó el suelo, se determinó el pH, conductividad eléctrica, iones solubles y cationes intercambiables; por último, una fase de gabinete, en donde se procesaron los datos, elaboraron perfiles de salinidad, perfiles y curvas de lavado y mapas de isoconductividad. Según los resultados obtenidos, el contenido de sales en esta zona es muy elevada, ya que aproximadamente el 80 por ciento del campo presenta niveles superiores a 50 dS/m, clasificándolo como extremadamente salino; mientras que el área restante tiene niveles de salinidad inferiores de hasta 8.08 dS/m. Con respecto a 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 para las calicatas C-1 y C-2 igual 23.6 y 35.5 señala que hay bajo y moderado riesgo de sodicidad, respectivamente, en el caso de la calicata C-3, el valor obtenido es de 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, reflejado en los resultados de las pruebas realizadas; es por ello que se recomendó subsolar el suelo previamente, con el fin de favorecer el lavado, además de optar por la variedad *Paspalum vaginatum* para implementar la cancha de golf.

Palabras clave: salinidad, sodicidad, permeabilidad, lavado de sales, cancha de golf.

ABSTRACT

This research consisted in assessing the conditions salinity and sodicity of soil of the Public Golf Course, located in the district of San Bartolo, Lima, for recovery purposes and later implement the cultivation of turfgrass in this sports area. This work was developed in three stages, a field phase where the area was recognized, took soil samples and performed tests washing and permeability, a laboratory phase where soil was characterized, pH, electrical conductivity, soluble ions and interchangeable cations were determined, lastly, a cabinet phase, where the data were processed, elaborated salinity profiles, profiles and the leaching curves and isoconductivity maps. According to the results obtained the salt content in this zone is very high, since approximately 80 percent of the field has levels higher than 50 dS/m classifying it as extremely saline, while the remaining area has lower salinity levels of up to 8.08 dS/m. With respect to sodicity, the calculated values of PSI less than 15 percent indicate that there is not danger of this type, on the other hand, the estimated SAR for the pits C-1 and C-2 are equal 23.6 and 35.5 indicates that there is a low and moderate risk of sodicity, respectively, in the case of the pit C-3 the value obtained is 215.2 and is considered as strongly sodium. Finally, it was determined that the soil has moderate permeability, due to the fact that it presents very compacted layers, which makes difficult its recovery through the direct leaching process, reflected in the results of the tests carried out, that is why it was recommended decompress the ground previously in order to favor washing, in addition of opt for the variety *Paspalum vaginatum* to implement the golf course.

Keywords: salinity, sodicity, permeability, salts washing, golf course.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

En la actualidad, el tema de salinidad no es ajeno a la realidad nacional. A lo largo de la costa peruana, especialmente en los valles, se ha manifestado como un factor limitante en la implementación de proyectos de riego, desarrollo de actividades agrícolas y para fines recreacionales, ya que tiende a degradar la calidad del suelo junto a sus propiedades físicas y químicas, dando paso a su abandono y a las correspondientes pérdidas económicas.

Los suelos afectados por sales se desarrollan usualmente en zonas áridas y semiáridas, donde la evaporación es mayor que la precipitación. También, puede presentarse esta problemática en zonas con prolongados periodos de sequía, como en lugares templados, secos y trópicos secos. Otros sectores donde es posible encontrar suelos con similares problemas, son los cercanos al mar (costas, lagunas, litorales y pantanos), o bien en la cercanía de manantiales de aguas y napas freáticas salinas. En consecuencia, la salinidad en forma natural, está ampliamente distribuida a nivel mundial y se incrementa a medida que se presentan cambios climáticos; procesos geomorfológicos de sedimentación, erosión y redistribución de materiales; así como cambios en la hidrología superficial y subterránea.

No existe información actualizada a nivel nacional, concerniente al tema de salinidad, desde la década del 70. Según la información recopilada por el Instituto Nacional de Desarrollo (INADE), el Perú, en ese entonces, tenía aproximadamente un millón de hectáreas con aptitud para riego en la costa peruana; de las cuales, cerca de 750 000 hectáreas estaban cultivadas, y de éstas, casi la mitad con problemas de salinidad y mal drenaje. Según Pastor (2010), la salinización de los suelos agrícolas en las zonas de la costa peruana, es un proceso contaminante y creciente, por esta razón la pequeña agricultura tiene limitaciones financieras para enfrentar el problema. Además, esta parte del país se caracteriza por tener suelos arenosos, con excepción de algunos valles fértiles, cuya fuente de agua proviene de los ríos de la cuenca del Pacífico. Su clima es árido y se

caracteriza por la escasa precipitación; por lo tanto, al ser el agua un recurso escaso, la posibilidad de desarrollo de esta parte del país va a depender de la implementación, administración y manejo de los recursos hídricos.

De otro lado, para implementar cualquier tipo de proyecto, es necesario evaluar las condiciones del espacio en donde se va a instaurar, así como los impactos o consecuencias que traerá. Las canchas de golf no son ajenas a esta situación, ya que el golf es una actividad integrada al entorno natural, por lo que su diseño debe considerar la parte ambiental de la zona en donde se ubica. Asimismo, existe una relación suelo, planta, agua y sal, de las cuales va a depender las condiciones de salinidad y drenaje, como también de la tolerancia a las sales por parte del césped; por lo tanto, es importante mantener la salinidad del suelo a niveles que favorezcan su crecimiento adecuado, para que el diseño del campo de golf no sea alterado.

La acumulación de sales en el suelo es la causa más común del daño a las plantas; esto se debe a la irrigación con solución salina, pero normalmente debe pasar un largo período de tiempo antes de que la sal en el suelo perjudique a las plantas. Tanto la irrigación salina, la precipitación mínima, el inadecuado riego y drenaje deficiente aumentarán la probabilidad de que las condiciones del suelo sean salinas. Además, es importante considerar que, en zonas cercanas al litoral, los niveles freáticos son superficiales y la topografía muy plana, por lo que el drenaje natural del suelo se dificulta (Pastor, 2010).

En el caso de la cancha de golf de San Bartolo, se busca instalar césped, y administrar de modo adecuado este espacio deportivo. Para ello, la Federación Peruana de Golf, en el 2012, estableció que los suelos de esta zona eran salinos y sódicos, de difícil lavado y de capas muy compactadas, debido a diversos factores, tales como la ausencia de fuentes de agua para riego (FPG, 2012-b).

El presente trabajo de investigación determinó las condiciones de salinidad y sodicidad de los suelos, siguiendo una metodología adecuada, con cuyos resultados se plantea alternativas de solución o mitigación para este tipo de problemas. Asimismo, a partir de los resultados obtenidos acerca de las condiciones del suelo de la Cancha Pública de Golf - San Bartolo, Lima, y de las soluciones planteadas para mejorarlas, se podría utilizar este diagnóstico para casos similares y en otras investigaciones.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

- Establecer las condiciones de salinidad, sodicidad y permeabilidad del suelo de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo con fines de recuperación.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los niveles de salinidad y sodicidad del suelo para identificar las zonas críticas del campo de golf.
- Estimar los parámetros de permeabilidad del suelo para su posterior recuperación.
- Evaluar las condiciones de recuperación del suelo mediante el proceso de lavado.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. SALINIDAD

Desde tiempos antiguos, el problema de la degradación del suelo se ha manifestado como un factor limitante no sólo en el desarrollo de la agricultura, sino también de la población. Este es el caso de la salinidad, que puede llegar a ser considerada una amenaza persistente en la producción, más aún cuando las condiciones ambientales, además del manejo del riego y del suelo deficiente, propician cambios económicos y sociales relevantes.

Si bien a lo largo del tiempo la salinización ha sido un problema permanente, recién en el último periodo del siglo XIX y comienzos del siglo XX, diversos investigadores establecieron una base conceptual al respecto. Sin embargo, no fue hasta 1954 que el United States Salinity Laboratory de Riverside logra reunir la información necesaria para el diagnóstico y manejo de este tipo de suelos (Porta et al, 2003).

Diversos autores han coincidido en catalogar a la salinidad como un fenómeno producto de la acumulación de sales solubles en el suelo. Sin embargo, no fue hasta 1993, en el Seminario Cuba-México, que se estableció un concepto nuevo de salinidad; según Flores et al (1996), “es el resultado de procesos naturales y/o antrópicos presentes en todos los suelos que conducen en menor o mayor grado a una acumulación de sales, que pueden afectar la fertilidad del suelo”.

En términos generales, la salinidad es consecuencia de la acumulación excesiva de sales solubles (cloruros, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, nitratos de sodio, potasio, calcio y magnesio), tanto en aguas como en el suelo, que a su vez poseen un efecto negativo en las propiedades físicas y químicas de este, además de afectar el desarrollo de la vegetación.

2.1.1. SALINIDAD EN EL PERÚ

A lo largo de los años, la salinización ha sido un problema que se ha ido incrementando, especialmente en la costa peruana. Esto se debe, básicamente, a características

geomorfológicas y geológicas, además de un mal manejo del agua de riego y a un deficiente drenaje de los suelos, correspondiente a los valles de las zonas costeras. Por otro lado, la existencia de una alta tasa de evapotranspiración y precipitación mínima, hacen de la costa un espacio ideal para almacenar un alto contenido de sales, que quedan retenidas en el suelo.

Asimismo, existen condiciones propias que definen las características de los suelos salinos, ya sea en los valles irrigados y en los desiertos o pampas costeras (ONERN, 1973). En los valles irrigados, la expansión de las áreas de cultivo y la mala aplicación del agua de riego, ha originado el ascenso del nivel freático en la parte baja. Adicionalmente, la acumulación de sales en el perfil del suelo contribuye al desarrollo de los problemas de salinidad. En el caso de los desiertos o pampas costeras, la presencia de sales se relaciona al origen marino, concentrándose bajo la forma de capas hardpánicas (caliche).

Desde que en 1973 la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) realizó un estudio sobre los problemas de salinidad, no existe información actualizada (Elgegren y Lee, 2007). En ese entonces, se estimó cerca de 300 000 ha con problemas de drenaje y salinidad a lo largo de la zona costera, que se presenta en la Tabla 2.1.

2.2. ORIGEN DE LAS SALES

Las sales en el suelo pueden presentar diversos orígenes, según Navarro y Navarro (2013), la fuente principal son los minerales primarios presentes en la superficie terrestre gracias a los procesos de erosión química, los cuales permiten que los constituyentes de la sal sean liberados y se hagan solubles, permitiendo su transporte a través de corrientes superficiales y subterráneas. Asimismo, otro factor que da origen a las sales es el antrópico, debido al manejo inadecuado del agua y del suelo.

De otro lado, Badía (1992), asocia la existencia de las sales solubles en la corteza, no sólo a una causa antrópica, sino también a un origen marino o litológico, al margen de las causas climatológicas y geomorfológicas. Ello se debe a que en zonas cercanas al litoral el transporte de sales es cíclico (del mar al suelo) permitiendo que la presencia de sales se acentúe, mientras que en algunos suelos el material sedimentado es de origen marino.

Tabla 2.1: Suelos salinos en la costa peruana

Valle	Superficie con aptitud para riego (ha)	Superficie física bajo riego actual (ha)	Área bajo riego sin problemas de drenaje ni salinidad (ha)	Salinidad ligera a moderada, drenaje imperfecto (ha)	Fuertemente salinos sin problemas de drenaje (ha)	Severa y muy severamente salinos y muy 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	34 762	28 748	5 514	500	4 050	10 064
Medio y Bajo Piura	39 400	39 400	15 813	15 734	4 674	18 336	38 744
Alto Piura	26 500	15 288	4 288	2 000	5 000	4 000	11 000
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-Sechin	22 905	17 015	13 835	1 150	1 130	900	3 180
Culebras	1 735	1 735	1 355	380			380
Huarmey	4 250	3 026	1 956	290	490	290	1 070
Fortaleza-Pativila-Supe	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	1 770	610	2 020	4 400
Chillón-Rimac-Lurín	20 000	16 500	13 786	1 000		1 714	2 714
Mala	6 000	5 048	4 608		440	1 150	1 590

Tabla 2.1: Continuación...

Valle	Superficie con aptitud para riego (ha)	Superficie física bajo riego actual (ha)	Área bajo riego sin problemas de drenaje ni salinidad (ha)	Salinidad ligera a moderada, drenaje imperfecto (ha)	Fuertemente salinos sin problemas de drenaje (ha)	Severa y muy severamente salinos y muy 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	6 930	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
Chili reg. Yura-Vitor-Siguas	31 691	28 846	27 404	528	100	1 314	1 942
Chili no regulado	6 345	6 345	6 345				N.D.
La Joya antigua y nueva	8 663	8 663	8 663				N.D.
Tambo	10 652	10 652	5 911	2 341	1 000	1 400	4 741
Locumba	7 548	6 584	3 405		1 179	2 000	3 179
Sama	8 748	5 688	2 792		971	1 925	2 896
Moquegua	16 092	4 826	4 309			517	517
Caplina-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

2.2.1. CICLOS DE SALINIZACIÓN

Debido a que las sales del suelo se acumulan de manera sistemática y secuencial, Porta et al (2003) diferencia los ciclos de salinización en:

a. Ciclos continentales

La formación de los suelos es un proceso que lleva millones de años y está relacionada directamente con los factores ambientales.

Al modificarse la roca madre mediante agentes externos, se desarrollan una serie de transformaciones que alteran las propiedades originales, denominado intemperismo o meteorización. Al afectar esto a las rocas ígneas y/o sedimentarias se liberan una serie de sales (cloruros, sulfatos, bicarbonatos y carbonatos sódicos) que se transportan a través del viento, agua superficial y subterránea, se redistribuyen o simplemente quedan *in situ*. Además, el proceso está condicionado por el clima, la humedad del suelo, geomorfología y el drenaje.

- **Ciclo continental de acumulación primaria:** Las sales solubles presentes en el suelo proceden de la meteorización de las rocas, las cuales se acumulan *in situ* y no son transportadas (Jahnsen, 2013).
- **Ciclo continental de acumulación secundaria de sales:** En este caso, las sales se movilizan, redistribuyen y acumulan en sitios apartados de su lugar de origen (Jahnsen, 2013).

b. Ciclos marinos

Relacionados con la acumulación de sales marinas, especialmente cloruro sódico, en zonas del litoral.

Estas sales provienen de la intrusión marina, lo que permite una similitud en la composición química entre las sales del suelo y del mar (Flores, 1991). Asimismo, las sales pueden ser transportadas del mar al suelo por acción del viento.

c. Ciclos deltáicos

Jahnsen (2013) describe a los deltas como aquellos espacios ideales para el desarrollo de la agricultura debido a la disponibilidad hídrica y la alta fertilidad que presenta el suelo. Sin embargo, estas características propician una elevada vulnerabilidad en los suelos, ya que la interacción del agua de mar, el agua

transportada por los ríos y el agua de la napa freática conlleva a procesos de salinización. Además, este proceso es resultado de los dos ciclos descritos anteriormente.

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.

e. Ciclos antropogénicos

Como se ha mencionado anteriormente, este ciclo es causado por la intervención humana y producto de un inadecuado manejo del suelo y agua; ya que actividades como el riego excesivo, el uso de agua salina, un mal lavado del suelo, uso inapropiado de fertilizantes y hasta las actividades industriales y mineras contribuyen a la liberación y acumulación excesiva de sales.

2.2.2. FORMACIÓN DE SUELOS SALINOS

Aceves (1981), citado por Flores (1991), resume en tres etapas la formación de los suelos salinos:

a. Salinización

Para que se lleve a cabo este proceso, se requiere la presencia de una napa freática salina a poca profundidad; además, la relación de evapotranspiración y precipitación debe ser mayor a uno; motivo por el cual esta situación es usual en zonas áridas y semiáridas y casi nulas en zonas húmedas. (USSLR, 1954).

Según las condiciones descritas anteriormente, en estos suelos las sales pueden encontrarse en la superficie y en las capas cercanas (a 50 centímetros de profundidad aproximadamente), propiciando la formación de costras salinas. Por tanto, al existir una elevada concentración de sales solubles se va a formar una corteza blanca continua, conocida como suelos salinos blancos o también denominados *Solonchak* (Ibañez y Manríquez, 2013).

b. Desalinización

En este caso, las sales son removidas de la capa superficial del suelo y depositadas en horizontes subsuperficiales, por lo general arcillosos y fuertemente estructurados. Esto se debe a la saturación del complejo de cambio con iones de sodio, desplazando al calcio y magnesio, dando paso a la formación de suelos sódicos o *Solonetz* (Flores, 1991).

c. Lixiviación

Las sales solubles presentes en el suelo se lavan completamente gracias a reacciones hidrolíticas que fraccionan los silicatos, dando paso a un suelo degradado similar a un *Podzol* (*Solod*), tal como lo indica Flores (1991).

Es importante resaltar que, para fines del estudio, es preferible centrarse en los conceptos de salinización y desalinización de los suelos.

2.3. SALES PRESENTES EN LOS SUELOS

Según Porta y López-Acevedo (2005), la salinidad hace referencia a sales más solubles que el yeso, por tanto, es errado catalogar la calcita, el yeso o los suelos que poseen estos componentes, como suelos salinos (Tabla 2.2).

Tabla 2.2: Categorización de los suelos de acuerdo a la especie mineral

Especie mineralógica	Categoría
Calcita (CaCO_3)	Suelos calizos
Calcita, calcita magnésica, dolomita	Suelos calizos
Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	Suelos yesosos
Sales más solubles que el yeso	Suelos salinos

Fuente: Porta y López-Acevedo, 2005

El suelo posee diversos grupos de sales de acuerdo al medio o condiciones en las que se encuentre. Los grupos más frecuentes son los cloruros, sulfatos y bicarbonatos que se presentan en la Tabla 2.3.

Es importante resaltar que, tanto el carbonato como el bicarbonato sódico son propios de los problemas de sodicidad del suelo, otorgando condiciones totalmente desfavorables para el desarrollo de cultivos (Jahnsen, 2013).

Tabla 2.3: Principales tipos de sales solubles

Clase	Presencia en suelos salinos	Criterios de diagnóstico
Cloruros		
Sódico (*)	Común	- Eflorescencias blancas, sabor salado. Típico de suelos salinos. - Eflorescencias blancas, sabor amargo.
Magnésico	Común	Superficie del suelo húmeda mucho tiempo. Salinidad muy alta.
Cálcico	Rara	- Muy poco frecuente
Potásico	Baja	- Suelos de cultivo intensivo. Salinidad provocada por exceso de fertilizantes.
Sulfatos		
Sódico (*)	Común	- Eflorescencias blancas, sabor a jabón y salado. Común.
Magnésico	Común	- Común en suelos salinos
Potásico	Baja	- En suelos de cultivo por exceso de fertilización. Invernaderos.
Carbonato sódico	Suelos sódicos	- Suelos alcalinos
Bicarbonato sódico	Suelos sódicos	- Suelos alcalinos

(*) La solubilidad disminuye de forma significativa al disminuir la temperatura.

Fuente: Porta y López-Acevedo, 2005

2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS AFECTADOS POR SALES

La presencia de sales en el suelo tiende a variar de acuerdo al origen de la salinización o de las condiciones bajo las que se acumulan, por esta razón es que se da la siguiente clasificación:

- Suelos salinos
- Suelos sódicos
- Suelos salinos-sódicos

Sin embargo, para realizar esta clasificación, es necesario conocer ciertos parámetros y que estos estén dentro de un determinado rango para así poder identificar y detallar las características propias del suelo.

2.4.1. METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL SUELO

Para identificar y categorizar el suelo, ya sea como salino y/o sódico, es necesario realizar una serie de actividades tanto en campo como en laboratorio.

a. Actividades de campo

- **Permeabilidad del suelo**

Guerrero (2013), indica que la permeabilidad es la capacidad que posee el suelo, como medio poroso, para el movimiento de agua y aire en su interior.

Para determinar la permeabilidad del suelo, se emplea el método de los cilindros infiltrómetros, los cuales constan de dos anillos concéntricos, uno interior, de 20 centímetros de diámetro, y otro exterior, de 40 centímetros de diámetro. En el anillo interior se coloca una determinada cantidad de agua y se observa el tiempo que tarda en infiltrarse en el suelo. Además, es importante resaltar que esta prueba debe hacerse en zonas representativas del área de estudio.

El objetivo de esta prueba es determinar la velocidad de infiltración, que es la relación entre la lámina de agua infiltrada y el tiempo en que se filtra dicha lámina, que, por lo general, se expresa en centímetros por hora. En la Tabla 2.4 se presenta las clases de permeabilidad según Guerrero (2013), expresadas tanto en centímetros por hora (cm/hora) como en centímetros por día (cm/día).

Tabla 2.4: Clasificación de los suelos de acuerdo a la especie mineral

Clase de permeabilidad	Índice de permeabilidad		Tipo de suelo
	(cm/hora)	(cm/día)	
Muy lenta	< 0.13	< 3	Arcillas, clay pan, masivos
Lenta	0.13 – 0.6	3 - 12	Arcillas, masivos, limosos
Moderadamente lenta	0.6 – 2.0	12 – 48	Franco arcillo limosos
Moderada	2.0 – 6.3	48 – 151	Franco limoso, franco
Moderadamente rápida	6.3 – 12.7	151 – 305	Franco arenoso
Rápida	12.7 – 25	305 – 600	Arena franca, suelto sin estructura
Muy rápida	> 25	> 600	Arena franca gruesa, arena suelta, grano simple

Fuente: Guerrero, 2013

- **Pruebas de lavado del suelo**

Consisten en la construcción de pequeñas pozas representativas, ubicadas estratégicamente, en donde se aplica láminas de agua, con la finalidad de establecer las condiciones de lixiviación de las sales del suelo.

La cantidad de agua total requerida para el lavado va a depender de la cantidad de sales presentes inicialmente; para ello se debe tomar muestras del suelo antes de aplicar la primera lámina, con la finalidad de establecer las condiciones iniciales; y después de la aplicación de las otras láminas. Además, se debe considerar la concentración de sales estimada y la profundidad del suelo a recuperar.

La variación de la concentración salina en cada muestra es controlada con los valores de la conductividad eléctrica.

b. Mediciones de Laboratorio

- **pH**

El pH es un indicador usado para medir el grado de acidez o alcalinidad de una solución.

Este parámetro se mide en una solución, en el caso del suelo en el extracto de saturación, mediante el instrumento denominado peachímetro. En tanto, para calcular este valor es necesario conocer la cantidad de iones hidronio (H^+) y iones hidroxilo (OH^-). Si la concentración de iones es igual, es decir que el valor de ambos es de 1×10^{-7} , el nivel de pH es neutro; pero si varía, tiende a ser ácido o alcalino (Figura 2.1).

Según Nuñez (2000) y bajo este criterio, en los suelos se presenta tres casos:

- **Acidez:** Se da cuando en los suelos existe una alta precipitación y un buen drenaje. El pH es menor a 7.
- **Neutralidad:** pH igual a 7
- **Alcalinidad:** Denominado también basicidad. En este caso hay índices bajos de precipitación y de lavado; lo que facilita una alta concentración de sales. El pH es mayor a 7.

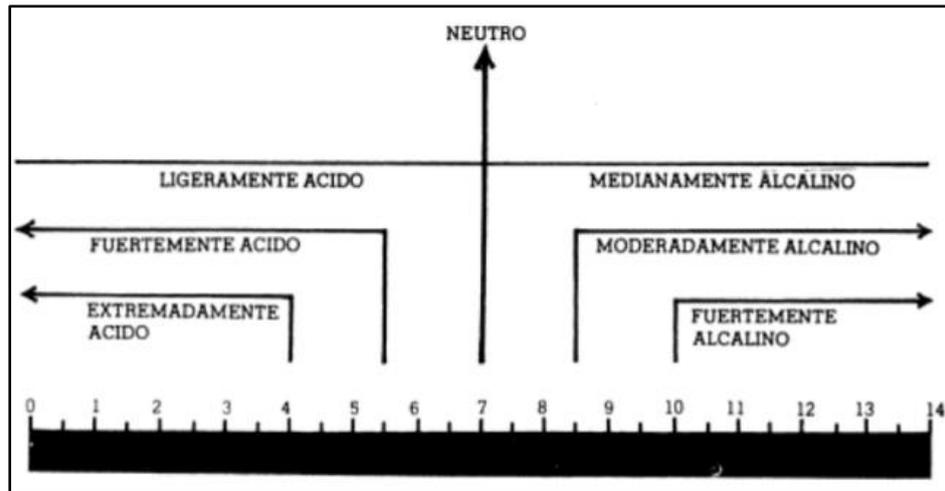


Figura 2.1: Variación e interpretación en la escala de pH respecto a la solución del suelo

Fuente: Núñez, 2000

- **Conductividad eléctrica**

Este parámetro permite estimar la cantidad de sales presentes en una pasta saturada o en el extracto de saturación del suelo, con un instrumento denominado conductímetro; obteniendo así una mejor estimación ya que el valor resultante está directamente relacionado con la humedad del área de estudio (USSLR, 1954).

Los valores de la conductividad eléctrica, se expresan en decisiemens por metro (dS/m) a una temperatura de 25° C (Tabla 2.5).

Tabla 2.5: Suelos salinos según la conductividad eléctrica

Clasificación	CE en dS/m a 25° C
No salino	0 – 2
Ligeramente salino	2 – 4
Moderadamente salino	4 – 8
Fuertemente salino	8 – 16
Extremadamente salino	> 16

Fuente: Flores, 1991

Es importante considerar que 1 decisiemen por metro = 1 milimho por centímetro = 1000 micromhos por centímetro.

- **Porcentaje de sodio intercambiable y relación de adsorción de sodio**

Para evaluar la cantidad de sodio presente en el suelo, se relaciona la cantidad de sodio (Na⁺) respecto de los demás cationes adsorbidos o capacidad de intercambio

catiónico (CIC); dando como resultado el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), que se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{PSI} = \frac{\text{Na}^+}{\text{CIC}} \times 100$$

El resultado va a indicar la cantidad de sodio adsorbido por parte de las partículas del suelo, expresado en porcentaje de la capacidad de intercambio catiónico. Tanto el sodio como la CIC se expresan en unidades de mili-equivalentes por cada cien gramos de suelo (Tabla 2.6).

Tabla 2.6: Categorización de los suelos según el porcentaje de sodio intercambiable

Categoría	PSI
Ligeramente sódico	7 - 15
Medianamente sódico	15 - 20
Fuertemente sódico	20 - 30
Extremadamente sódico	> 30

Fuente: Flores, 1991

Es importante resaltar que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una propiedad química del suelo que permite conocer la cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla o materia orgánica) y representa la cantidad de cationes que éstas superficies pueden retener; por ejemplo, un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica (Intagri, 2015). En la Tabla 2.7 se presentan los valores de CIC para diferentes texturas del suelo.

Tabla 2.7: Capacidad de intercambio catiónico (CIC) según el tipo de suelo

Textura del suelo	CIC (meq/100g)
Arena	1 - 5
Franco arenoso	5 - 10
Franco	5 - 15
Franco arcilloso	15 - 30
Arcilloso	> 30

Fuente: Intagri, 2015

También, existe el índice de relación de adsorción de sodio (RAS), que permite evaluar a partir del sodio, calcio y magnesio contenidos en el agua de riego (expresados en meq/l), la cantidad de sodio que quedará adsorbido en el complejo

de cambio y en equilibrio con el de la solución del suelo. Este análisis permite estimar el riesgo de que un agua de riego determinada vaya a generar con el tiempo el deterioro de la estructura del suelo (Casas, 2012). El RAS se calcula mediante la expresión siguiente:

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

Relacionando ambos criterios para evaluar la sodicidad del suelo, el nomograma de la Figura 2.2 permite estimar el valor del RAS del agua de riego y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) del suelo en equilibrio con dicha agua. Al respecto, Jahnsen (2013), menciona que existe una estrecha relación entre ambos parámetros para valores por debajo de 40 (Tabla 2.8), pero cabe resaltar que la RAS tiene mayor amplitud en el rango de evaluación de la sodicidad.

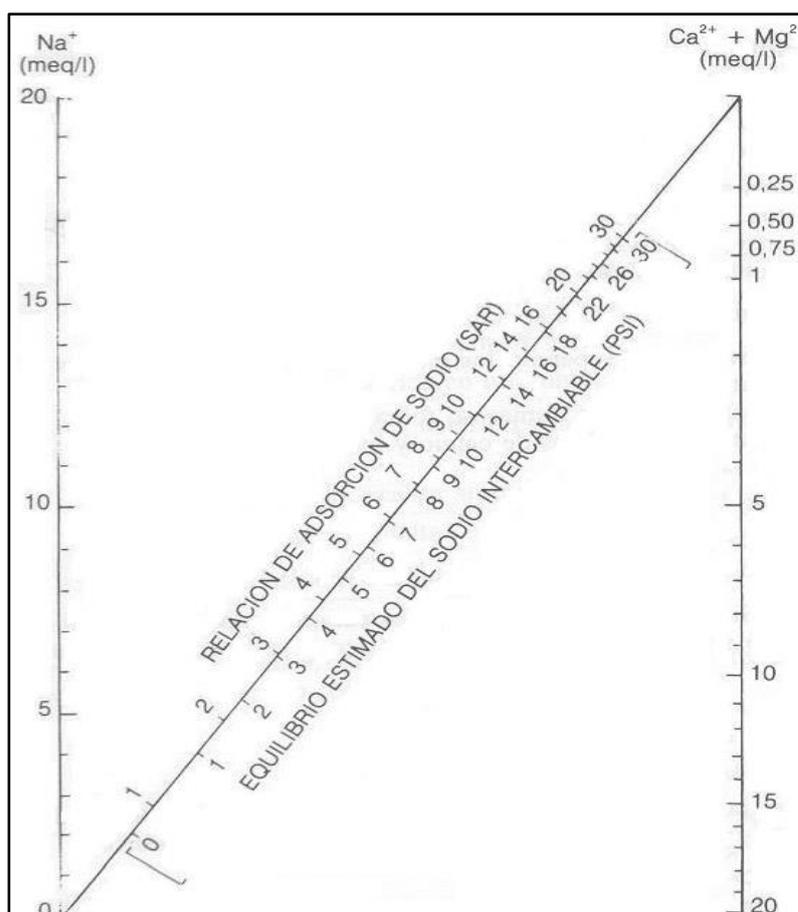


Figura 2.2: Gráfico para el cálculo del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en función de la relación de adsorción de sodio (SAR o RAS)

Fuente: Casas, 2012

Tabla 2.8: Categorización de los suelos según la relación de adsorción de sodio

Categoría	SAR o RAS
No sódico	< 13
Bajo en sodio	13 – 25
Moderadamente sódico	25 – 45
Fuertemente sódico	> 45

Fuente: FPG, 2012-a

Una vez identificados los parámetros usados para clasificar el suelo, se define cada posible caso en una determinada categoría.

2.4.2. SUELOS SALINOS

Estos suelos se caracterizan por presentar un elevado contenido de sales en la solución y una presión osmótica considerable reduciendo la disponibilidad de agua, afectado directamente a las plantas (Flores, 1991).

Pla (1997), indica que las sales no afectan directamente las propiedades físicas del suelo, debido a que existe una permeabilidad adecuada de aire y agua; más bien, la principal consecuencia es la reducción en el crecimiento de las plantas debido a la presencia de sales en la fase líquida.

Es importante considerar que, si en las arcillas hay un bajo contenido de sodio adsorbido, el suelo se va a mantener floculado y estructurado; permitiendo que tanto la permeabilidad como la infiltración sea mayor o igual que en un suelo normal (Badía, 1992).

Para considerar un suelo como salino, el pH debe variar entre 7 y 8.5, la conductividad eléctrica (CE) en el extracto de saturación debe ser mayor a 4 decisiemens por metro (dS/m), y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), debe estar por debajo de 15 por ciento, por lo que la estructura no se ve afectada.

2.4.3. SUELOS SÓDICOS

También denominados suelos alcalinos, son aquellos que poseen un alto contenido de sodio, tanto intercambiable como en solución, en relación a los niveles usuales de calcio y magnesio y la salinidad total; que genera una pérdida en la estructura del suelo y otras

propiedades físicas. Asimismo, el suelo disminuye su velocidad de infiltración y conductividad hidráulica (Pla, 1997).

Para clasificar un suelo como sódico es necesario que el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) sea mayor a 15 por ciento, la conductividad eléctrica sea menor a 4 decisiemens por metro (dS/m) y el valor de pH sea aproximadamente de 8.5.

2.4.4. SUELOS SALINOS-SÓDICOS

Son resultado de los procesos de salinización y sodificación. Si el contenido de sales se mantiene en su fase líquida del suelo, las características predominantes serán las de un suelo salino. Por el contrario, si las sales se lixivian, puede adquirir características de un suelo sódico, mucho más problemático, debido a que el sodio se hidroliza formando el hidróxido de sodio, o también gracias a la formación del carbonato de sodio, producto de la reacción con el dióxido de carbono tomado de la atmósfera. En cualquiera de los casos, las condiciones serán desfavorables para la entrada y circulación del agua (USSLR, 1954).

Para catalogar un suelo como salino-sódico, debe tener un pH de 8.5 aproximadamente, la conductividad eléctrica mayor a 4 decisiemens por metro (dS/m); y, el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) mayor a 15 por ciento.

2.4.5. 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 decisiemens por metro (dS/m) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), menor a 15 por ciento (Badía, 1992).

2.5. SALINIZACIÓN EN ZONAS ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS

El desarrollo de problemas de salinidad es usual en regiones áridas y semiáridas, ya que existe una alta tasa de evapotranspiración y la precipitación es mínima. Además, a ello se asocian los problemas de drenaje y elevadas temperaturas.

Al ser el agua el principal agente transportador de las sales, en estas regiones no ocurre un lavado del suelo óptimo; razón por la cual, las sales no son removidas o transportadas a lugares apartados de su origen y más bien tienden a acumularse (USSLR, 1954). Según Jahnsen (2013), los problemas de drenaje existentes originan una elevación del nivel

freático a lo largo de la cuenca, permitiendo el afloramiento de sales en la capa superficial del suelo, especialmente en la parte baja.

Las características del suelo también van a influir en la formación de los suelos salinos. Los suelos de textura arenosa, al ser partículas grandes poseen una elevada permeabilidad; los limos son de tamaño medio y con alta capacidad de retención de agua, y las arcillas, partículas muy pequeñas, que también retienen grandes cantidades de agua (Fox, 2013). Como lo menciona Walworth (2006), citado por Jahnsen (2013), los suelos de textura fina tienden a desarrollar problemas de salinización debido a su capacidad de retención y poros saturados. Por el contrario, los suelos de textura gruesa tienden a facilitar el lavado, debido al mayor tamaño de sus partículas.

En el caso de la costa peruana, si bien se caracteriza por ser árida, existen valles y pampas, cuya presencia mayoritaria en el suelo es de arena y limo, y en menor porcentaje las arcillas; que asociada a las condiciones climáticas tienden a presentar problemas de salinidad.

2.6. EFECTOS DE LA SALINIZACIÓN EN LOS SUELOS

Las sales producen una serie de alteraciones en el suelo perjudiciales no sólo para este, sino también para las plantas. Ésta interacción ocurre cuando las sales son solubles, siendo necesario la existencia de un equilibrio dinámico entre las sales solubles, y las adsorbidas por el complejo de intercambio del suelo y las plantas (López, 2007).

Martínez Raya (1996), citado por López (2007), agrupa los efectos de la salinidad en:

- **Relaciones hídricas**

Se refiere a la concentración de sales solubles provocando el incremento de la presión osmótica de la solución del suelo. Al existir una concentración salina del suelo superior al de las plantas, el agua de éstas tiende a salir hacia el suelo, provocando que la planta se marchite y muera.

- **Balance energético**

Al incrementarse la presión osmótica de la solución, la planta tendrá dificultades para absorber agua, requiriendo más energía para ejecutar esta acción, afectando su crecimiento.

- **Nutrición**

La variación del pH afecta la disponibilidad de nutrientes y la interacción de algunos elementos debido a la presencia excesiva de cloruros, nitratos, fosfatos, o el sodio, calcio, magnesio, entre otros. Asimismo, esto puede causar toxicidad en el medio.

En resumen, las sales tienen diversos efectos en las plantas y en el suelo (principalmente en su estructura y composición), que asociados al factor antrópico, afectan la relación planta-suelo.

Definitivamente, el problema más serio se produce cuando en la solución del suelo existe una elevada concentración de sales sódicas, que producen efectos desfavorables en las propiedades fisicoquímicas; propiciando que las arcillas sean inestables.

Al sodificarse el suelo, los coloides orgánicos y minerales se desplazan dentro del perfil; usualmente los primeros se acumulan en la superficie del suelo otorgando una coloración negra aceitosa; y, los últimos, emigran a horizontes inferiores. Este proceso es irreversible alterando la permeabilidad del suelo, su estructura, desarrollando problemas de toxicidad y dando paso a la formación de costras salinas. Asimismo, puede ser causado por un lavado de sales más solubles (acumulándose carbonatos y bicarbonatos sódicos), o puede ser posterior al proceso de salinización (López, 2007).

En síntesis, según el ICB (2002), un suelo afectado por sales se ve reflejado en la alteración de sus propiedades físicas o químicas, tales como:

- Efectos perjudiciales sobre el crecimiento vegetal y la producción final.
- Daño a la infraestructura (camino, ladrillos, otros).
- Reducción de la calidad del agua para los usuarios, problemas de sedimentación.
- Degradación de los cursos de aguas superficiales.
- Erosión de suelo en el caso de que las cosechas sean afectadas por las cantidades de sales.
- Salinización acentuada: exceso de sales, formación de costras de sal.
- Elevación del nivel freático hasta la superficie del suelo, especialmente en zonas áridas donde se acumulan las sales por evaporación.

De otro lado, según Porta et al (2003), la conductividad eléctrica es un indicador determinante, no sólo para estimar los efectos de la salinización y sodificación sobre las propiedades físicas, sino también para la evaluación de la recuperación de los suelos salinos.

2.7. ALTERNATIVAS DE RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS

Si bien la salinización es catalogada como perjudicial para el suelo, no todo es negativo en este proceso, ya que no sólo existen cultivos adaptados para sobrevivir a estas condiciones, sino también se han planteado una serie de medidas de mitigación y control.

Básicamente, se plantean dos casos, suelos con problemas de salinidad y suelos afectados por el sodio. En los primeros existe la posibilidad de recuperar el suelo y otorgarle condiciones normales para el desarrollo de determinadas labores; sin embargo, los suelos con presencia de sodio dañan su estructura y afectan la permeabilidad, por lo que se requiere mejorar sus condiciones disminuyendo el contenido de sales y evitando efectos negativos en otras propiedades.

De acuerdo a Flores (1991) existen diversas técnicas para mejorar y recuperar el suelo, éstas son: métodos físicos y biológicos; técnicas eléctricas; y, métodos químicos y lavado del suelo (método hidrotécnico).

Es importante resaltar que, para fines del estudio, sólo se describirán algunos de estos métodos, ya que serán los considerados como posibles soluciones de acuerdo a las condiciones de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo.

2.7.1. MÉTODOS FÍSICOS

Son aquellos en los que es necesario el uso de maquinaria para mejorar las condiciones naturales en la que se encuentra el área con problemas de salinidad.

a. Uso de subsoladores

Cuyo objetivo es el rompimiento de las capas duras e impermeables del suelo, de tal modo que se facilite su drenaje natural. Se debe tomar precauciones con el uso de los subsoladores, ya que si el suelo posee un nivel freático bajo presión este puede tender a elevarse, afectando la fertilidad del suelo (Flores, 1991).

b. Nivelación

La nivelación del suelo es importante para el control de las sales, ya que contribuye a una mejor distribución de la lámina de agua, a la disminución de las pérdidas y a eliminar la acumulación de sales como resultado de la distribución irregular de las mismas (García, 2003).

c. Adición de arena

Es ideal para suelos salinos con presencia de arcilla; pero solo aplicado a capas superficiales. Esto mejora la permeabilidad y en caso de existir cultivos, facilita el enraizamiento. Favorece las propiedades hidrofísicas del suelo (Flores, 1991).

2.7.2. MÉTODOS QUÍMICOS

Este método puede ser usado tanto en suelos sódicos como en salino-sódicos. Lo que se hace es aplicar un mejorador químico para desplazar 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 (Badía, 1992).

a. Materia orgánica

Este factor contribuye al mantenimiento de la estructura del suelo, ya que tiene influencia en el comportamiento del agua en el suelo, incrementando la capacidad de retención de la misma y facilitando su movimiento a través del perfil. En los suelos salinos, este efecto es de vital importancia, mientras que en los suelos 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).

b. Yeso

El yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) es usado como fuente de calcio para desplazar el sodio del complejo de cambio, 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. Por otro lado, los suelos sódicos

pueden ser recuperados rápidamente mediante aplicaciones sucesivas de diluciones de aguas altamente salinas que contengan calcio y magnesio.

c. Azufre

Es una enmienda química empleada para mejorar suelos sódicos. Sin embargo, el suelo debe de contener carbonatos de calcio para que reaccione con el ácido sulfúrico y se forme el sulfato de calcio, que posteriormente interactúa con el suelo, dando paso al intercambio de calcio por sodio. Este proceso tiende a ser lento, por lo que estos suelos no deben ser lavados hasta después de cierto tiempo, para facilitar la oxidación del azufre. Además, el suelo debe de mantenerse húmedo con la finalidad de disminuir su acidez.

d. Ácido sulfúrico

A diferencia del azufre, este mejorador posee mayor eficiencia, pero su uso es catalogado como peligroso. Para su empleo, el suelo debe contener carbonatos de calcio para favorecer la formación de sulfatos de calcio; de lo contrario, puede originarse una acidez excesiva del suelo.

e. Caliza

Es un mejorador químico que puede existir en forma natural en el propio suelo. Para que el uso de la caliza (CaCO_3) sea eficiente depende de su solubilidad, que por lo general es baja, pero se incrementa con la presencia de CO_2 , propiciando la formación de bicarbonato de calcio y la disminución del pH. Su empleo es ideal para suelos con un pH menor a 7.5 y con ausencia de carbonatos.

2.7.3. MÉTODO DE LAVADO DEL SUELO

Se pretende que gracias al aporte excesivo de agua y al buen nivel de permeabilidad del suelo, se logre el lavado de las sales del suelo. Para que este método sea aplicado con éxito, se requiere que el suelo este nivelado para facilitar la distribución homogénea del agua (Badía, 1992).

Golabi et al (2012), evalúan la posibilidad de recuperar suelos salinos y alcalinos mediante pruebas de campo (lavado de suelos) y utilizar estos resultados para el desarrollo de fórmulas empíricas. Sin embargo, estas fórmulas pueden presentar algunas limitaciones, por lo que su uso debe restringirse a condiciones similares del medio. Según Reeve et al.

(1955) y Reeve (1957), citado por Golabi et al (2012), demuestra que la curva de lixiviación tiene una forma general expresado mediante la siguiente ecuación, donde D_w indica la lámina de lavado (cm), D_s es la profundidad del suelo (cm) y EC_i y EC_f representan la conductividad inicial y final respectivamente.

$$\frac{D_w}{D_s} = \left(\frac{1}{5} \times \frac{EC_i}{EC_f} \right) + 0.15$$

Para aplicar el lavado de las sales del suelo y que éste sea efectivo, va a depender si el suelo es salino, sódico o salino-sódico. En el primer caso, 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, un solo lavado no será efectivo, por lo que se requiere añadir enmiendas químicas u orgánicas para mejorar las propiedades físicas. Posteriormente a este proceso, se debe aplicar aguas de mayor a menor salinidad en los lavados posteriores. Es importante resaltar que aplicar este método, 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 (Badía, 1992). 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, por lo que en la recuperación del suelo participan, necesariamente, estos tres factores para obtener la máxima eficacia (Navarro y Navarro, 2013).

En general, según lo que se presenta en la Tabla 2.9, 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). Tal como se indica en la Figura 2.3, primero se debe determinar 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). Asimismo, según Aceves (1981), citado por Flores (1991), también se debe considerar mantener el movimiento hacia abajo de las sales mediante el drenaje artificial o natural, la velocidad de infiltración y permeabilidad; además de la importancia de la evapotranspiración de la zona.

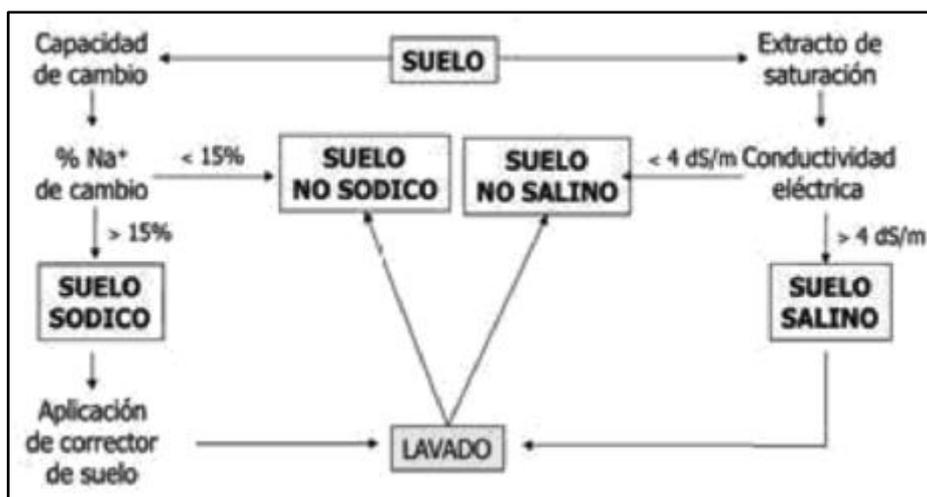


Figura 2.3: Esquema para diagnosticar la recuperación por lavado de suelos salinos y sódicos

Fuente: Navarro y Navarro, 2013

Tabla 2.9: Alternativas de recuperación según las condiciones del suelo

Localización de las sales	Clasificación de los suelos según el contenido de sales	Características	Efectos	Recuperación
Sales disueltas en la solución del suelo	Salino	pH < 8.5 CE > 4 dS/m PSI < 15	- Las sales afectan a los cultivos y no a las propiedades del suelo	- Lavado de sales
Sales adsorbidas por el complejo de cambio	Sódico	pH > 8.5 CE < 4 dS/m PSI > 15	- Las sales afectan a las propiedades del suelo (estructura)	- Uso de mejoradores químicos (aporte de calcio) y lavado de sales
Sales adsorbidas por el complejo de cambio y disueltas en la solución del suelo	Salino - sódico	pH < 8.5 CE > 4 dS/m PSI > 15	- Las sales afectan principalmente a los cultivos	- Aplicación de mejoradores químicos y lavado de sales
No existe presencia de sales	Normal	CE < 4 dS/m PSI < 15	-	-

Fuente: Elaboración propia con datos de Badía, 1992, Flores, 1991, USSLR, 1954

2.8. SALINIDAD EN LAS CANCHAS DE GOLF

Los campos de golf se caracterizan por ser grandes extensiones de territorio donde se desarrolla un monocultivo (césped) y, además, se altera la superficie natural del suelo para fines prácticos del deporte. Según manifestó Pino en el 2010 al Servicio de Información y Noticias Científicas (SINC), (OIE, 2011), el mantenimiento de las canchas de golf demanda el uso de sustancias químicas capaces de controlar los organismos vivos propios del lugar y de grandes cantidades de agua, contribuyendo a la reducción y acumulación de sustancias en el suelo, pero incrementando las posibilidades de contaminar el acuífero. Asimismo, existe la posibilidad del uso de agua de dudosa calidad, que asociado a las sales puede perjudicar notablemente las condiciones del suelo y del cultivo. Según Carrow y Duncan (2011), no sólo el hecho de emplear agua de riego de mala calidad tiene repercusión sobre el suelo; sino también la ubicación de las canchas de golf en el litoral o cercano a humedales propicia el desarrollo de problemas de salinidad ya que se facilita la intrusión de agua salina en los acuíferos, además, hay una elevada influencia de las mareas por lo que las sales son impulsadas por el viento.

2.8.1. CONSIDERACIONES PARA EL MANEJO DE UNA CANCHA DE GOLF

La implementación y gestión de una cancha de golf va a depender de diferentes factores, tales como la calidad de agua de riego y la relación del sistema suelo-césped-drenaje con el fin de garantizar la sostenibilidad del proyecto a largo plazo. Asimismo, debe considerarse el uso de variedades de césped tolerantes para minimizar los efectos causados por las sales, tal como menciona la AGCSA (2011).

Según Barber (2006), para seleccionar una variedad de césped, además de considerar la relación suelo-césped-drenaje, se debe tener presente el diseño de la cancha de golf y sus instalaciones; puesto que cada zona de juego tiene distintos requerimientos. Este espacio deportivo se divide en:

- **Bunker:** Es un obstáculo de arena, ubicado cerca al *green* o *fairway*, cuyo fin es dificultar el juego.
- **Green:** Requiere de un césped fino, denso y homogéneo en su extensión, de 2.5 a 3.2 mm de altura.

- **Fairway:** Conocido como calle, es en donde la incidencia de clima y suelo tienen mayor influencia; además el césped es más denso y bien cortado (8 - 12 mm).
- **Tee:** Puesto que la mayoría de golpes se hacen desde el mismo lugar, el césped tiene mayor desgaste y deterioro e incluso es arrancado.
- **Rough:** Se ubica a ambos lados del *fairway*, con la diferencia de que el césped tiene mayor altura, puede haber árboles o flores con el fin de hacer el juego más dificultoso.

También, debe mencionarse que en las canchas de golf no sólo se siembra una variedad de césped, pueden ser dos o tres, dependiendo de los requerimientos del sector. Sin embargo, esta práctica puede demandar mayor inversión a largo plazo.

En caso de presentarse problemas por exceso de sales, Carrow y Duncan (2011), plantean un manejo práctico y sostenible de la salinidad en las canchas de golf, basándose en una gestión ambiental, denominada “Best Management Practice” (BMP). Esto se enfoca principalmente en canchas afectadas por la salinidad, y que requieren de una evaluación de las condiciones de la zona, factores medio ambientales, económicos y sociales.

Según lo mencionado en el párrafo anterior, para evaluar el espacio destinado para la implementación de un campo de golf y su posterior conservación, se requiere conocer:

- **Condiciones físicas del suelo:** Implica tener conocimiento de la infiltración y/o drenaje del suelo; también, de la profundidad de raíces del cultivo, eficiencia de riego, niveles de la napa freática y su fluctuación, enmiendas para la mejora de las condiciones del suelo, etc.
- **Identificación de adición de sal:** Conocer la calidad del agua de riego, ascenso capilar de horizontes salinos y el lavado de sales.
- **Aspectos químicos del suelo:** Información de análisis del suelo (SAR, PSI, CE, pH) y fertilidad.
- **Evaluación de la calidad de agua de riego:** Análisis de las fuentes de agua, reutilización del agua y volumen disponible. En el caso de las aguas empleadas para riego, es importante evaluar el riesgo de salinización y alcalinización que puede sufrir el suelo como consecuencia del uso desmedido del agua (Casas, 2012). En la Figura 2.4, se puede apreciar el modelo definido por las normas de Riverside.

- **Análisis de la planta:** La elección del tipo de césped de acuerdo a las condiciones del suelo y del mismo cultivo.

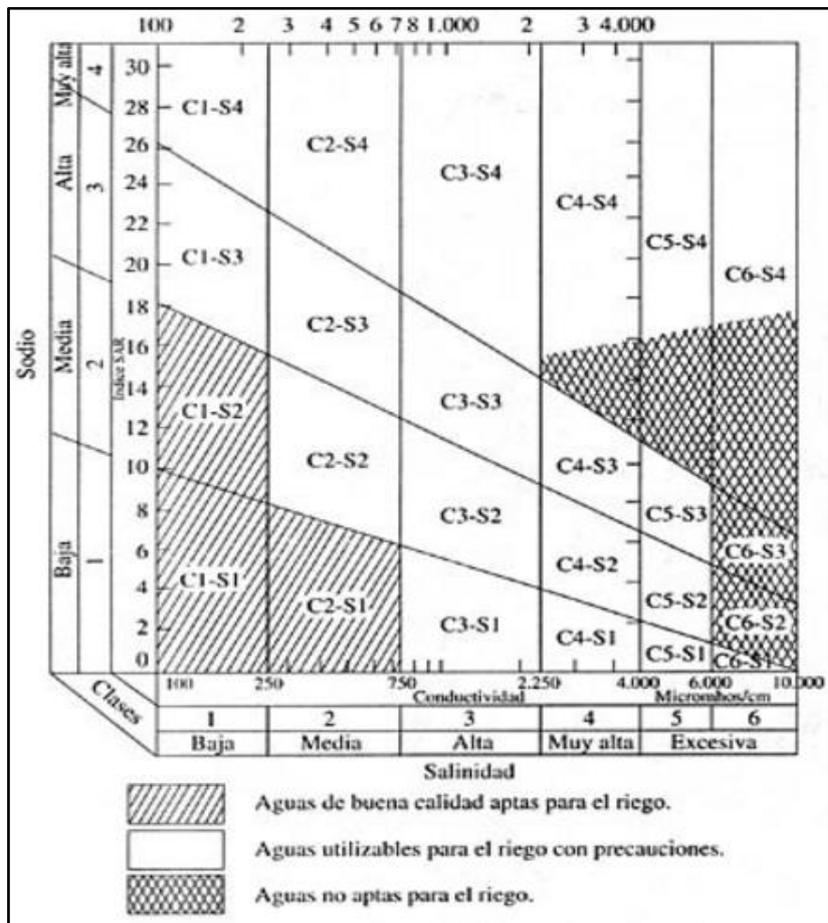


Figura 2.4: Clasificación de las aguas de riego

Fuente: Guerrero, 2013

De otro lado, según Harivandi (2007), los problemas de salinidad en las canchas de golf dependen del clima, la precipitación y temperatura. Además, dependiendo de la calidad de agua, puede llegar a perjudicar el desarrollo del césped. Sin embargo, la afectación del suelo por parte de las sales es más propenso a ocurrir bajo las siguientes condiciones:

- Bajas precipitaciones.
- Temperaturas elevadas.
- Elección de una variedad de césped no adecuado para las características del suelo, clima y temperatura; considerando su contenido de sales.
- El campo de golf está construido sobre un suelo arcilloso con drenaje lento.

2.8.2. PASPALUM VAGINATUM

Según los antecedentes que se conocen de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, el agua empleada para riego presenta un nivel de salinidad elevado, por lo que se debe considerar el *Paspalum vaginatum* como una alternativa idónea para implementar *grass* en el área de estudio (FPG, 2012-a).

Tabla 2.10: Características del *Paspalum vaginatum*

Nombre científico	<i>Paspalum vaginatum</i>
Nombre común	Grama de agua, Gramilla blanca, Chépica blanca, Chípica
Familia	Poaceae
Variedades	Sea spray, Seaisle1, Seaisle 2000
Origen	Golfo de Guinea
Clima	Cálido
Color	Verde oscuro
Profundidad de raíz	20 cm – 45 cm aproximadamente
Hojas	<ul style="list-style-type: none"> - Jóvenes y pequeñas: Son hojas de tamaño intermedio. Las más grandes están cerca de la corona/estolón; y las más pequeñas están cerca de la punta. - Vieja y grande: Cerca al estolón. Al reducir gradualmente altura de corte primero se cortarán hojas pequeñas.
Tolerancia del cultivo	<ul style="list-style-type: none"> - pH: 5 - 9 - CE (dS/m): 0 – 20 (promedio 8.6) - Tolerante al calor, sequía, compactación del terreno, resistente a la salinidad y altos niveles de sodio. - RAS: superior a 26 aproximadamente
Usos	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Greens, fairways, tees</i> y <i>roughs</i> (campos de golf). - Parques y jardines.
Altura de siega	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Fairways</i>: 13 - 16 mm - <i>Tees</i>: 6 mm - Jardinería: 25 - 30 mm - Tolera siegas bajas: desde 3.15 mm

Fuente: Elaboración propia con datos de Carrow y Duncan, 1998, Pastor, 2010, Zulueta, 2010

Como se menciona en la tabla anterior, el *Paspalum vaginatum* tiene variedades mejoradas debido a sus características, ofreciendo una alternativa de superior calidad. Según hace mención Duncan, citado por Phillip Jennings Turf Farms (2009), este césped tolera niveles elevados de salinidad en diferentes épocas del año y siendo regado con agua más o menos salada, conservando así su apariencia y funcionalidad. Estas variedades son:

- ***Sea spray***: Es un césped de excelente calidad, de hojas semifinas, color verde azulado brillante y una apariencia uniforme. Es resistente al tránsito y de crecimiento lento; adicionalmente, soporta la escasez de agua y el riego con agua salina. Tolera niveles elevados de sales no soportables por ninguna otra especie (J.R. Simplot Company, 2014)
- ***Seaisle 1***: Entre sus ventajas se tiene su tolerancia a diferentes situaciones de stress: sequías prolongadas, altos niveles salinos, baja intensidad de luz, estancamiento de agua, y niveles de pH del suelo extremadamente altos o bajos. Es ideal para *fairways*, *tees*, y *roughs* de campos de golf. En caso de existir condiciones ambientales adversas, esta variedad proporciona césped de alta calidad, con resistencia al frío (inicia su crecimiento entre 4.4 y 12.7°C), resistencia a enfermedades, y rápida recuperación (Phillip Jennings Turf Farms, 2009).
- ***Seaisle 2000***: Ideal para *greens* y *tees* de campos de golf, especialmente bajo condiciones ambientales de extrema salinidad. Altura de corte a 3.17 mm y tolerancia de pH de suelo de 4.0 - 9.8. Con un manejo adecuado, se puede regar con agua de mar; asimismo, crece sin problemas si es regado con aguas recicladas o residuales. Tiene una alta resistencia al frío y a enfermedades. (Phillip Jennings Turf Farms, 2009).

Es importante resaltar que estas variedades, pese a tener características similares, requieren de un cuidado y mantenimiento diferente. De otro lado, el ahorro del recurso hídrico es relativo, pues depende de la carga de sales del agua, condiciones medioambientales, eficiencia de riego, perfil de suelo y la cantidad de agua requerida para el lavado del exceso de sales.

2.9. ANTECEDENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO

El proyecto de rediseño de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, promovido por la Federación Peruana de Golf, se inició en el 2012. En marzo de ese año, se realizó un estudio, cuyos resultados determinaron que los suelos de la cancha de golf de San Bartolo eran extremadamente salinos y sódicos (CE de 7.3 - 223 dS/m), de difícil lavado, debido a la presencia de capas de suelo muy compactadas y de muy baja permeabilidad; para ello se recomendó realizar el proceso de lavado del suelo, luego de una subsolación profunda, con

el objetivo de roturar o romper las capas duras superficiales del suelo, y el uso de un mejorador químico, como el yeso o sulfato de calcio.

En julio del 2012, se realizó un estudio complementario con nuevos monitoreos y análisis físico-químicos del suelo; además, de plantear una serie de modificaciones en el diseño inicial de la cancha. Una de ellas fue la construcción de una laguna, esto con la finalidad de que el material extraído sea distribuido alrededor para mejorar la permeabilidad. Para ello, se excavaron calicatas, ubicadas estratégicamente, de 1.50 m a 2.00 m de profundidad, aproximadamente (Figura 2.5 y 2.6). Sin embargo, los resultados indicaron que el suelo poseía niveles altísimos de salinidad en la capa superficial, además la permeabilidad se mantenía baja; por esta razón el lavado del suelo se consideró como muy difícil.



Figura 2.5: Vista del perfil de la calicata profunda CP1

Fuente: FPG, 2012-b



Figura 2.6: Vista del perfil de la calicata profunda CP2

Fuente: FPG, 2012-b

En comparación con el diseño inicial (Figura 2.7), se incluyó la construcción de una laguna; por lo demás, se mantienen los nueve hoyos, el campo de práctica y las áreas comunes, tal como se puede apreciar en la Figura 2.8.

Antes del presente estudio, se realizaron una serie de trabajos de campo, tales como el movimiento de tierras para habilitación de los nueve hoyos o el acondicionamiento del terreno para la implementación de la cancha (Figura A2.1).

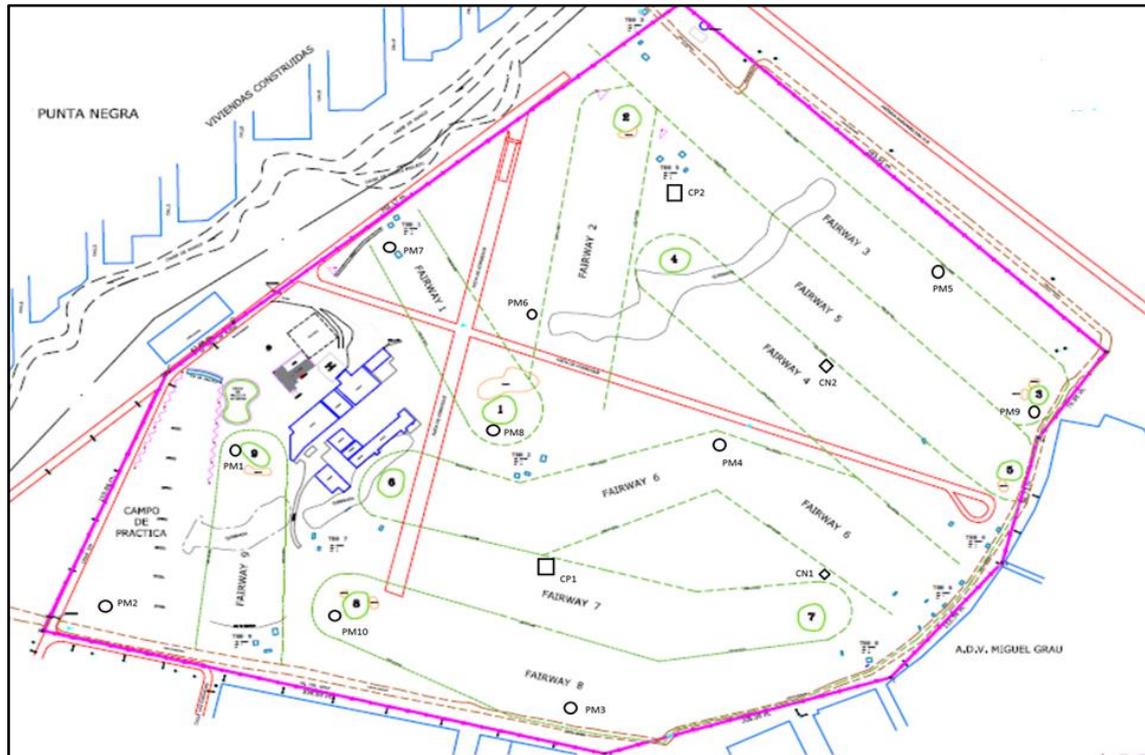


Figura 2.7: Mapa de la Cancha Pública de Golf (marzo, 2012)

Fuente: FPG, 2012-a



Figura 2.8: Mapa del diseño de la Cancha Pública de Golf (julio, 2012)

Fuente: FPG, 2012-b

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1. UBICACIÓN

La zona de estudio se encuentra ubicada en el distrito de San Bartolo, a la altura del kilómetro 47 de la Panamericana Sur, provincia y departamento de Lima. Geográficamente, está comprendida entre las coordenadas UTM: 8630700 - 8631400 y 306180 - 306920.

El distrito de San Bartolo limita al Norte con el distrito de Punta Negra, al Este con la provincia de Huarochirí, al Sur con el distrito de Santa María del Mar y al Oeste con el Océano Pacífico (Figura 3.1).



Figura 3.1: Mapa de la zona sur de Lima Metropolitana

Fuente: Agencia Peruana de Noticias, 2011

El acceso a la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, ya sea desde la ciudad de Lima u otras ciudades del país, se realiza por la carretera Panamericana Sur, y posteriormente se toma el desvío hacia la carretera Antigua Panamericana Sur (Figura 3.2). Asimismo, la Figura 3.5 presenta un mapa detallado del campo de golf.

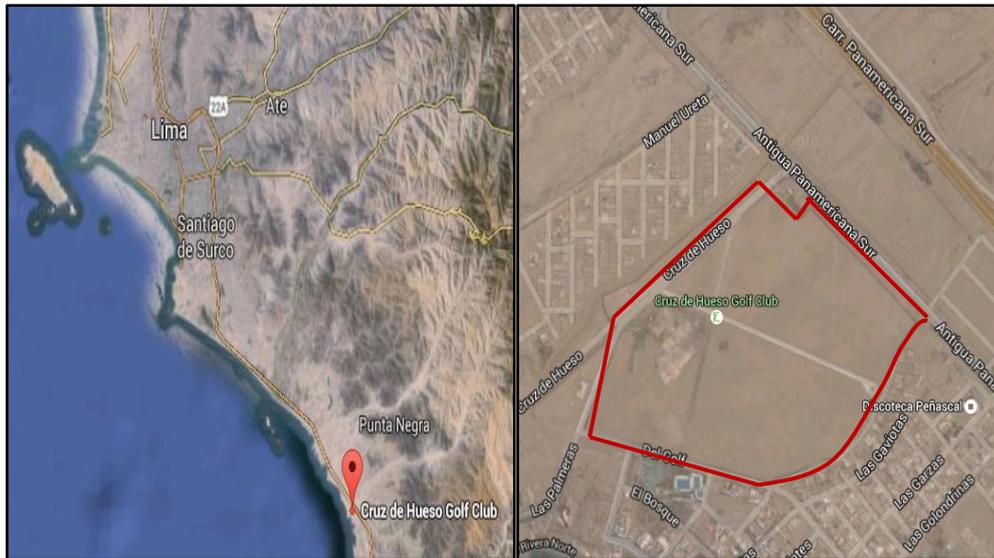


Figura 3.2: Ubicación de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo

Fuente: Elaboración propia con información de Google Earth y Google Maps

3.1.2. CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES DEL ENTORNO

a. Clima

En general, la costa peruana presenta un clima que puede ser clasificado como subtropical desértico, con una temperatura que varía entre 15° y 30°C. En el caso del distrito de San Bartolo, el clima es extremadamente árido y semicálido; la temperatura promedio anual es de 19.5°C. Además, el mes más caluroso es febrero, con una temperatura promedio de 23.6°C, y el más frío es agosto, con 16.3°C (Figura 3.3).

b. Precipitación

La precipitación en el distrito de San Bartolo es prácticamente nula. El mes más seco es marzo, donde la precipitación fluctúa entre 0 y 4 mm, mientras que agosto es el de mayor precipitación, con un promedio mensual de 1.58 mm (Figura 3.4).

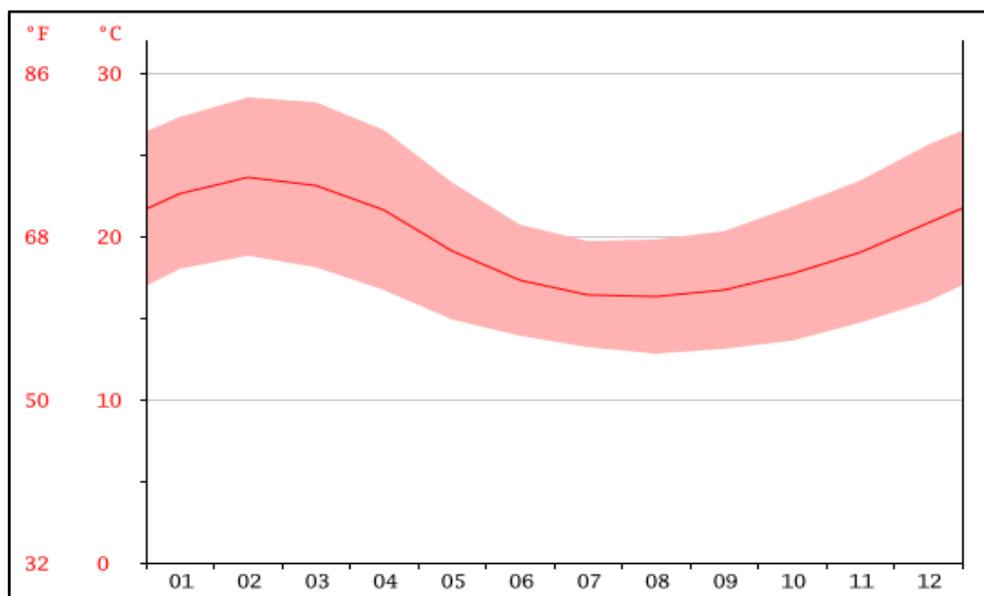


Figura 3.3: Variación típica anual de la temperatura del distrito de San Bartolo según el Modelo Köppen

Fuente: Portal Climate-Date, 2010

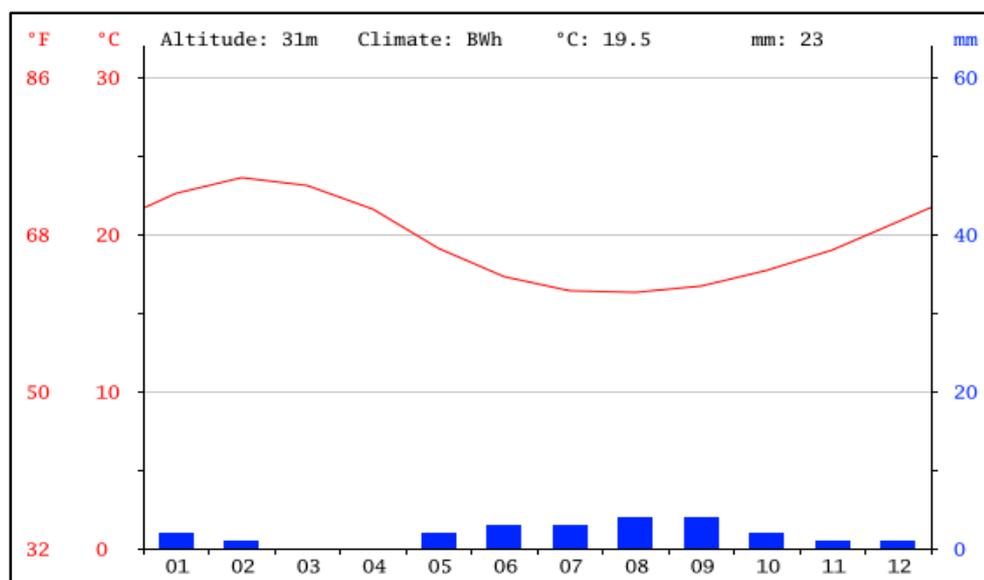


Figura 3.4: Climograma típico anual del distrito de San Bartolo según el Modelo Köppen

Fuente: Portal Climate-Date, 2010

c. Humedad relativa

La humedad relativa fluctúa entre el 80 y 85 por ciento durante los meses de invierno, especialmente en agosto, ya que en ésta época del año se presentan las temperaturas más bajas, por ende, hay menor capacidad para retener la humedad.

d. Vientos

En esta parte del litoral, existe una marcada dominancia de los vientos que provienen del Suroeste, cuyas velocidades más altas se producen después del mediodía. Se trata de brisas marinas, cuya velocidad media alcanza los 8 a 12 kilómetros por hora.

e. Suelo

Según la Municipalidad distrital de San Bartolo (2013), este distrito presenta la unidad de suelo Leptosol lítico - Afloramiento Lítico (LPq - R); que, son suelos poco desarrollados, y aparecen en zonas donde casi afloran las cuarcitas y pizarras del Ordovícico. Además, presentan un espesor inferior a 10 centímetros, como horizonte A (ócrico), y se asientan directamente sobre la roca dura (R) que limita su profundidad, por lo que no son suelos aptos para la agricultura.

f. Hidrogeología

En general, el acuífero de San Bartolo es de constitución volcánica e ígnea, que tiene su origen en el Cretáceo Inferior al Cuaternario Reciente. Además, se caracteriza por ser un reservorio que tiene esporádica alimentación de la precipitación, por lo que las aguas captadas se pierden por infiltración en los tramos superiores. El basamento rocoso se ubica entre los 100 y 300 m de profundidad.

De otro lado, la napa freática es del tipo libre. La dirección del flujo subterráneo es en dirección al Océano, con una gradiente de 0.36 a 0.2 por ciento por mil. La transmisividad del acuífero se encuentra en el rango de 300 a 2635 m²/d. Los valores de descarga específica (Q/S) se encuentran en el rango de 7.14 a 7.7, lo cual indica las buenas propiedades hidráulicas del acuífero. El coeficiente de almacenamiento se estima en 12 por ciento (FPG, 2012-a).

g. Hidrografía

El distrito de San Bartolo, comprende la intercuenca Pacífico - 21, la cual no posee ríos dentro de sus límites, así como ninguna laguna; sólo presenta algunas quebradas como La Quebrada Cruz de Hueso, en donde se ubica la Cancha Pública de Golf de San Bartolo.

h. Fisiografía y relieve

Según la Municipalidad distrital de San Bartolo (2013), la fisiografía y relieve de la zona se resume en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Aspectos fisiográficos de la costa

Zona	Relieve (forma)	Paisaje	Código	Características
Costa	Planicie	Valle aluvial irrigado	V-a	- Acumulación fluvial reciente, (holocénica, preholocénica), que forma planicie, de 0 a 4 por ciento de pendiente. Son terrenos irrigados y cultivados permanentemente, que incluye algunas planicies de arena eólica.
	Planicie ondulada y disectada	Llanura disectada	Lld-c	- Llanura desértica muy disectada, pendiente predominante de 15 a 25 por ciento. Formada por acumulación aluvial pleistocénica; parcialmente disectada y/o cubierta por depósito eólico y aluvial reciente.
	Colina y montaña	Colina	Cd	- Elevación de 0 a 300 m de altura y pendiente predominante de 25 a 50 por ciento. Superficie mayormente rocosa bajo una cobertura discontinua de arena y limo eólico reciente.

Fuente: Municipalidad Distrital de San Bartolo, 2013

i. Pendiente

Presenta básicamente tres zonas:

- **Zona del litoral costero:** Rodeado de colinas a lo largo del litoral, formado por acantilados. Las pendientes varían entre 0 y 50 por ciento.
- **Zona de acumulación aluvial:** Presenta depósitos eólicos, con pendientes de 15 a 25 por ciento.
- **Zona de superficie rocosa:** Compuesta por arena y limo, con pendientes de 25 a 50 por ciento.

j. Geomorfología

Según la FPG (2012-a), las características geomorfológicas en el área de estudio son producto de la acción de los agentes modeladores sobre las rocas existentes. En cuanto al área de estudio, se ubica dentro de lo que se denomina pampa costera. Éstas presentan poco relieve, con pendientes suaves de 2 a 2.5 por ciento, y se componen por terrazas aluviales, abanicos aluviales, dunas, barcanas y mantos de arena. Adicionalmente, las Pampas de San Bartolo, se pueden agrupar texturalmente en cuatro grupos: arenosos, areno gravosos, franco arenoso a arena-franca y arenosos cementados (caliche).

k. Geología

En general, el distrito de San Bartolo se ubica sobre una amplia planicie aluvional cuyos materiales fueron transportados por la Quebrada Cruz de Hueso hacia el borde litoral; destacando las terrazas marinas recientes y otras más antiguas que se intercalan con los depósitos aluviales (FPG, 2012-a).

3.1.3. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Cancha Pública de Golf de San Bartolo, actualmente, es un campo de tierra destinado para la práctica del golf y que, además, permite que la población tenga libre acceso a este deporte. El área total del terreno de juego es de 24.6 ha, en donde se pretende sembrar 7 ha de césped, para obtener un recorrido de 3150 yardas (Figura 3.5).

Para la ejecución de este estudio de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, se usa como referencia los dos estudios anteriores ejecutados por la Federación Peruana de Golf (FPG). Actualmente, la cancha no se encuentra operativa al 100 por ciento, puesto que aún se continúan con los trabajos de rediseño. El único sector disponible para practicar este deporte es el correspondiente al campo de práctica.

Es importante resaltar que, según los estudios anteriores, los niveles de salinidad y sodio encontrados son elevados y la permeabilidad baja. Además, la cancha cuenta con límites ya establecidos y las zonas se encuentran acondicionadas con el diseño respectivo, sólo a la espera de la elección del tipo de césped a sembrar. Adicionalmente, ya se cuenta con una fuente de agua residual tratada, para fines de riego del campo.



Figura 3.5: Plano de Ubicación de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo

Fuente: Elaboración propia

De otro lado, se puede apreciar sectores donde el suelo se encuentra muy compactado o con presencia de sales en la superficie; así como también hay zonas en las que se ha efectuado trabajos de movimiento de tierras, especialmente, en lugares próximos a la laguna; y, zonas donde no se ha realizado ningún tipo de intervención.

Algunas de las características y condiciones que tiene la Cancha Pública de Golf de San Bartolo son:

a. Calidad de agua

La fuente de agua para riego del campo de golf proviene de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Bartolo, cuyos análisis se presentan en la Tabla 3.2. Según los resultados obtenidos, el agua se clasifica como C3-S1, es decir de alta salinidad y bajo contenido de sodio (Figura 2.4). Cabe resaltar que para las pruebas de campo se emplea agua del sistema de abastecimiento de agua potable de SEDAPAL.

Tabla 3.2: Análisis de calidad de agua

Características	Resultado
pH	7.09
CE (dS/m)	1.93
Calcio (meq/L)	5.19
Magnesio (meq/L)	1.75
Potasio (meq/L)	0.81
Sodio (meq/L)	8.21
Suma de cationes	15.96
Nitratos (meq/L)	0.16
Carbonatos (meq/L)	0.00
Bicarbonatos (meq/L)	6.83
Sulfatos (meq/L)	3.04
Cloruros (meq/L)	6.00
Suma de aniones	16.03
Sodio (%)	51.44
RAS	4.41
Boro (ppm)	0.60
Clasificación	C3-S1

Fuente: FPG, 2012-a.

b. Suelo

La Cancha Pública de Golf de San Bartolo se encuentra ubicada en un espacio donde la textura del suelo es del tipo franco arenoso y arena fina con presencia de limos; también se tiene la existencia de algunos fragmentos rocosos subredondeados (FPG, 2012-a).

c. Fisiografía

La unidad fisiográfica existente en la zona de estudio es la llanura aluvial - eólica, representada por materiales de origen mixto, arenosos y areno-gravosos, que dan origen a perfiles de suelos de textura ligera con una moderada aptitud para riego. (FPG, 2012-a).

d. Geomorfología

La Cancha Pública de Golf de San Bartolo, se ubica dentro de la Quebrada Cruz de Hueso que se comporta como un dren natural. Asimismo, este sector se caracteriza por ser una extensa planicie aluvial desértica conformada por gravas redondeadas a sub-redondeadas; con suelos profundos de textura franca a franco arenoso. La velocidad de infiltración básica de estos suelos varía de 0.11 a 0.90 cm/h (FPG, 2012-a).

e. Geotecnia

Según la Municipalidad distrital de San Bartolo (2013), menciona que el tipo de suelo identificado en la zona comprendida en la Cancha Pública de Golf de San Bartolo es el GW, que corresponde a gravas bien clasificadas, redondeadas con matriz arenosa, presentes en la Quebrada Cruz de Hueso.

3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

En la Tabla 3.3 se presenta una lista detallada de los materiales, equipos y herramientas computacionales utilizados, tanto en la etapa de campo como de gabinete.

Tabla 3.3: Materiales, equipos y herramientas computacionales

Materiales	Descripción
Agua destilada	Empleada en el lavado de artículos de laboratorio y para preparar la pasta de saturación del suelo, ya que no altera la composición de la muestra.
Bolsas de muestreo	Envases destinados a la recolección de muestras en campo.
Manta de plástico	Usada para impermeabilizar el suelo de las pozas de lavado. Su función es separar la parte sólida de la muestra de suelo de su parte líquida (extracto de saturación) empleando la bomba de vacío.
Papel filtro	
Formato para toma de datos	Hoja preparada con los datos de entrada para la recolección de información (tiempo, valor de CE, pH, infiltración, etc.).
Tablones de madera	Su empleo en conjunto con las combas es para introducir los cilindros infiltrómetros en el suelo.
Equipos	Descripción
Bomba de vacío	Equipo utilizado para facilitar el filtrado con el fin de extraer la solución del suelo (extracto de saturación).
Cilindros infiltrómetros	Anillos concéntricos de metal de 20 y 40 cm de diámetro.
Combas	Empleadas para ayudar a introducir los cilindros infiltrómetros en el suelo.
Conductivímetro	Equipo usado para medir la conductividad eléctrica en dS/m.
Cronómetro	Usado para controlar los intervalos de tiempo durante el proceso de infiltración.
GPS	Determina las coordenadas geográficas y altitud de los puntos de muestreo y referencia del área de estudio.
Peachímetro	Equipo usado para medir el pH.
Regla graduada	Asociada al cilindro interior para cuantificar el proceso de infiltración de agua en el suelo.
Recipientes para agua	Para el traslado y almacenamiento de agua a los puntos de monitoreo.
Tamices	Usado para separar la grava de la arena o finos.
Wincha	Su función es medir las dimensiones de las pozas, la profundidad de muestreo, etc.
Herramientas computacionales	Descripción
ArcGis	Utilizado para la elaboración de los mapas de ubicación de isoconductividad eléctrica.

Fuente: Elaboración propia

3.3. PROCEDIMIENTO

Para determinar las condiciones de salinidad, sodicidad y permeabilidad de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, se procedió a implementar y ejecutar las actividades correspondientes con el fin de alcanzar los objetivos planteados en el presente trabajo. En la Figura 3.6 se muestra un esquema, en el que partiendo de un objetivo principal, y siguiendo una secuencia de trabajo se llega a los objetivos específicos con los que se define el estado del campo de golf y las alternativas para su recuperación.

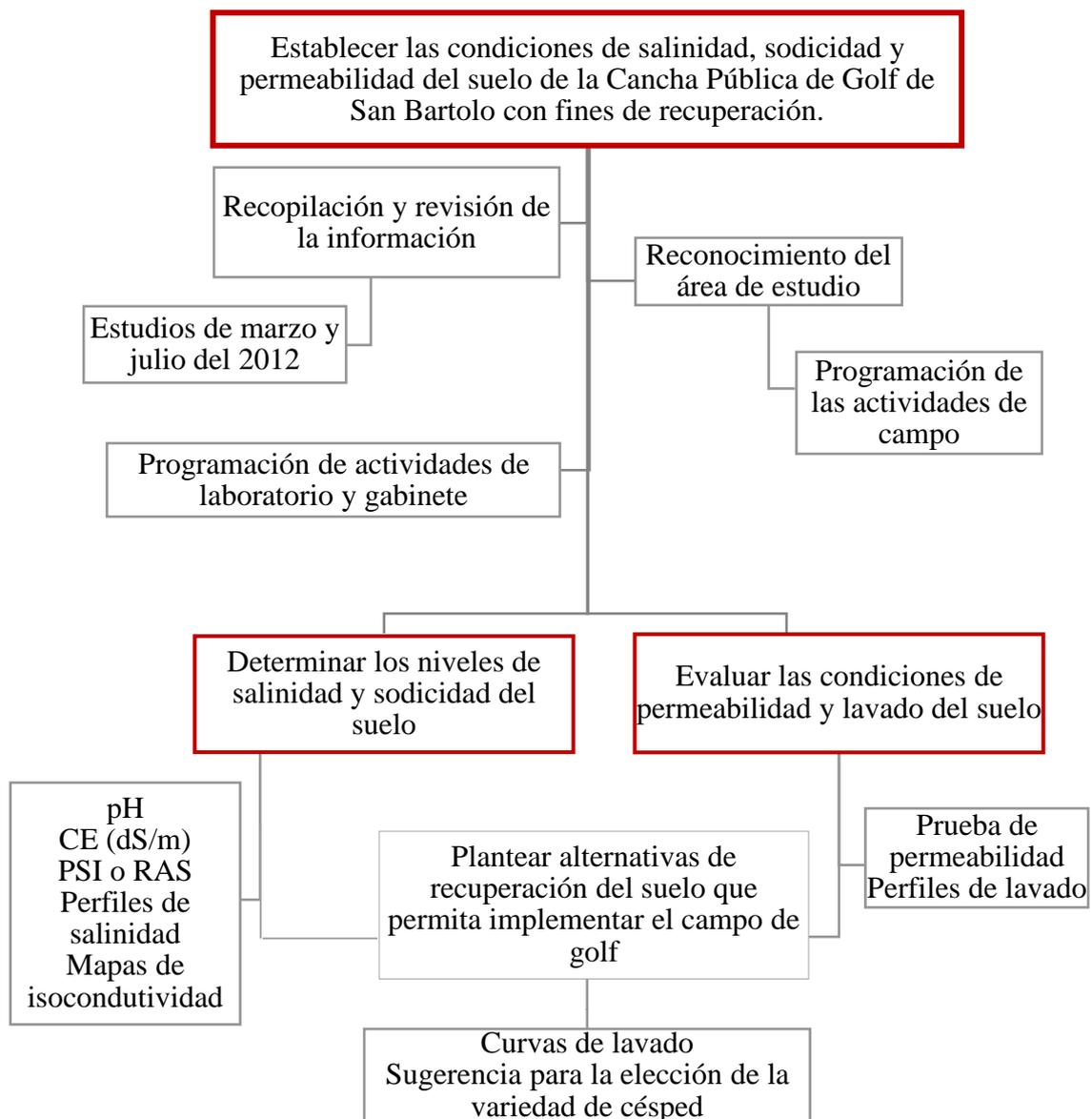


Figura 3.6: Esquema de la metodología del estudio

Fuente: Elaboración propia

3.3.1. RECOPIACIÓN Y REVISIÓN DE INFORMACIÓN

En la primera etapa del estudio se hizo la revisión y análisis de los estudios preliminares de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo; así como la recopilación de información básica existente sobre la zona de estudio referida a la salinidad del suelo, hidrogeología, geología, suelos, etc. Asimismo, es importante considerar los resultados de los estudios previos del lugar para realizar la discusión de los resultados obtenidos en la presente investigación.

- **“Estudio de las condiciones de salinidad, sodicidad y permeabilidad de los suelos de la cancha pública de golf FPG - San Bartolo, Lima”**: Este estudio de marzo del 2012, indica que el campo de golf estaba conformado por nueve hoyos, y se encontraba sobre un terreno formado por tierra y arena firme; los *greens*, a diferencia de los habituales que son de césped, tenían en la superficie una mezcla de arena y aceite; asimismo, los *fairways* eran de tierra, por lo que para su rediseño e implementación con césped, era necesario conocer sus condiciones de salinidad, sodicidad y permeabilidad.

En la Tabla 3.4 se muestran los valores de conductividad eléctrica a diferentes profundidades de dos calicatas normales (CN) y dos calicatas profundas (CP); mientras que en la Tabla 3.5, se presentan los resultados de la permeabilidad del suelo de las pozas de lavado.

Tabla 3.4: Conductividad eléctrica a diferentes profundidades

Profundidad (cm)	CP1 CE (dS/m)	CP2 CE (dS/m)	CN1 CE (dS/m)	CN2 CE (dS/m)
0 - 30	64.9	158.1	68.5	94.2
30 - 60	64.3	223.0	12.2	58.0
60 - 90	18.3	149.4	13.3	50.0
90 -120	44.2	51.7	-	-
120 - 150	20.5	7.3	-	-
150 - 180	45.0	-	-	-

Fuente: FPG, 2012-a

Tabla 3.5: Resultados de las pruebas de permeabilidad

Pozas de Lavado	Permeabilidad (cm/h)	Clase de permeabilidad
PL - 1	0.6	Muy lenta
PL - 2	1.0	Moderadamente lenta

Fuente: FPG, 2012-a

De otro lado, también se efectuaron dos pruebas de lavado (PL1 y PL2), cuyos resultados se presentan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6: Resultados de pruebas de lavado

Lámina de agua (cm)		0	10	20	30	40	50	50*
Poza	Profundidad (m)	CE (dS/m)						
PL1	0 - 0.2	235.00	238.00	105.60	198.00	202.00	230.00	19.60
	0.2 - 0.4	141.00	215.00	192.80	154.20	217.00	172.00	34.00
	0.4 - 0.6	111.00	105.80	196.00	121.00	119.00	119.00	54.90
PL2	0 - 0.2	73.40	93.10	82.70	60.00	70.00	71.50	7.00
	0.2 - 0.4	44.20	65.90	127.00	29.20	74.00	60.00	42.10
	0.4 - 0.6	28.50	94.00	71.00	21.20	24.00	29.80	22.00

(*) Muestras tomadas en un punto de muestreo anterior (suelo roturado)

Fuente: FPG, 2012-a

- **“Estudio complementario de las condiciones de salinidad de los suelos de la cancha pública de golf – San Bartolo, Lima”**: Este estudio fue presentado en julio del 2012. Debido a que en el estudio anterior se había determinado que los suelos del campo de golf eran extremadamente salinos y sódicos, de difícil lavado, por la presencia de capas de suelo muy compactadas, de muy baja permeabilidad; la Federación Peruana de Golf, encargó la realización de este trabajo cuyo objetivo era complementar la evaluación de la salinidad de los suelos, con nuevos monitoreos y análisis fisicoquímicos, según el rediseño de la cancha de golf.

En la Tabla 3.7 se presenta los valores de conductividad eléctrica de los suelos del campo de golf, referidos al estudio complementario, y representados espacialmente en la Figura 3.7. Asimismo, según se observa en la Figura 2.8, se realizaron dos calicatas profundas (CP1 y CP2) con el fin de analizar la textura del suelo a diferentes profundidades. Estos resultados se presentan en la Tabla 3.8.

Tabla 3.7: Conductividad eléctrica en los puntos de muestreo a 30 cm de profundidad

Punto	Coordenadas		CE (dS/m)	Descripción
	E	N		
CP-L1	306322	8630838		Calicata profunda
CP-L2	306256	8630853		Calicata profunda
PM-H1	306631	8631264	29.4	Green Hoyo 1
PM-H2	306751	8631147	49.3	Green Hoyo 2
PM-H3	306454	8631091	37	Green Hoyo 3
PM-H4	306812	8631097	234	Green Hoyo 4
PM-H5	306454	8630816	233	Green Hoyo 5
PM-H6	306239	8630869	146.3	Green Hoyo 6
PM-H7	306652	8630946	237	Green Hoyo 7
PM-H8	306828	8631019	240	Green Hoyo 8
PM-H9	306488	8630974	239	Green Hoyo 9
PM-C10	306327	8630804	9.11	Punto monitoreo cerco
PM-C11	306407	8630786	15.5	Punto monitoreo cerco

Fuente: FPG, 2012-b

Tabla 3.8: Informe del análisis textural en muestras de suelo (Calicatas CP1 y CP2)

Número de muestra Lab	Claves	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural
CP1-1	a 0.3 m de profundidad	66.00	12.88	21.12	FrA
CP1-2	a 0.55 m de profundidad	57.12	10.16	32.72	FrA
CP1-3	a 1.1 m de profundidad	83.68	7.02	9.30	Afr
CP1-4	a 2.0 m de profundidad	61.68	6.22	32.10	FrA
CP2-1	a 0.5 m de profundidad	64.00	16.88	19.12	FrA
CP2-2	a 0.7 m de profundidad	100.00	0.00	0.00	A
CP2-3	a 2.0 m de profundidad	100.00	0.00	0.00	A

A = Arena; Afr = Arena franca; FrA = Franco arenoso; Fr = Franco; FrL = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = Franco arcilloso arenoso; FrAr = Franco arcilloso; FrArL = Franco arcilloso limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso

Fuente: FPG, 2012-b

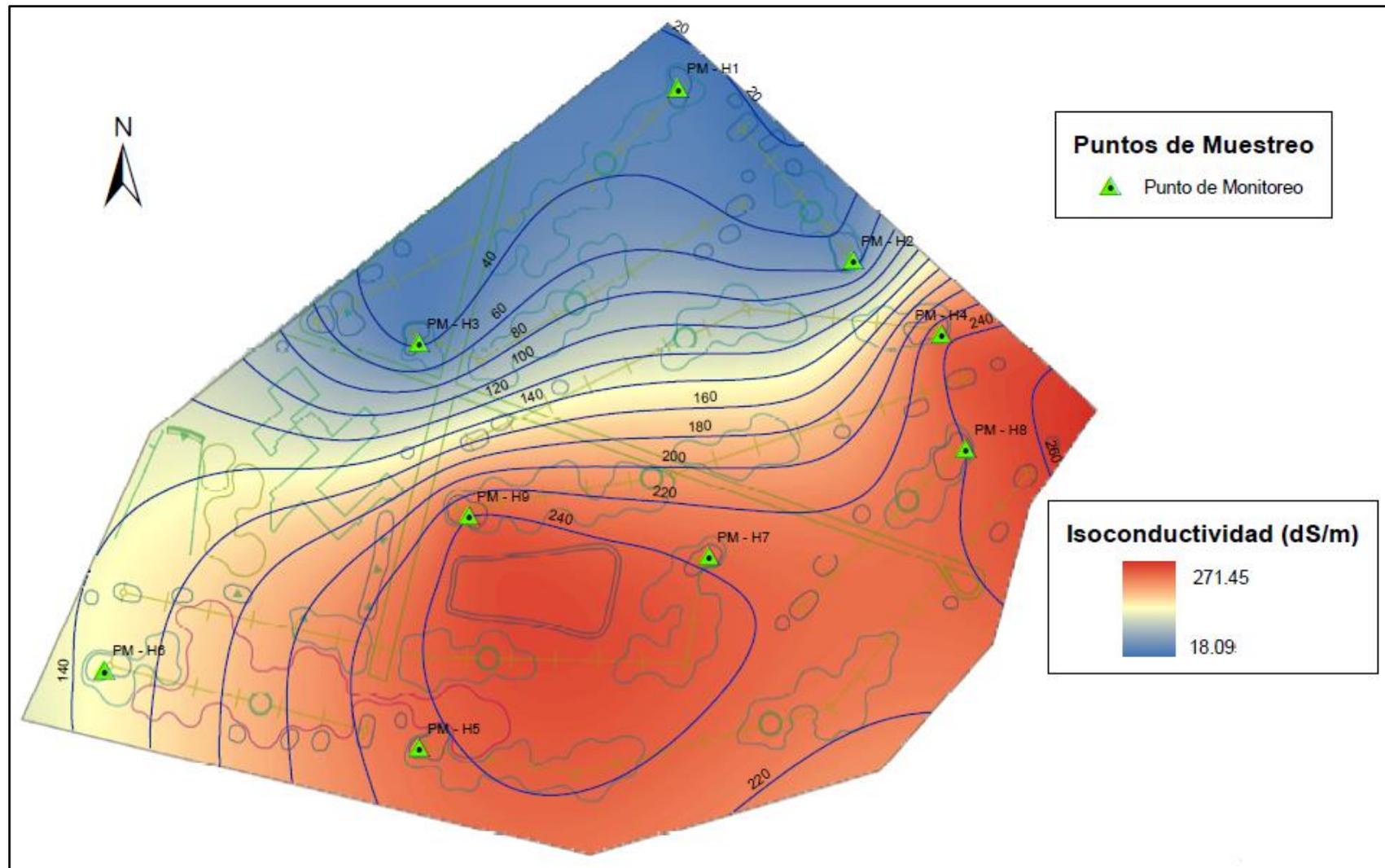


Figura 3.7: Mapa de isoconductividad (julio, 2012)

Fuente: FPG, 2012-b

3.3.2. ETAPA DE CAMPO

a. Reconocimiento del área de estudio

En esta etapa se hizo el reconocimiento de las condiciones del área de estudio, tales como límites del terreno, accesos, ubicación de los hoyos, identificación de las zonas representativas para el posterior muestreo de suelos, con el fin de programar las demás actividades de campo. En la Figura 3.8, se presenta una vista del sector donde está localizada la calicata C-1 al momento de la ejecución de la prueba de permeabilidad.



Figura 3.8: Vista panorámica del área de estudio (C-1)

b. Muestreo de suelos

Luego de identificar el campo de golf y las zonas representativas (Figura 3.9), se procedió al muestreo de suelos, en 16 puntos en total, de los cuales 13 correspondían a puntos de control (del PC-1 al PC-13) y tres a calicatas (C-1, C-2 y C-3).

c. Pruebas de permeabilidad

Para el desarrollo de estas pruebas, se tomó como referencia tres puntos representativos del área de estudio (Prueba-1, Prueba-2 y Prueba-3). En cada punto se instaló los cilindros infiltrómetros (Figura 3.10); los que fueron fijados al suelo (aproximadamente a 25 cm de profundidad) y nivelados respecto del terreno; para lo cual, se introdujeron con ayuda de una tabla y comba; primero el cilindro externo, luego el interno, de mayor altura, que permite que el agua infiltre verticalmente. Las lecturas se realizaron en intervalos de cinco minutos por un tiempo aproximado de dos horas y media en cada punto.

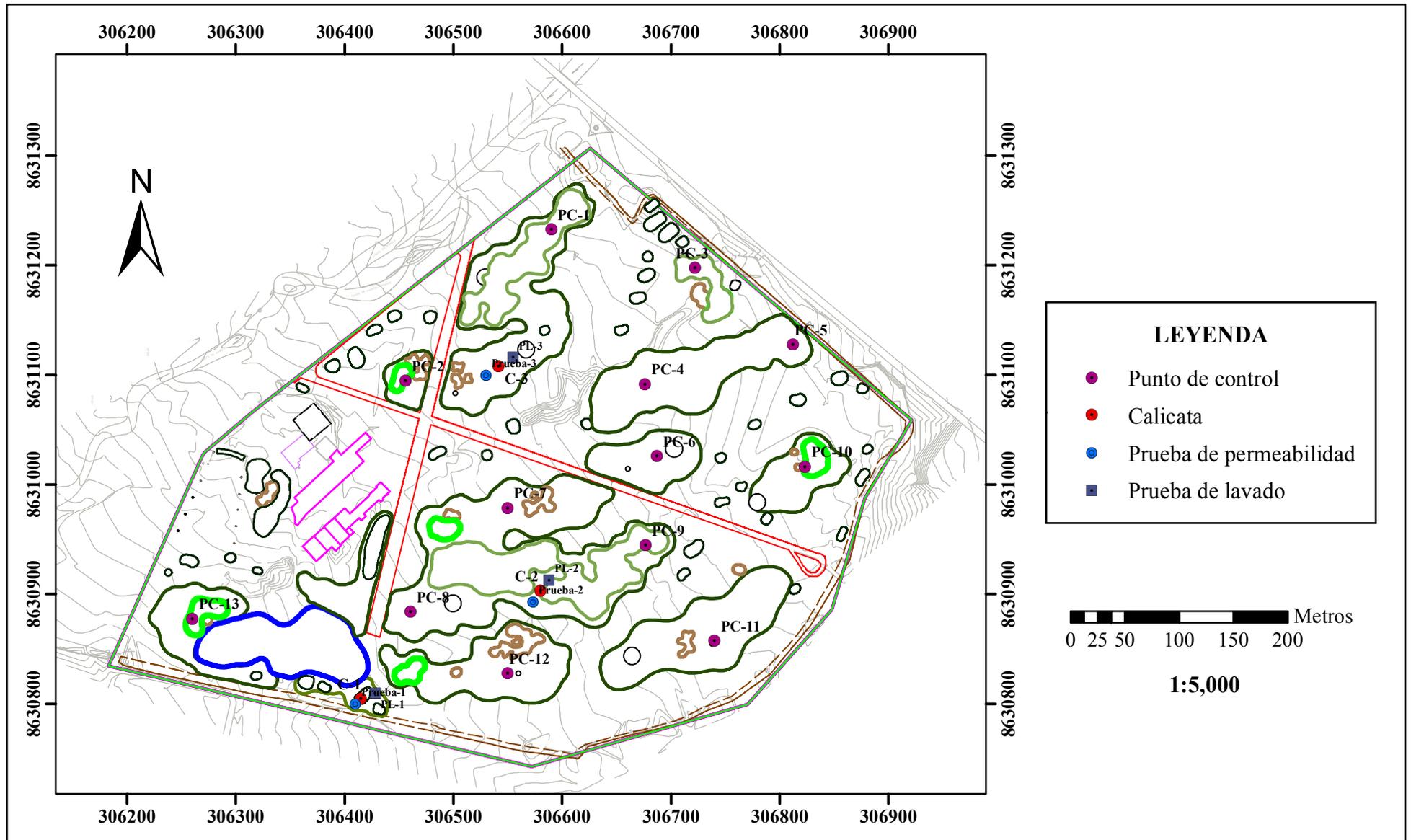


Figura 3.9: Plano de ubicación de los puntos de control, calicatas, pruebas de permeabilidad y pruebas de lavado

Fuente: Elaboración propia

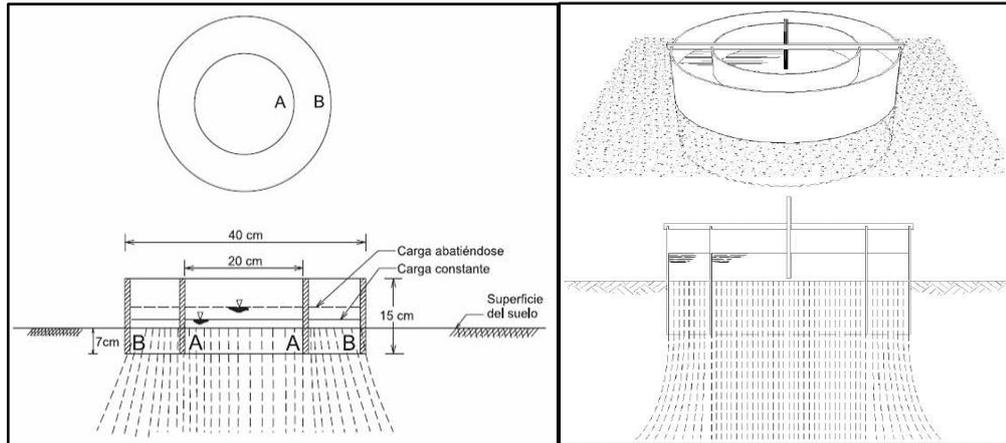


Figura 3.10: Disposición del equipo para medir la variación del nivel de agua en los cilindros infiltrómetros

Fuente: FPG, 2012-a

d. Pruebas de lavado

Para el desarrollo de estas pruebas se tomó como referencia tres puntos representativos del área de estudio (Poza-1, Poza-2 y Poza-3). Una vez ubicados los puntos, se procedió a la construcción de las pozas de lavado (Figura 3.11), cuyas dimensiones fueron de 2 x 2 m para las Pozas 2 y 3; y de 2.20 x 2.20 m para la Poza-1. Asimismo, se aplicó una lámina total de 30 cm para la Poza-1 y Poza-3, mientras que para la Poza-2, la lámina aplicada fue de 40 cm.



Figura 3.11: Construcción y llenado de las pozas de lavado (Poza-2 y Poza-3)

Antes de la aplicación de la primera lámina, en cada poza de lavado, se realizó el primer muestreo a diferentes profundidades (15, 30, 45 y 60 cm) de tal manera de tener conocimiento de las condiciones iniciales del suelo. Posteriormente, luego de la aplicación de cada lámina, se hizo otros muestreos a las mismas profundidades (Figura 3.12).



Figura 3.12: Muestreo de suelo luego de la aplicación de la lámina de agua, Poza - 2

Es importante resaltar que el agua que se utilizó para el desarrollo de la prueba fue agua potable proporcionada por la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, la cual es abastecida por SEDAPAL.

3.3.3. ETAPA DE LABORATORIO

a. Determinación del pH y conductividad eléctrica (CE)

Se midió el pH de las muestras correspondientes a los puntos de control y calicatas, siendo 16 puntos en total.

En el caso de los 13 puntos de control (PC-1 al PC-13), se tomó muestras a 15 y 30 cm de profundidad, mientras que en las calicatas (C-1, C-2 y C-3), se muestreo a 45 y 60 cm, adicionalmente. En el caso de éstas últimas, las muestras a 15 y 30 cm fueron enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, con la finalidad de determinar el pH, conductividad eléctrica, caracterización del suelo y cantidad de aniones y cationes (Figura A1.1 y A1.2).

De otro lado, se determinó los valores de pH y conductividad eléctrica de las muestras, a 15 y 30 cm de profundidad, de los 13 puntos de control, y a 45 y 60 cm de las tres calicatas. También se analizó las muestras obtenidas de las pruebas de lavado (15, 30, 45 y 60 cm de profundidad). Esto se llevó a cabo en el Laboratorio de Riego y Drenaje de la Facultad de Ingeniería Agrícola.

Los valores de pH y conductividad eléctrica fueron determinados en el extracto de saturación del suelo, obtenido luego de saturar la muestra con agua destilada y

extraído con la bomba de vacío (Figura 3.13), para posteriormente ser medido con ayuda del peachímetro (pH) y del conductivímetro (CE).



Figura 3.13: Análisis de las muestras de suelo en el Laboratorio de Riego y Drenaje (DRH - FIA)

b. Determinación de iones solubles y cationes intercambiables

El análisis de las muestras de suelo a 15 y 30 cm de profundidad de las calicatas (C-1, C-2 y C-3), estuvo a cargo del Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Aquí se determinaron la cantidad de iones solubles y cationes intercambiables, además de otras características para fines del estudio (Figura A1.1 y A1.2).

3.3.4. ETAPA DE GABINETE

Con la información obtenida de la etapa de laboratorio, se procedió al ordenamiento y procesamiento de los valores encontrados para determinar el estado de salinidad, sodicidad y permeabilidad de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo.

a. Elaboración de perfiles de salinidad

Los perfiles de salinidad fueron elaborados con la información de conductividad eléctrica (dS/m) de las calicatas C-1, C-2 y C-3, puesto que están localizadas en sectores representativos del campo de golf. Para ello, se emplearon cuatro muestras extraídas a 15, 30, 45 y 60 cm de profundidad de cada calicata (Tabla A1.4).

b. Mapas de isoconductividad

Para la elaboración de los mapas de isoconductividad se empleó los valores de conductividad eléctrica, a 15 y 30 cm de profundidad. Los datos para la elaboración de los mapas corresponden a los 16 puntos en total (PC-1 a PC-13 y C-1 a C-3), para posteriormente ser procesados con el software ArcGIS (Figura 4.2 y 4.3).

c. Determinación de la sodicidad

La presencia de sodio se determinó mediante el análisis del porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de adsorción de sodio (RAS). Para ello se emplearon los análisis hechos por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Para las muestras de las calicatas a 15 cm se hizo un análisis de las características del suelo, en donde se proporciona los valores de cationes cambiabiles (meq/100g) con los que se calculó el PSI; mientras que el análisis especial de suelos, muestra los cationes solubles (meq/l) con los que se determinó la RAS a 30 cm.

d. Permeabilidad

Para determinar la permeabilidad de los suelos, se realizaron tres pruebas en el campo de golf denominadas Prueba-1, Prueba-2 y Prueba-3. Se tomaron los datos de tiempo (horas) y lámina infiltrada (centímetros) y se elaboraron las curvas de infiltración para su posterior análisis.

e. Elaboración de perfiles de lavado

Los perfiles de lavado se elaboraron con la información obtenida de las pruebas de lavado, para antes de la aplicación de la primera lámina (Lo), hasta la última lámina aplicada, dependiendo de la poza de lavado (Poza-1, Poza-2 y Poza-3); relacionando los valores de conductividad eléctrica con la profundidad de la muestra extraída.

f. Elaboración de curvas de lavado

Se elaboraron basándose en el contenido de sales del suelo expresado como valores medios de la conductividad eléctrica (CE) a diferentes profundidades respecto de la lámina de agua aplicada. Dependiendo de la variación de las curvas, se analizó que tan efectivo es aplicar el lavado.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados y discusión del trabajo de investigación que han sido divididos de acuerdo a cada etapa de la metodología a la que corresponden para su mejor presentación.

4.1. EVALUACIÓN DE LA SALINIDAD

a. Análisis de salinidad

En la Tabla 4.1 se presenta los resultados de la determinación de la salinidad del suelo de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, utilizando los valores obtenidos de pH y conductividad eléctrica (CE).

Tabla 4.1: Resultados de pH, CE a 15 cm y 30 cm de profundidad

C-1			
pH	15 cm	7.52	Medianamente alcalino
	30 cm	7.66	Medianamente alcalino
CE (dS/m)	15 cm	8.08	Fuertemente salino
	30 cm	13.50	Fuertemente salino
C-2			
pH	15 cm	7.84	Medianamente alcalino
	30 cm	7.68	Medianamente alcalino
CE (dS/m)	15 cm	26.80	Extremadamente salino
	30 cm	25.20	Extremadamente salino
C-3			
pH	15 cm	7.22	Medianamente alcalino
	30 cm	6.08	Ligeramente ácido
CE (dS/m)	15 cm	23.50	Extremadamente salino
	30 cm	93.40	Extremadamente salino

Fuente: Elaboración propia

Los valores de pH y conductividad eléctrica de las calicatas (C-1, C-2 y C-3), a 15 y 30 cm de profundidad, evidencian un elevado contenido de sales en la capa superficial del suelo, pese al trabajo previo de movimiento de tierras, ya que esta labor se llevó a cabo en el sector cercano a la laguna (en donde se ubica la calicata C-1), lo cual se ve reflejado en los valores más bajos a sus alrededores, mientras que en las otras zonas el relleno es superficial.

Los resultados obtenidos del análisis de laboratorio se presentan en las Tablas A1.1 a A1.4, según ello, a 15 cm de profundidad, el pH fluctúa entre 6.28 y 7.84; mientras que a 30 cm, va de 6.08 a 7.68, es decir, de ligeramente ácido a medianamente alcalino. Por otro lado, la conductividad eléctrica, varía de 8.8 a 246 dS/m y de 13.5 a 248 dS/m, a 15 y 30 cm de profundidad respectivamente. Asimismo, de las muestras de las calicatas, a 45 cm los valores van de 27.6 a 93.4 dS/m y de 28.9 a 158.8 dS/m a 60 cm de profundidad, reafirmando las condiciones extremas de salinidad en la zona. Con respecto al estudio realizado en marzo del 2012 (Tabla 3.4), el valor medio determinado fue de 67.3 dS/m, y los valores fluctuaban de 7.3 a 223.0 dS/m; y, de 29.4 a 240.0 dS/m, según el estudio complementario de julio de ese año (Tabla 3.7). En ambos casos se denota la presencia de suelos extremadamente salinos, que siendo comparado con los valores actuales no existe una variación considerable.

b. Perfiles de salinidad

En la Figura 4.1 se presentan los perfiles de salinidad, elaborados con los valores de la conductividad eléctrica respecto de la profundidad del suelo para las calicatas C-1, C-2 y C-3. Como se puede apreciar, a mayor profundidad los valores de conductividad eléctrica se incrementan debido a la existencia de capas muy compactadas en el perfil del suelo y la presencia de sales. Además, la calicata C-3 posee los valores más altos de conductividad eléctrica, cuyo valor más bajo (15 cm de profundidad) se explica por la presencia de relleno superficial; los menores valores encontrados en las calicatas C-1 y C-2, se deben a que se encuentran en zonas de relleno.

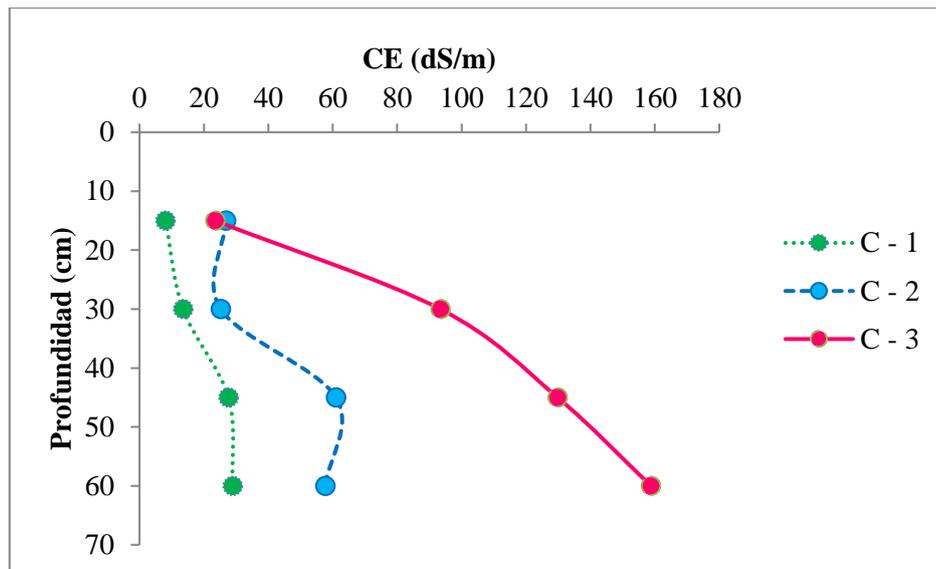


Figura 4.1: Perfiles de salinidad de las calicatas C-1, C-2 y C-3

Fuente: Elaboración propia

c. Mapas de isoconductividad

En las Figuras 4.2 y 4.3 se presentan los mapas de isoconductividad del suelo de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, elaborados con los datos de la conductividad eléctrica (CE) correspondiente al muestreo de los puntos de control y las calicatas (PC-1 al PC-13 y C-1 a C-3), a 15 y 30 cm de profundidad, presentados en la Tabla A1.3 y A1.4.

En estos mapas de isoconductividad eléctrica, se evidencia niveles muy elevados de sales en la capa superficial. Como puede observarse en los mapas que se presentan a continuación, las calicatas C-1, C-2 y C-3, tienen los menores valores de salinidad (8.8, 25.2 y 23.5 dS/m, respectivamente), a una profundidad no mayor a los 30 cm; mientras que en los puntos de control los valores varían de 100 a 250 dS/m. Asimismo, puede observarse que la mayor parte de las zonas de la cancha presentan valores mayores a 50 dS/m. Adicionalmente, en la calicata C-1, se encontraron los valores más bajos, a 15 y 30 cm de profundidad, (8.8 y 13.5 dS/m, respectivamente), lo cual se explica por tratarse de un punto ubicado en una zona de relleno y movimiento de tierras. No obstante, según la Figura 3.7, correspondiente al estudio de julio del 2012, se puede constatar que la presencia de sales en el campo era aún más elevada, y el hecho de que actualmente los valores hayan disminuido, se explica por el efecto del movimiento de tierras, y que algunos de los puntos de control y/o calicatas se encuentran en zonas de relleno (C-1).

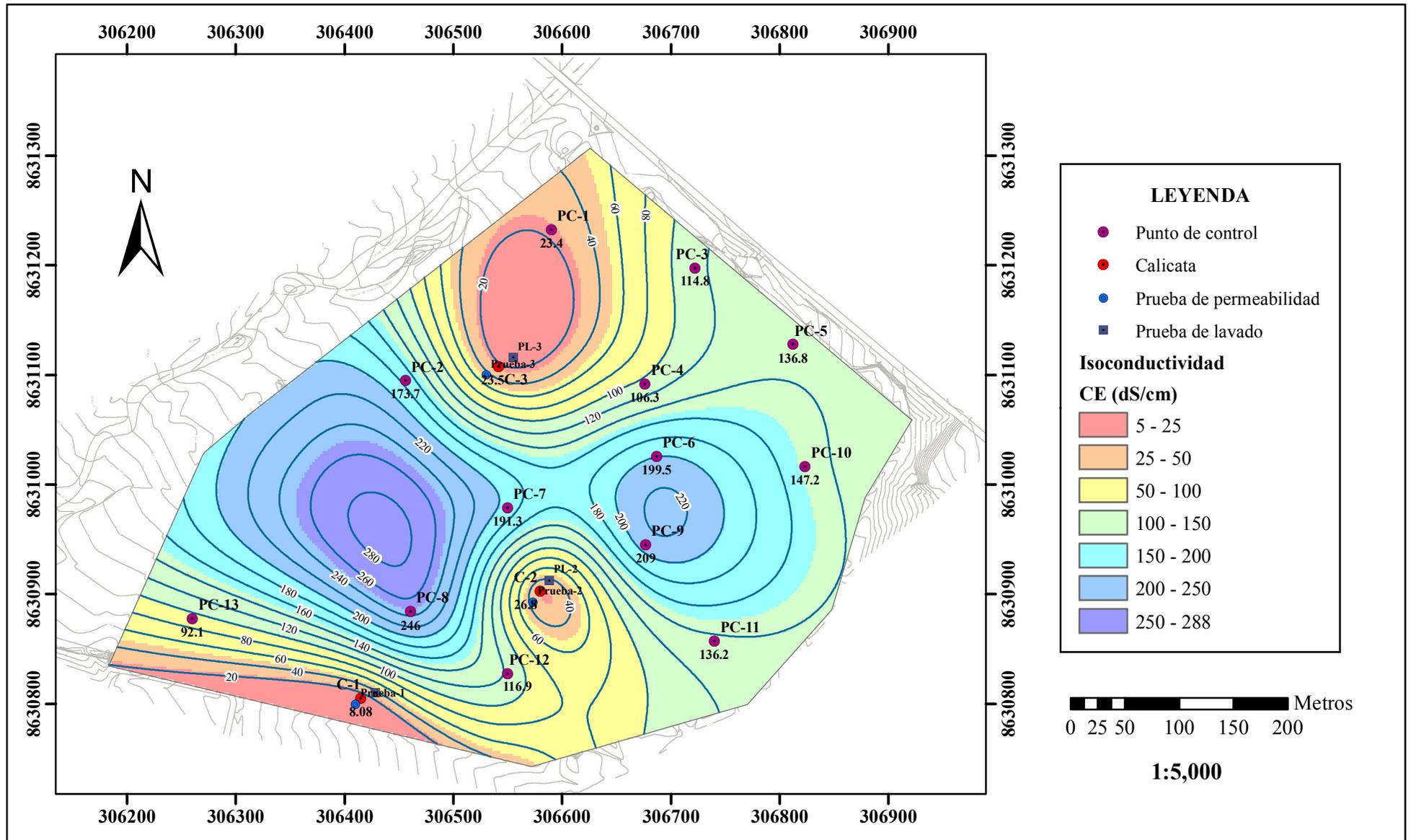


Figura 4.2: Mapa de isoconductividad eléctrica a 15 cm de profundidad de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo

Fuente: Elaboración propia

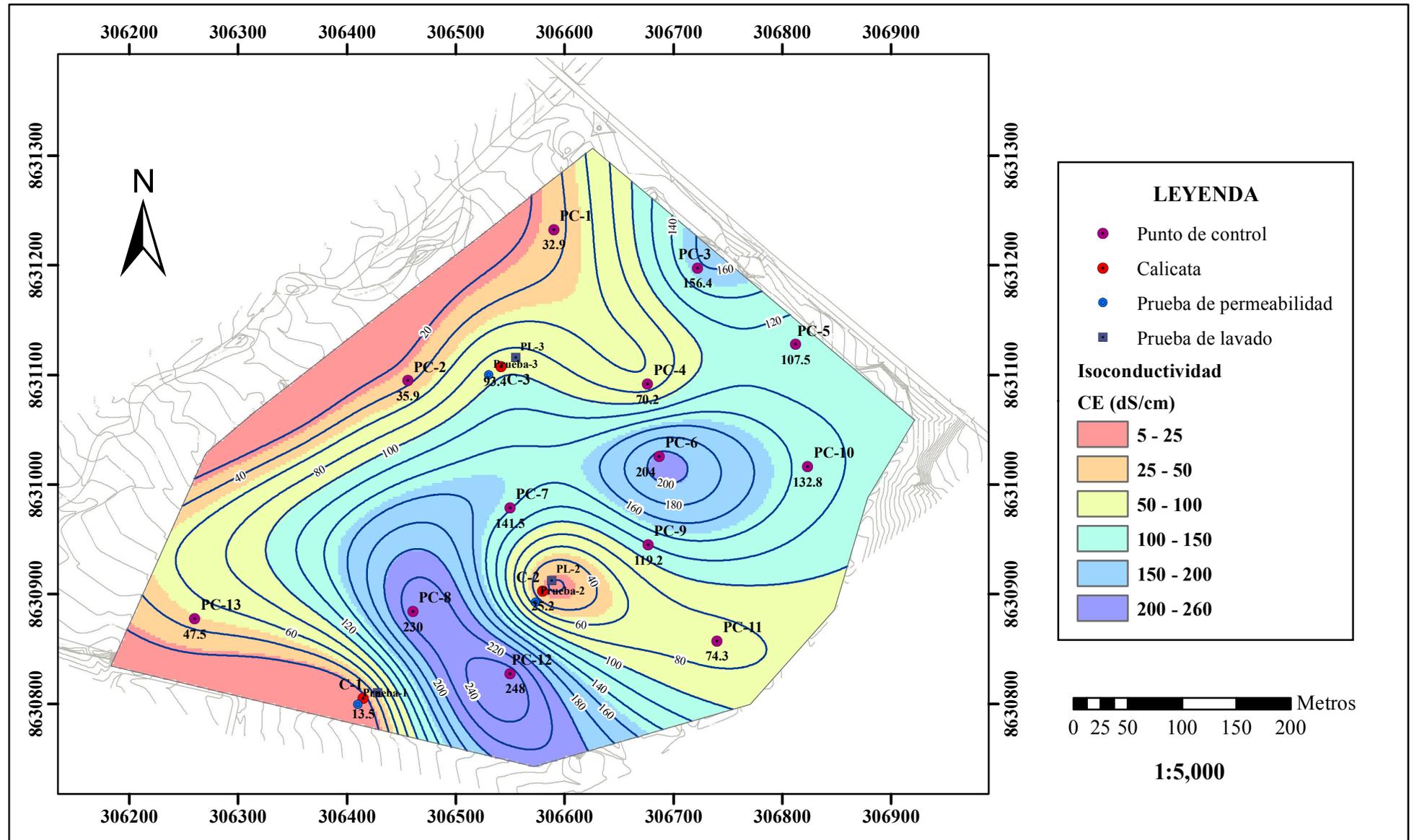


Figura 4.3: Mapa de isoconductividad eléctrica a 30 cm de profundidad de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo

Fuente: Elaboración propia

4.2. EVALUACIÓN DE LA SODICIDAD

a. Análisis de sodicidad

En la Tabla 4.2 se presenta los resultados de la determinación de la sodicidad del suelo de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, utilizando los valores obtenidos de porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y relación de adsorción de sodio (RAS) de las muestras representativas del suelo, es decir, las calicatas C-1, C-2 y C-3. Estos valores fueron obtenidos con los datos de las Tablas A1.8 y A1.9.

Tabla 4.2: Resultados de PSI y RAS del suelo a 15 cm y 30 cm de profundidad

C-1			
PSI	15 cm	12.64	Ligeramente sódico
RAS	30 cm	23.66	Bajo en sodio
C-2			
PSI	15 cm	14.20	Ligeramente sódico
RAS	30 cm	35.31	Moderadamente sódico
C-3			
PSI	15 cm	14.31	Ligeramente sódico
RAS	30 cm	215.27	Fuertemente sódico

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, el PSI calculado a 15 cm de profundidad varía de 12.64 a 14.31 por ciento, tratándose de un suelo ligeramente sódico ya que los valores son menores al 15 por ciento de acuerdo a los parámetros establecidos por Flores (1991). Ello se debe a que la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) varía de 3.52 a 7.2 meq/100g (Tabla A1.8), que se refleja en la poca capacidad del suelo para retener cationes, en especial los de sodio, según Intagri (2015), (Tabla 2.7); ya que se trata de un suelo de textura Arena Franca y Franco Arenosa, con bajo contenido de arcilla (Tabla 3.8). De otro lado, el valor de RAS calculado a 30 cm de profundidad (Tabla A1.9) varía de acuerdo al sector en donde se realizó el análisis. Tanto en la calicata C-1 (23.6) y C-2 (35.3), se tiene una condición de bajo peligro de sodio y moderadamente sódico, respectivamente; por el contrario, la calicata C-3 presenta un valor de 215.27, catalogado como fuertemente sódico. Es importante resaltar que la RAS es un indicador secundario para éste estudio, ya que se mide en la solución del suelo; mientras que el PSI determina la cantidad de sodio intercambiable adsorbido por las partículas del suelo.

4.3. EVALUACIÓN DE LA PERMEABILIDAD

a. Análisis de la permeabilidad del suelo

En la Tabla 4.3 se presenta los valores de permeabilidad para cada prueba realizada. Los resultados fueron obtenidos con los datos de la Tabla A1.10 y representados en la Figura 4.4.

Tabla 4.3: Resultados de las pruebas de permeabilidad

Pruebas	Permeabilidad (cm/h)	Clase de permeabilidad
Prueba - 1	2.80	Moderada
Prueba - 2	2.30	Moderada
Prueba - 3	2.80	Moderada

Fuente: Elaboración propia

El valor más bajo de permeabilidad obtenido fue de 2.3 cm/h, catalogada como permeabilidad moderada, correspondiente a la Prueba-2. Según la clasificación presentada por Guerrero (2013) en la Tabla 2.4, se debe tratar de un suelo de textura franco limoso o franco, pero el reporte de laboratorio (Figura A1.1) señala que la textura es arena franca, por lo que teóricamente, su permeabilidad debe ser rápida. Sin embargo, el resultado obtenido se explica debido a que la Prueba-2 está ubicada en una zona prácticamente no alterada por el trabajo de movimiento de tierras realizado en la cancha de golf, en donde se mantiene la presencia de capas muy compactadas a lo largo del perfil del suelo. Por otro lado, el mayor valor de 2.8 cm/h corresponde a las Pruebas 1 y 3, que también es clasificada como permeabilidad moderada. Si bien en el primer caso su textura es arena franca, a diferencia de la Prueba-2, se encuentra en una zona de relleno producto de los trabajos de movimiento de tierras; mientras que la Prueba-3 presenta una textura franco arenosa, que en teoría es clasificada como moderadamente rápida, pero se ve afectada por los problemas de sales que se muestra en las tablas anteriores (Tabla 4.1 y 4.2), además el relleno en este sector es sólo superficial.

Con respecto al estudio realizado en marzo del 2012 (Tabla 3.5), los valores de permeabilidad se han incrementado debido al movimiento de tierras y zonas de relleno, ya que anteriormente eran de 0.6 y 1 cm/h, clasificado como lenta y moderadamente lenta.

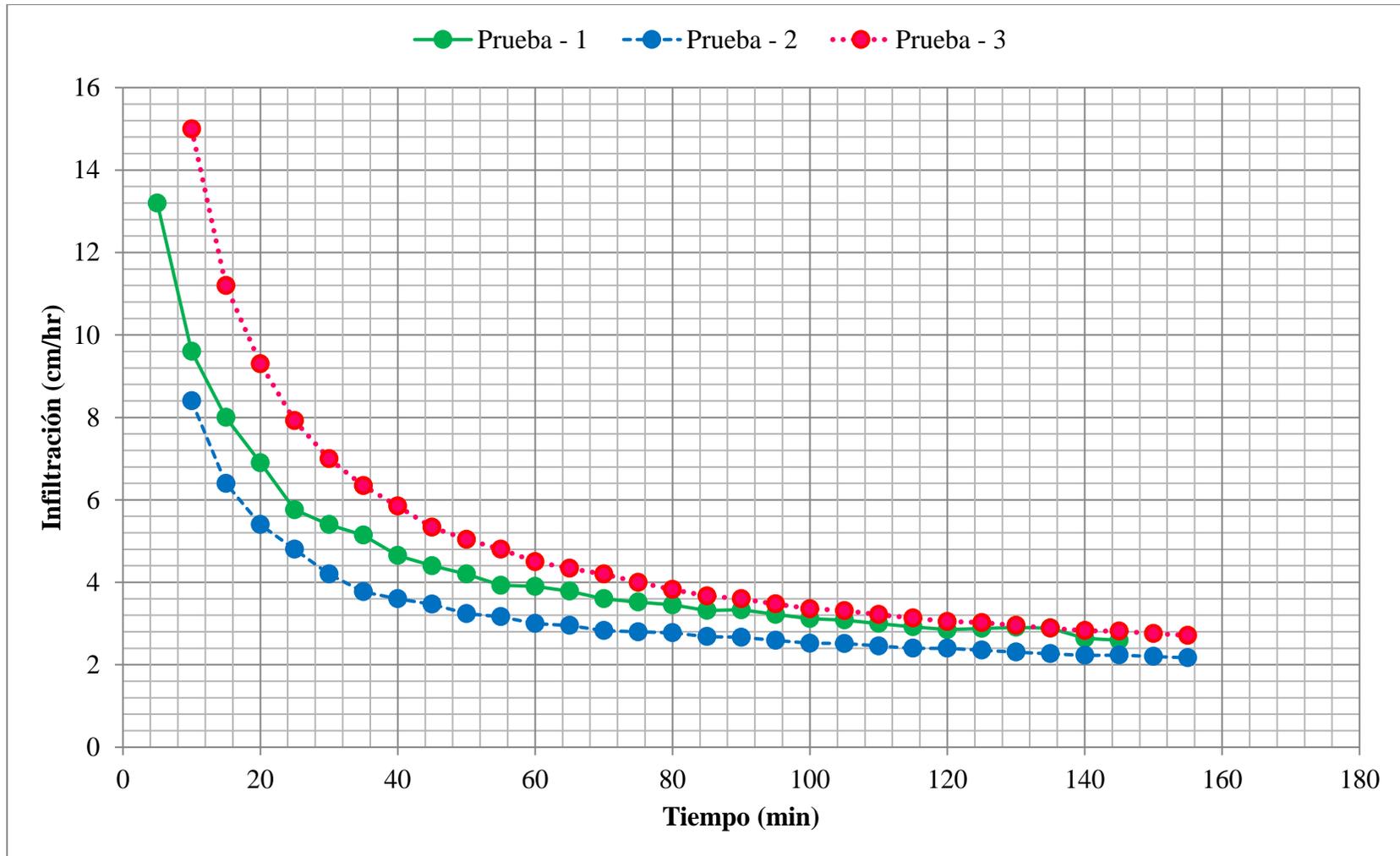


Figura 4.4: Curvas de infiltración

Fuente: Elaboración propia

4.4. PRUEBAS DE LAVADO

a. Perfiles de lavado

En la Figura 4.6 se presentan los perfiles de salinidad elaborados con los datos de los Tablas A1.5 a A1.7, correspondientes al muestreo realizado durante las pruebas de lavado, en donde se aprecia la variación de la conductividad eléctrica antes de aplicar la lámina de agua (Lo), y después de su aplicación.

Según los perfiles de lavado, los resultados de la Poza-1, evidencian una reducción de los niveles de salinidad con la aplicación de las láminas de agua de 20 y 30 cm; por el contrario, en la Poza-2 (Figura 4.5) y Poza-3 no se observa la disminución de la salinidad con la aplicación de las diferentes láminas de agua, debido a que en estos sectores el relleno fue superficial o con muy poco movimiento de tierras. Una situación similar ocurrió en el estudio de marzo del 2012 (Tabla 3.6), ya que luego de aplicar la primera lámina de lavado (10 cm) y las posteriores, no hubo una variación significativa de la salinidad debido a la presencia de capas muy compactadas del suelo.



Figura 4.5: Perfil del suelo hasta 60 cm antes y después de la aplicación de las dos primeras láminas (Poza - 2)

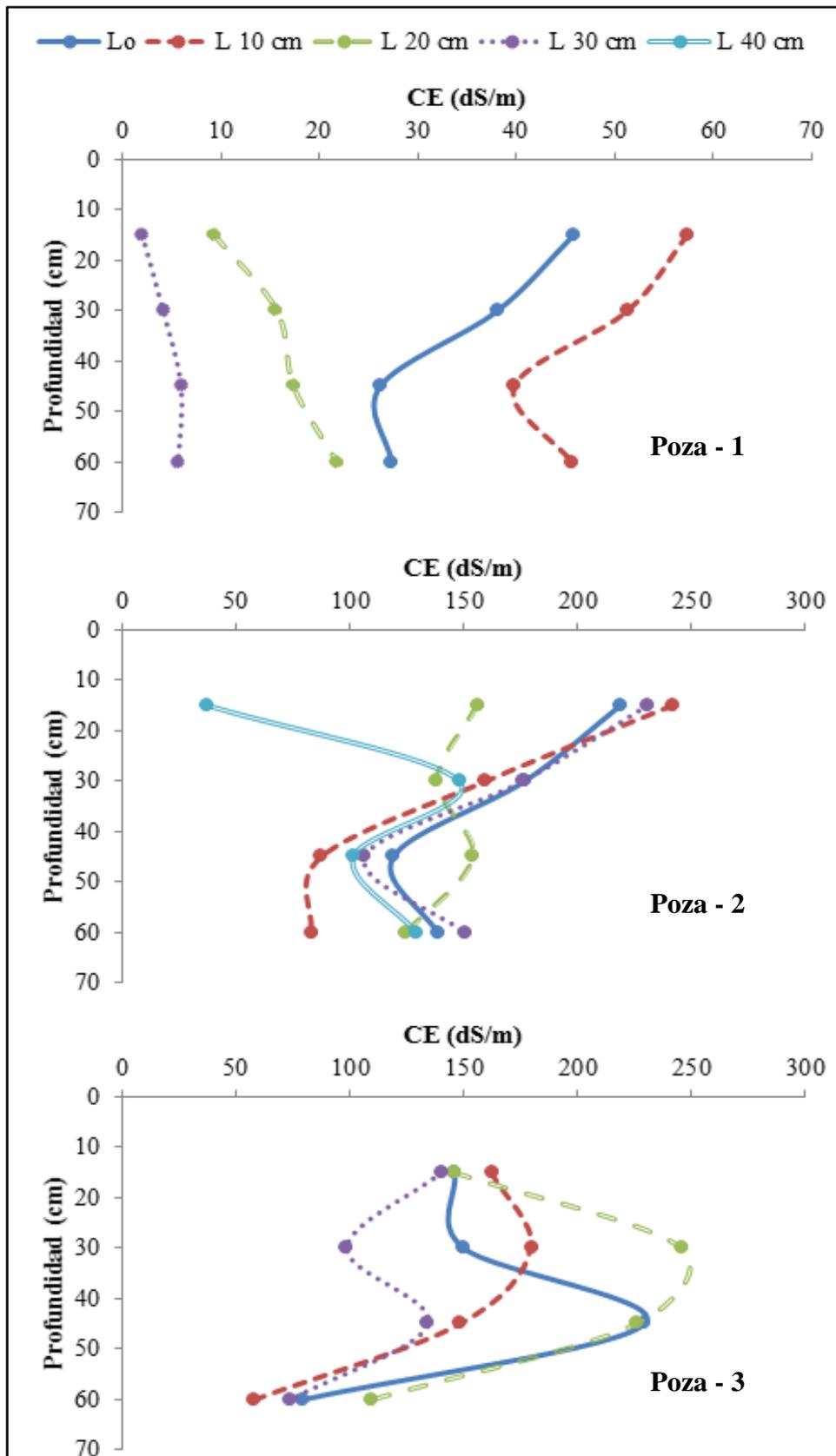


Figura 4.6: Perfiles de salinidad de las pruebas de lavado

Fuente: Elaboración propia

b. Curvas de lavado

En las Tablas 4.4, 4.6 y 4.8 se presenta los valores de la conductividad eléctrica de las muestras de suelo, tomados durante la ejecución de las pruebas de lavado, que son empleados en la elaboración de los perfiles de salinidad. Las Tablas 4.5, 4.7 y 4.9 presentan los valores medios de la CE a profundidades del suelo de 0-15 cm, 0-30 cm, 0-45 cm y 0-60 cm, con los que se elaboró las respectivas curvas de lavado para cada poza (Figuras 4.7 a 4.9).

Tabla 4.4: Resultados de la prueba de lavado, Poza - 1 (CE en dS/m)

Prof. del suelo (cm)	Lámina de lavado (cm)			
	0	10	20	30
15	45.9	57.4	9.27	1.99
30	38.1	51.3	15.6	4.11
45	26.1	39.8	17.3	5.93
60	27.3	45.7	21.7	5.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.5: Valores medios de CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo de la prueba de lavado, Poza - 1

Prof. del suelo (cm)	Lámina de lavado (cm)			
	0	10	20	30
0 - 15	45.9	57.4	9.27	1.99
0 - 30	42.0	54.35	12.44	3.05
0 - 45	36.7	49.5	14.06	4.01
0 - 60	34.35	48.55	15.97	4.42

Fuente: Elaboración propia

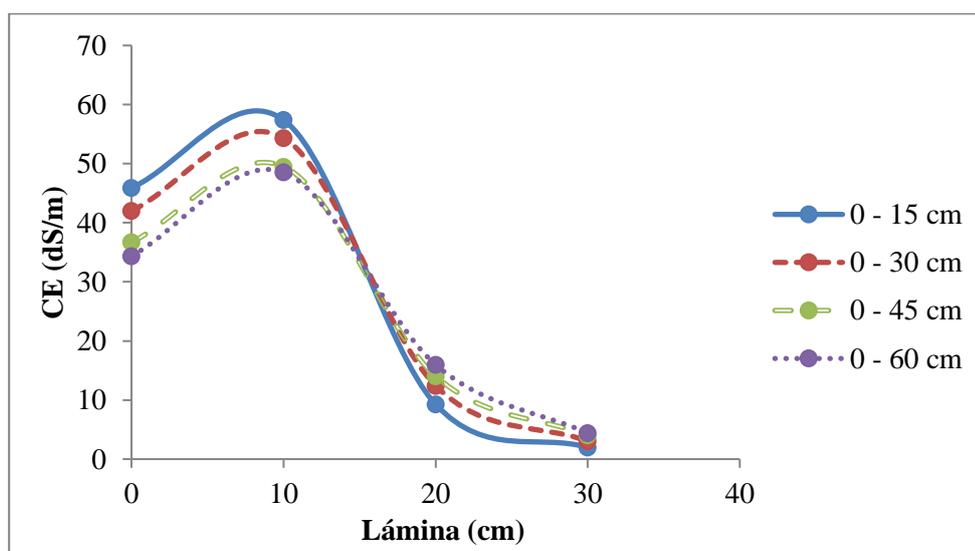


Figura 4.7: Curva de lavado, Poza - 1

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.7 se logra reducir los niveles de salinidad del perfil del suelo a niveles de 9.27 - 15.97 dS/m, luego de la aplicación de una lámina de agua de 20 cm; y a 1.99 - 4.01 dS/m, con una lámina de 30 cm (Tabla 4.5).

Tabla 4.6: Resultados de la prueba de lavado, Poza - 2 (CE en dS/m)

Prof. del suelo (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
15	219.0	242.0	155.9	231.0	36.9
30	176.8	159.6	138.3	176.0	148.0
45	119.0	87.3	154.1	106.5	101.3
60	138.5	82.8	124.2	150.7	129.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.7: Valores medios de CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo de la prueba de lavado, Poza - 2

Prof. del suelo (cm)	Lámina de lavado (cm)				
	0	10	20	30	40
0 - 15	219.0	242.0	155.9	231.0	36.9
0 - 30	197.9	200.8	147.1	203.5	92.45
0 - 45	171.6	162.97	149.43	171.17	95.4
0 - 60	163.33	142.93	143.13	166.05	103.9

Fuente: Elaboración propia

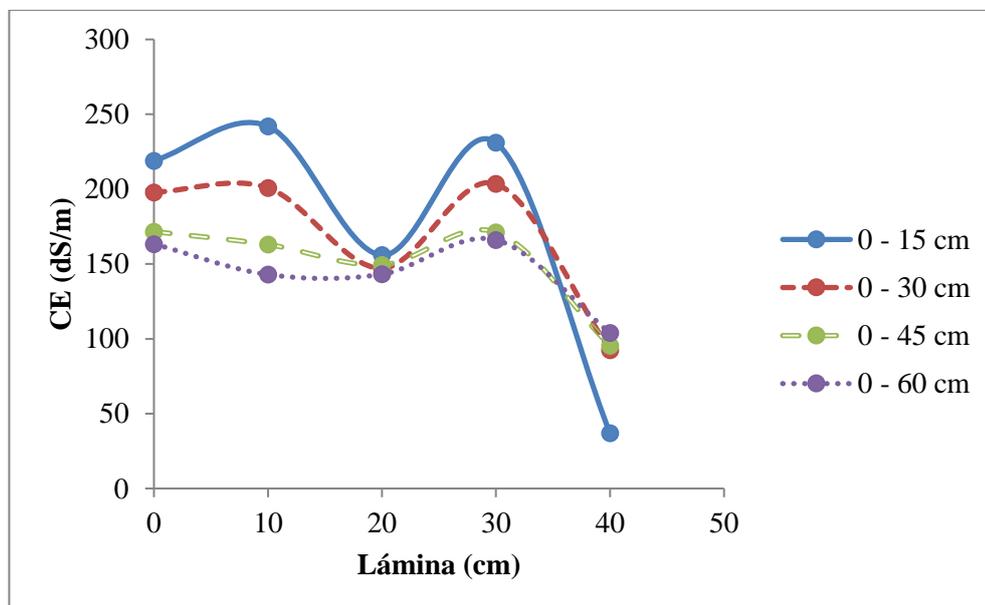


Figura 4.8: Curva de lavado, Poza - 2

Fuente: Elaboración propia

En la Figuras 4.8 se puede observar que pese a aplicar hasta una lámina acumulada de 40 cm, la conductividad eléctrica siguió siendo elevada, ya que la mayoría de sus valores se encuentran por encima de 100 dS/m (Tabla 4.7) debido a la presencia de capas muy compactadas en el suelo que dificultan la infiltración del agua; por esta razón, para recuperar el suelo de este sector mediante un proceso de lavado requeriría de un trabajo previo de movimiento de tierras.

Tabla 4.8: Resultados de la prueba de lavado, Poza - 3 (CE en dS/m)

Prof. del suelo (cm)	Lámina de lavado (cm)			
	0	10	20	30
15	145.8	162.5	146.0	140.0
30	149.7	179.6	246.0	98.4
45	229.0	148.4	226.0	134.1
60	79.1	57.8	109.7	73.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.9: Valores medios de CE (dS/m) a diferentes profundidades de suelo de la prueba de lavado, Poza - 3

Prof. del suelo (cm)	Lámina de lavado (cm)			
	0	10	20	30
0 - 15	145.8	162.5	146.0	140.0
0 - 30	147.75	171.05	196.0	119.2
0 - 45	174.83	163.5	206.0	124.17
0 - 60	150.9	137.08	181.93	111.55

Fuente: Elaboración propia

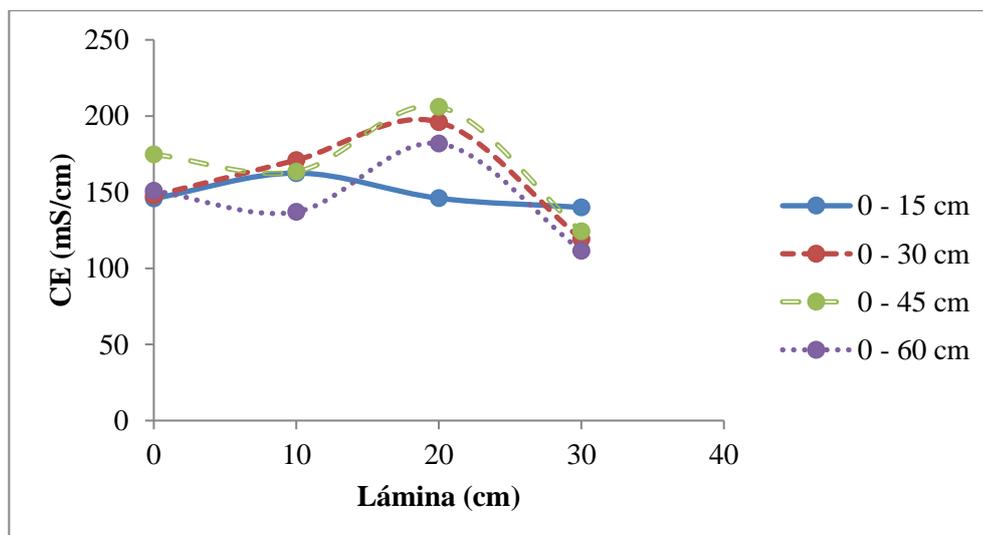


Figura 4.9: Curva de lavado, Poza - 3

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 4.9, se aprecian las curvas de lavado de la Poza-3 en donde se aplicó láminas acumuladas de hasta 30 cm; sin embargo, la conductividad eléctrica se mantuvo entre los 110 dS/m y 206 dS/m (Tabla 4.9), ya que como se menciona en párrafos anteriores, en esta zona se tiene una presencia considerable de sales.

Sin embargo, según la ecuación general de la curva de lavado presentada por Golabi et al (2012), los resultados obtenidos durante las pruebas de lavado no se ajustan a la curva teórica. En las Tablas 4.10 a 4.15 se puede observar las láminas de lavado obtenidas para distintos valores de conductividad eléctrica respecto a la conductividad eléctrica inicial a determinada profundidad. En este caso, se analizaron las curvas teóricas a 45 y 60 cm de profundidad ya que la variedad sugerida para sembrar en el campo de golf es el *Paspalum vaginatum*, y según las características presentadas en la Tabla 2.8, la profundidad de raíz de este césped varia hasta los 45 cm aproximadamente.

Tabla 4.10: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 45 cm de profundidad, Poza - 1

CE (dS/m)	Lámina (cm)
30.00	17.76
25.00	19.96
20.00	23.27
15.00	28.77
10.00	39.78

Fuente: Elaboración propia

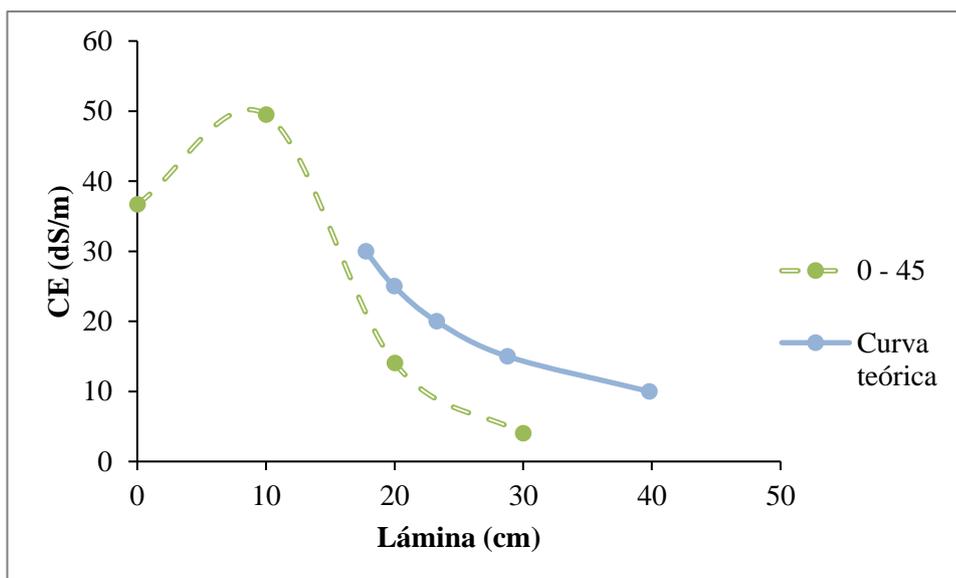


Figura 4.10: Curva de lavado teórica a 45 cm, Poza - 1

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la Tabla 4.10, representados en la Figura 4.10, indican que la curva teórica a 45 cm no se asemeja a los resultados obtenidos en campo, ya que al aplicar una lámina de 20 cm, la conductividad eléctrica disminuyó de 36.7 dS/m a 15.97 dS/m, mientras que teóricamente debe de descender a 25 dS/m. En el caso de la lámina de 30 sucede algo similar, pues se obtuvo 4.01 dS/m y el valor debería de fluctuar entre 15 dS/m y 20 dS/m.

Tabla 4.11: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 60 cm de profundidad, Poza - 1

CE (dS/m)	L (cm)
30.00	22.74
25.00	25.49
20.00	29.61
15.00	36.48
10.00	50.22

Fuente: Elaboración propia

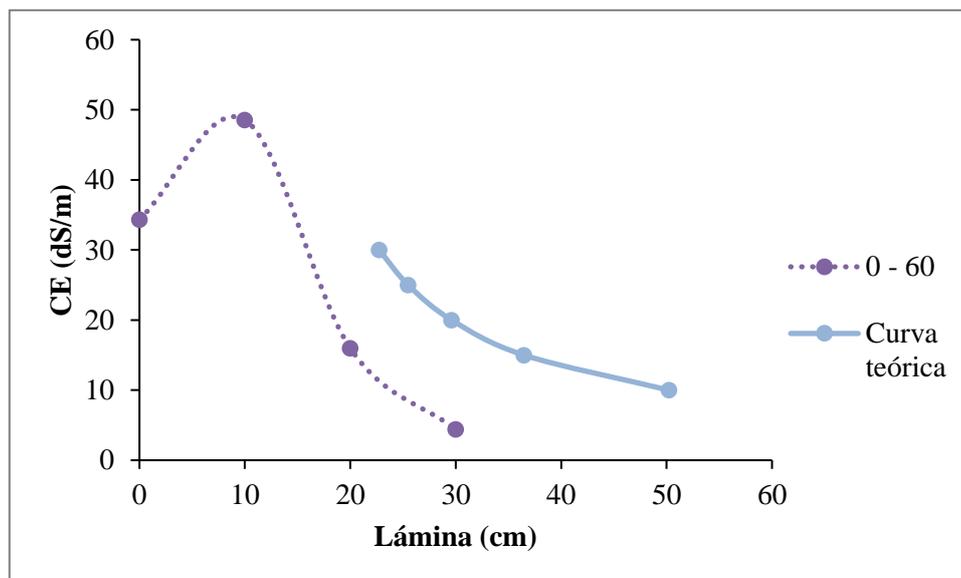


Figura 4.11: Curva de lavado teórica a 60 cm, Poza - 1

Fuente: Elaboración propia

A 60 cm de profundidad no existe mucha variación respecto al caso de 45 cm, según puede apreciarse en la Figura 4.11, para una lámina de 30 cm el valor inicial de 34.34 dS/m disminuyó a 4.42 dS/m; pero la curva teórica indica que debió descender a 20 dS/m; además, indica que para alcanzar un valor de 10 dS/m se debe de aplicar una lámina de 50 cm.

Tabla 4.12: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 45 cm de profundidad, Poza - 2

CE (dS/m)	L (cm)
160.00	16.40
140.00	17.78
120.00	19.62
100.00	22.19
80.00	26.06
60.00	32.49
40.00	45.36
20.00	83.97
10.00	161.19

Fuente: Elaboración propia

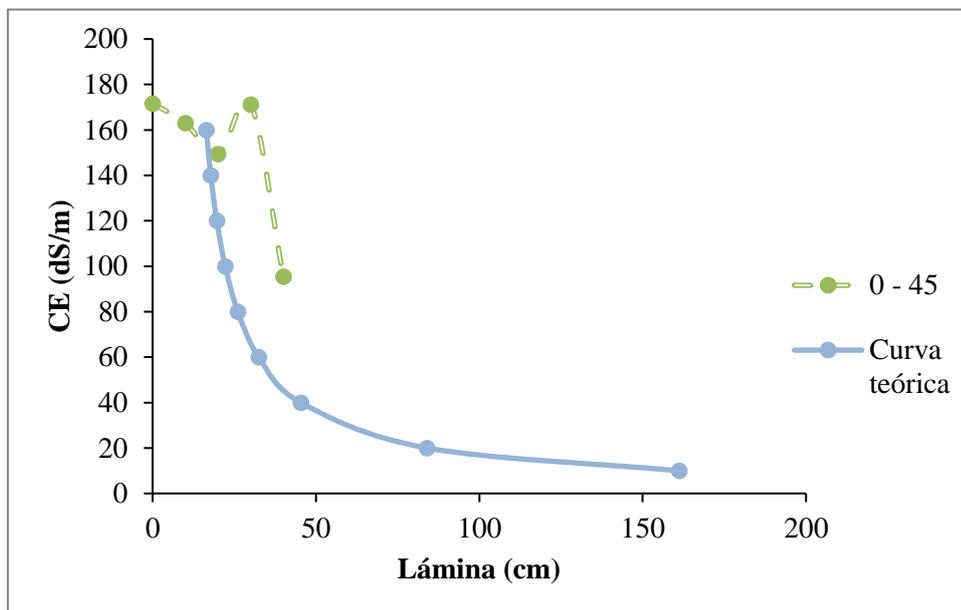


Figura 4.12: Curva de lavado teórica a 45 cm, Poza - 2

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 4.12 y graficados en la Figura 4.12, a 45 cm de profundidad la curva teórica no se ajusta a los resultados obtenidos mediante las pruebas de campo. Partiendo del valor inicial de 171.6 dS/m, y según esta curva, se requiere una lámina de 161.19 cm para obtener un valor de 10 dS/m, y lograr que las condiciones del suelo se encuentren dentro de un rango tolerable a los requerimientos del césped.

Tabla 4.13: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 60 cm de profundidad, Poza - 2

CE (dS/m)	L (cm)
160.00	21.25
140.00	23.00
120.00	25.33
100.00	28.60
80.00	33.50
60.00	41.67
40.00	58.00
20.00	107.00
10.00	204.99

Fuente: Elaboración propia

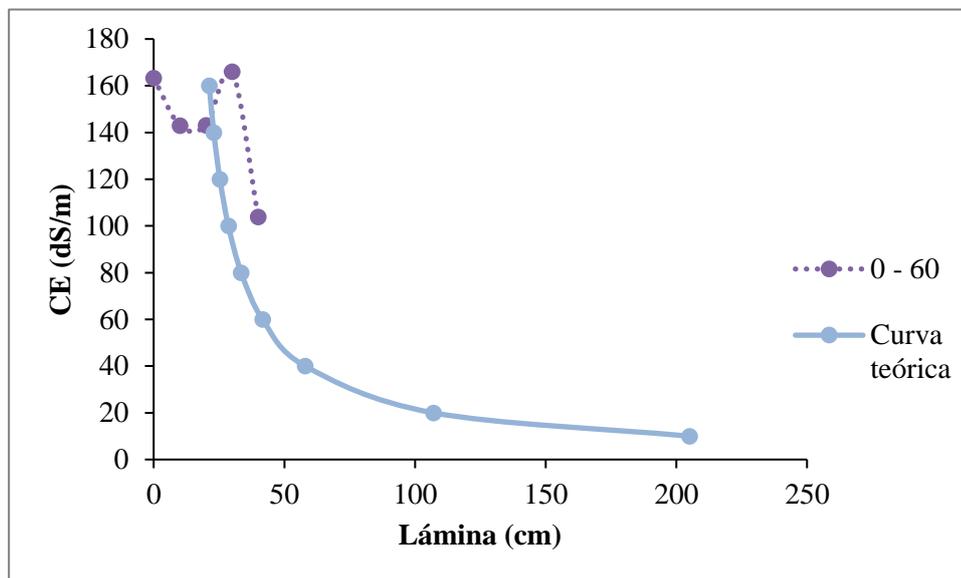


Figura 4.13: Curva de lavado teórica a 60 cm, Poza - 2

Fuente: Elaboración propia

Los resultados presentados en la Figura 4.13, indican que la curva de lavado obtenida mediante las pruebas de campo no guarda similitud con la curva obtenida empleando la ecuación teórica. Considerando el valor inicial de 163.33 dS/m y aplicando una lámina de 40 cm la conductividad eléctrica descendió a 103.9 dS/m; sin embargo, teóricamente debió descender hasta 60 dS/m aproximadamente. Según esta curva, para obtener un valor de 10 dS/m se debe de aplicar una lámina de 204.99 cm.

Tabla 4.14: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 45 cm de profundidad, Poza - 3

CE (dS/m)	L (cm)
160.00	16.58
140.00	17.99
120.00	19.86
100.00	22.49
80.00	26.42
60.00	32.98
40.00	46.09
20.00	85.43
10.00	164.10

Fuente: Elaboración propia

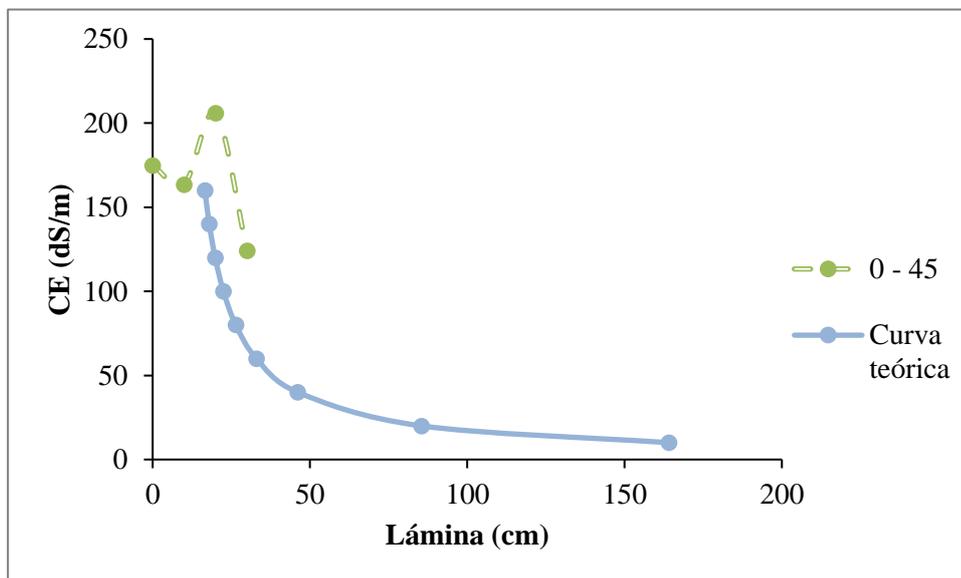


Figura 4.14: Curva de lavado teórica a 45 cm, Poza - 3

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.14 representa los valores de conductividad eléctrica de y lámina de lavado obtenida de la ecuación teórica a 45 cm de profundidad. Según lo que se puede observar, la curva teórica no se ajusta a la curva de lavado obtenida mediante pruebas en campo. Además, debido a los elevados valores de conductividad eléctrica, para lograr alcanzar una reducción de 174.83 dS/m hasta 10 dS/m, debe de emplearse una lámina de lavado de 164.10 cm. Asimismo, aplicando una lámina de 30 cm, se debería de alcanzar valores que fluctúen entre los 60 dS/m y 80 dS/m, pero dadas las condiciones del campo de golf, disminuye a 124.17 dS/m.

Tabla 4.15: Datos para la elaboración de la Curva Teórica a 60 cm de profundidad, Poza - 3

CE (dS/m)	L (cm)
140.00	21.93
130.00	22.93
120.00	24.09
100.00	27.11
80.00	31.64
60.00	39.18
40.00	54.27
20.00	99.54
10.00	190.08

Fuente: Elaboración propia

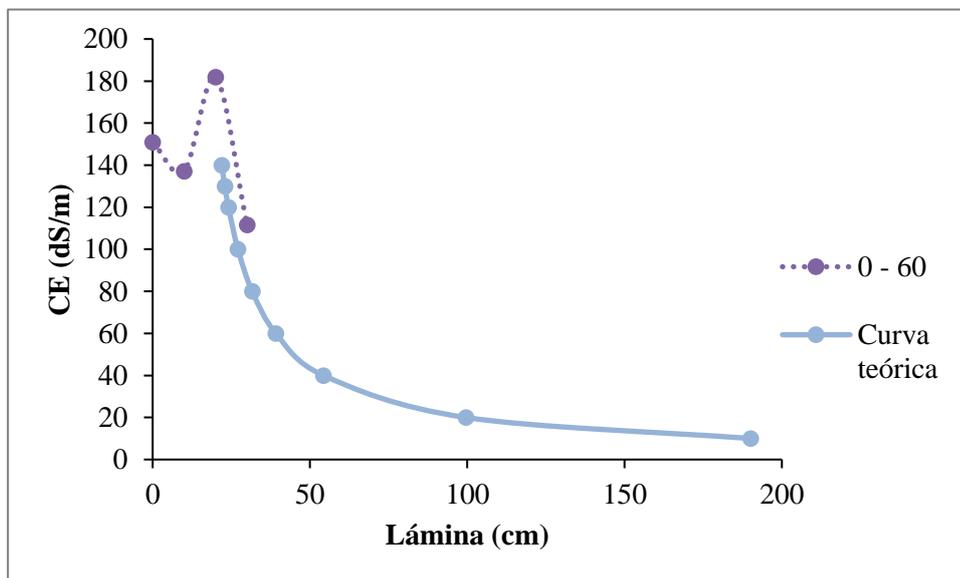


Figura 4.15: Curva de lavado teórica a 60 cm, Poza - 3

Fuente: Elaboración propia

La Figura 4.15 muestra que la curva de lavado en campo no se ajusta a la obtenida mediante la ecuación. Siendo el valor inicial 150.9 dS/m y aplicando una lámina de 30 cm, el resultado final fue 111.55 dS/m; sin embargo, según la Tabla 4.14, este valor debe ubicarse entre 80 dS/m y 100 dS/m. Para lograr que el suelo posea condiciones adecuadas para el desarrollo del césped, se debe lograr disminuir estos valores hasta 10 dS/m, que según la ecuación teórica, se requiere una lámina de 190.08 dS/m, respectivamente.

V. CONCLUSIONES

1. La Cancha Pública de Golf de San Bartolo actualmente presenta niveles de salinidad muy elevados, especialmente en la capa superficial (0-30 cm), por tanto, requiere de un proceso de lavado junto con una actividad complementaria para su recuperación.
2. Se determinó que el suelo del campo de golf, según los valores encontrados de pH menor a 8.5, CE mayor a 4 dS/m y PSI menor al 15 por ciento, es calificado como suelo salino. En el caso de la sodicidad, el valor de RAS obtenido mayor a 13, indica que el suelo presenta un peligro mínimo de afectación a causa del sodio, a excepción de un sector que es calificado como fuertemente sódico.
3. Las condiciones de permeabilidad del suelo del campo de golf son bajas (menores a 3 cm/hora) debido a la presencia de capas compactadas y endurecidas, haciendo que el drenaje del suelo sea prácticamente nulo. Conforme con la clasificación, la permeabilidad es moderada, siendo un escenario no favorable para un proceso de lavado.
4. Según los perfiles de lavado, se concluye que luego de aplicar las láminas de lavado, los valores de conductividad eléctrica siguen altos y sin variación considerable. Las curvas de lavado sólo corroboran lo difícil que sería la recuperación del suelo aplicando solamente el método de lavado.

VI. RECOMENDACIONES

1. Para la recuperación de los suelos de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo, dadas sus condiciones actuales, se recomienda aplicar el lavado de suelos previo trabajo de subsolación para mejorar las condiciones de drenaje y permitir un lavado más efectivo.
2. Según las condiciones existentes para la remodelación de la Cancha Pública de Golf de San Bartolo se recomienda usar la variedad *Paspalum vaginatum*, ya que posee alta tolerancia a las sales y se viene usando con buenos resultados en otros campos de golf con similares condiciones de salinidad.
3. Realizar un siguiente estudio de evaluación del proceso de recuperación con la finalidad de hacer un análisis de la variación de los niveles de salinidad.
4. Es importante realizar este tipo de investigaciones puesto que en la actualidad la información referente a problemas de salinidad y sodicidad en el ámbito nacional, especialmente de la costa, es escasa. Se sugiere tomar como referencia el presente estudio no sólo para los casos de canchas de golf, sino también para la implementación de otro tipo de proyectos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceves, L. 1981. Los terrenos ensalitrados y los métodos para su recuperación. En Flores, A. 1991. Suelos salinos y sódicos. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Riego. La Habana, CU. 32 p.
- AGCSA (Australian Golf Course Superintendents Association). 2011. Turfgrass Tolerance to Salinity (en línea). Consultado 9 abr. 2016. Disponible en: <http://water.agcsa.com.au/turfgrass-tolerance-salinity>.
- Agencia Peruana de Noticias. 2011. Señal Alternativa (en línea). Lima, PE. Consultado 05 mar. 2016. Disponible en: <http://senalalternativa.com/wp-content/uploads/2011/11/mapa.jpg>
- Badia, D. 1992. Suelos afectados por sales (en línea). Unitat d'Ecologia (UAB), Bellaterra. 12 ed. Barcelona, ES. Consultado 29 ene. 2016. Disponible en: <http://publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000120%5C00000090.pdf>.
- Barber, P. 2006. Elección del tipo de césped en los campos de golf. Bricojardinería & paisajismo: Revista profesional de distribución en horticultura ornamental y jardinería no.141: 16-17.
- Casas, R. 2012. El suelo de cultivo y las condiciones climáticas. Madrid, ES. Editorial Paraninfo. 231 p.
- Carrow, N. y Duncan, R. 1998. Salt-Affected Turfgrass Sites: Assessment and management. Michigan, US. Ann Arbor Press. 185 p.
- Carrow, N. y Duncan, R. 2011. Best Management Practices for Salt-Affected Golf Courses: Why and How? Salinity – a dominant challenge. Green Section Record. United States Golf Association (USGA) 49 (26): 1–5.

- Elgegren, J. y Lee, D. 2007. Taller de Diseminación del Análisis Ambiental del Perú (CEA). Conservación de los Recursos Naturales: Suelos, Recursos Forestales y Biodiversidad. Lima, PE. 25 diapositivas.
- Flores, A. 1991. Suelos salinos y sódicos. Instituto Superior de Ciencias Agropecuarias de la Habana, Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Riego. La Habana, CU. 32 p.
- Flores, A., Gálvez, V., Hernández, O., López, G., Obregón, A., Orellana, R., Otero, L. y Valdez, M. 1996. Salinidad un nuevo concepto. Colima, MX. Editorial Colima. 137 p.
- FPG (Federación Peruana de Golf, PE). 2012-a. Estudio de las condiciones de salinidad, sodicidad y permeabilidad de los suelos de la cancha pública de golf FPG – San Bartolo, Lima. 60 p.
- FPG (Federación Peruana de Golf, PE). 2012-b. Estudio complementario de las condiciones de salinidad de los suelos de la cancha pública de golf – San Bartolo, Lima. 32 p.
- FPG (Federación Peruana de Golf, PE). 2015. Proyecto golf para todos: Replanteo 01 abril. Lima, PE. Esc. 1/1000. Color.
- 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 Lic. Geo. y Med. Amb. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 99 p.
- García, A. 2003. Manejo de suelos con acumulación de sales (en línea). VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. Consultado 16 jul. 2016. Disponible en: <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/2-Manejo-de-suelos-con-acumulacion-de-sales-Garcia-A.pdf>
- Golabi, M., Naseri, A., Karami, B. 2012. Development of an empirical equation for optimum leaching depth: case study in Northern Khuzestan Province, Iran. Transactions of the Royal Society of South Africa. 67 (1): 37- 43.
- Guerrero, J. 2013. Recuperación de suelos degradados por erosión, contaminación, salinización y acidez. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Agronomía. Lima, PE. 138-154 p.
- Harivandi, A. 2007. Using Recycled Water On Golf Courses. Golf Course Management magazine. Environmental Institute for Golf, jun. 2007: 1-12.

- Ibáñez, J. y Manríquez, F. 2013. Solonchaks (WRB): Suelos salinos (en línea). Consultado 4 feb. 2016. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2013/12/17/144776>.
- ICB (Instituto Cervantes Boulogne, AR). 2002. Desertificación en la Patagonia (en línea). Consultado 6 feb. 2016. Disponible en: http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buenos_aires/desertificacion/index1.htm.
- INADE (Instituto Nacional de Desarrollo, PE). 2010. Investigación sobre el problema de salinidad en los suelos en la costa peruana (en línea). Consultado 28 ene. 2016. Disponible en: <http://apiperu.com.pe/Presentaciones/salina1.pdf>
- Intagri. 2015. La capacidad de intercambio catiónico del suelo (en línea). Guanajuato, MX. Consultado 16 julio 2016. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo#sthash.MraeCVEl.dpbs>
- Jahnsen, M. 2013. Impacto de la represa Gallito Ciego en la pérdida de tierras de cultivo por salinización en la cuenca baja del río Jequetepeque 1980-2003. Tesis Lic. Geo. y Med. Amb. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 73 p.
- J.R. Simplot Company. 2014. Sea Spray: Seeded Seashore Paspalum (en línea). Consultado 16 jul. 2016. Disponible en: <http://www.seasprayinfo.com/index.php>
- López, B. 2007. Efectos de la salinidad en suelo y planta. Diplomado en fertirrigación (en línea). Consultado 12 feb. 2016. Disponible en: <http://es.slideshare.net/miguelcarlos17211/fertirrigsifuentes>
- Martínez Raya, A. 1996: Evaluación y manejo de suelos salinos y sódicos. En López, B. 2007. Efectos de la salinidad en suelo y planta. Diplomado en fertirrigación (en línea). Consultado 12 feb. 2016. Disponible en: <http://es.slideshare.net/miguelcarlos17211/fertirrigsifuentes>
- Municipalidad Distrital de San Bartolo, PE. 2013. Plan de manejo de residuos sólidos del distrito de San Bartolo. 81 p.
- Navarro, G. y Navarro, S. 2013. Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-prensa. 217-223 p.
- Núñez, J. 2000. Fundamentos de edafología. 3 reimp 2 ed. San José, CR. EUNED. 189 p.

- OIE (Organización de los Estados Iberoamericanos, ES). 2011. Divulgación y Cultura Científica Iberoamericana. Los campos de golf que reutilizan el agua se riegan en exceso (en línea). Consultado 11 abr. 2016. http://www.oei.es/divulgacioncientifica/noticias_685.htm.
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, PE). 1973. Evaluación de la Salinidad en el Perú. 33 p.
- Pastor, R. 2010. Recuperación de suelos salinos para la instalación de césped deportivo en la playa de Asia, Cañete, Lima. Tesis Mg. Sc. Suelos. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. 135 p.
- Phillip Jennings Turf Farms. 2009. About Our Turf Grass (en línea). Consultado 16 de jul. 2016. Disponible en: <http://www.sodfather.com/turf-grass/>.
- Pla, I. 1997. Evaluación de los procesos de salinización de suelos bajo riego. Universitat de Lleida. Departament de Medi Ambient i Ciències del Sol. Lleida, ES. 241-267 p.
- Porta, J. y López Acevedo, M. 2005. Agenda de campo de suelos: Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Madrid, ES. Mundi-prensa. 342, 353-354 p.
- Porta, J., López Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 3 ed. Madrid, ES. Mundi-prensa. 727-771 p.
- Portal Climate-Date. 2010. (en línea). Baden-Württemberg, DE. Consultado 05 de mar. 2016. Disponible en: <http://es.climate-data.org/location/224698/>.
- Portal Playas Perú. com (en línea). Consultado 05 de mar. 2016. Disponible en: <http://www.playasperu.com/clima/index.php#.VttLbfndIU>.
- Reeve, R. 1957. The relation of salinity to irrigation and drainage requirements. En Golabi, M., Naseri, A., Karami, B. 2012. Development of an empirical equation for optimum leaching depth: case study in Northern Khuzestan Province, Iran. Transactions of the Royal Society of South Africa. 67 (1): 37- 43.
- Reeve, R., Pillsbury, A., Wilcox, L 1955. Reclamation of saline and high boron soil in the Coachella Valley of California, Hilgardia. En Golabi, M., Naseri, A., Karami, B. 2012. Development of an empirical equation for optimum leaching

- depth: case study in Northern Khuzestan Province, Iran. Transactions of the Royal Society of South Africa. 67 (1): 37- 43.
- USSLR (United States Salinity Laboratory de Riverside, US). 1954. Diagnose and Improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Department of Agriculture.
 - Walworth, James. 2006. Salinity Management and Soil Amendments for Southwestern Pecan Orchards. En Jahnsen, M. 2013. Impacto de la represa Gallito Ciego en la pérdida de tierras de cultivo por salinización en la cuenca baja del río Jequetepeque 1980-2003. Tesis Lic. Geo. y Med. Amb. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 73 p.
 - Zulueta Corporación. 2010. Especies para climas áridos (en línea). Consultado 15 de jul. 2016. Disponible en: https://www.zulueta.com/wp-content/uploads/pdfs-area-tecnica/01_02_Desc_y_Caract_Especies_climas_aridos.pdf.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. TABLAS Y FIGURAS

Tabla A1.1: pH en los puntos de control (02.10.2015)

Puntos de Control	prof (cm)	pH	Clasificación
PC-1	15	7.03	Neutro
	30	7.12	Medianamente alcalino
PC-2	15	6.82	Ligeramente ácido
	30	7.02	Neutro
PC-3	15	6.83	Ligeramente ácido
	30	6.84	Ligeramente ácido
PC-4	15	6.91	Ligeramente ácido
	30	7.15	Medianamente alcalino
PC-5	15	7.00	Neutro
	30	7.00	Neutro
PC-6	15	6.77	Ligeramente ácido
	30	6.68	Ligeramente ácido
PC-7	15	7.11	Medianamente alcalino
	30	6.80	Ligeramente ácido
PC-8	15	6.28	Ligeramente ácido
	30	6.53	Ligeramente ácido
PC-9	15	6.86	Ligeramente ácido
	30	6.72	Ligeramente ácido
PC-10	15	6.86	Ligeramente ácido
	30	6.80	Ligeramente ácido
PC-11	15	6.49	Ligeramente ácido
	30	6.57	Ligeramente ácido
PC-12	15	7.02	Neutro
	30	6.41	Ligeramente ácido
PC-13	15	7.07	Medianamente alcalino
	30	7.09	Medianamente alcalino

Fuente: Elaboración propia

Tabla A1.2: pH en las calicatas (03.10.2015)

Calicatas	prof (cm)	pH	Clasificación
C-1	15	7.52	Medianamente alcalino
	30	7.66	Medianamente alcalino
	45	7.50	Medianamente alcalino
	60	7.53	Medianamente alcalino
C-2	15	7.84	Medianamente alcalino
	30	7.68	Medianamente alcalino
	45	7.73	Ligeramente ácido
	60	7.64	Medianamente alcalino
C-3	15	7.22	Medianamente alcalino
	30	6.08	Ligeramente ácido
	45	6.64	Ligeramente ácido
	60	6.71	Ligeramente ácido

Fuente: Elaboración propia

Tabla A1.3: Conductividad Eléctrica (CE) en los puntos de control (02.10.2015)

Puntos de Control	prof (cm)	CE (dS/m)	Clasificación
PC-1	15	23.4	Extremadamente Salino
	30	32.9	
PC-2	15	173.7	
	30	35.9	
PC-3	15	114.8	
	30	156.4	
PC-4	15	106.3	
	30	70.2	
PC-5	15	136.8	
	30	107.5	
PC-6	15	199.5	
	30	204	
PC-7	15	191.3	
	30	141.5	
PC-8	15	246	
	30	230	
PC-9	15	209	
	30	119.2	
PC-10	15	147.2	
	30	132.8	
PC-11	15	136.2	
	30	74.3	
PC-12	15	116.9	
	30	248	
PC-13	15	92.1	
	30	47.5	

Fuente: Elaboración propia

Tabla A1.4: Conductividad Eléctrica (CE) en las calicatas (03.10.2015)

Calicatas	prof (cm)	CE (dS/m)	Clasificación
C-1	15	8.08	Fuertemente Salino
	30	13.50	
	45	27.6	
	60	28.9	
C-2	15	26.80	Extremadamente Salino
	30	25.20	
	45	61	
	60	57.7	
C-3	15	23.50	
	30	93.40	
	45	129.8	
	60	158.8	

Fuente: Elaboración propia

Tabla A1.5: pH y conductividad eléctrica de la prueba de lavado, Poza - 1

Profundidad (cm)	Lámina (cm)	pH	Clasificación	CE (dS/m)	Clasificación
15	0	7.40	Medianamente alcalino	45.9	Extremadamente salino
	10	7.33		57.4	salino
	20	8.21		9.27	Fuertemente salino
	30	8.69		1.99	No salino
30	0	7.49	Medianamente alcalino	38.1	Extremadamente salino
	10	7.44		51.3	salino
	20	8.23		15.6	Fuertemente salino
	30	8.61		4.11	Moderadamente salino
45	0	7.64	Medianamente alcalino	26.1	Extremadamente salino
	10	7.43		39.8	
	20	8.24		17.3	Moderadamente salino
	30	8.61		5.93	
60	0	7.49	Medianamente alcalino	27.3	Extremadamente salino
	10	7.64		45.7	
	20	8.17		21.7	Moderadamente salino
	30	8.49		5.63	

Fuente: Elaboración propia

Tabla A1.6: pH y conductividad eléctrica de la prueba de lavado, Poza - 2

Profundidad (cm)	Lámina (cm)	pH	Clasificación	CE (dS/m)	Clasificación
15	0	6.53	Ligeramente	219	Extremadamente salino
	10	6.73	ácido	242	
	20	7.53	Medianamente alcalino	155.9	
	30	6.62	Ligeramente ácido	231	
	40	7.98	Medianamente alcalino	36.9	
30	0	7.01	Neutro	176.8	
	10	6.84		159.6	
	20	6.81	Ligeramente ácido	138.3	
	30	6.82		176	
	40	7.06	Neutro	148	
45	0	6.97	Ligeramente ácido	119	
	10	7.00	Neutro	87.3	
	20	6.92	Ligeramente	154.1	
	30	6.89	ácido	106.5	
	40	7.09	Neutro	101.3	
60	0	7.02		138.5	
	10	7.01	Neutro	82.8	
	20	7.00		124.2	
	30	6.90	Ligeramente ácido	150.7	
	40	7.10	Neutro	129.4	

Fuente: Elaboración propia

Tabla A1.7: pH y conductividad eléctrica de la prueba de lavado, Poza - 3

Profundidad (cm)	Lámina (cm)	pH	Clasificación	CE (dS/m)	Clasificación
15	0	6.76	Ligeramente ácido	145.8	Extremadamente salino
	10	6.76		162.2	
	20	6.86	146		
	30	7.01	Neutro	140	
30	0	7.17	Medianamente alcalino	149.7	
	10	6.86	Ligeramente ácido	179.6	
	20	6.94	Ligeramente ácido	246	
	30	7.96	Medianamente alcalino	98.4	
45	0	6.65	Ligeramente ácido	229	
	10	6.98		148.4	
	20	6.82		226	
	30	7.38	Medianamente alcalino	134.1	
60	0	7.41		79.1	
	10	7.36	Medianamente alcalino	57.8	
	20	7.22		109.7	
	30	7.74		73.7	

Fuente: Elaboración propia



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : SEBASTIAN SANTAYANA VELA

Departamento : LIMA

Distrito : SAN BARTOLO

Referencia : H.R. 50842-093C-15

Bolt.: 12296

Provincia : LIMA

Predio :

Fecha : 17/08/15

Número de Muestra		pH (1:1)	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
Lab	Claves							Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺			
10235	PM 14-15	7.52	8.08	0.5	0.14	2.3	107	83	12	5	A. Fr.	7.20	5.18	0.90	0.21	0.91	0.00	7.20	7.20	100
10236	PM 15-15	7.84	26.80	1.5	0.07	2.3	452	85	10	5	A. Fr.	3.52	1.70	0.97	0.35	0.50	0.00	3.52	3.52	100
10237	PM 16-16	7.22	23.50	0.0	0.13	2.7	467	67	24	9	Fr. A.	7.20	3.21	2.48	0.48	1.03	0.00	7.20	7.20	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Dr. Sady García Bendeza
 Jefe del Laboratorio

Figura A1.1: Reporte del laboratorio del análisis de caracterización del suelo para las calicatas C-1, C-2 y C-3 (PM-14, PM-15 y PM-16), a 15 cm de profundidad

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – UNALM



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



ANALISIS ESPECIAL DE SUELOS : ANIONES Y CATIONES

Procedencia

Departamento : LIMA

Distrito : SAN BARTOLO

Referencia : H.R. 50843-093S-2015

Provincia: LIMA

Predio :

Boleta : 12296

Solicitante: SEBASTIÁN SANTAYANA VELA

Número de Muestra		pH Pasta Sat.	C.E. Ext.St. dS/m	Cationes Solubles (meq/L)					Aniones Solubles (meq/L)					
Lab	Claves			Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	SUMA	NO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	SUMA
3276	PM 14-30	7.66	13.50	72.50	15.00	0.56	156.52	244.58	1.06	0.00	1.88	56.46	185.00	244.40
3277	PM 15-30	7.68	25.20	134.00	80.00	7.85	365.22	587.07	0.94	0.00	1.48	52.08	535.00	589.50
3278	PM 16-30	6.08	93.40	240.50	416.67	13.95	3900.87	4571.99	0.77	0.00	2.64	48.96	4510.00	4562.37

La Molina, 20 de Agosto del 2015



Sady García Bendezo
Jefe de Laboratorio

Figura A1.2: Reporte del laboratorio del análisis especial del suelo para las calicatas C-1, C-2 y C-3 (PM-14, PM-15 y PM-16), a 30 cm de profundidad

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – UNALM

Tabla A1.8: Resultados de análisis de cationes cambiabiles (meq/100g) para determinación de la CIC y el PSI en las calicatas a 15 cm de profundidad

Puntos	pH	Cationes cambiabiles (meq/100g)				CIC	PSI
		Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺		
C-1	7.52	5.18	0.90	0.21	0.91	7.20	12.64
C-2	7.84	1.70	0.97	0.35	0.50	3.52	14.20
C-3	7.22	3.21	2.48	0.48	1.03	7.20	14.31

Fuente: Elaboración propia con datos de Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – UNALM

Tabla A1.9: Resultados del análisis de iones solubles (meq/l) en muestras tomadas a 30 cm de profundidad de las calicatas

Puntos	pH	CE (dS/m)	meq/l											RAS
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	ΣCationes	NO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	ΣAniones	
C-1	7.7	13.5	72.5	15	0.56	156.52	244.58	1.06	0	1.88	56.46	185	244.40	23.66
C-2	7.7	25.2	134	80	7.85	365.22	587.07	0.94	0	1.48	52.08	535	589.50	35.31
C-3	6.1	93.4	240.5	416.67	13.95	3900.87	4571.99	0.77	0	2.64	48.96	4510	4562.37	215.20

Fuente: Elaboración propia con datos de Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes - UNALM

Tabla A1.10: Datos de las pruebas de permeabilidad

Tiempo (min)	Infiltración (cm/h)		
	Prueba-1	Prueba-2	Prueba-3
0	-	-	-
5	13.20	13.20	24.00
10	9.60	8.40	15.00
15	8.00	6.40	11.20
20	6.90	5.40	9.30
25	5.76	4.80	7.92
30	5.40	4.20	7.00
35	5.14	3.77	6.34
40	4.65	3.60	5.85
45	4.40	3.47	5.33
50	4.20	3.24	5.04
55	3.93	3.16	4.80
60	3.90	3.00	4.50
65	3.78	2.95	4.34
70	3.60	2.83	4.20
75	3.52	2.80	4.00
80	3.45	2.78	3.83
85	3.32	2.68	3.67
90	3.33	2.67	3.60
95	3.22	2.59	3.47
100	3.12	2.52	3.36
105	3.09	2.51	3.31
110	3.00	2.45	3.22
115	2.92	2.40	3.13
120	2.85	2.40	3.05
125	2.88	2.35	3.02
130	2.91	2.31	2.95
135	2.89	2.27	2.89
140	2.79	2.23	2.83
145	2.69	2.23	2.81
150	2.64	2.20	2.76
155	2.59	2.17	2.71
Permeabilidad	2.8	2.3	2.8

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2. MAPAS

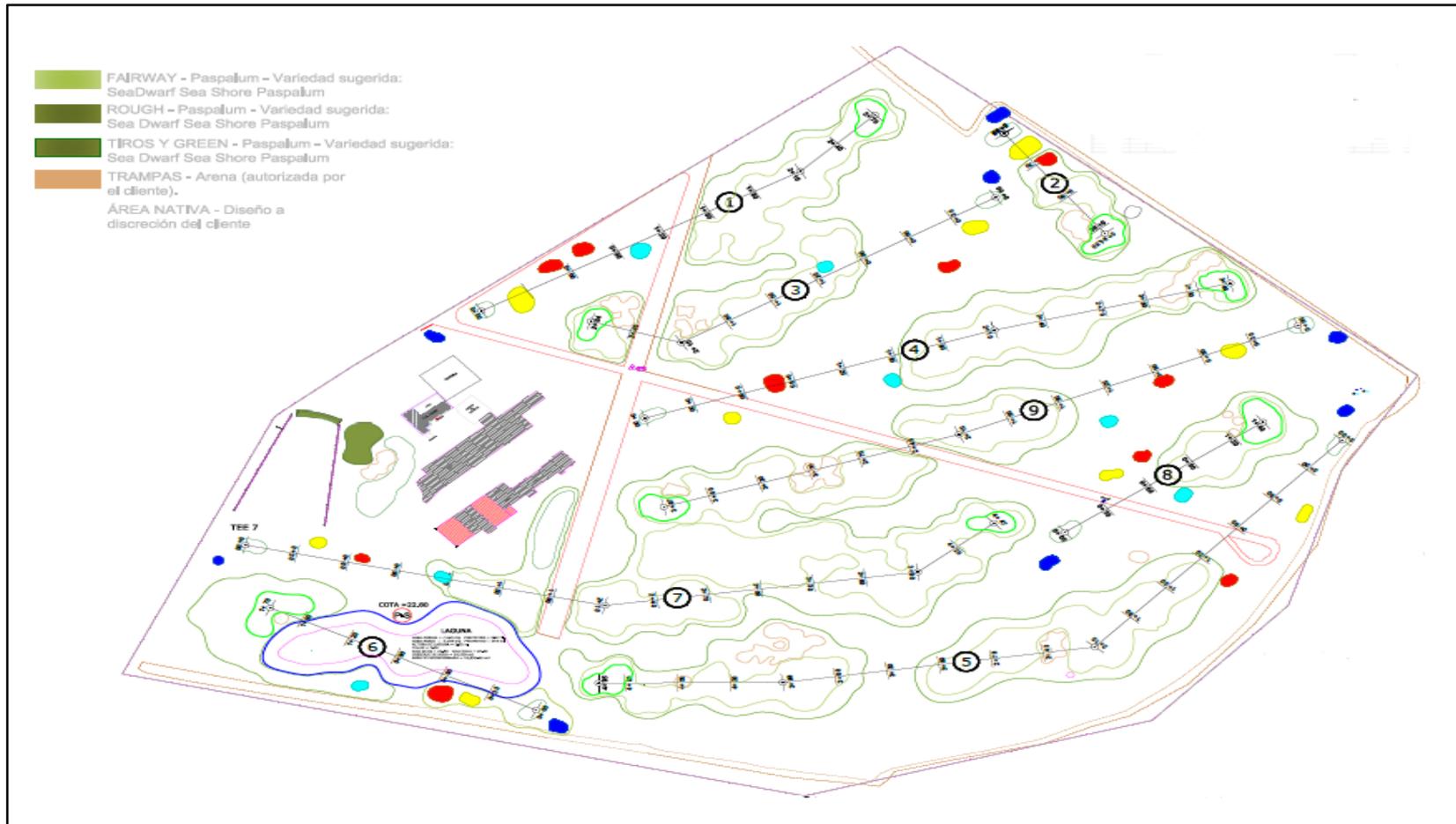


Figura A2.1: Mapa de replanteo (mayo, 2015)

Fuente: Proporcionado por la FPG, 2015