

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS



PROGRAMA DE POSGRADO EN MAESTRÍA EN CIENCIAS EN
MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL VALLE DE MANEADERO
B.C.: EFECTO SOBRE LA SALINIDAD Y SODICIDAD DEL SUELO.

TESIS

Para la obtención del grado de

MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

SAÚL OCTAVIO SALGADO MÉNDEZ

Ensenada, Baja California, México, Agosto de 2015.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE ECOSISTEMAS EN ZONAS ÁRIDAS

**"RIEGO CON AGUA RESIDUAL TRATADA EN EL VALLE DE
MANEADERO B.C.: EFECTO SOBRE LA SALINIDAD Y SODICIDAD
DEL SUELO"**

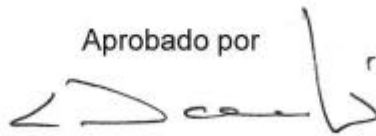
TESIS

**Para la obtención del grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS**

Presenta

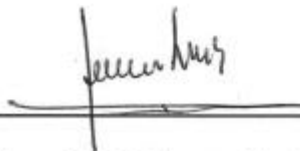
SAÚL OCTAVIO SALGADO MÉNDEZ

Aprobado por



Dr. Luis Walter Daesslé Heuser

Director



Dr. Leopoldo Guillermo Mendoza Espinosa

Sinodal



M.C. Víctor Alberto Cárdenas Salazar

Sinodal

RESUMEN

Los agricultores del valle de Maneadero son pioneros en riego con agua residual tratada (ART) en Baja California, adquiriendo el compromiso de los retos para un mejor manejo sustentable de este recurso. Los objetivos de esta investigación fueron evaluar el efecto del riego agrícola con ART proveniente de la planta de tratamiento El Naranjo durante un primer ciclo 2014-2015 en las parcelas 93 y PAR. En el presente estudio se analiza el ART y muestras de perfiles de suelo hasta una profundidad de 35 cm y también su posible efecto en plantas en relación a la salinidad y sodicidad. Entre los constituyentes catiónicos del ART se tiene una porción alta de Na^+ (23.6 meq/L) por lo que representa un peligro de sodificación en relación a las propiedades físicas y químicas del suelo. Sin embargo, el ART salina es adecuada para el cultivo de cebada (*Hordeum vulgare*) y flor estática (*Limonium Sinuatum*) ya que dichas especies son tolerantes a la salinidad del ART de El Naranjo. Dadas las características del suelo, una disminución de los iones mejoraría su calidad del suelo permitiendo la siembra de plantas de menor tolerancia a la salinidad. La metodología empleada se fundamenta en la norma NOM-021-SEMARNAT-2000 para análisis de suelos.

El suelo en la zona de estudio se clasifica como no salino a salino y dada la predominancia de la distribución de arena y limo, se trata de un suelo con baja capacidad de retención de agua con una elevada permeabilidad, potencialmente dispersivo, de baja cohesión y de fácil lavado. En lo concerniente a la relación de adsorción de sodio para el horizonte de 10-15 cm de profundidad, entre junio 2014 y febrero 2015 disminuyó para algunos puntos de muestro 93-5 de 6.83 a 6.06 y PAR-6 de 8.02 a 2.31 y aumentó para otros puntos 93-1 de 3.42 a 5.26, PAR-5 de 4.76 a 7.25 y para la 93-6 de 8.04 a 15.2. Este último valor representa un problema de sodicidad. Sin embargo, por las características antes mencionadas y la baja cantidad de arcilla, se puede mejorar o remediar con riego de agua baja en sales y/o mediante mejoradores de suelos.

DEDICATORIAS

A mi familia: Dr. José Luis Salgado Ruíz, Sra. María Olivia Méndez Arellano, Ing. José Luis Salgado Méndez, M.C. Daniel Alberto Salgado Méndez y a mis sobrinos Danna, Michel Sarahí y al pequeño Alexander.

A mi amigo y mentor de la ciencia: Dr. Cesar Gerardo Díaz Trujillo.

A mi amigo y mentor de negocios, finanzas y liderazgo: I.Q. José Alberto Manjarrez Osuna.

A mi mejor amigo: Ing. Cesar Alejandro Pérez Morales.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Luis Walter Daesslé Heuser por el apoyo incondicional, su enseñanza y su personalidad que me motivó a sacar lo mejor de mi persona. Al M.C. Bernardino Ricardo Eaton González por sus contribuciones en SIG y manejo. Al Dr. Leopoldo Guillermo Mendoza Espinosa por sus enseñanzas y pasión en relación al agua. Al Dr. Víctor Alberto Cárdenas Salazar por su colaboración y compartición de experiencia en suelos.

A la Universidad Autónoma de Baja California UABC a la Facultad de Ciencias, particularmente al excelente cuerpo docente de la maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, MEZA, por el aprendizaje, compartimiento de experiencias y el apoyo económico para mi estancia en el IPICYT. Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas, por permitirme hacer uso del laboratorio.

Al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., IPICYT, por el curso-taller de agua y modelación Hidrogeoquímica y a su coordinadora Dra. Nadia Valentina Martínez Villegas.

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, CICESE, y en particular al M.C. Francisco Suarez Vidal por permitirme llevar el curso de Geología General.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONACYT, por el apoyo económico de la beca durante mis estudios.

A la generación de MEZA 2013-2015, por su compañerismo y amistad.

A COTAS-Maneadero, SEFOA, CESPE y Fundación PRODUCE por el apoyo económico al proyecto de riego agrícola con agua residual tratada en Maneadero.

ÍNDICE

	Página
Resumen	II
Dedicatoria	III
Agradecimientos	IV
Contenido	V
Capítulo I. Introducción	1
I.1. Antecedentes históricos.....	4
I.2. Trabajos previos.....	5
I.2.1. Aguas Residuales.....	5
I.2.2. Agua Subterránea en Maneadero.....	6
I.2.3. Suelo.....	8
Capítulo II. Marco teórico, justificación, hipótesis y Objetivos	10
II.1. Agua residual tratada.....	10
II.1.1. Normatividad para el ART.....	12
II.1.2. Calidad de agua de riego.....	12
II.2. Suelos.....	13
II.2.1. Normatividad en suelos.....	13
II.2.2. Origen y naturaleza de los suelos salinos y sódicos.....	13
II.2.3. Fuentes de sales solubles.....	15
II.2.4. Salinización de los suelos.....	16
II.2.5. Acumulación de Na ⁺ intercambiable en suelo.....	17
II.2.6. Clasificación de los suelos salinos, según su afectación por su salinidad.....	18
II.3. Textura.....	20
II.4. Cultivos.....	21
II.4.1. Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>).....	21
II.4.2. Especies de <i>Limonium</i> (césped de Olimpo, acelga silvestre, estática).....	22
II.5. Justificación.....	23
II.6. Hipótesis.....	24
II.7. Objetivos.....	24
II.7.1. Objetivo General.....	24
II.7.2. Objetivos específicos.....	24
II.7.2.1. Determinar la concentración en suelo agrícola: salinidad, acidez y alcalinidad (pH), conductividad eléctrica (C.E), SDT, aniones, cationes, RAS, PSI y saturación.....	24
II.7.2.2. Determinar la concentración de parámetros químicos en ART: salinidad, acidez y alcalinidad (pH), conductividad	

Capítulo IV. Resultados	42
IV.1. Agua Residual Tratada (ART).....	42
IV.2. Suelo agrícola y textura.....	43
Capítulo V. Discusión	65
V.1. Agua Residual Tratada (ART).....	65
V.2. Suelo agrícola.....	71
V.3. Textura.....	73
V.4. Efecto de la salinidad y sodicidad para el cultivo de la cebada y flor estática.....	74
V.5. Comparación con otros sitios de estudio en México.....	77
Capítulo VI. Conclusiones	80
Bibliografía	82
Anexo	88
Anexo 1. Puntos de muestreo.....	8

FIGURAS

	Página
Figura 1. Panorámica del área piloto para el cultivo de flor en los terrenos de El Naranjo.....	3
Figura 2. Localización del acuífero de Maneadero y distribución de SDT en el agua subterránea en 2011 (Tomado de Daesslé <i>et al.</i> , 2014).....	7
Figura 3. Factores y procesos que deben ser considerados cuando se riega con ART.....	11
Figura 4. Formación de suelo salino por tres diferentes procesos.....	14
Figura 5. Diagrama de clases texturales del suelo (USDA).....	21
Figura 6. Mapa del área de estudio que indica la parcela 93 (centro de la figura y PAR (este de la parcela 93)).....	27
Figura 7. Acercamiento de los puntos de muestreo en cada parcela.....	28
Figura 8. Equipo Auger para colecta de suelo.....	30
Figura 9. Molino de mandíbulas con motor de 1725 RPM y 1 HP marca Doerr.....	31
Figura 10. Tamíz con malla de 2 mm.....	31
Figura 11. Vaso de aluminio.....	32
Figura 12. Equipo para la obtención del extracto de saturación.....	33
Figura 13. Instrumento Orion 4 star pH, conductivity.....	34
Figura 14. Hach Conductivity/TDS meter 44600.....	35
Figura 15. Equipo Analizador Láser Horiba.....	39
Figura 16. Clasificación de pH.....	45
Figura 17. Interpretación de la conductividad eléctrica.....	46
Figura 18. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).....	46
Figura 19. Ca ⁺⁺ (primer muestreo) vs. Ca ⁺⁺ (perfil, segundo muestreo).....	46
Figura 20. Na ⁺ (primer muestreo) vs. Na ⁺ (perfil, segundo muestreo).....	46
Figura 21. Mg ⁺⁺ (primer muestreo) vs. Mg ⁺⁺ (perfil, segundo muestreo).....	47
Figura 22. Bicarbonato (primer muestreo) vs. bicarbonato (perfil, segundo muestreo).....	47
Figura 23. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo).	47
Figura 24. Cl ⁻ (primer muestreo) vs. Cl ⁻ (perfil, segundo muestreo).....	47
Figura 25. RAS (primer muestreo) vs RAS (perfil, segundo muestreo).....	48
Figura 26. PSI (primer muestreo) vs PSI (perfil, segundo muestreo).....	48
Figura 27. Clasificación de pH.....	49
Figura 28. Interpretación de la conductividad eléctrica.....	50
Figura 29. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).....	50
Figura 30. Ca ⁻ (primer muestreo) vs Ca ⁻ (perfil, segundo muestreo).....	50
Figura 31. Na ⁺ (primer muestreo) vs. Na ⁺ (perfil, segundo muestreo).....	50

Figura 32. Mg^{++} (primer muestreo) vs. Mg^{++} (perfil, segundo muestreo).....	51
Figura 33. Bicarbonato (primer muestreo) vs bicarbonato (perfil, segundo muestreo).....	51
Figura 34. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo)..	51
Figura 35. Cl^{-} (primer muestreo) vs. Cl^{-} (perfil, segundo muestreo).....	51
Figura 36. RAS (primer muestreo) vs. RAS (perfil, segundo muestreo).....	52
Figura 37. PSI (primer muestreo) vs. PSI (perfil, segundo muestreo).....	52
Figura 38. Clasificación de pH.....	54
Figura 39. Interpretación de la conductividad eléctrica.....	54
Figura 40. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).....	54
Figura 41. Ca^{++} (primer muestreo) vs. Ca^{++} (perfil, segundo muestreo).....	55
Figura 42. Na^{+} (primer muestreo) vs. Na^{+} (perfil, segundo muestreo).....	55
Figura 43. Mg^{++} (primer muestreo) vs. Mg^{++} (perfil, segundo muestreo).....	55
Figura 44. Bicarbonato (primer muestreo) vs bicarbonato (perfil, segundo muestreo).....	55
Figura 45. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo)..	55
Figura 46. Cl^{-} (primer muestreo) vs. Cl^{-} (perfil, segundo muestreo).....	56
Figura 47. RAS (primer muestreo) vs. RAS (perfil, segundo muestreo).....	56
Figura 48. PSI (primer muestreo) vs. PSI (perfil, segundo muestreo).....	56
Figura 49. Clasificación de pH.....	58
Figura 50. Interpretación de la conductividad eléctrica.....	58
Figura 51. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).....	59
Figura 52. Ca^{++} (primer muestreo) vs. Ca^{++} (perfil, segundo muestreo).....	59
Figura 53. Na^{+} (primer muestreo) vs. Na^{+} (perfil, segundo muestreo).....	59
Figura 54. Mg^{++} (primer muestreo) vs. Mg^{++} (perfil, segundo muestreo).....	59
Figura 55. Bicarbonato (primer muestreo) vs. bicarbonato (perfil, segundo muestreo).....	60
Figura 56. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo).	60
Figura 57. Cl^{-} (primer muestreo) vs. Cl^{-} (perfil, segundo muestreo).....	60
Figura 58. RAS (primer muestreo) vs. RAS (perfil, segundo muestreo).....	60
Figura 59. PSI (primer muestreo) vs. PSI (perfil, segundo muestreo).....	60
Figura 60. Clasificación de pH.....	62
Figura 61. Interpretación de la conductividad eléctrica.....	62
Figura 62. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).....	63
Figura 63. Ca^{++} (primer muestreo) vs. Ca^{++} (perfil, segundo muestreo).....	63
Figura 64. Na^{+} (primer muestreo) vs. Na^{+} (perfil, segundo muestreo).....	63
Figura 65. Mg^{++} (primer muestreo) vs. Mg^{++} (perfil, segundo muestreo).....	63
Figura 66. Bicarbonato (primer muestreo) vs bicarbonato (perfil, segundo muestreo).....	64
Figura 67. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo).	64
Figura 68. Cl^{-} (primer muestreo) vs. Cl^{-} (perfil, segundo muestreo).....	64

Figura 69. RAS (primer muestreo) vs. RAS (perfil, segundo muestreo).....	64
Figura 70. PSI (primer muestreo) vs PSI (perfil, segundo muestreo).....	64
Figura 71. Clasificación de las aguas para riego, según las normas de Riverside.....	68
Figura 72. Tasa relativa de infiltración afectado por por la salinidad y RAS.	69
Figura 73. Divisiones para la tasa relativa de tolerancia de sal de cultivos agrícolas.....	75
Figura 74. A) Foto tomada en sitio (marzo, 2015) y B) Foto de The Garden Helper (2015).....	76

T A B L A S

	Página
Tabla 1. Clasificación de suelos salinos y sódicos.....	19
Tabla 2. Especies de floricultura y cultivos para sitios de paisaje sal-afec_ tados. Basada en la búsqueda conducida por el U.S. Salinity Laboratory, irrigación con agua salina (conductividad eléctrica CE_w) o suelo salino (conductividad eléctrica, CE_e) igual a o me_ nos que las no esperadas para comprometer el valor estético de de los cultivos.....	23
Tabla 3. Directrices de producción de corte selecto de especies de flores con ART. Basada en la búsqueda conducida por el U.S. Salinity Laboratory, irrigación con agua salina (conductividad eléctrica CE_w) o suelo salino (conductividad eléctrica, CE_e) igual a o menos que las esperadas para producir tallos de una calidad de mercado.....	23
Tabla 5. Clasificación de pH.....	34
Tabla 6. Interpretación de la conductividad eléctrica.....	35
Tabla 7. Resultado de análisis químicos del ART.....	42
Tabla 8. Contraste de los criterios de la calidad del agua y la concentra_ ción de los parámetros analizados.....	43
Tabla 9. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra 93-1, junio 2014.....	44
Tabla 10. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil 93-1, febrero 2015.....	45
Tabla 11. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra 93-5, junio 2014.....	48
Tabla 12. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil 93-5, febrero 2015.....	49
Tabla 13. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra 93-6, junio 2014.....	52
Tabla 14. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil 93-6, febrero 2015.....	53
Tabla 15. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra PAR-5, junio 2014.....	57
Tabla 16. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil PAR-5, febrero 2015.....	58
Tabla 17. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra PAR-6, junio 2014.....	61
Tabla 18. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil PAR-6, febrero 2015.....	62

Tabla 19. Directrices para interpretación de la calidad de agua de riego para irrigación.....	66
Tabla 20. Contraste de parámetros de salinidad y misceláneos para evaluar la calidad de agua de irrigación.....	67
Tabla 21. Comparación de los parámetros de agua de riego con otros casos de estudio.....	77

INTRODUCCIÓN.

Hoy en día el valle agrícola de Maneadero enfrenta una situación de escasez y aumento de salinidad del agua del acuífero, por lo que presenta nuevos retos en cuanto al aprovechamiento de este recurso. Una opción que se ha probado con éxito a nivel mundial es el riego agrícola con agua residual tratada (ART) proveniente de las urbes. Tales son los casos de países como Israel (Friedler, 2001), México (García Reynoso y Bautista Reséndiz, 2002), Italia (Barbagallo *et al.*, 2012) y en zonas áridas y semiáridas (Mizyed, 2013), entre otros. La gran ventaja del reuso del ART es la de reducir el empleo de los cuerpos de agua tales como ríos, lagos y agua subterránea naturales y detener su sobreexplotación y deterioro.

Actualmente, a nivel mundial, la Organización Mundial de Salud contempla el reuso del agua residual dentro de Los Lineamientos para el Uso Seguro del Agua Residual y Excreta en Agricultura y Acuicultura (World Health Organization, 2006) y en relación a los países, algunos cuentan con lineamientos dentro de un marco regulatorio de la calidad del agua que se destina al riego agrícola, por ejemplo: En Australia la Guía Nacional de Australia y sus Lineamientos para Sistemas de Alcantarillado (ARMCANZ, ANZECC, 2006), en Estados Unidos de Norte América los Lineamientos para el Reuso del Agua de la Agencia de Protección al Ambiente de los Estado Unidos y la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (US EPA, 2004), en Israel el tratamiento de agua residual destinadas para irrigación de diferentes cultivos (Ministerio del Ambiente de Israel, 2003).

En México, se cuenta con la Norma NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 1997), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen al servicio público. Esta norma, confiere a las entidades la obligación de darle cumplimiento. En Baja California la instancia correspondiente es la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Ensenada (CESPE).

En la ciudad de Ensenada, la CESPE tiene cinco plantas de tratamiento de aguas residuales y es una de las pocas ciudades de México que trata en su totalidad las aguas residuales que genera. Durante la dirección del Ing. José Guadalupe Flores Trejo (periodo diciembre 2009 a Octubre 2011) se implementó un programa del reuso de las aguas tratadas con un total de 8.5 l/s que se destinó al riego de las áreas verdes de camellones, parques, campos deportivos y campos de golf. La planta de tratamiento más grande se encuentra al sur de la ciudad y se llama “El Naranja”, con diseño del tipo secundario. Cuenta con una capacidad de 500 l/s. De la planta de tratamiento “El Naranja” solamente se aprovecha un pequeño porcentaje de sus descargas de ART, para el reuso en servicios al público con contacto indirecto u ocasional, en el riego de áreas verdes y el resto desemboca al mar. La CESPE en el 2012 destinó 7.2 l/s de ART para riego de áreas verdes.

Dada la relevancia de la reutilización del agua, la CESPE emprendió durante el periodo de la dirección del Ing. José Guadalupe Flores Trejo (2009-2011) un proyecto piloto denominado “Impacto del uso de aguas residuales tratadas sobre los rendimientos y sanidad de cultivos de flor en la planta El Naranja” cuyos objetivos se trazaron en 3 etapas para culminarse en el año 2012 y fueron los siguientes:

1. Dar certidumbre al cultivo de productos determinando el efecto del uso de las aguas residuales sobre los rendimientos y calidad de los cultivos ornamentales.

2. Conocer el impacto de las aguas residuales tratadas sobre la sanidad en los productos cosechados.
3. Evaluar el efecto del uso de aguas residuales tratadas sobre las propiedades del suelo.
4. Validar tecnologías encaminadas a utilizar eficientemente las aguas residuales en los cultivos ornamentales, cítricos y producción de uva.

Tal proyecto contó con la colaboración entre el Sistemas Producto Flor y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas Pecuarias (INIFAP), estableciéndose un campo experimental de 3 hectáreas dentro de los terrenos de la planta de tratamiento “El Naranjo” para la siembra de flores, árboles frutales y cultivo de vid (Fig. 1).



Figura 1. Panorámica del área piloto para cultivo de flor en los terrenos de El Naranjo CESPE (2014).

En el 2011, el ejecutivo del Estado de Baja California aprobó un decreto en el cual otorga estímulos fiscales por los derechos de consumo de aguas residuales tratadas (ART) para uso agrícola, mediante lo cual se intenta incentivar el empleo de ART en tal actividad (CESPE, 2014).

A partir de junio 2014, el Comité Técnico de Aguas Subterráneas (COTAS) de Maneadero y la CESPE, han implementado gradualmente un proyecto de aprovechamiento de las ART para riego agrícola en parcelas cercanas a la zona costera del valle de Maneadero. Sin embargo, existe duda sobre el posible efecto de la alta salinidad (Ca^{++} 3 g/l de sólidos disueltos totales - SDT) y calidad del agua residual tratada sobre el producto agrícola regado (Agencia Fronteriza de Noticias, 2014; Ensenada.Net, 2014; Pacheco, 2014; Alfaro, 2014).

Dada la relevancia del tema y el impacto que puede tener el reuso del ART en el suelo de labranza y los cultivos, el presente trabajo tiene como objetivo medir los parámetros de salinidad del ART y suelo arable en dos zonas con cultivos de cebada y flor estática, con la finalidad de dar a conocer el efecto en los cultivos correspondientes.

I.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

A finales del siglo XIX se inició la actividad agrícola en el valle de Maneadero y en 1910 oficialmente comenzó el aprovechamiento de los recursos hidráulicos del valle (López Fernández, 2009; Lara Valenzuela, 2011). En el año 1995 se puso en marcha la planta de tratamiento de El Naranjo con una capacidad de 500 l/s (CESPE, 2014).

La CONAGUA (1999), en el trabajo de Modelo de Simulación Hidrodinámica del Acuífero de Maneadero en B.C., recomendó el uso de ART para no afectar las extracciones para uso agropecuario e industrial. Asimismo, menciona medidas de colocación de medidores volumétricos en todas las captaciones. Consecuentemente, en el Plan de Manejo Integrado para el Acuífero de Maneadero B.C. (CONAGUA, 2003) se indica la viabilidad del reuso de ART de la PTAR El Naranjo para recuperar el equilibrio del acuífero, afrontar las sequías y que en caso de no llevarse a cabo, sería necesario implementar varios proyectos

como el de modernización hidroagrícola intensiva, ahorro de los sectores público, urbano e industrial, intensificación de la recarga natural y de reducción de interfase salina. Para ello, se programó para el 2005 el funcionamiento del acueducto de ART proveniente de la planta “El Naranja”. Por otra parte, en ese entonces la calidad del agua del efluente de la planta era de 2.8 g/l de SDT y con ello se conocía que con esta concentración representaba un riesgo para cultivos sensibles a la salinidad.

En el 2006, se construyeron 12,845 metros lineales de emisor con capacidad de conducción de 500 l/s de agua tratada de la planta El Naranja al valle de Maneadero (CESPE, 2014).

Fue hasta el 30 de junio del 2014 cuando se inauguró la obra de línea morada que conduce ART de la planta de tratamiento “El Naranja” a dos diferentes zonas: las parcelas adyacentes a la carretera Maneadero – La Bufadora y una zona ejidal adyacentes al arroyo San Carlos (Vargas, 2014).

I.2. TRABAJOS PREVIOS.

I.2.1. Aguas residuales.

Estudios de Mendoza-Espinosa *et al.* (2004) Cárdenas (2006) y Waller-Barrera (2007), han demostrado que los estándares de ART provenientes de las plantas de tratamiento de la ciudad de Ensenada generalmente cumplen en más del 90% de los muestreos con las Normas Oficiales Mexicanas como la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1996), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales y la NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 1997), que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen al servicio público. En relación con el riego agrícola y con base en

la calidad del ART, los trabajos convergen en la viabilidad de uso bajo ciertas recomendaciones en cada caso en particular.

Mendoza-Espinosa y Barraza-González (2005) mencionan que las aguas residuales pueden ser utilizadas para diversos fines, entre los que destacan: el reuso en procesos industriales, usos comerciales, irrigación en áreas verdes y agrícolas. Consecuentemente muestran datos en porcentaje de cumplimiento de la NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 1997) del periodo 2000-2003 y adicionalmente hace un comparativo con algunas guías internacionales sobre la calidad del agua residual tratada para ser empleada en riego agrícola.

I.2.2. Agua Subterránea en Maneadero.

En relación a la intrusión salina y dispersión de contaminantes, Daesslé *et al.* (2004) estudiaron 25 pozos de agua determinando la variabilidad de la composición del acuífero debido a la intrusión de agua de mar en el periodo de otoño 2001 a otoño 2002. El estudio concluyó que la intrusión de agua de mar progresa más rápidamente en el centro y sur de las secciones costeras. La zona centro-occidental del acuífero es la que presenta mayores concentraciones de SDT en un rango de 5 - 26 g/l y al contrastar la zona costera central con los datos históricos fue la que presentó las mayores concentraciones de SDT (Figura 2; Daesslé *et al.*, 2014).

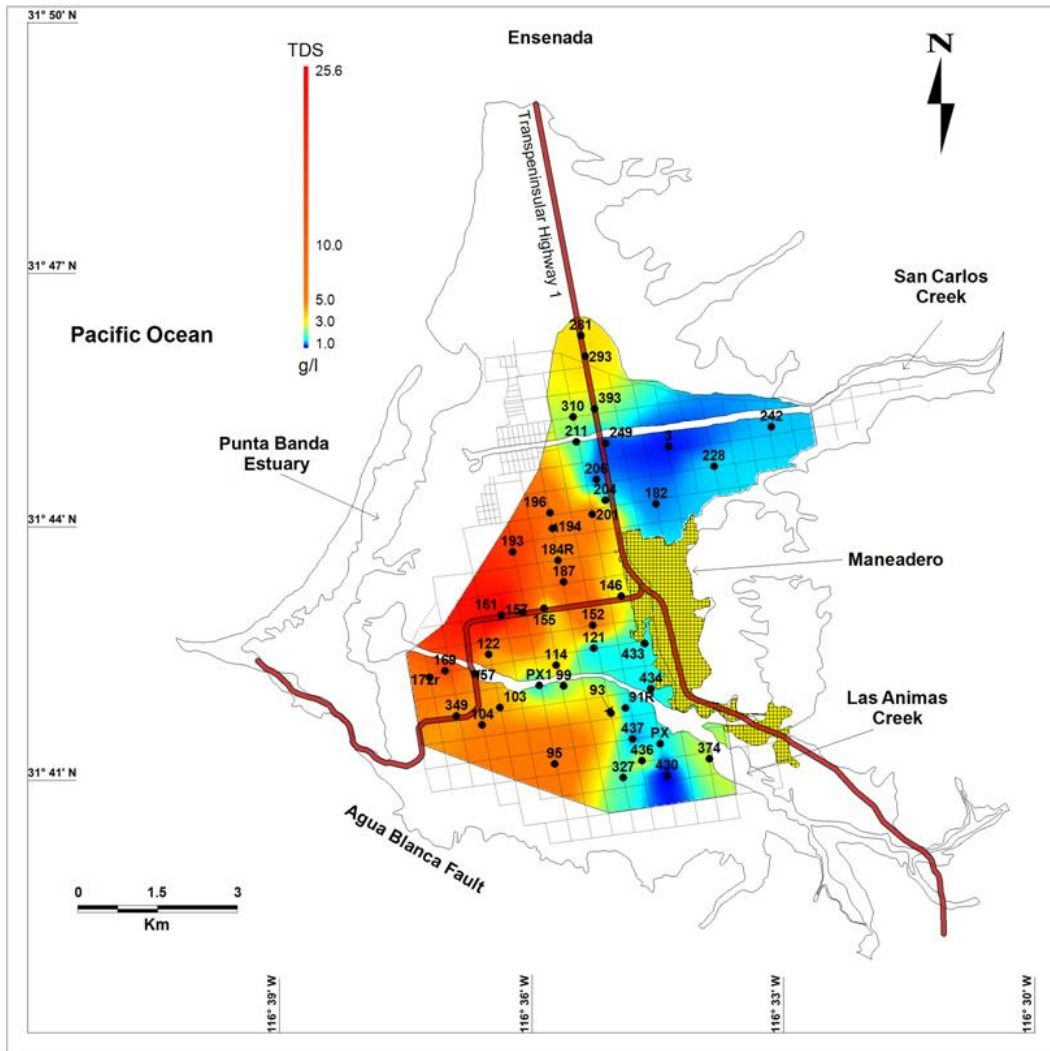


Figura 2. Localización del acuífero de Maneadero y distribución de SDT en el agua subterránea en 2011 (Tomado de Daesslé *et al.*, 2014).

Estos autores clasificaron el acuífero en cuatro zonas: (a) Agua fresca con SDT \approx 1 g/l aguas arriba, (b) Mezcla entre agua de mar y agua fresca en la costa-sección proximal, (c) Aguas significativamente enriquecida en nitrato bajo y adyacente para el centro de Maneadero provenientes de fosas sépticas en el poblado, y (d) Agua salobre sin signos de interacción con agua fresca. El 3D geofísicos determinado por el método DC de resistividad geofísica a través de electrodos, identifica el modelo de influencia de una moderna área de recarga y también ruta-flujo del subsuelo para al menos 30 m de profundidad. Las mejores zonas para la recarga del acuífero fueron aquellas con igual o mayor concentración de SDT (\geq

2.5 g/l) dado que esta es la concentración de SDT comúnmente encontrada en el ART de la planta El Naranjo, y sería contraproducente recargar zonas de mejor calidad en cuanto a SDT con ART. No obstante, Lara (2011) evalúa la intrusión marina utilizando isótopos de estroncio y oxígeno como trazadores del probable origen del agua salada y determinó una influencia marina mínima (-10% menos) en el valle de Maneadero, por lo que sugiere que la salinización del acuífero de Maneadero no es únicamente el resultado de la intrusión de agua de mar. Sin duda dichos resultados deben ser corroborados con mayor detalle para evaluar la hipótesis de Lara (2011), ya que resulta evidente que las mayores concentraciones de SDT se localizan en la zona adyacente al mar, indicando un proceso dominante de intrusión. En cuanto a la concentración de F, considerado como perjudicial para la salud en el agua para consumo humano en la región, en cuatro pozos superaron el límite máximo permisible por la NOM-127-SSA1-1996 (DOF, 2000), atribuyéndose a la interacción agua-roca en la zona alta del arroyo San Carlos (Daesslé *et al.*, 2014).

Mediante la utilización de ondas electromagnéticas para detectar la invasión de agua marina en el valle de Maneadero, Lujan *et al.* (2006) obtuvieron información sobre la estructura de la cuenca y sobre la distribución espacial de la salinidad en el acuífero. Entre 2010-2011 Serrano (2011) determinó la geometría somera en 2D y 3D de la parte sur y norte de Maneadero. Como resultado de su trabajo se desprende que la parte sur presenta una resistividad asociada a una mejor calidad de agua correlacionado con el arroyo Las Ánimas y también otros conductos de agua subterránea de origen a paleocanales del mismo arroyo y en la parte norte observó unos drenajes más profundos que podrían ser como tubos que atraviesan la zona introsionada por agua salina.

I.2.3. Suelo.

El trabajo de Zúñiga-Violante E. (2014): “Contaminantes y riesgos a la salud en la comunidad agrícola del Valle de Maneadero, Baja California, México”, es el único

publicado a la fecha en donde se analizaron parámetros químicos en muestras de suelo agrícola. Así mismo se describe el riesgo a la salud de los jornaleros y residentes del área. Para ello se analizaron compuestos orgánicos persistentes (bifenilos policlorados o BPCs y plaguicidas), así como As, Ba, Cr, Ni, Pb, V, por métodos monocromáticos y de fluorescencia de rayos X. De los 22 plaguicidas analizados predominó el endosulfan, entre los BPCs y los ligeros fueron los dominantes, lo que indicó un transporte aéreo de los contaminantes desde otras regiones. Entre los contaminantes inorgánicos el Vanadio (V) tuvo concentraciones por arriba del recomendado de la NOM-147-SEMARNAT-2004 (DOF, 2007) y de los elementos que se estudiaron de manera individual no representaron riesgos a la salud, sin embargo, menciona que no se debe desestimar el impacto acumulativo a la salud de la mezcla de compuestos.

Marco teórico, justificación, hipótesis y objetivos

II.1. AGUA RESIDUAL TRATADA.

El agua residual tratada (ART) es generalmente más salina comparada con fuentes tradicionales de agua potable como aguas subterráneas y superficiales. La permeabilidad del suelo permite la percolación de los cationes del ART y ayuda a mantener los niveles de salinidad en el suelo en rangos aceptables, sin embargo la permeabilidad no debe ser tan alta que el ART alcance el manto freático. Además, el ART con frecuencia tiene altas concentraciones de iones sodio (Na^+) relativo a otros cationes y por lo tanto tiene el potencial de cambiar químicamente los suelos, favoreciendo la formación de suelos sódico o suelos sódico-salinos. El riesgo de la sodicidad en el suelo es alto cuando se usa ART. La sodicidad en el suelo se desarrolla por periodos de años, particularmente en suelos con una baja intensidad de lixiviado.

Los principales factores que se deben de considerar antes de decidir de irrigar con ART se describen en la Figura 3.

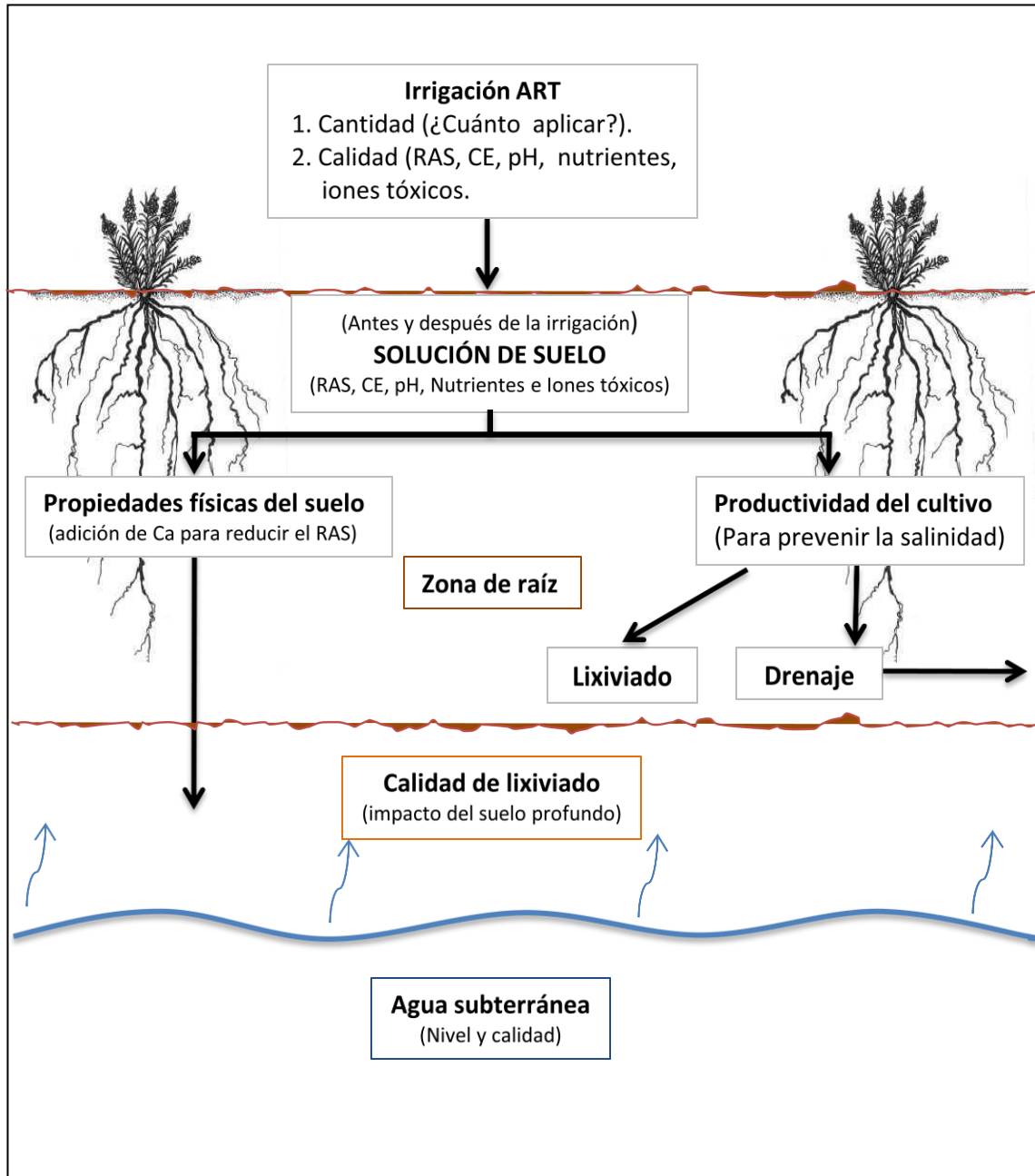


Figura 3. Factores y procesos que deben ser considerados cuando se riega con ART (Figura modificada de Stevens, 2006). RAS = Relación de adsorción de sodio, CE = Conductividad eléctrica.

II.1.1. Normatividad para el ART.

En el capítulo anterior se mencionó que la única norma mexicana aplicable al empleo de aguas residuales es la NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 1997) y esta a su vez refiere a la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1996) cuando las aguas se reúsen al servicios al público. Ambas normas están enfocadas en el cuidado de la salud pública.

II.1.2. Calidad de agua de riego.

Las características más importantes que determinan la calidad de agua para riego son: 1) La concentración de sales solubles. 2) la concentración relativa de Na^+ con respecto a otros cationes. 3) la concentración de B u otros elementos que puedan ser tóxicos y 4) bajo ciertas condiciones, la concentración de HCO_3^- con relación a la concentración de Ca^{++} más Mg^{++} .

Los constituyentes inorgánicos solubles de las aguas de riego reaccionan con los suelos en forma iónica. Los principales cationes son Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ , con pequeñas cantidades de K^+ . Los aniones principales son los CO_3^- , HCO_3^- , SO_4^- y Cl^- y en menor cantidad NO_3^- y F^- . La concentración total de sales solubles en las aguas de riego, para fines de diagnóstico y de clasificación, se puede expresar en términos de conductividad eléctrica.

El peligro de la sodificación que entraña el uso de agua para riego queda determinado por las concentraciones absoluta y relativa de los cationes. Si la porción de Na^+ es alta, será mayor el peligro de sodificación y por el contrario, si predomina el Ca^{++} y el Mg^{++} el peligro será menor.

II.2. SUELOS.

II.2.1. Normatividad en suelos.

La NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2003) establece las especificaciones de técnicas de muestreo, análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, a partir de sus características específicas de constitución, formación y distribución.

II.2.2. Origen y naturaleza de los suelos salinos y sódicos.

Para fines agrícolas este tipo de suelos representan un problema que requiere la aplicación de medidas especiales y prácticas de manejo adecuadas. Las sales solubles producen efectos dañinos en las plantas al aumentar el contenido de sal de la solución del suelo y el grado de saturación de los materiales intercambiables del suelo, con Na^+ intercambiable. El Na^+ intercambiable generalmente persiste después de que el resto de las sales solubles se han eliminado.

El contenido de las sales por arriba del cual el crecimiento de las plantas es alterado, depende de ciertos factores como la distribución de sal en el perfil, la composición de la sal y la especie vegetal. Se considera que las plantas empiezan a ser afectadas de manera adversa cuando el contenido de sales en el suelo que excede del 1% (Consejo Nacional de los Estados Unidos para la Planeación de los Recursos 1942).

Tres de los principales procesos para la salinización de los suelos en todo el mundo son la salinidad asociada con agua subterránea, la salinidad no asociada con agua subterránea y la salinidad asociada con irrigación (Figura 4). En primera instancia, se deben distinguir la “irrigación salina” (ART u otra fuente de agua salina) de “suelo seco salino”. La sal contenida del agua de la irrigación induce a la “irrigación salina” cuando no se tiene un lixiviado apropiado del exceso de sales acumulados en el horizonte del suelo, generalmente causados por factores como

evotranspiración y drenaje limitado. En contraste, el “suelo seco salino” es causado por las entradas a través de procesos naturales de precipitación o del movimiento del agua subterránea salina. Sin embargo, en ambos casos, el mismo principio gobierna la reserva de sal en la capa de suelo y los efectos consecuentes en las propiedades de suelo y productividad del cultivo. La estrategia para combatir la salinidad para incrementar la productividad de la cosecha variará de acuerdo al tipo de salinidad encontrado en el campo. Por lo tanto, es crucial diagnosticar el tipo de salinidad que afecta al campo o que métodos apropiados de manejo deben ser tomados (Stevens, 2006).

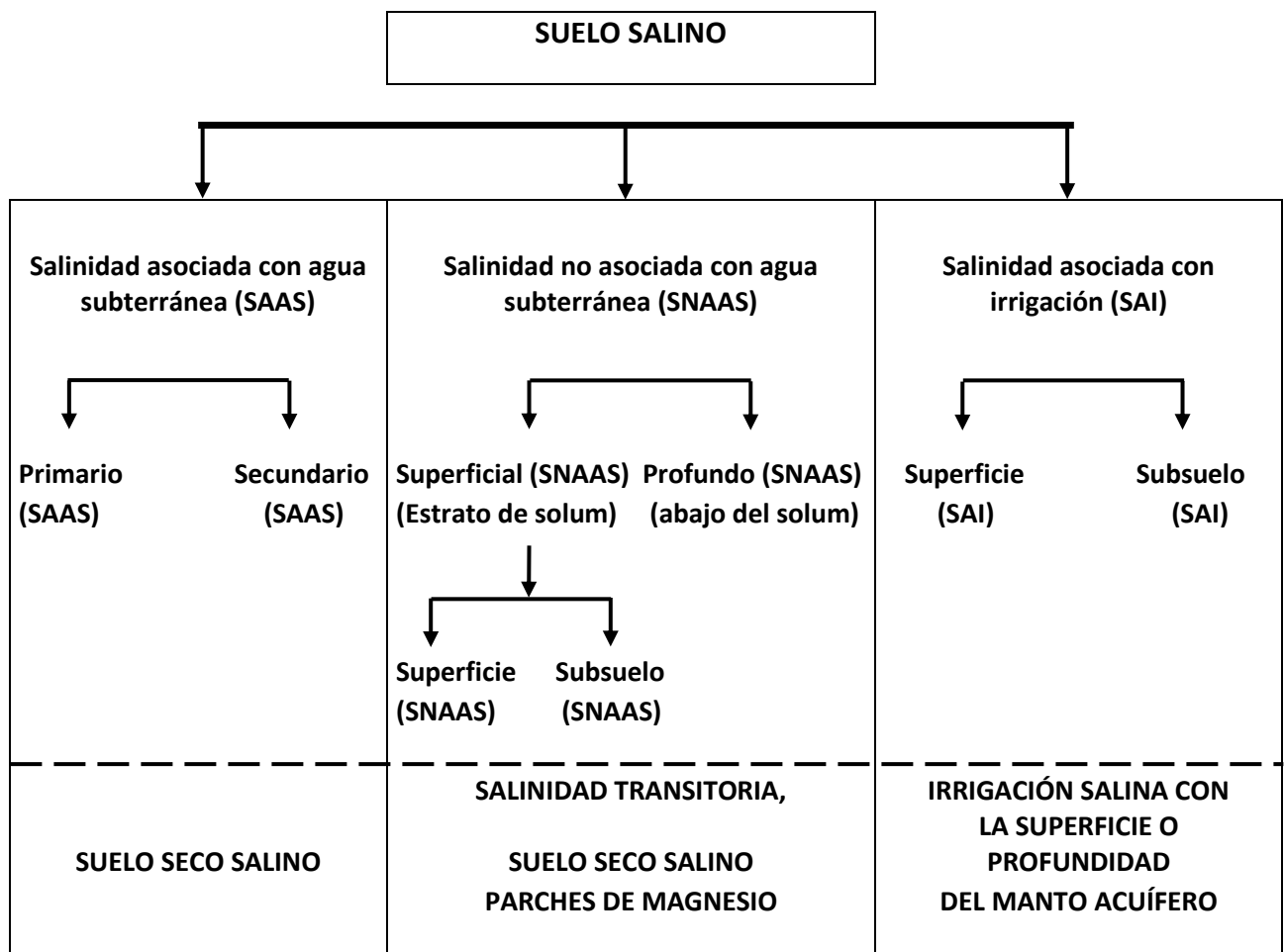


Figura 4. Formación de suelo salino por tres diferentes procesos (traducida, Stevens, 2006). Solum = Es la zona más activa biológicamente en donde crecen raíces y plantas.

II.2.3. Fuentes de sales solubles.

Las fuentes principales de las sales solubles son los minerales primarios que se encuentran en las rocas expuestas de la corteza terrestre. Durante el proceso de intemperización química que comprende hidrólisis, hidratación, solución, oxidación y carbonatación, estos constituyentes gradualmente son liberados adquiriendo mayor solubilidad.

Los iones bicarbonato se forman como consecuencia de la solución del CO_2 en agua. El CO_2 puede ser de origen atmosférico o biológico y el agua que contiene CO_2 es un agente químico intemperizante que libera cantidades apreciables de cationes en forma de bicarbonatos. Los iones carbonato y bicarbonato están relacionados entre sí, y la cantidad que hay en cada uno es una función del pH de la solución. Mayores cantidades de iones carbonato, sólo pueden presentarse para los valores de pH de 9.5 o más altos.

Aunque la intemperización de los minerales primarios es la fuente indirecta de casi todas las sales solubles, hay pocos ejemplos en los que se haya acumulado suficiente cantidad de sal de este origen para formar un suelo salino. Los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas que reciben sales de otras localidades, siendo el agua el principal factor de acarreo.

El océano puede ser la fuente de sales en aquellos suelos en los que el material original está constituido por depósitos marinos que se asentaron durante períodos geológicos antiguos y que a partir de entonces han emergido. El océano es también la fuente de sales en los suelos bajos que se encuentran a lo largo de las costas. A veces las sales se mueven tierra adentro a consecuencia del transporte de la brisa, denominándosele sal cíclica (Teakle, 1937). Sin embargo, es más común que la fuente directa de estas sales sean las aguas superficiales y también las subterráneas, ya que las contienen disueltas y su concentración depende del contenido salino del suelo y de los materiales geológicos que han estado en

contacto con estas aguas. Las aguas actúan como fuente de sales cuando se usan para riego y pueden también agregar sales al suelo bajo condiciones naturales, cuando inundan las tierras bajas o cuando el agua subterránea sube hasta muy cerca de la superficie (Richards, 1973).

II.2.4. Salinización de los suelos.

Los suelos salinos se encuentran principalmente en zonas del clima árido o semiárido. En condiciones húmedas, las sales solubles presentes en el suelo son llevadas a capas inferiores. Durante el lavado de los suelos áridos, las sales solubles no pueden ser transportadas muy lejos porque hay poca precipitación y también a consecuencia de la elevada evaporación característica del clima árido.

El drenaje restringido es un factor que frecuentemente contribuye a la salinización de los suelos y se debe casi siempre con la topografía del terreno. Debido a la baja precipitación en las regiones áridas, las corrientes del drenaje superficial están poco desarrolladas y en consecuencia, existen depresiones sin drenaje por no tener salida a corrientes permanentes. Bajo tales condiciones, el movimiento ascendente del agua subterránea o la evaporación del agua superficial da origen a la formación de suelos salinos (Richards, 1973).

La baja permeabilidad del suelo es causa del mal drenaje, impidiendo el movimiento descendente del agua, por lo tanto puede deberse a la textura o estructuras desfavorables o la presencia de capas endurecidas que pueden estar constituidas por arcilla compacta, por caliche o una capa silícica dura (Richards, 1973).

Las aguas para riego pueden contener de 0.1 a 5 toneladas de sal por hectárea en una lámina de 30 cm de agua y la aplicación anual de esta puede llegar hasta 1.5 m o más de profundidad en el suelo. De esta manera, en periodos de tiempo relativamente cortos, pueden agregarse a suelos cantidades considerables de

sales solubles. Cuando la capa freática se eleva hasta 1.5 o 1.8 m de la superficie del suelo, el agua subterránea se mueve hacia arriba, llegando a la zona radicular del cultivo y a la superficie del suelo; en tales condiciones, el agua del suelo y la del riego contribuyen a la salinización del suelo (Richards, 1973).

II.2.5. Acumulación de Na⁺ intercambiable en suelo.

Las partículas del suelo adsorben y retienen cationes a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en su superficie. Una vez que los cationes adsorbidos se han combinado químicamente con las partículas del suelo, pueden ser reemplazadas por otros cationes que se encuentran en la solución del suelo. Esta reacción, según la cual un catión reemplazado, se llama intercambio de cationes. Los cationes de Na⁺, Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺ son rápidamente intercambiables. Otros cationes como el K⁺ y el NH₄⁺ pueden quedar retenidos en determinada posición sobre las partículas del suelo, de manera que se intercambian con gran dificultad, diciéndose entonces que se han fijado.

El intercambio de cationes es un fenómeno de superficie y como tal, se identifica principalmente con el limo fino, la arcilla y otras fracciones de materia orgánica de los suelos. Muchas clases diferentes de minerales y materiales orgánicos que se encuentran en los suelos poseen propiedades de intercambio y en conjunto se conocen como complejo de intercambio. La capacidad de un suelo para adsorber e intercambiar cationes se puede medir y expresar en equivalentes químicos y se denomina capacidad de intercambio de cationes. Generalmente se expresan en miliequivalentes por 100 gramos de suelo. Varios factores físicos y químicos obran conjuntamente para hacer que el valor medido dependa en parte del método de determinación; sin embargo, la capacidad de intercambio es una propiedad del suelo razonablemente definida y de considerable importancia práctica. En vista de que los cationes adsorbidos pueden intercambiarse libremente con los cationes adyacentes en la solución del suelo, es de esperar que la porción de los varios

cationes en el complejo intercambiable esté relacionada con su concentración en la solución del suelo.

El Ca^{++} y el Mg^{++} son principalmente cationes que se encuentran en la solución de suelo y en el complejo catiónico de los suelos normales de las regiones áridas. Cuando en estos suelos se acumulan un exceso de sales solubles, generalmente es el catión Na^+ el que predomina en la solución del suelo y, en esta forma, el Na^+ puede ser el catión predominante al cual está sujeto el suelo debido a la precipitación de los compuestos de Ca^{++} y Mg^{++} . A medida que la solución del suelo se concentra más a consecuencia de la evaporación del agua y su adsorción por las plantas, los límites de solubilidad del sulfato y carbonato de Mg^{++} casi siempre se exceden, por lo cual se precipitan, causando el correspondiente aumento en las porciones relativas del Na^+ . Bajo tales condiciones, una parte del Ca^{++} y Mg^{++} intercambiables son reemplazados por el Na^+ .

Los cationes Ca^{++} y Mg^{++} en la solución del suelo son más fuertemente adsorbidos que el Na^+ por el complejo de intercambio y son varias veces las del Na^+ , sin embargo en algunas soluciones de suelos salinos, prácticamente todos los cationes son Na^+ , por lo que es el catión adsorbido predominante.

La relación de adsorción de sodio (RAS) en una solución de suelo, se relaciona con la adsorción de Na^+ y, en consecuencia, esta relación puede usarse como índice de Na^+ o del peligro de sodificación que tiene dicha agua (Richards, 1973.). Esta relación es la siguiente:

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

II.2.6. Clasificación de los suelos, según su afectación por su salinidad.

La nomenclatura internacional de clasificación de suelos afectados por las sales (Szabolcs, 1989) incluye el término sodio, alkali, solonchak, solonetz y solodised y

la compleja relación entre ellos hace difícil las comparaciones entre suelos sódicos. La clasificación de salinidad y suelo sódico ideado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y que es ampliamente seguido por varios países, se muestra en la Tabla 1 (Stevens, 2006).

Tabla 1. Clasificación de suelos salinos y sódicos

Clasificación de suelo	Parámetros
Salino, no-sódico	Porcentaje de Na ⁺ intercambiable (PSI) <15, conductividad eléctrica del extracto de la pasta de saturación (EC) >4 dS/m
Sódico, no-salino	PSI >15 y EC <4 dS/m
Salino, sódico	PSI >15 y EC >4 dS/m
No-salino, no-sódico	PSI <15 y EC <4 dS/m

Fuente: US Salinity Laboratory Staff (1954).

Los efectos del Na⁺ intercambiable en el comportamiento físico del suelo varían de suelo a suelo y son influenciadas por varios factores como la concentración de electrolitos, pH, mineralogía, materia orgánica, biopolímeros y agregados estabilizantes en agua. Por lo tanto, la definición usada con base en PSI, varía de acuerdo a la experiencia práctica.

Rengasamy *et al.* (1984), propuso las siguientes clases con base en el comportamiento físico de los suelos sódicos.

Clase I. Suelos dispersivos: Son los suelos que dispersan espontáneamente cuando no están sujetos o con una mínima acción mecánica (sin labranza); Por lo general tendrán problemas de formación de costras, reducción de porosidad, etc.

Clase II. Suelos potencialmente dispersivos: Son los suelos que requieren acción mecánica (ejemplo: impacto por el agua y labranza) para lograr una dispersión; Los problemas que se generan son físicos.

Clase III. Suelos floculados: Son los suelos que contienen más del mínimo de la concentración requerida para la floculación o prevención de la dispersión de la arcilla, Los problemas ocasionados son físicos, pero las sales pueden ser excesivas y limitan la producción.

II.3. TEXTURA.

La distribución de tamaños de las partículas tiene influencia en las propiedades de retención y transmisión de humedad en los suelos. Por regla general un suelo de textura gruesa tiene baja capacidad de retención de agua y una elevada permeabilidad, mientras que un suelo de textura fina tiene una elevada capacidad de retención de humedad pero menor permeabilidad (Richards, 1973.).

Para la clasificación de textura diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el United States Department of Agriculture, USDA (Figura 5).

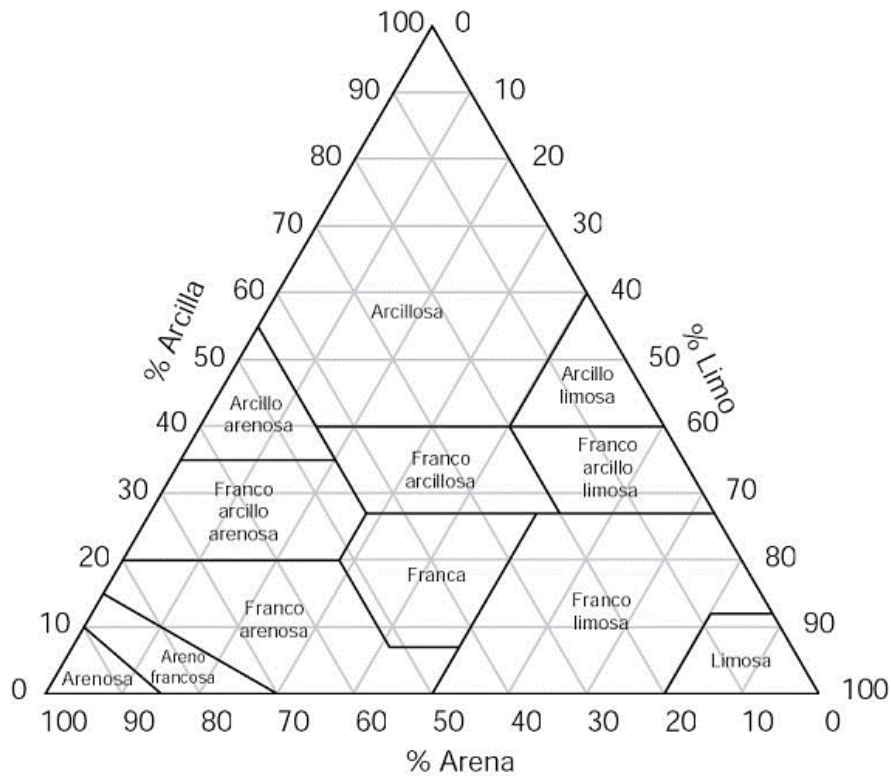


Figura 5. Diagrama de clases texturales del suelo (USDA).

II.4. CULTIVOS.

Para el presente trabajo, se consideraron solamente 2 especies de cultivo correspondiente a las parcelas estudiadas en la presente tesis. La primera zona fue una sección de la parcela 93 en la cual se cosechó cebada, posteriormente en una sección de la parcela PAR en la cual se encontró con una cobertura de la flor estática.

II.4.1. Cebada (*Hordeum vulgare*).

La cebada tiene una gran amplitud climática, tolera las bajas temperaturas y resiste bien la sequía, aunque necesita agua al inicio de su desarrollo. Posee un alto margen de tolerancia al grado de acidez edáfica. Tolerancia a la salinidad pero no los suelos encharcados y arcillosos. Puede desarrollarse bien en suelos

pedregosos y poco profundos (Información tomada de Hernández 1995; Aizpuru *et al.* 1999; Benito *et al.* 2000; Delgado 2000; Canals 2002; Suttie 2003; GRIN 2007).

II.4.2. Especies de *Limonium* (Césped de Olimpo, acelga silvestre, estática).

Los hábitats de desarrollo de éste género abarca desde los saladeros continentales y costeros hasta las zonas peninsulares del interior con climatología más fría. La temperatura óptima y de floración durante el día es de 22 a 27°C y de 12 a 16°C por la noche. El *Limonium* se cultiva preferentemente en suelos arenosos, pero en principio se puede cultivar en todo tipo de suelos, siempre que sean permeables y con buen drenaje, es una especie que se desarrolla muy bien en los suelos salinos. En los saladares continentales las depresiones del terreno y la impermeabilidad edáfica dan lugar a encharcamientos salinos con elevada concentración de cloruros y sulfatos, permitiendo el desarrollo de vegetación halófila. El pH adecuado para un buen desarrollo del cultivo es de 6.5 (Larson, 2004).

Griever *et al.* (2005), en su trabajo de Productividad y Nutrición Mineral de Especies *Limonium* irrigadas con agua residual tratada salina, experimentó con el riego con aguas con conductividades eléctricas de 2.5, 7, 11, 15, 20, 25 y 30 dS/m para las variedades *Limonium perizi* (Stapf) F.T. Hubb “Blue seas” y *Limonium sinuatum* (L.) Mill “American Beauty” y determinó el efecto en cuanto al tamaño del número de tallos, altura y peso, la primera variedad mostró un reducción significativa a partir de la conductividad eléctrica de 2.5 y la segunda a partir de 7 dS/m, también cabe señalar que ambas especies no soportaron salinidades de 30 dS/m.

Adicionalmente, proporciona dos tablas en las cuales, la Tabla 2 muestra la máxima tolerancia a la salinidad medida por la conductividad eléctrica del ART y del extracto de saturación de las dos variedades y en la Tabla 3 proporciona las conductividades ideales de calidad en el mercado.

Tabla 2. Especies de floricultura y cultivos para sitios de paisaje sal-afectados. Basada en la búsqueda conducida por el U.S. Salinity Laboratory, irrigación con agua salina (conductividad eléctrica CE_w) o suelo salino (conductividad eléctrica, CE_e) igual a o menos que las no esperadas para comprometer el valor estético de los cultivos (tabla traducida y modificada, Griever *et al.* 2005).

Nombre común	Nombre botánico	Cultivo	Salinidad (dS/m)	
			CE_w	CE_e
Estátice	<i>Limonium perizi</i> (Stapf) F.T. Hubb	“Blue seas”	30	13.6
	<i>Limonium sinuatum</i> (L.) Mill	“American Beauty”	30	13.6

Tabla 3. Directrices de producción de corte selecto de especies de flores con ART. Basada en la búsqueda conducida por el U.S. Salinity Laboratory, irrigación con agua salina (conductividad eléctrica CE_w) o suelo salino (conductividad eléctrica, CE_e) igual a o menos que las esperadas para producir tallos de una calidad de mercado (tabla traducida y modificada, Griever *et al.* 2005).

Nombre común	Nombre botánico	Cultivo	Salinidad (dS/m)	
			CE_w	CE_e
Estátice	<i>Limonium perizi</i> (Stapf) F.T. Hubb	“Blue seas”	4	1.8
	<i>Limonium sinuatum</i> (L.) Mill	“American Beauty”	7	3.2

II.5. JUSTIFICACIÓN

La información disponible para Ensenada indica que se puede llevar a cabo el riego con ART dentro los lineamientos del marco regulatorio. Sin embargo, no hay estudios en cuanto el impacto que tendrá la salinidad del agua en el suelo de labranza, por lo que es necesario conocer la concentración de salinidad en suelo y el aporte del ART ya que una deficiencia de cationes o aniones serviría para la toma de decisión para el uso de mejoradores de suelo. Por el contrario, un exceso podría representar toxicidad para las plantas con impactos adversos en el suelo y

agua subterránea. El presente estudio analiza dicha problemática y presenta recomendaciones de manejo para el riego con ART en la zona.

II.6. HIPÓTESIS

Conocer la salinidad del ART y del suelo de labranza de la zona de estudio antes y durante el riego permite demostrar la viabilidad del riego con ART y sugerir recomendaciones de mejora para el ART o uso del suelo en el valle agrícola de Maneadero.

II.7. OBJETIVOS

II.7.1. Objetivo general

Evaluar el efecto en la salinidad y sodicidad del suelo de labranza en los cultivos de cebada y flor estática en el valle de Maneadero (ciclo 2014-2015), ocasionado por el riego con ART proveniente de la planta de “El Naranjo”.

II.7.2 Objetivos específicos

II.7.2.1. Determinar la concentración de parámetros químicos en suelo agrícola: salinidad, acidez y alcalinidad (pH), conductividad eléctrica (C.E.), SDT, aniones, cationes, RAS, PSI y saturación.

II.7.2.2. Determinar la concentración de parámetros químicos en ART: salinidad, acidez y alcalinidad (pH), conductividad eléctrica (C.E.), SDT, aniones, cationes, RAS y PSI.

II.7.2.3. Determinar la textura del suelo agrícola.

II.7.2.4. Interpretar y demostrar el efecto de la salinidad y sodicidad con el riego de agua residual tratada en el suelo para el cultivo de cebada y flor estática con base

a los resultados de los objetivos específicos 1.4.2.1., 1.4.2.2., 1.4.2.3., y trabajos de Maas (1984), Maas y Hoffman (1977) y Griever *et al.* (2005).

Metodología

III.1. ÁREA DE ESTUDIO.

El valle de Maneadero se encuentra a 15 kilómetros al sur de la ciudad de Ensenada B. C., entre los $31^{\circ} 38' 65''$ y $31^{\circ} 49' 37''$ de latitud N y los $116^{\circ} 30' 26''$ y $116^{\circ} 38' 26''$ y $116^{\circ} 38' 80''$ de longitud W. Es una subcuenca hidrológica que tiene una extensión de 1975 km^2 , de los cuales 64 km^2 pertenecen a la planicie costera. El valle de Maneadero se encuentra delimitado al norte por una amplia terraza fluvial que lo separa de Ensenada, al sur por la falla de Agua Blanca, al este por el batolito peninsular y al oeste por el Estero de Punta Banda y el Océano Pacífico (Fabriol *et al.*, 1982; Sánchez Rentería, 2004).

Las zonas de estudio se encuentran en la parte baja de la cuenca del valle de Maneadero y la comprenden 2 tipos de cultivos: (1) cebada con una cobertura aproximada de $73,454 \text{ m}^2$ dentro de la parcela 93 y (2) flor estática con una cobertura aproximada de $42,312 \text{ m}^2$ dentro de la parcela propiedad de Armando Rojas (PAR)(Fig. 6 y 7) y con base en datos del sistema de información geográfica del INEGI se encuentran dentro de un polígono de área cultivable y sus colindancias al norte son con el arroyo Las Ánimas y la zona urbana, al este con zona urbana y sur son con zona urbanas y al oeste con la zona de intermareas del Estero de Punta Banda (Fig. 6).

El estudio se realizó en tres etapas:

1. Primer muestreo de suelo. Antes del inicio de la siembra y riego con ART los días 18 y 19 de junio del año 2014. Para el cultivo de cebada los puntos que la comprenden son el 93-1, 93-5 y 93-6 (Fig. 7, Anexo 1) y para la flor estática los puntos PAR-5 y PAR-6 (Fig. 7, Anexo 1). Todas las muestras se tomaron a una profundidad de 10-15 cm.
2. Segundo muestreo de suelo. Se llevo a cabo ocho meses después, los días 19 y 20 de febrero ya con cultivos regados con ART. Se tomaron en los mismos puntos que en la primera etapa, esta vez a profundidades de 0-5, 10-15, 20-25 y 30-35 cm.
3. Muestreo de ART. Se realizó el 23 de marzo del 2015 en la parcela 93.

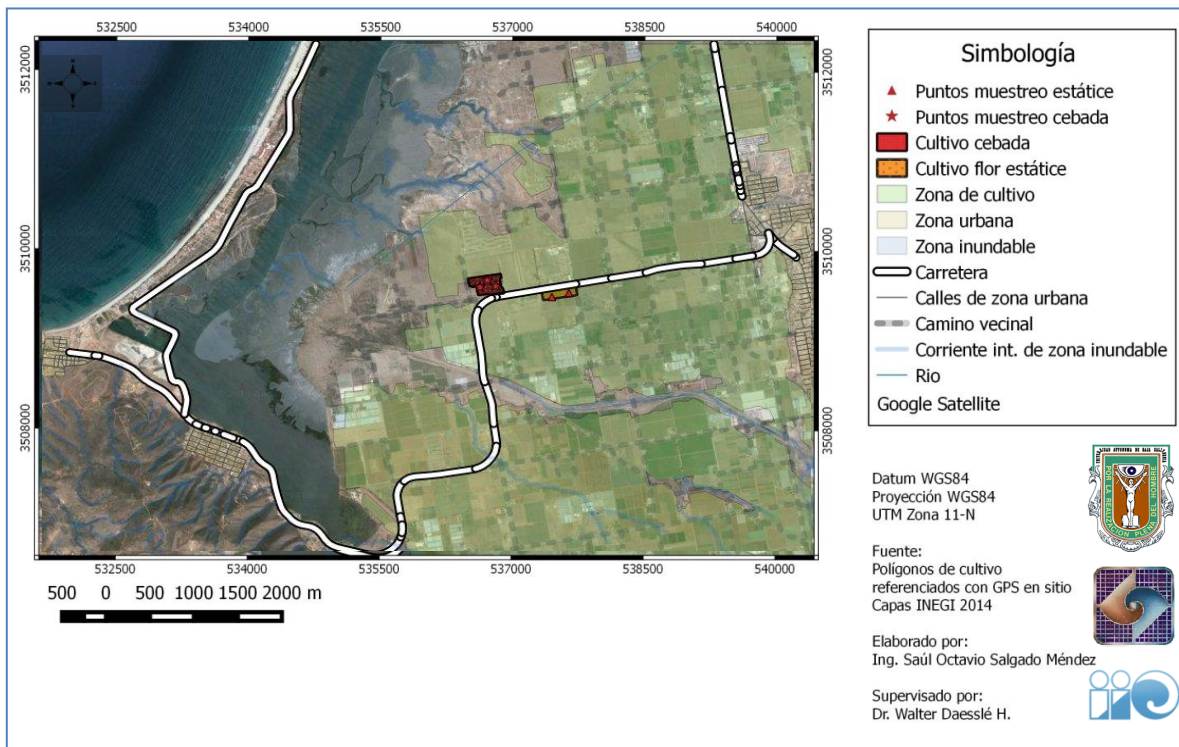


Fig. 6. Mapa del área de estudio que indica la parcela 93 (centro de la figura) y PAR (este de la parcela 93).

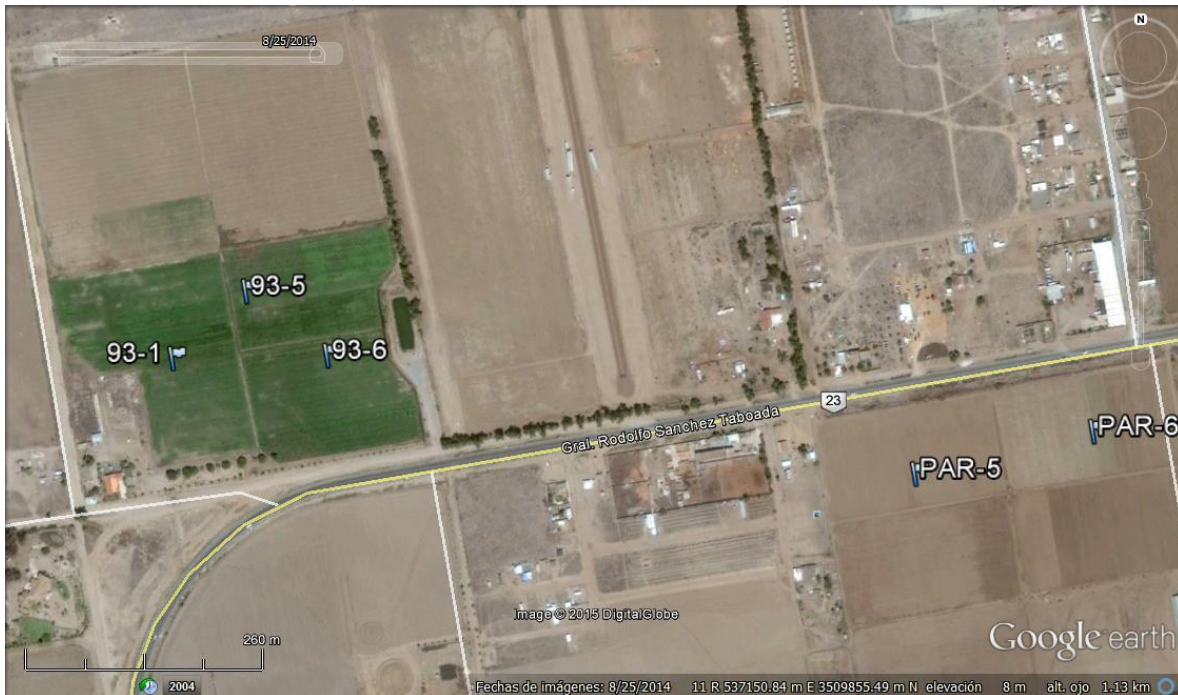


Figura 7. Acercamiento de los puntos de muestreo en cada parcela.

III.1.1. Clima.

La región de Maneadero presenta un clima mediterráneo registrando lluvias en invierno. En enero se presentan las temperaturas más bajas y en agosto las temperaturas más altas. Para el verano las temperaturas máximas varían entre 20 y 30°C, con mínimas de 15°C. En invierno las temperaturas máximas varían entre 15 y 25°C, con mínimas de 5°C. Los vientos predominantes provienen del noroeste. Las precipitaciones pluviales son muy escasas y solo se presentan en periodos cortos. El promedio de precipitación pluvial para el periodo de 1948-2002 fue de 245 mm/año (Sánchez Rentería, 2004).

III.1.2. Geología.

La cuenca de Maneadero está formada por materiales del Cuaternario, principalmente de sedimentos aluviales y marinos compuestos de gravas, arenas, limos y arcillas. Los materiales aluviales fueron originados por la erosión de

formaciones geológicas preexistentes, transportadas desde las partes altas de la cuenca por escurrimientos a las zonas más bajas en las cuales se localiza el acuífero. Los espesores de la cuenca formada por materiales del Cuaternario son variables y dependen de los procesos de erosión, transporte y sedimentación. Con base en los estudios de factibilidad hidrológica y diagnóstico del valle de Maneadero (Secretaría de Recursos Hidráulicos, 1978) se calculó que los depósitos aluviales no superan los 150 m de profundidad, de los cuales los primeros 60 a 80 metros presentan las condiciones de porosidad y permeabilidad más alta generando condiciones idóneas para el flujo y acumulación de aguas subterráneas (Mares-Olmos, 1996; Comisión Nacional del Agua, 1997a; Sánchez Rentería, 2004).

III.2. ANÁLISIS DE SALINIDAD EN SUELO AGRÍCOLA.

III.2.1. Muestreo de suelo agrícola.

Para el presente trabajo se diseñó un “muestreo de juicio” (Aguilar *et al.*, 1987), el cual es un muestreo de suelo no probabilístico en donde la selección de unidades de muestreo se hizo a criterio, buscando que las observaciones sean las más representativas, abarcando grandes extensiones de tierra. Los criterios que se tomaron en cuenta fueron los siguientes:

1. Falta de información *a priori* sobre la cobertura de siembra en la parcela, distribución y dimensión de la cama(s), melgas y tipo de riego (goteo, inundación, etc.) y fechas de la implementación de la siembra en las distintas parcelas.
2. La profundidad del suelo y la extensión de la cobertura del cultivo en la parcela. Se definen de manera puntual en 3 puntos (parcela 93) para el cultivo de cebada y 2 puntos (parcela PAR) para el cultivo de flor

estática, a una profundidad de 10-15 cm en cada sembradío (la profundidad promedio del arado para la zona norte es de 30 cm, según INIFAP) en el primer muestreo y en el segundo muestreo a profundidades comprendidas de 0-5, 10-15, 20-25 y 30-35 cm.

3. Dado que algunas parcelas se fraccionarían para llevar a cabo cultivos con diferentes especies y por temporadas esto conlleva a una variación en la demanda de cationes y aniones del suelo para cada una de ellas y por ende un cambio puntual de la salinidad del suelo dentro la misma parcela.

Para el primer muestreo se utilizó un colector de lodo de 2.75" Signature Mud Auger para la extracción del núcleo de suelo de 10-15 cm (Figura 8).



Figura 8. Equipo Auger para colecta de suelo.

En el segundo muestreo se utilizó una pala para agricultura y se realizó una zanja para extraer las muestras a profundidades de 0-5, 10-15, 20-25 y 30-35 cm. Las muestras se guardaron en bolsas tipo ziploc y se rotularon para su identificación, se almacenaron temporalmente en una hielera para luego mantenerlas refrigeradas hasta el análisis de las mismas.

III.2.2. Pretratamiento de la muestra de suelo.

1. Secado al aire. Consistió en esparcir sobre una charola o periódico la muestra de suelo y se dejó secar bajo la sombra hasta la pérdida de la humedad visible (24-48 horas, o en algunos casos más tiempo).
2. Molienda. Una vez obtenida la muestra secada al aire, se homogenizó en un molino de mandíbula (Figura 9) y se cribó en un tamíz de 2mm (Figura 10).



Figura 9. Molino de mandíbulas con motor de 1725 RPM y 1 HP marca Doerr.



Figura 10. Tamíz con malla de 2 mm.

III.2.3. Determinación del porcentaje de saturación.

Se utilizó el método AS-17 (modificado), que se menciona en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2003). El porcentaje de saturación se calculó a partir de la diferencia del peso de suelo seco al aire y el peso de la pasta saturada con agua. Se preparó una pasta saturada en botes de aluminio de 600 ml, agregando agua desionizada a una muestra de suelo y agitando la mezcla con una espátula hasta que la mezcla reúna el criterio de saturación (Figura 11).



Figura 11. Vaso de aluminio.

Procedimiento.

Se pesaron las muestras (200-400 g) en botes de aluminio. Posteriormente se les agregó agua desionizada mezclándolas con la ayuda de una espátula hasta alcanzar el punto de saturación. Por último se tapó cada uno de los botes y se dejó reposar 24 horas permitiendo obtener una pasta de suelo-agua uniformemente saturada. Durante el proceso las muestras se consolidaron golpeando el recipiente sobre la mesa de trabajo.

Los criterios que se tomaron para la saturación fue el brillo por la reflexión de la luz, su ligera fluidez al inclinar el bote y su fácil deslizamiento en la espátula. Una vez que obtenido el punto de saturación se pesó de nuevo el recipiente con su contenido y se registró el aumento de peso que es la cantidad de agua agregada al suelo seco al aire.

Cálculo del porcentaje de saturación (PS).

- Peso muestra de suelo seco al aire (A).
- Peso del volumen de agua agregada (B).

$$\text{PS} = (\text{B/A}) \times 100$$

III.2.4. Obtención del extracto de saturación.

Se utilizó el método AS-16 para la obtención del extracto de saturación por filtración con vacío de la pasta saturada del suelo de acuerdo con la (NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

Procedimiento.

Se colocó papel Whatman No. 42 en el fondo del embudo Buchner para cada una de las muestras de suelo al equipo para la obtención del extracto de saturación (Fig. 12). El equipo consiste de un embudo Buchner ajustado a un matraz kitazato mediante un tapón de hule monohonorado y la parte inferior del embudo da con un tubo de ensayo donde se colectó el extracto de saturación por vacío.



Figura 12. Equipo para la obtención del extracto de saturación.

III.2.5. Determinación de pH medido en el extracto de saturación.

Se utilizó el método AS-02, electrométrico para la determinación del pH en muestras de suelo en una solución de agua pura (NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

Se calibró el medidor de pH (Fig. 13) con las soluciones reguladoras a 4.0 y 7.0 o 7.0 y 10.0 según el suelo a temperatura ambiente y enjuagando con agua destilada el electrodo antes de iniciar las lecturas de las muestras.



Figura 13. Instrumento Orion 4 star pH, conductivity.

Para la clasificación de suelos en cuanto a su valor de pH se presenta la tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de pH.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

III.2.6. Medición de la conductividad eléctrica en el extracto de saturación.

Se utilizó el método AS-18 para la determinación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo por medición electrolítica y una celda de conductividad como sensor (NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

Principio.

El principio por el cual el instrumento mide conductividad es simple: el electrodo se sumerge en la muestra, se aplica un potencial o voltaje y se mide la corriente que fluye (Fig. 14).



Figura 14: Hach Conductivity/TDS meter 44600.

La interpretación de conductividad eléctrica, es representada en la tabla 6.

Tabla 6. Interpretación de la conductividad eléctrica.

CE dS m⁻¹ a 25^oC	Efectos
< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad.
1.1 – 2.0	Muy ligeramente salino.
2.1 – 4.0	Moderadamente salino.
4.1 – 8.0	Suelo salino.
8.1 – 16.0	Fuertemente salino.
>16.0	Muy fuertemente salino.

A partir de la conductividad eléctrica se determinó la concentración de sólidos disueltos totales (SDT) mediante la siguiente fórmula de conversión:

Se determinó mediante la fórmula de conversión siguiente:

$$\text{mg/L (p.p.m.)} = 0.64 \times \text{CE} \times 10^3$$

III.2.7. Determinación de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺.

Se determinó por titulación con EDTA (USSL-1954).

Procedimiento para el Ca⁺⁺.

Se colocó una alícuota 5 a 25 ml (dependiendo su CE) en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y se diluyó hasta 25 ml, se agregaron 5 gotas de hidróxido de sodio y aproximadamente 5.0 ml de indicador purpurado de amonio y se tituló con la solución estandarizada de EDTA. El cambio característico es de color rojo naranja a púrpura. Cuando se aproximó al vire se le agregó una gota de EDTA. En las muestras que se excedieron en la titulación con EDTA se retituló con la solución estándar de CaCl₂.

Procedimiento para Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺.

Se colocó una alícuota de 5 a 25 ml (dependiendo se CE) en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y se diluyó hasta 25 ml, se agregaron 10 gotas de la solución amortiguadora de cloruro de amonio e hidróxido de sodio y de 3 a 4 gotas del indicador eriocromato negro T y se tituló con EDTA utilizando. El cambio característico es de color rojo vino a azul o verde.

Cálculos:

$$\text{meq/L de Ca}^{++} \text{ o (Ca}^{++}\text{+Mg}^{++}\text{)} = \frac{1000 \times (\text{ml. de EDTA} \times \text{normalidad EDTA})}{\text{ml de alícuota}}$$

III.2.8. Determinación de Na⁺.

Se determinó mediante la fórmula de la salinidad efectiva (SE) expresada en meq/L (Aguilera y Martínez, 1980).

$$SE = \text{Suma de cationes} - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$$

III.2.9. Determinación de bicarbonatos.

Se determinó por titulación con ácido por el método de Bower y Wilcon (1965).

Procedimiento.

Se tomó una alícuota de 5 ml del extracto y se depositó en un vaso precipitado. Se agregaron alrededor de 2 gotas de fenolftaleína hasta que la solución tuviera una coloración rosa, posteriormente se tituló con H_2SO_4 hasta la desaparición de color, posteriormente se anotó la lectura de la bureta, enseguida se agregó alrededor de dos gotas de anaranjado de metilo. Este segundo indicador se agrega también en caso de no obtener la coloración rosa, al agregar el primer indicador lo que indica ausencia de CO_3 . Se titula con H_2SO_4 hasta cambiar a color anaranjado.

Esta solución se utiliza posteriormente para hacer la determinación de cloruros.

Cálculos:

$$\text{meq/L de HCO}_3 = \frac{1000 (\text{T-blanco}-2\text{P})(\text{Normalidad de H}_2\text{SO}_4)}{\text{ml de alícuota}}$$

En donde:

P = ml de H_2SO_4 requeridos para obtener el vire del indicador fenolftaleína.

III.2.10. Determinación de Cloruros.

Se determinó por titulación por el método de Mohr (Bower y Wilcon 1965).

Procedimiento.

Se tomó una alícuota del extracto de saturación y se colocó en un vaso precipitado. Se ajustó el pH con la solución mediante NaHCO_3 entre pH de 5.4 y 8.3 hasta tornarse transparente la solución, luego se agregó una gota de indicador K_2CrO_4 por cada 5 ml. de alícuota y se tituló mediante la solución estándar de nitrato de plata hasta que apareció un precipitado de color rojo o café rojizo.

Cálculos:

$$\text{meq/L de Cl}^- = \frac{1000 \times (\text{ml. de AgNO}_3\text{-blanco}) \times \text{Normalidad de AgNO}_3}{\text{ml del alícuota}}$$

III.2.11. Determinación de sulfatos.

Se determinó por diferencia estequiometría de la suma de la suma de cationes y aniones.

III.2.12. Cuantificación de la relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Se utilizó el método AS-21 para determinar el porcentaje de saturación de bases, relación de adsorción de sodio (RAS) y el porcentaje de sodio intercambiable (PSI), por medio de un cálculo matemático (NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

Cálculo:

$$\text{Relación de Adsorción de Sodio} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Nota: Para obtener el RAS los iones se cuantifican en el extracto de la pasta de saturación y se expresan en mmol/L.

$$\text{Porcentaje de Sodio Intercambiable} = (\text{Nai}/\text{CIC}) \times 100$$

Donde:

Nai = Na⁺ intercambiable (C mol (+) kg⁻¹).

III.3. DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA.

Principio.

Este método determina el tamaño de grano mediante el analizador Láser Horiba Laser Scattering Particle Size Distribution Analyzer 910 (Figura 15).



Figura 15. Equipo Analizador Láser Horiba.

El equipo tiene un rango de medición de partículas que va de 0.02 μm hasta 1000 μm . Su mecanismo de flujo va de la entrada del agente dispersante de hexametáfosfato de sodio y muestra al auto preparador (un baño con dispersor

ultrasónico, un flujo-celda y una bomba de circulación) y en la etapa siguiente se le irradia un láser que al pasar por las partículas lo difracta. Dicha difracción es captada por los sensores los cuales mandan información al CPU para el procesamiento y determina el tamaño de procesar en programa SysGram por el método estadístico Folk a Ward.

III.4. ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL TRATADA.

III.4.1. Muestreo de agua residual tratada.

La muestra se colectó de manera directa de un bypass de la tubería morada de la CESPE que se encuentra ubicada dentro de la parcela 93 en un contenedor de plástico de capacidad de 2 litros y se preservó en hielo. Los análisis son aquellos referidos en la sección metodológica para el extracto de saturación de suelo, excepto que el ART se midió de manera directa ya que no se requirió de extractos como en el caso del suelo. Es por ello que la descripción metodológica aquí se presenta de manera resumida.

III.4.2. Determinación de pH.

Se utilizó el método AS-02, que se menciona en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2003) (ver el punto III.2.5).

III.4.3. Medición de la conductividad eléctrica.

Se utilizó el método AS-18 (modificado), que se menciona en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2003) (ver el punto III.2.6).

III.4.4. Determinación de Ca⁺⁺ y Mg⁺⁺.

Se determinó por titulación con EDTA (USSL-1954) (ver el punto III.2.7).

III.4.5. Determinación de Na⁺.

Se determinó por cálculo (ver el punto III.2.8).

III.4.6. Determinación de bicarbonatos.

Se determinó por titulación con ácido (Bower y Wilcon 1965) (ver el punto III.2.9).

III.4.7. Determinación de cloruros.

Se determinó por titulación por el método de Morh (Bower y Wilcon 1965) (ver el punto III.2.10).

III.4.8. Determinación de sulfatos.

Se determinó por diferencia estequiometría de la suma de la suma de cationes y aniones.

III.4.9. Cuantificación de la relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI).

Se utilizó el método AS-21, que se menciona en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2003) (ver el punto III.2.12).

Capítulo IV

Resultados

IV. 1. AGUA RESIDUAL TRATADA (ART).

La muestra de ART fue tomada de manera directa de una válvula de control de la tubería morada de la CESPE que se encuentra ubicada dentro de la parcela (Tabla 7). El ART presentó un pH básico y una concentración de SDT de 2875 mg/L. Dada su CE hace que el ART utilizada solo sea apta para cultivos clasificados como tolerantes (Maas, 1984) y en suelos permeables con bajo contenido de arcilla. Por su abundancia, entre los iones mayoritarios, el Cl^- y Na^+ en el ART son los principales causantes de las concentraciones SDT.

Tabla 7. Resultado de análisis químicos del ART.

		ART							Marzo 2015	
pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
8.07	4.56	2875.1	8.8	15.2	23.6	8.2	33.4	6	6.81	8.08

RAS = Relación de Adsorción de Sodio; PSI = Porcentaje de Sodio Intercambiable.

Al destinar el ART con fines de riego (ver tabla 8), se pueden contrastar los resultados del presente trabajo con la calidad del agua en riego agrícola, en los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89 y la Ley Federal de Derechos de Agua 2014. Se observa que la CE, SDT, Cl^- y SO_4^- exceden a los recomendados tanto para los criterios ecológicos CE-CCA-001/89 como para la Ley Federal de Derechos de Agua 2014 y solamente el pH cae dentro de los

rangos. En cuanto los cationes Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ y anión HCO_3^- no están contemplados en dichas normas. Por último, el RAS se encuentra por debajo del rango recomendado en riego de forraje.

Tabla 8. Contraste de los criterios de la calidad del agua y la concentración de los parámetros analizados.

Parámetro	Criterios ecológicos	Ley Federal de	Presente trabajo
	CE-CCA-001/89.	Derechos de Agua 2014	
	Riego agrícola	Riego agrícola	ART
pH	6.5 – 9	6 – 9	8.07
CE (dS/m)	1	-	4.56
SDT (mg/L)	500	*500	2875.1
Ca^{++} (mg/l)	-	-	176
Mg^{++} (mg/l)	-	-	182.4
Na^+ (mg/l)	-	-	542.8
HCO_3^- (mg/l)	-	-	500.2
Cl^- (mg/l)	147.5	150	1185.7
SO_4^- (mg/l)	130	250	288

*Cultivos sensibles 500-1000 mg/l; cultivos con manejo especial 1000-2000 mg/l; cultivos tolerantes en suelos permeables 2000-5000 mg/l; para frutas sensibles en relación de adsorción de sodio RAS ≤ 4 , y para forrajes de 8-18, cuando la descarga sea directamente al suelo con uso en riego agrícola.

IV.2. SUELO AGRÍCOLA Y TEXTURA.

Para determinar la composición del suelo agrícola se muestrearon la parcela 93 y la propiedad de Armando Rojas (PAR) (Fig. 5 y Anexo 1), antes del riego con ART en junio 2014 y durante el riego en febrero 2015. Los resultados de las variables analizadas en las diferentes muestras de cada parcela y del ART se muestran en las Tablas (9-18) y Figuras (16-70). Cabe destacar que en ambas parcelas se

rompió la cohesión del suelo a una profundidad aproximada de 80 cm con unas cuchillas de un tractor antes de la siembra.

Parcela 93:

Durante el primer muestreo, todos los sitios donde se extrajeron los puntos de muestreo (profundidad de 10-15 cm) se encontraron arados y con semilla de cebada. Durante el segundo muestreo, todos los sitios de puntos de muestreo se encontraron con remanentes de siembra de cebada como resultado de la cosecha tras riego por inundación con ART.

- Primer muestreo, muestra 93-1 (ver tabla 9):

El tamaño de grano predominante en cuanto a su composición granulométrica son los limos, luego las arenas y por último y con una participación despreciable son las arcillas. El porcentaje de saturación es característico de un suelo poroso. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación tiene un pH básico y una concentración de 1051.3 mg/L de SDT apta para cultivo de plantas sensitivas a tolerantes (Maas, 1984). Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y los aniones HCO_3^- y Cl^- son las predominantes.

Tabla 9. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra 93-1, junio 2014.

Muestra 93 – 1				Primer Muestreo				Junio 2014							
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
10 - 15	0.67	60.12	39.21	36	8	1.2	1051.3	2	6.4	7	8.6	6.2	0.6	3.42	3.6

- Segundo muestreo, muestra 93-1 (ver tabla 10 y Figuras 16-26):

Profundidad 10-15 cm: En la composición granulométrica, las arenas fueron las predominantes, seguido de los limos. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH aumento dos décimas de magnitud y también aumentó la concentración a 1456.6 mg/L de SDT que es apta para cultivos de

plantas sensitivas a tolerantes (Maas, 1984). Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y los aniones HCO_3^- y Cl^- siguen siendo las predominantes y aumentaron en sus concentraciones. El RAS aumentó y por ende el PSI.

Perfil 93-1: En la composición granulométrica, predominaron las arenas y aumentan en porcentaje a mayor profundidad, posteriormente le siguen los limos que disminuyen a mayor profundidad. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH se mantuvo alcalino con una variación despreciable y la concentración de SDT aumentó a mayor profundidad. Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y los aniones HCO_3^- y Cl^- son las que predominaron con una tendencia a aumentar a mayor profundidad. El RAS aumenta a mayor profundidad, al igual el PSI.

Tabla 10. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil 93-1, febrero 2015.

Perfil 93 – 1			Segundo Muestreo					Febrero 2015							
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
0 – 5	0.32	49.32	50.35	42.8	7.8	2.1	1772.8	3.6	9.6	12	15	7.6	2.6	4.67	5.3
10 – 15	0.37	48.33	51.29	40	8.2	2.1	1456.6	2	8.4	12	9.2	12.4	0.8	5.26	6.1
20 - 25	0.47	43.16	56.36	36.8	8	3.2	2037	3.2	9.6	20	6.8	21.2	4.8	7.91	9.4
30 – 35	0.63	46.92	52.45	36.4	8	3.3	2121.9	3.2	10.8	20	7.6	21	5.4	7.56	9

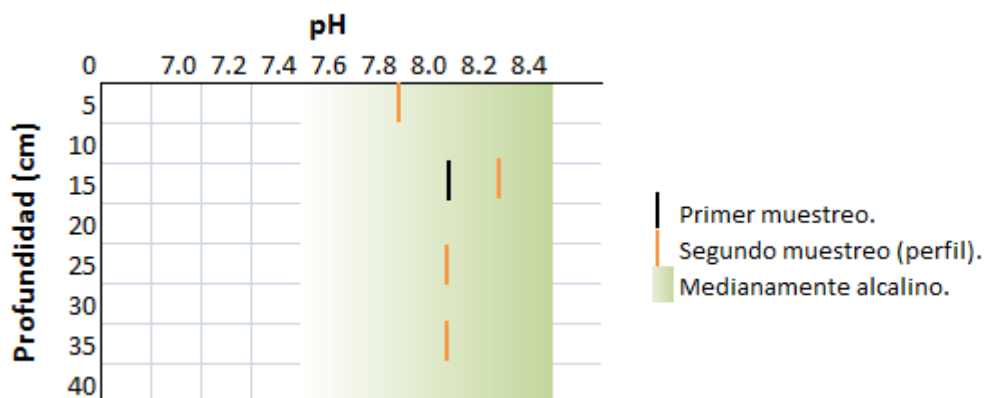


Figura 16. Clasificación de pH (método AS-02, NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

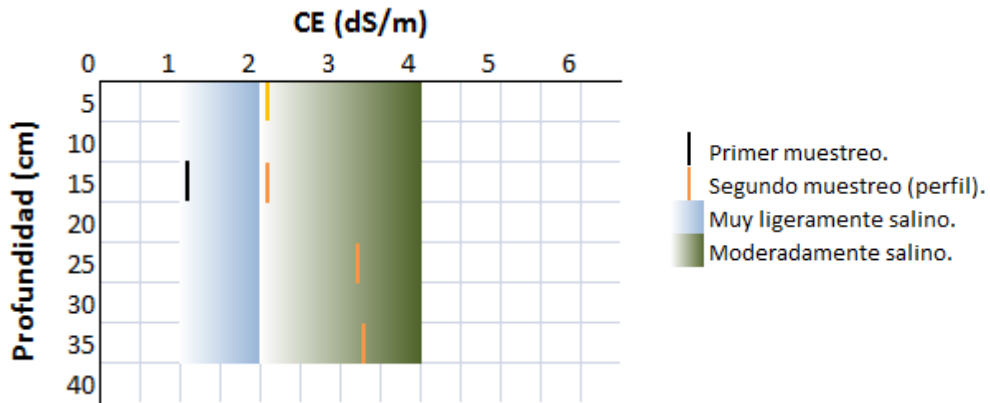


Figura 17. Interpretación de la conductividad eléctrica (método AS-18, NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

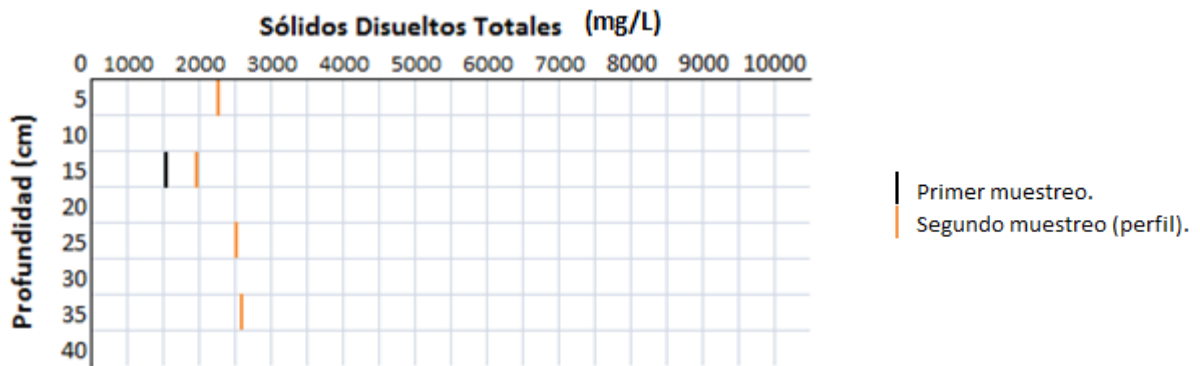


Figura 28. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).

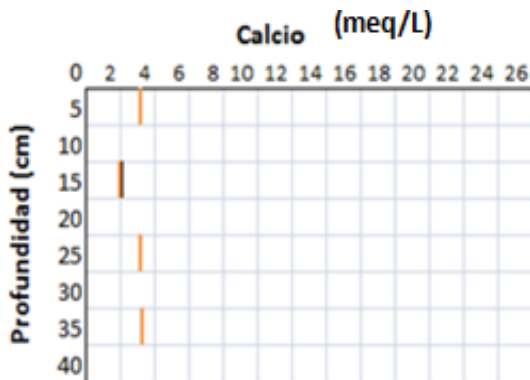


Figura 19. Ca^{++} (primer muestreo) vs. Ca^{++} (perfil, segundo muestreo).

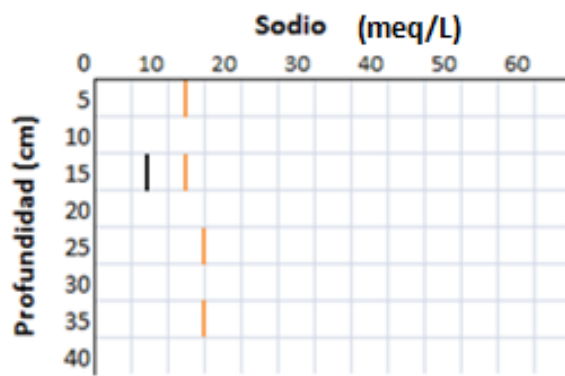


Figura 20. Na^{+} (primer muestreo) vs. Na^{+} (perfil, segundo muestreo).

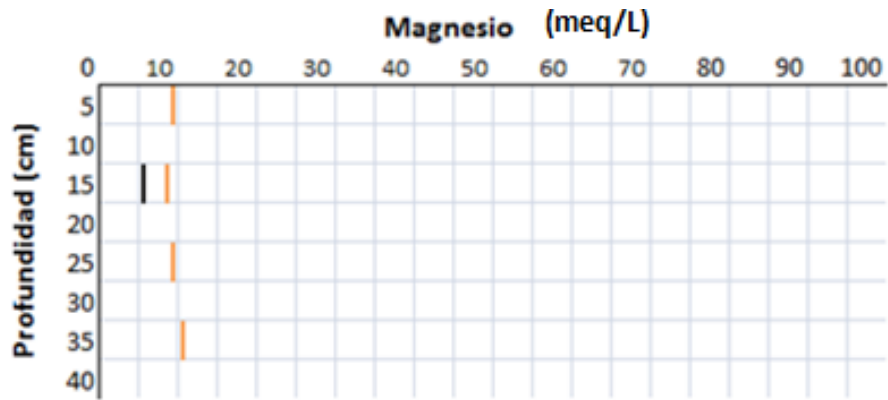


Figura 21. Mg⁺⁺ (primer muestreo) vs. Mg⁺⁺ (perfil, segundo muestreo).

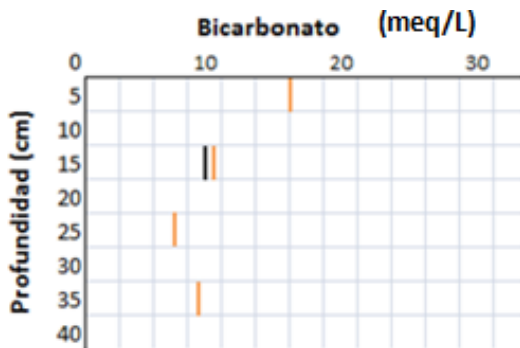


Figura 22. Bicarbonato (primer muestreo) vs. bicarbonato (perfil, segundo muestreo).

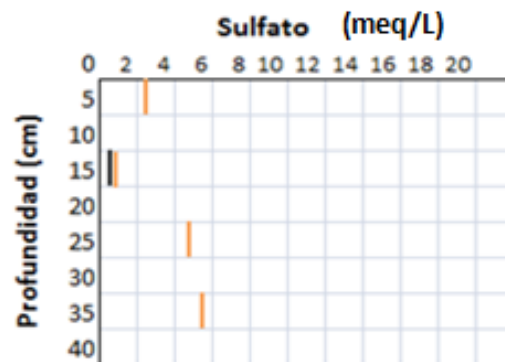


Figura 23. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo).

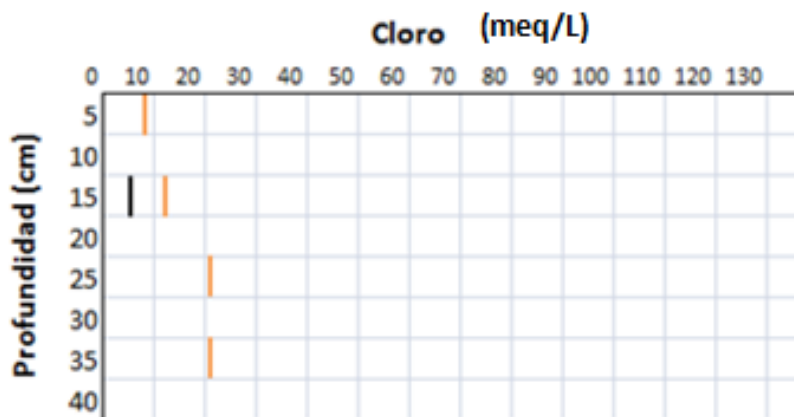


Figura 24. Cl⁻ (primer muestreo) vs. Cl⁻ (perfil, segundo muestreo).

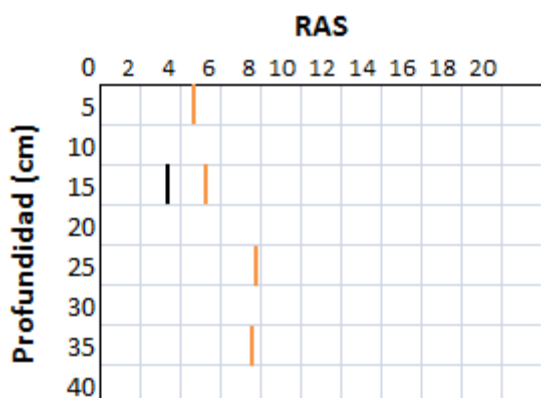


Figura 25. RAS (primer muestreo) vs. RAS (perfil, segundo muestreo).

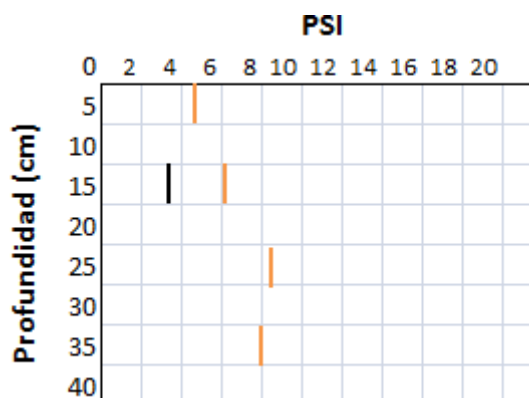


Figura 26. PSI (primer muestreo) vs. PSI (perfil, segundo muestreo).

- Primer muestreo, muestra 93-5 (ver tabla 11):

El tamaño de grano predominante en cuanto a su composición granulométrica son los limos y luego las arenas. El porcentaje de saturación es característico de un suelo poroso. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación tiene un pH básico y una concentración de 1548.2 mg/L de SDT que es apta para cultivos de plantas sensitivas a tolerantes (Maas, 1984). Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y los aniones HCO_3^- y Cl^- son las predominantes.

Tabla 11. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra 93-5, junio 2014.

Muestra 93 – 5			Primer Muestreo					Junio 2014							
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
10 – 15	0.66	61.05	38.28	37.6	8.1	2.1	1548.2	2.4	6	14	12	10	0.4	6.83	8.1

- Segundo muestreo, muestra 93-2 (ver tabla 12 y Figuras 27-37):

Profundidad 10-15 cm: En la composición granulométrica, disminuyeron los limos, sin embargo siguen siendo los predominantes, seguido de las arenas. El porcentaje de saturación disminuyó. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH aumento una décimas de magnitud y prácticamente se mantuvo sin cambio los SDT apto para cultivos de plantas sensitivas a tolerantes (Maas, 1984). Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y los

aniones HCO_3^- y Cl^- siguen siendo las predominantes y se mantuvieron con pocos cambios. El RAS disminuyó y por ende el PSI.

Perfil 93-5: En cuanto a su composición granulométrica, predominaron los limos y aumentaron en porcentaje a mayor profundidad, posteriormente le siguen las arenas que disminuyeron a mayor profundidad y en cuanto a las arcillas aumentan a mayor profundidad pero su cantidad es despreciable. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH se mantuvo con muy poca variación y la concentración de SDT aumenta a mayor profundidad. Las concentraciones de los cationes Ca^{++} , Mg^{++} y Na^+ tienden a aumentar a mayor profundidad al igual que los aniones Cl^- y SO_4^- , por el contrario, el HCO_3^- disminuye. El RAS aumenta hasta el horizonte de la profundidad de 20-25 y decrece en el horizonte de la profundidad 30-35 cm, al igual el PSI.

Tabla 12. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil 93-5, febrero 2015.

Perfil 93 – 5				Segundo Muestreo					Febrero 2015						
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. Sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^-		
0 – 5	0.69	56.79	42.52	33.6	8	1.8	1509.7	4.4	10.4	7	14	7.4	0.4	2.57	2.5
10 – 15	0.7	57.42	41.88	30	8.2	1.9	1561.4	2.8	6.4	13	13	8.4	0.8	6.06	7.1
20 - 25	0.96	59.09	39.95	30.8	8.1	3.2	1975.6	3.2	9.6	19.1	6.8	21	4.1	7.55	9
30 – 35	1.19	59.4	39.41	29.6	8	4.6	2768.3	12.8	14.4	18.7	7.4	31.2	7.3	5.07	5.9

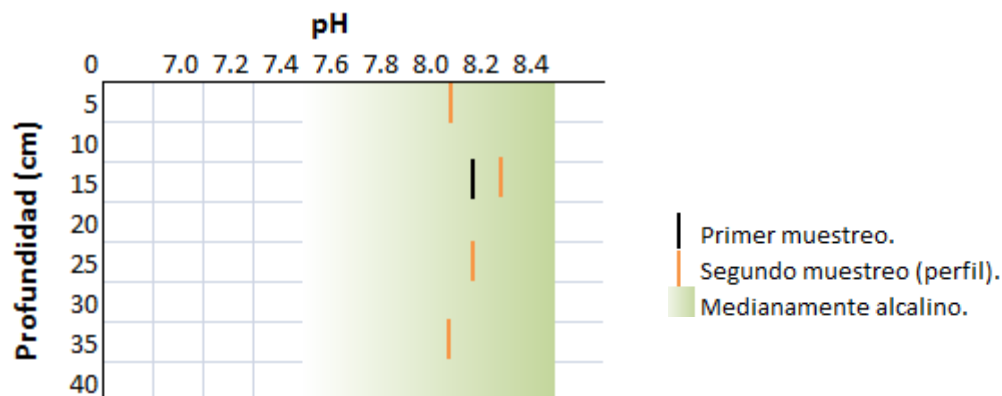


Figura 27. Clasificación de pH (método AS-02, NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

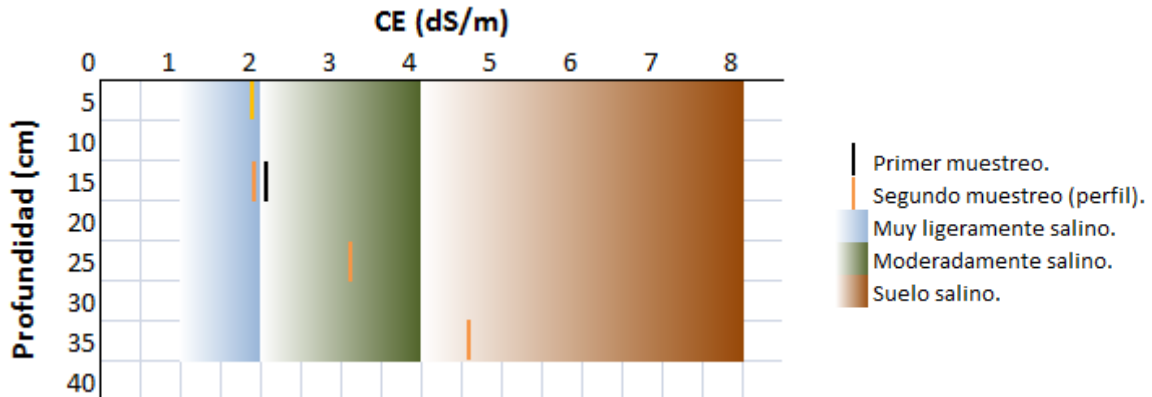


Figura 28. Interpretación de la conductividad eléctrica (método AS-18, NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

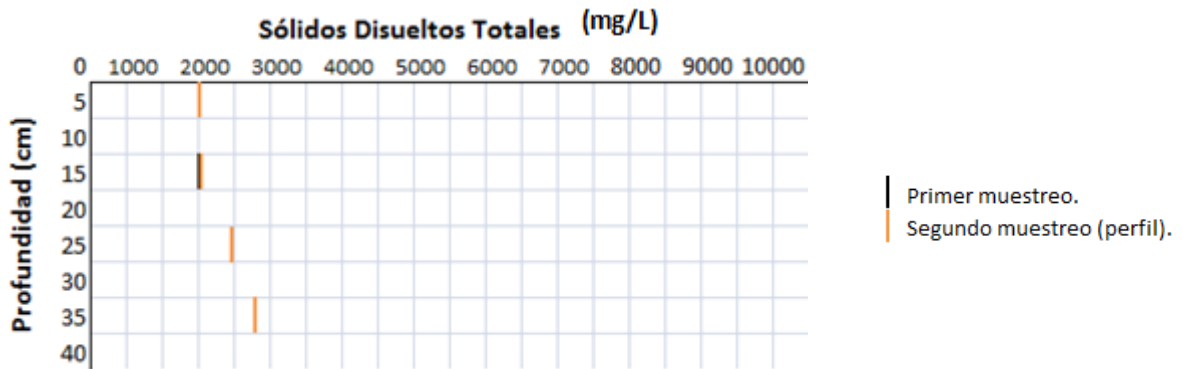


Figura 29. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).

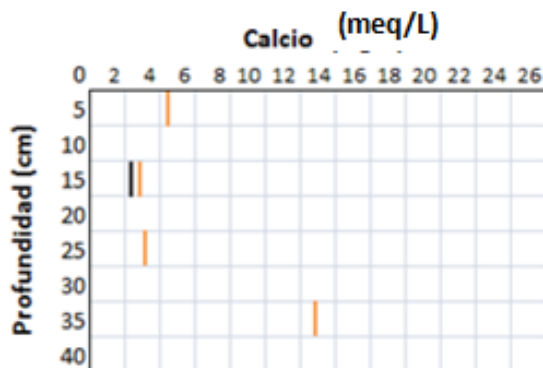


Figura 30. Ca⁺⁺ (primer muestreo) vs. Ca⁺⁺ (perfil, segundo muestreo)

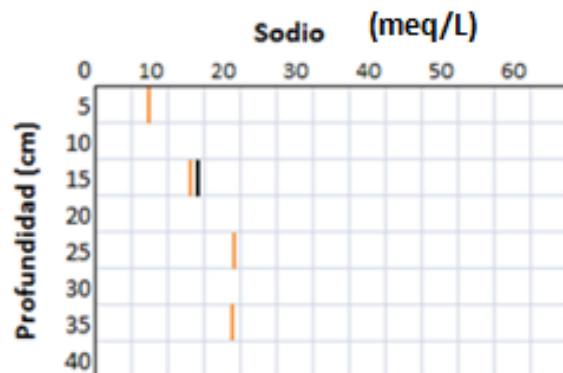


Figura 31. Na⁺ (primer muestreo) vs. Na⁺ (perfil, segundo muestreo).

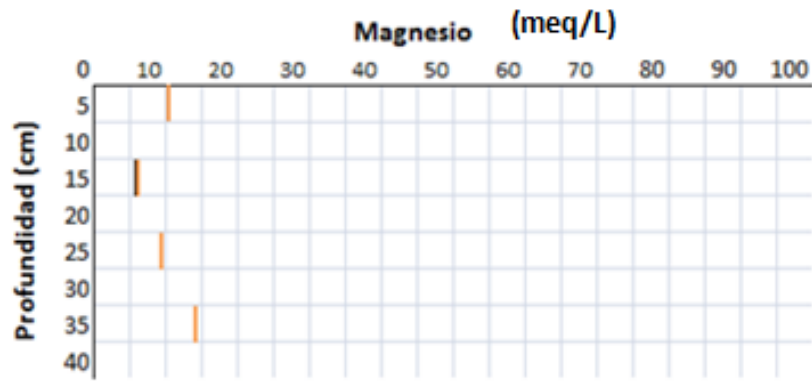


Figura 32. Mg⁺⁺ (primer muestreo) vs. Mg⁺⁺ (perfil, segundo muestreo).

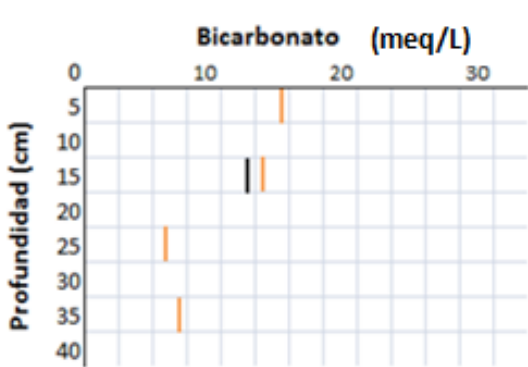


Figura 33. Bicarbonato (primer muestreo) vs. bicarbonato (perfil, segundo muestreo).

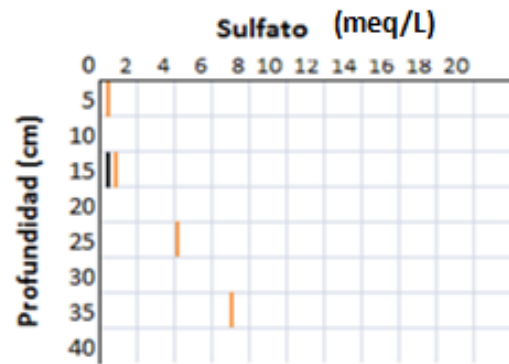


Figura 34. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo).

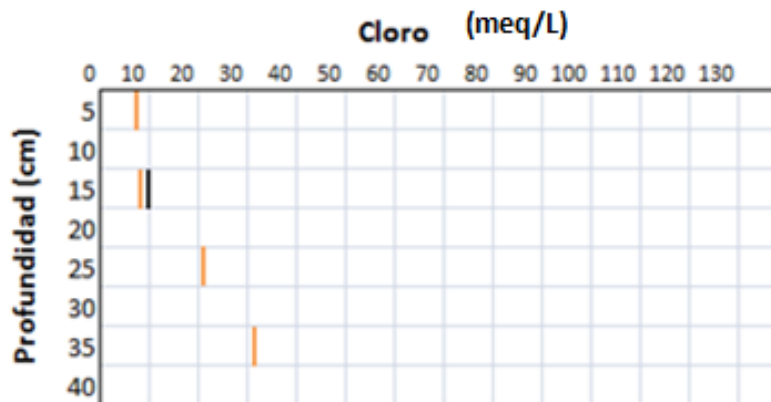


Figura 35. Cl⁻ (primer muestreo) vs Cl⁻ (perfil, segundo muestreo).

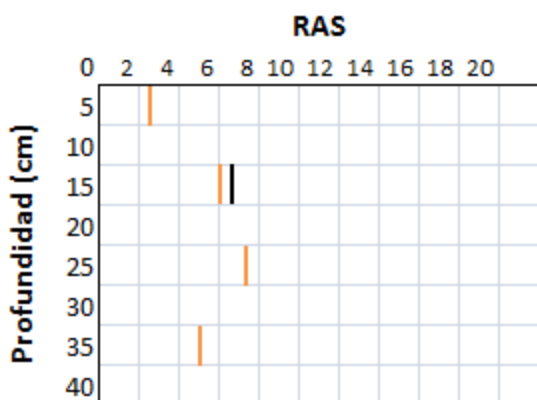


Figura 36. RAS (primer muestreo) vs. RAS (perfil, segundo muestreo).

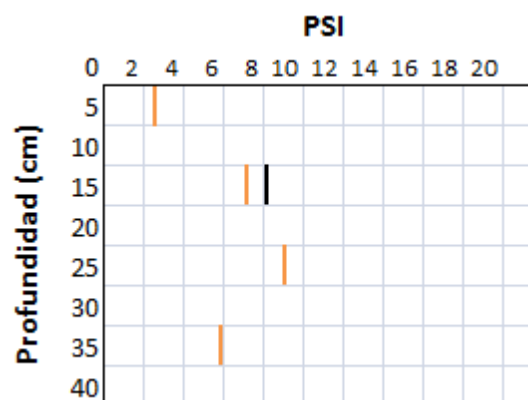


Figura 37. PSI (primer muestreo) vs. PSI (perfil, segundo muestreo).

- Primer muestreo, muestra 93-6 (ver tabla 13):

El tamaño de grano predominante en cuanto a su composición granulométrica son los limos y luego las arenas. El porcentaje de saturación es el característico de un suelo poroso. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación presentó un pH básico y una concentración de 9,031 mg/L de SDT lo que lo hace apta para cultivos de plantas tolerantes con afectaciones en cuanto a su porcentaje de rendimiento (Maas, 1984). Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y el anión Cl^- son los predominantes.

Tabla 13. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra 93-6, junio 2014.

Muestra 93 – 6				Primer Muestreo				Junio 2014							
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
10 – 15	0.85	54.59	44.55	40.4	7.6	16.2	9031	24	80	58	12	134	16	8.04	9.6

- Segundo muestreo, muestra 93-6 (ver tabla 14 y Figuras 38-48):

Profundidad 10-15 cm: En la composición granulométrica, los limos son los predominantes, seguido de las arenas. El porcentaje de saturación prácticamente se mantuvo. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH aumento cuatro décimas de magnitud y disminuyó considerablemente la

concentración a 2636.7 mg/L de SDT que es apta para cultivos de plantas moderadamente tolerantes a tolerantes (Maas, 1984). Las concentraciones del catión Na^+ y el anión Cl^- fueron las predominantes y disminuyeron considerablemente sus concentraciones. El RAS aumentó y por ende el PSI y con esta concentración puede representar un problema para las plantas.

Perfil 93-6: En la composición granulométrica, predominan los limos y tuvieron poca variación, posteriormente le siguen las arenas casi en la misma proporción que los limos. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH se mantuvo alcalino y la concentración de SDT disminuyó a mayor profundidad. Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y los aniones HCO_3^- y Cl^- fueron las que predominaron con una tendencia de aumentar a mayor profundidad. El RAS se mantiene casi constante para los horizontes de 0-5, 20-25 y 30-35 cm de profundidad y aumenta para el horizonte de 10-15 cm de profundidad y del mismo modo el PSI.

Tabla 14. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil 93-6, febrero 2015.

Perfil 93 – 6				Segundo Muestreo					Febrero 2015						
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^-		
0 – 5	0.35	51.1	48.55	44.4	8.1	6.1	3897.2	9.2	15.6	36.6	19	40.8	1.6	10.4	12
10 – 15	0.58	50.79	48.64	40	8	4.2	2633.7	3.2	6	32.6	8	29	4.8	15.2	17
20 - 25	0.68	50.28	49.04	40	8	3.9	2402.3	2.4	10.8	26.2	6.8	28.6	4	10.2	12
30 – 35	0.83	51.89	47.28	40	8	3.5	2169.5	2	8.8	24.4	6.2	24.6	4.4	10.5	12

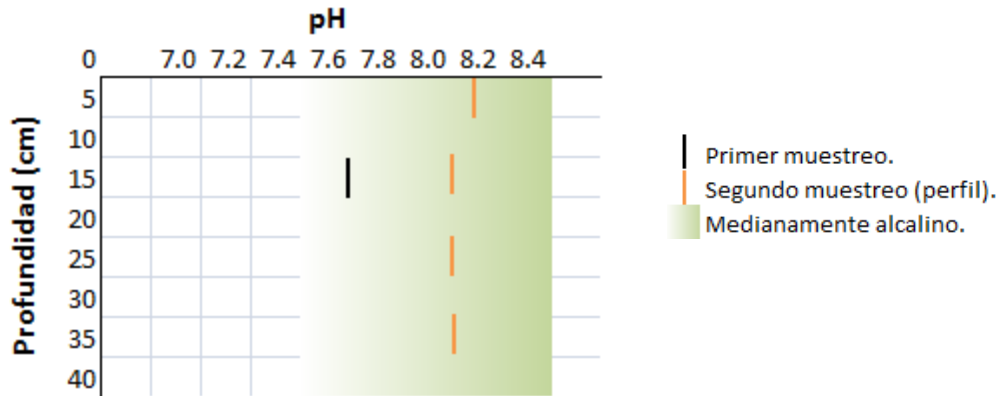


Figura 38. Clasificación de pH (método AS-02, NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

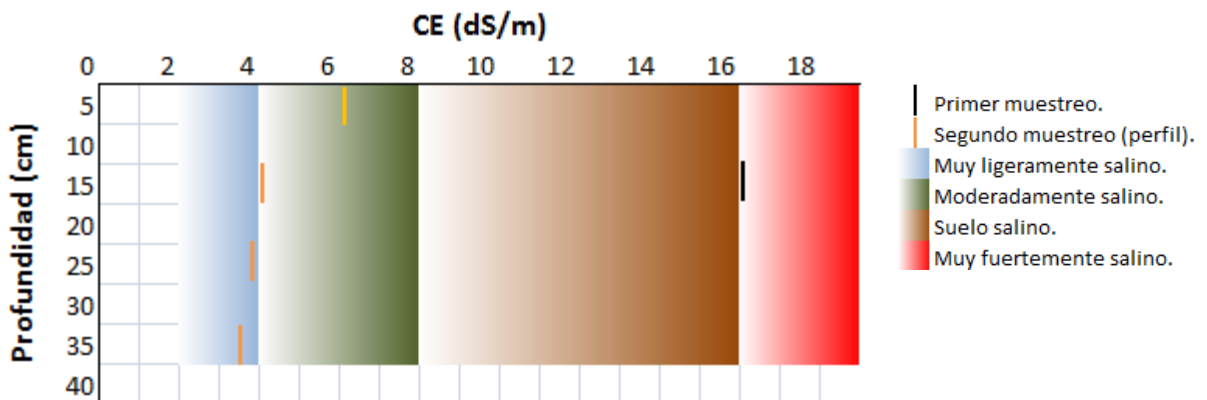


Figura 39. Interpretación de la conductividad eléctrica (método AS-18, NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

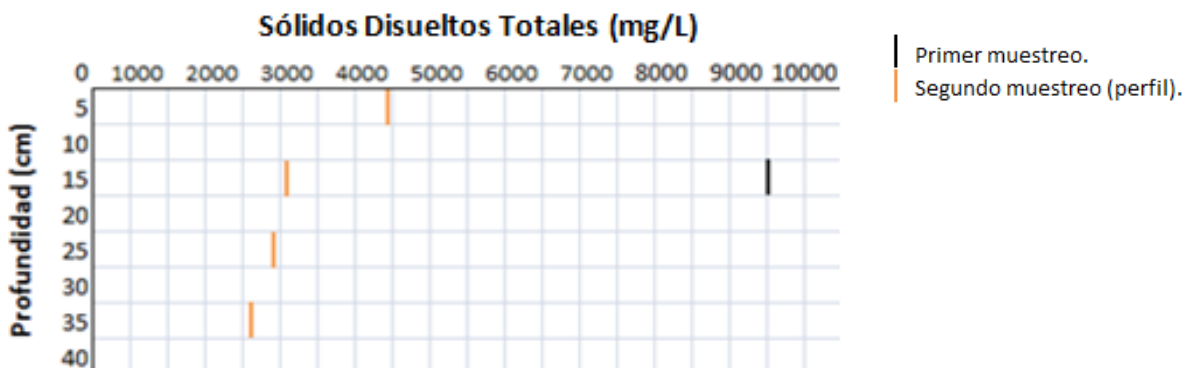


Figura 40. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).

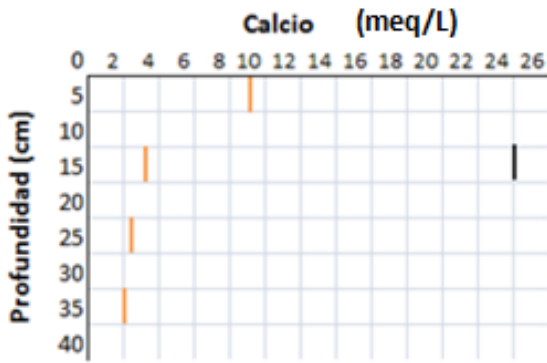


Figura 41. Ca^{++} (primer muestreo) vs. Ca^{++} (perfil, segundo muestreo).

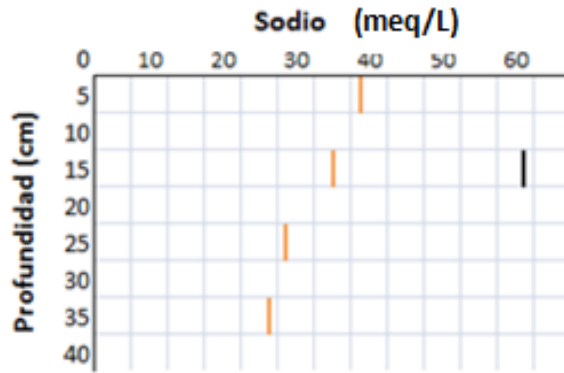


Figura 42. Na^+ (primer muestreo) vs. Na^+ (perfil, segundo muestreo).

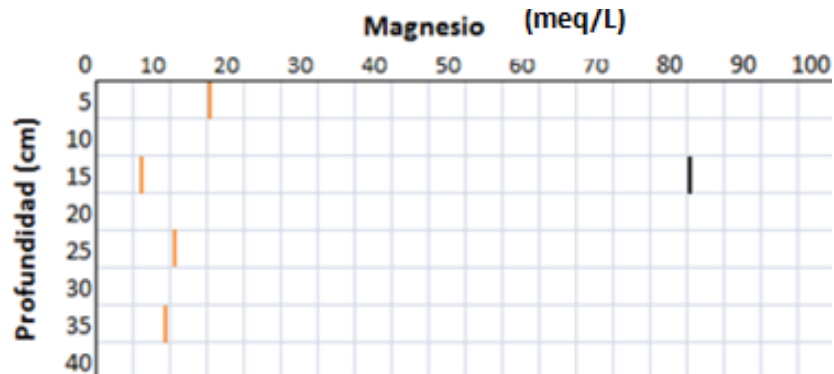


Figura 43. Mg^{++} (primer muestreo) vs. Mg^{++} (perfil, segundo muestreo).

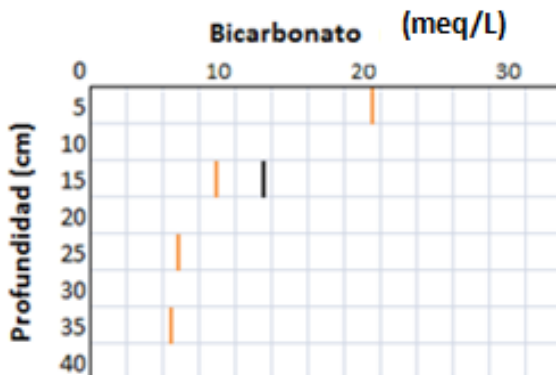


Figura 44. Bicarbonato (primer muestreo) vs. bicarbonato (perfil, segundo muestreo).

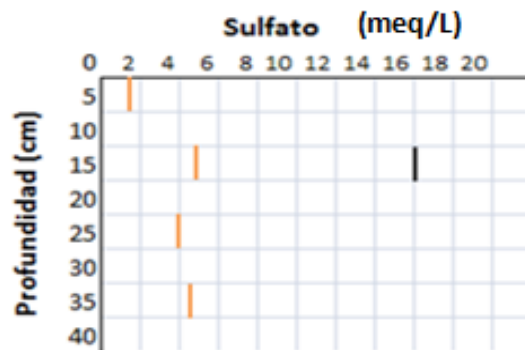


Figura 45. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo).

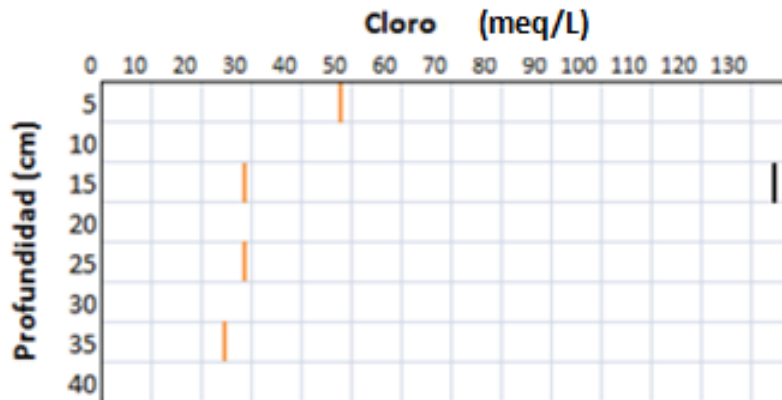


Figura 46. Cl⁻ (primer muestreo) vs Cl⁻ (perfil, segundo muestreo).

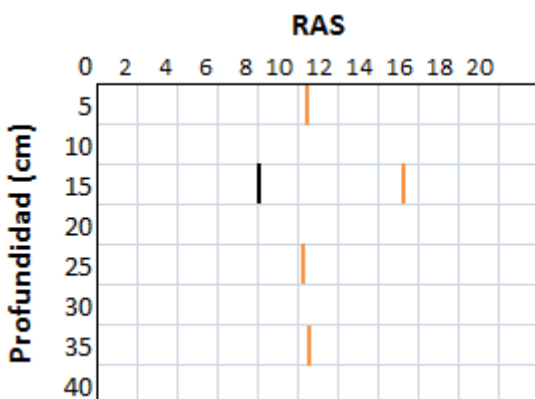


Figura 47. RAS (primer muestreo) vs RAS (perfil, segundo muestreo).

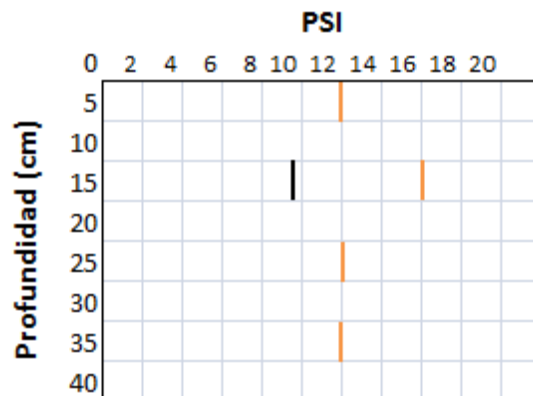


Figura 48. PSI (primer muestreo) vs PSI (perfil, segundo muestreo).

Parcela PAR:

Durante el primer muestreo todos los sitios donde se extrajeron los puntos de muestreos (profundidad 10-15 cm) se encontraron arados. Durante el segundo muestreo el sitio se encontró con una cobertura del cultivo de flor estática regado con ART a través de un sistema de riego por goteo.

- Primer muestreo, muestra PAR-5 (ver tabla 15):

El tamaño de grano predominante en cuanto a su composición granulométrica son los limos, luego las arenas. El porcentaje de saturación característico de un suelo poroso. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación tuvo un pH básico y una concentración de 7853 mg/L de SDT que afecta al porcentaje de

rendimiento a los cultivos de plantas tolerantes (Maas, 1984). Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y los aniones HCO_3^- y Cl^- fueron las predominantes.

Tabla 15. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra PAR-5, junio 2014.

Muestra PAR – 5				Primer Muestreo				Junio 2014							
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
10 – 15	1.19	55.79	43.02	33.7	7.6	14.3	7853	16	92	35	20	120	3	4.76	5.5

- Segundo muestreo, muestra PAR-5 (ver tabla 16 y Figuras 49-59):

Profundidad 10-15 cm: En la composición granulométrica, prácticamente se mantuvieron sin cambios. El porcentaje de saturación aumentó. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH aumento cuatro décimas de magnitud y disminuyó considerablemente los SDT pasando a ser apto para cultivos de plantas moderadamente tolerantes a tolerantes (Maas, 1984). Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y los aniones HCO_3^- y Cl^- fueron las predominantes y disminuyeron considerablemente. El RAS aumentó y por ende el PSI.

Perfil PAR-5: En cuanto a su composición granulométrica, predominaron los limos y con poca variación en la totalidad de la profundidad, posteriormente le siguieron las arenas. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH se mantuvo con muy poca variación y la concentración de SDT aumentó a mayor profundidad. Las concentración del catión Ca^{++} tienden a aumentar a mayor profundidad, el Mg^{++} a disminuir y el Na^+ se mantuvo con muy poca variación para los horizontes de 05, 20-25 y 30-35 cm de profundidad. La concentración del anión HCO_3^- tendió a disminuir a mayor profundidad, el Cl^- varió pero con concentraciones similares y el SO_4^- la más baja fue para el horizonte de 10-15 cm de profundidad. El RAS fue similar para los horizontes de profundidades de 05-10 y 20-25 y decreció en los horizontes de 30-35 y 10-15 cm de profundidad y del mismo modo el PSI.

Tabla 16. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil PAR-5, febrero 2015.

Perfil PAR – 5				Segundo Muestreo					Febrero 2015						
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
0 – 5	1.03	58.61	40.36	36.4	7.9	5.6	3631.6	12	7.6	36.5	11.2	30.2	14.7	11.7	14
10 – 15	1.02	55.46	43.52	36.4	8	4.4	2733.7	6	14.4	23.1	12.6	27.6	3.3	7.25	8.6
20 - 25	0.95	52.05	47.01	34	7.9	5.6	3524.2	13.6	6.4	35.9	8	35	12.9	11.4	13
30 – 35	1.13	55.89	42.98	34	7.9	6.1	3901.9	20.8	5.2	35.2	7.6	33.8	19.8	9.76	12

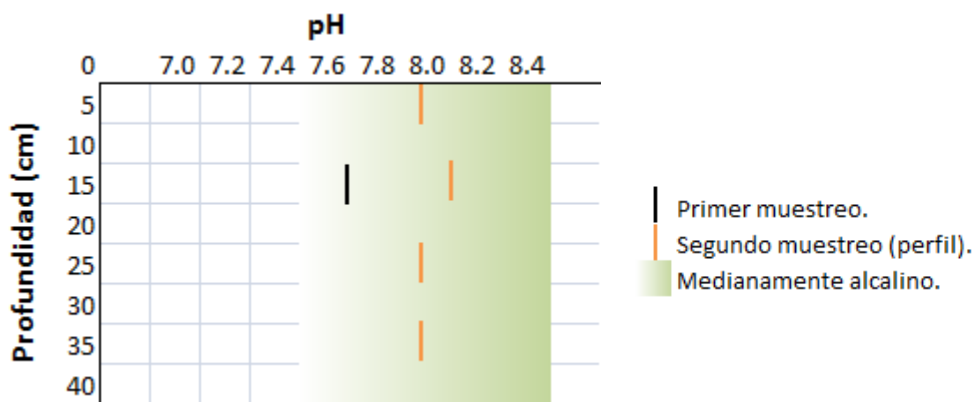


Figura 49. Clasificación de pH (método AS-02, NOM-021-SEMARNAT-2000, DOF, 2003).

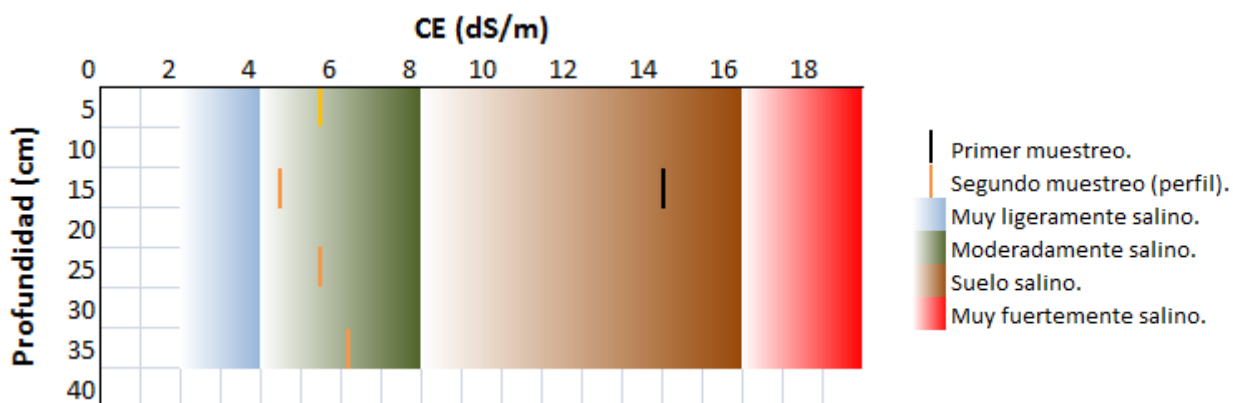


Figura 50. Interpretación de la conductividad eléctrica (método AS-18, NOM-021-SEMARNAT-2000).

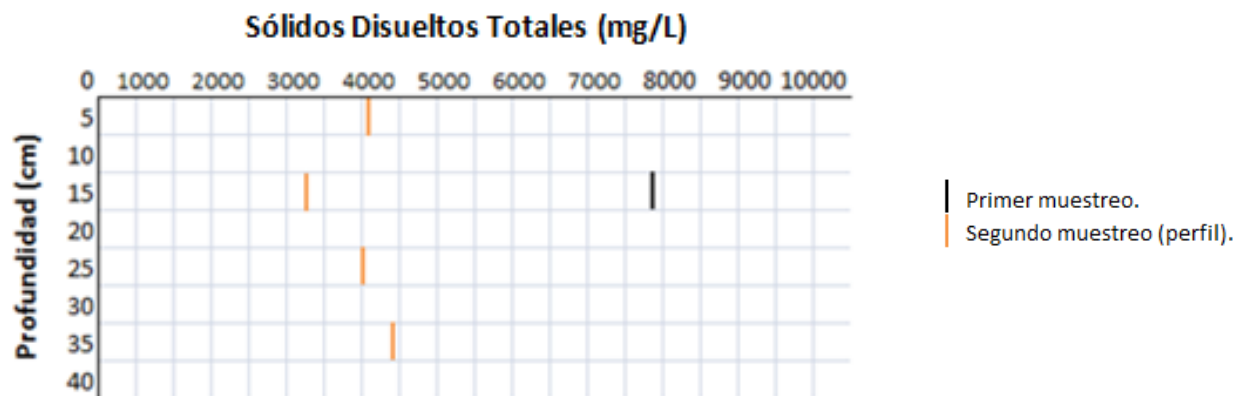


Figura 51. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).



Figura 52. Ca⁺⁺ (primer muestreo) vs. Ca⁺⁺ (perfil, segundo muestreo).

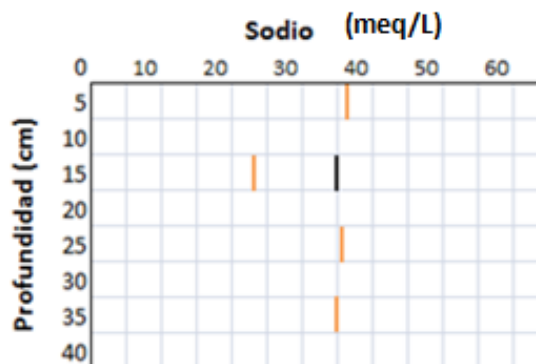


Figura 53. Na⁺ (primer muestreo) vs. Na⁺ (perfil, segundo muestreo).

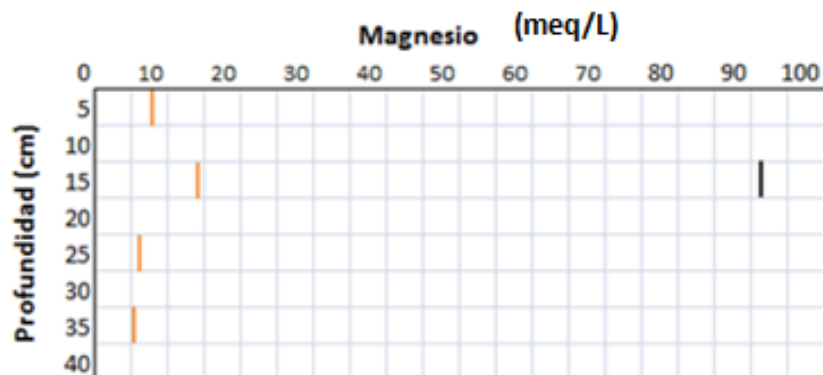


Figura 54. Mg⁺⁺ (primer muestreo) vs. Mg⁺⁺ (perfil, segundo muestreo).

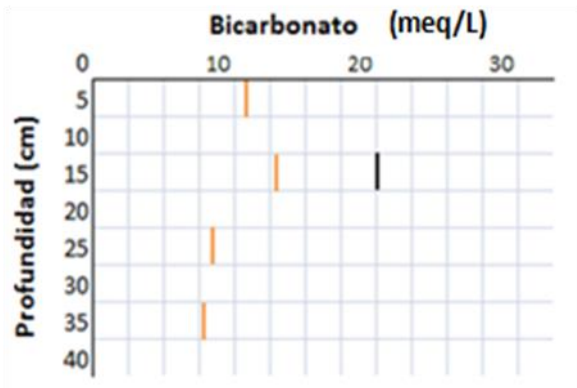


Figura 55. Bicarbonato (primer muestreo) vs. bicarbonato (perfil, segundo muestreo).

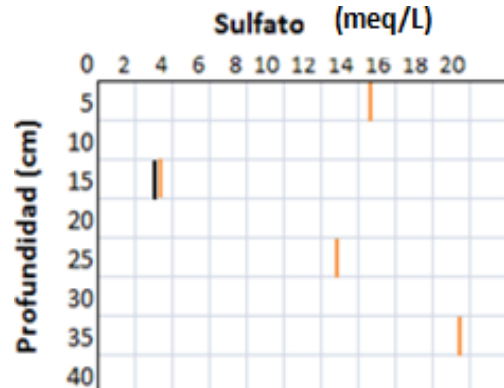


Figura 56. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo).

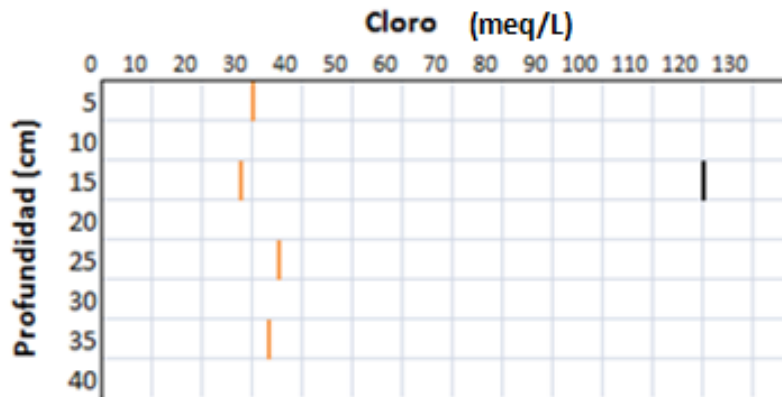


Figura 57. Cl⁻ (primer muestreo) vs Cl⁻ (perfil, segundo muestreo).

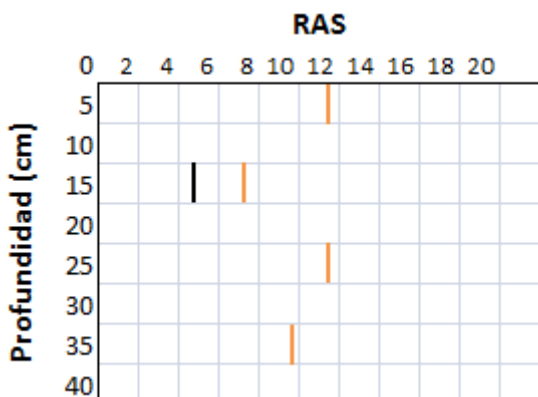


Figura 58. RAS (primer muestreo) vs RAS (perfil, segundo muestreo).

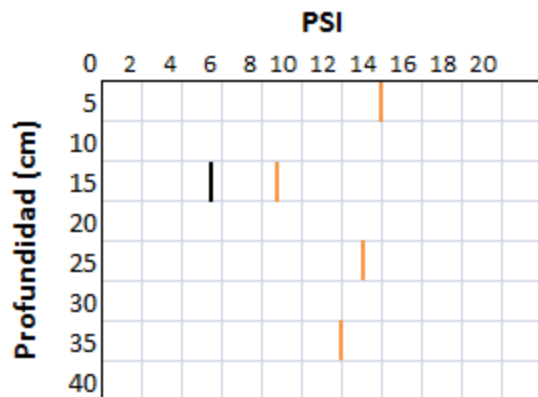


Figura 59. PSI (primer muestreo) vs PSI (perfil, segundo muestreo).

- **Primer muestreo, muestra PAR-6 (ver tabla 17):**

El tamaño de grano predominante en cuanto a su composición granulométrica fueron los limos seguido de las arenas. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación tuvo un pH básico y una concentración de 9722 mg/L de SDT que afecta al porcentaje de rendimiento a los cultivos de plantas tolerantes (Maas, 1984). Las concentraciones de los cationes Mg^{++} y Na^+ y el anión Cl^- son las predominantes.

Tabla 17. Composición del suelo agrícola del primer muestreo, muestra PAR-6, junio 2014.

Muestra PAR – 6				Primer Muestreo				Junio 2014							
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
10 – 15	1.53	64.68	33.79	42.4	7.7	14.1	9722	16	96	60	28	140	4	8.02	9.6

- **Segundo muestreo, muestra PAR-5 (ver tabla 18 y Figuras 60-70):**

Profundidad 10-15 cm: En la composición granulométrica, prácticamente se mantuvieron sin cambios. El porcentaje de saturación disminuyó. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH aumento una décimas de magnitud y disminuyó los SDT restringiéndolo para cultivos de plantas tolerantes (Maas, 1984) con afectaciones al rendimiento. Las concentraciones de los cationes la que más disminuyo fue el Na^+ , luego el Mg^{++} y muy poco el Ca^{++} , los aniones HCO_3^- y Cl^- disminuyeron y el SO_4^- disminuyó muy poco. El RAS disminuyó y por ende el PSI.

Perfil PAR-6: En cuanto a su composición granulométrica, predominaron los limos y tuvieron poca variación en la totalidad de la profundidad, posteriormente le siguieron las arenas. En relación a los análisis fisicoquímicos del extracto de saturación el pH se mantuvo con muy poca variación y la concentración de SDT disminuyó a mayor profundidad. Las concentraciones del catión Ca^{++} tuvo una tendencia a aumentar a mayor profundidad y el Mg^{++} y el Na^+ con una tendencia a disminuir. Las concentraciones de los aniones HCO_3^- y el Cl^- tuvieron una tendencia a disminuir a mayor profundidad y el SO_4^- tendió a aumentar a mayor

profundidad. El RAS fue similar para los horizontes de profundidades de 05-10 y 10-15 y tendió a decrecer a mayor profundidad y del mismo modo el PSI.

Tabla 18. Composición del suelo agrícola del segundo muestreo, perfil PAR-6, febrero 2015.

Perfil PAR – 6			Segundo Muestreo					Febrero 2015							
Prof. (cm)	Composición granulométrica			Sat. (%)	pH	CE (dS/m)	SDT (mg/L)	Composición del ext. sat. meq/L						RAS	PSI
	Arcilla	Limo	Arena					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
0 – 5	1.71	63.56	30.73	43.2	7.8	12.5	6692	12	96	17	18	106	1	2.31	2.1
10 - 15	1.54	65.91	32.54	40	7.8	11.3	6698	16	92	17	16	106	3	2.31	2.1
20 - 25	1.68	64.85	33.47	40	7.8	10.3	5994	20	80	12	14	96	2	1.7	1.2
30 - 35	1.7	65.25	33.04	41.6	7.8	9.3	5847.2	20	80	8.2	10	82	16.2	1.16	0.5

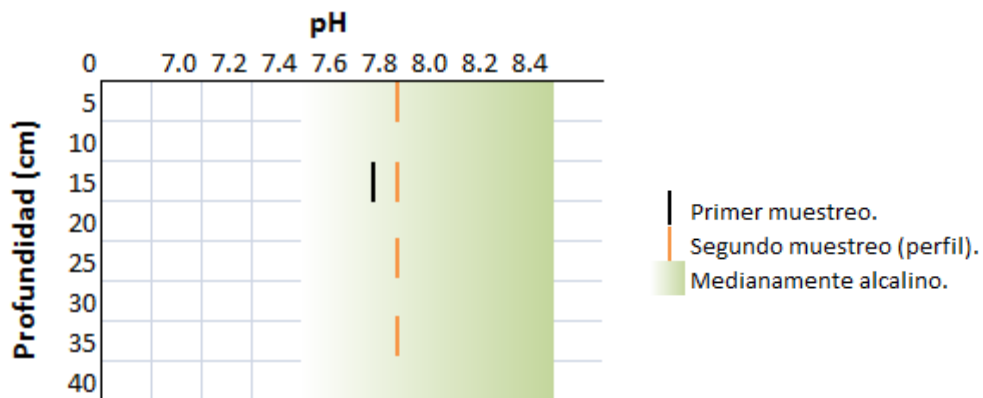


Figura 60. Clasificación de pH (método AS-02, NOM-021-SEMARNAT-2000).

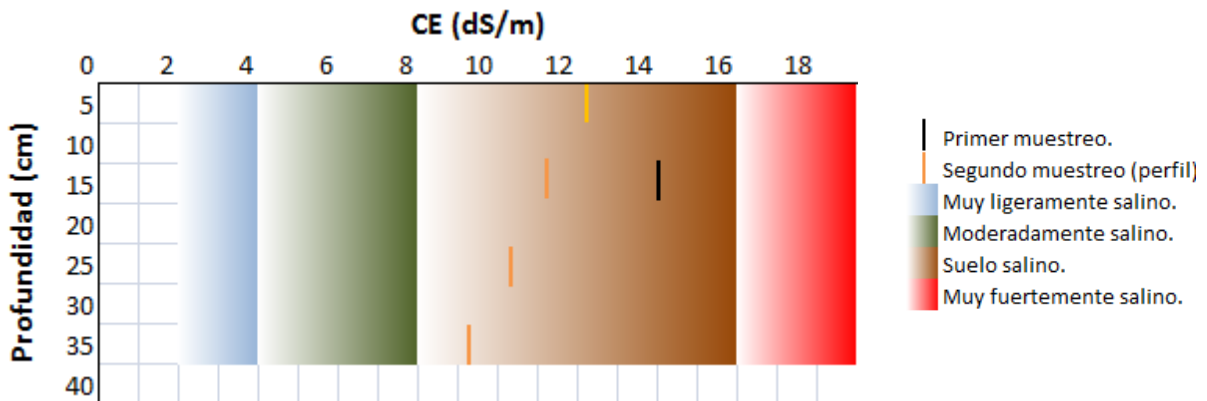


Figura 61. Interpretación de la conductividad eléctrica (método AS-18, NOM-021-SEMARNAT-2000).

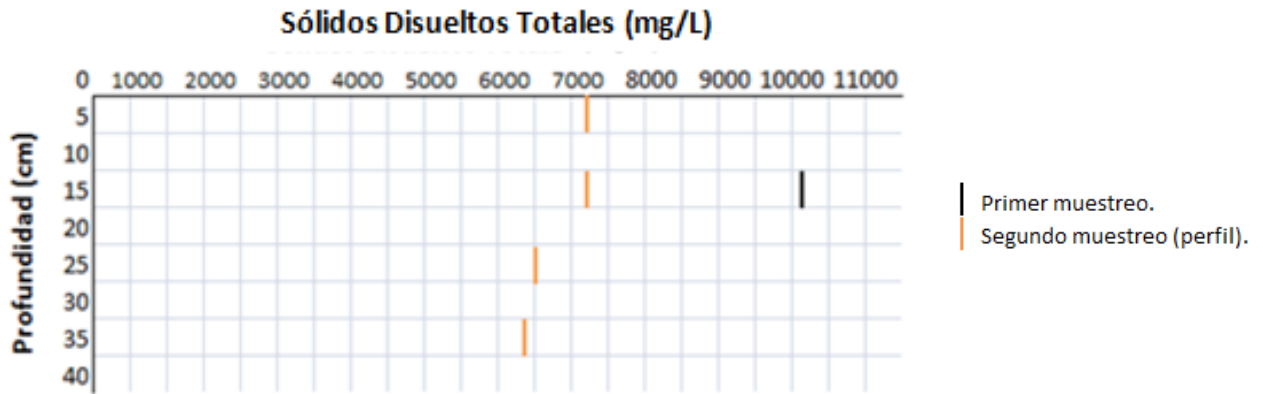


Figura 62. SDT (primer muestreo) vs. SDT (perfil, segundo muestreo).

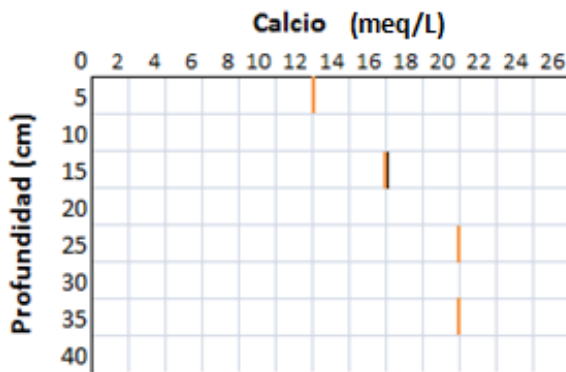


Figura 63. Ca^{++} (primer muestreo) vs. Ca^{++} (perfil, segundo muestreo).

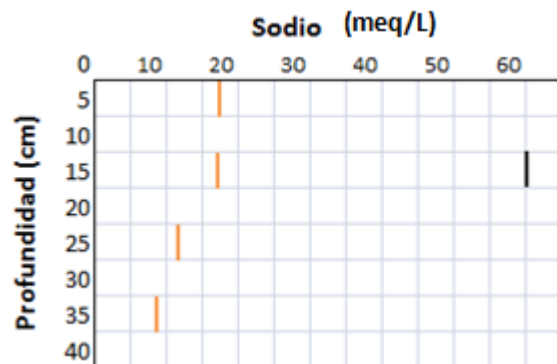


Figura 64. Na^+ (primer muestreo) vs. Na^+ (perfil, segundo muestreo).

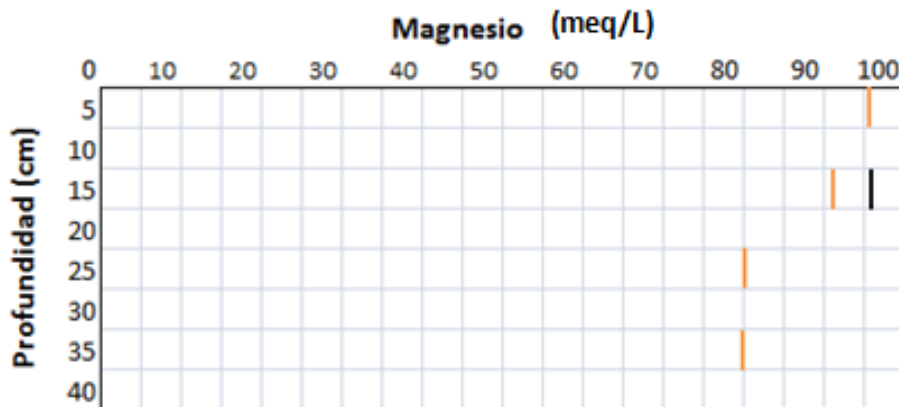


Figura 65. Mg^{++} (primer muestreo) vs. Mg^{++} (perfil, segundo muestreo).

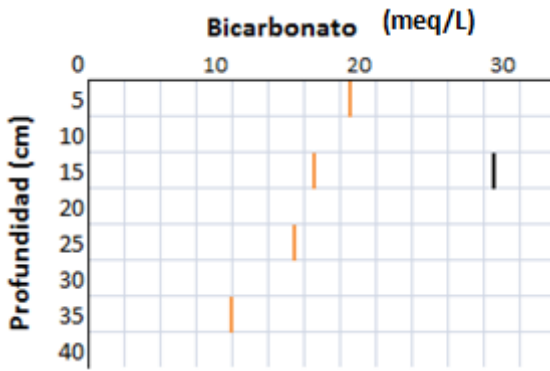


Figura 66. Bicarbonato (primer muestreo) vs. bicarbonato (perfil, segundo muestreo).

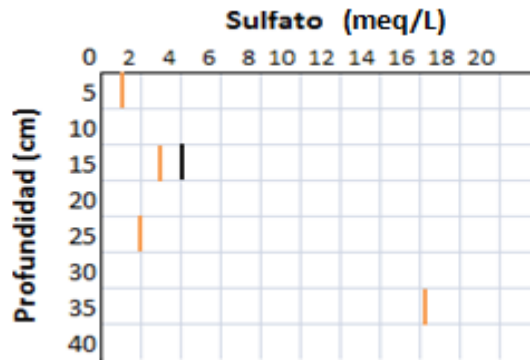


Figura 67. Sulfato (primer muestreo) vs. sulfato (perfil, segundo muestreo).

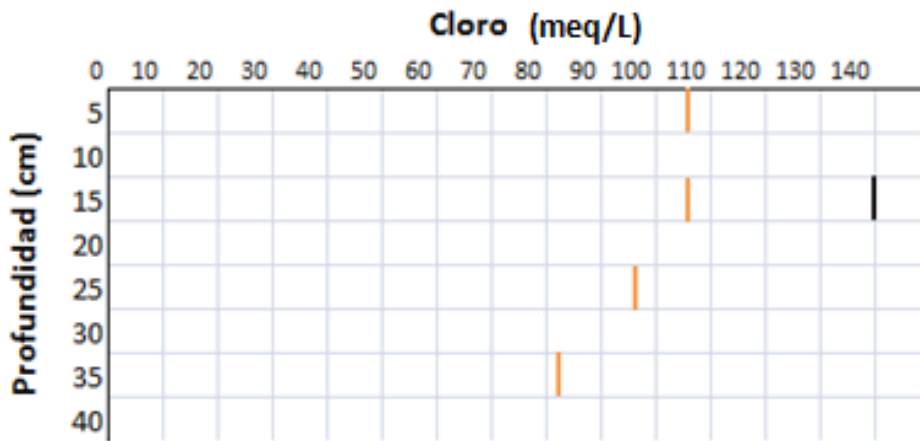


Figura 68. Cl⁻ (primer muestreo) vs Cl⁻ (perfil, segundo muestreo).

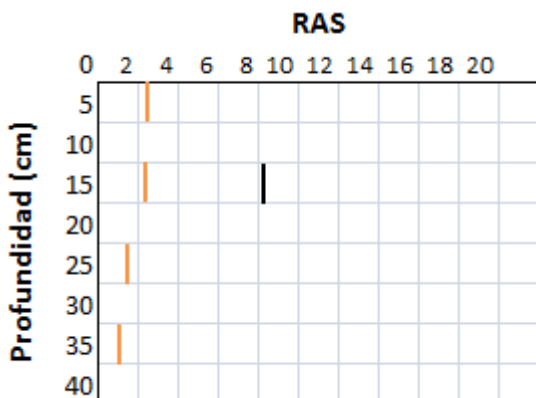


Figura 69. RAS (primer muestreo) vs RAS (perfil, segundo muestreo).

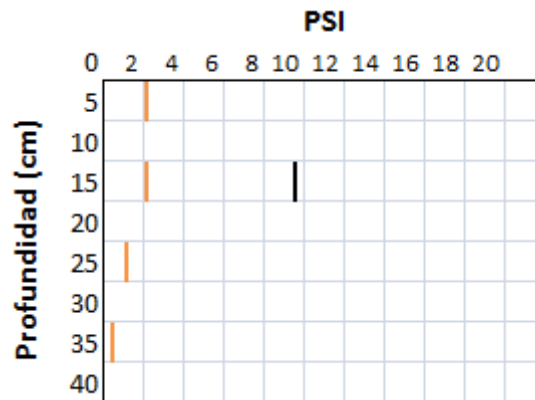


Figura 70. PSI (primer muestreo) vs PSI (perfil, segundo muestreo).

Discusión

V.1. AGUA RESIDUAL TRATADA (ART).

La NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 1998), no contempla ningún catión o anión que puedan alterar los parámetros de salinidad con base a los mencionados en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2003), ni tampoco la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1996) cuando las aguas residuales se reúsen al servicios al público. No obstante, en la tabla 19 se observa que para los parámetros de salinidad (CE y SDT) caen dentro del grado de restricción severo de acuerdo a las directrices para la interpretación de la calidad de agua de riego para irrigación (Ayers y Westcot 1976). En cuanto a su toxicidad por ión específico, el Na^+ se encuentra en el grado de restricción ligero a moderado y el Cl^- en grado de restricción severo. Por último en el efecto misceláneo, el pH se encuentra dentro del rango normal.

Tabla 19. Directrices para interpretación de la calidad de agua de riego para irrigación (tabla modificada de Ayers y Westcot 1976).

Problema potencial de irrigación	Unid.	Grado de restricción en uso			Concentraciones de los resultados	
		Ninguna	Lig. - mod.	Severo		
Salinidad (efecto cultivo disponibilidad de agua)						
CE	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3	4.56	
SDT	mg/l	< 450	450 -2000	> 2000	2875.1	
Infiltración (efecto tasa de infiltración de agua en el suelo. Evaluar usando CE y RAS juntos)						
RAS	0 – 3	CE =	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2	RAS = 6.18 CE = 4.56 NO INTERFIERE EN LA TASA DE INFILTRACIÓN (Fig. 72)
	3 – 6	=	> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3	
	6 – 12	=	> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5	
	12 – 20	=	> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3	
	20 – 40	=	> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9	
Toxicidad de ión específico (efecto sensitivo a los cultivos)						
Na⁺						
Irrigación superficial	RAS		< 3	3 – 9	> 9	6.81
Irrigación por aspersor	meq/L		< 3	> 3		
Cl⁻						
Irrigación superficial	meq/L		< 4	4 – 10	> 10	33.4
Irrigación por aspersor	meq/L		< 3	> 3		
Efecto misceláneo (efecto susceptible al cultivo)						
HCO₃⁻ (solamente aspersores)	meq/L		< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5	8.07
pH			Rango normal 6.5 - 8.4			

En la tabla 20, al contrastar los resultados con el rango usual del agua en irrigación de agua de la FAO (1970), los parámetros de CE, SDT, Mg⁺⁺ y Cl⁻ rebasan sus rangos, excepto el pH y RAS.

Tabla 20. Contraste de parámetros de salinidad y misceláneos para evaluar la calidad de agua de irrigación.

Parámetro de agua	FAO	Concentraciones de los resultados
	Rango usual en irrigación de agua	ART
SALINIDAD		
Contenido de sal		
CE (dS/m)	0 - 3	4.56
SDT (mg/L)	0 - 2000	2875.1
Cationes y aniones		
Ca ⁺⁺ (meq/L)	0 - 20	8.8
Mg ⁺⁺ (meq/L)	0 - 5	15.2
Na ⁺ (meq/L)	0 - 40	23.6
HCO ₃ ⁻ (meq/L)	0 - 10	8.2
Cl ⁻ (meq/L)	0 - 30	33.4
SO ₄ ⁻ (meq/L)	0 - 20	6
MISCELANEOS		
pH	6.5 - 8.5	8.07
RAS	0 - 15	6.81

Al comparar el ART con la clasificación de las aguas para riego según las normas de Riverside, California (Figura 71), se observa que corresponde a las aguas utilizables para el riego con precauciones (C5-S2), donde:

C5: Agua de salinidad excesiva, que solo debe usarse en casos excepcionales se deben extremar precauciones.

S2: Agua con contenido medio en Na⁺, y por lo tanto, con cierto peligro de acumulación de Na⁺ en el suelo, especialmente en suelos de textura fina (arcillosos y franco-arcillosos) y de baja permeabilidad. Deben vigilarse las condiciones físicas del suelo y especialmente el nivel de Na⁺ intercambiable del suelo, corrigiendo en caso necesario.

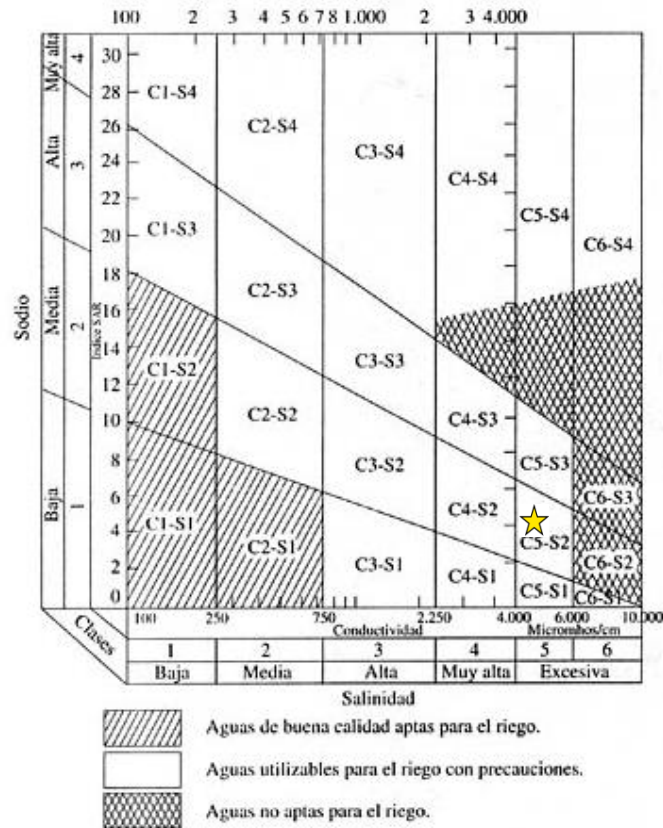


Figura 71. Clasificación de las aguas para riego, según las normas de Riverside (US Soil Salinity Laboratory). Fuente Richards, 1973.

El ART en cuanto a su RAS y la conductividad eléctrica no interfiere en la disminución de la tasa de infiltración (ver Figura 72) o bien, en otras palabras la calidad del ART no degradaría el suelo y por ende la disminución de la permeabilidad.

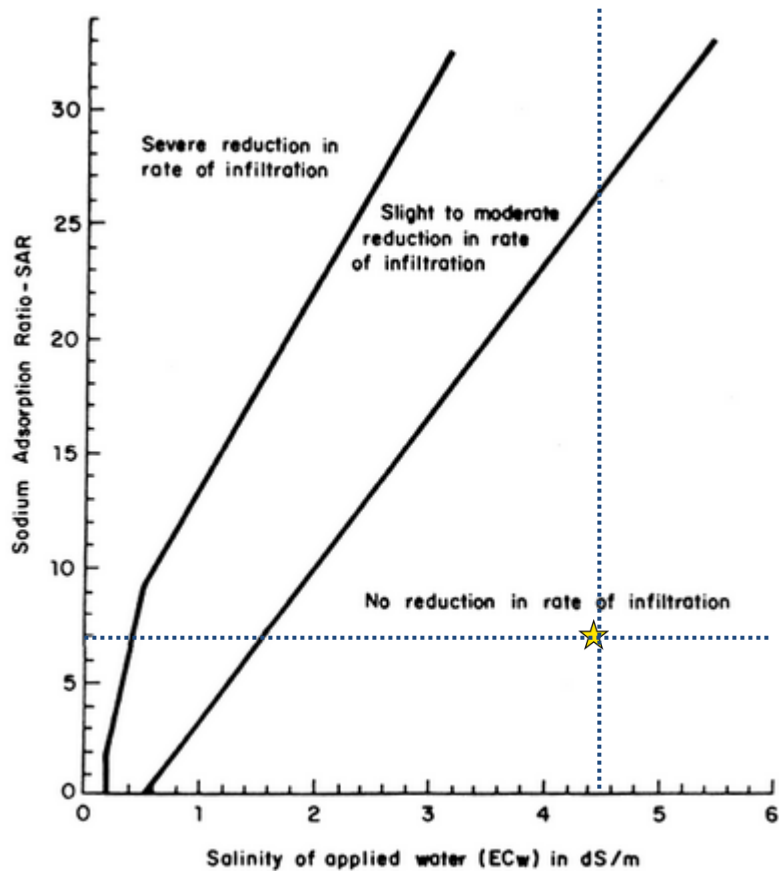


Figura 72. Tasa relativa de infiltración afectado por la salinidad y RAS (Adaptada por Rhoades 1977; Oster y Schroer 1979).

La relación Na:Cl se encuentra ligeramente por debajo de la máxima recomendada (3:1), por lo que se debe de extremar precauciones ya que en caso de rebasar dicha relación se tendrían problemas de sodicidad por lo que se tendría que considerarse una remediación de suelo (Ayer y Westcot 1976).

Relación Na:Cl.

$$\text{Relación Na:Cl} = 23.6 : 8.8$$

$$< 3:1$$

Con base a la CE de ART (ver Figura 73) y en relación al rendimiento de cultivos, se tendría un rendimiento superior al 70% para las plantas que se clasifican como moderadamente tolerantes y aproximadamente 100% para las plantas tolerantes (cebada). Sin embargo, como se menciona posteriormente en la sección V.2 la productividad también se ve afectada por la CE del extracto de saturación del suelo.

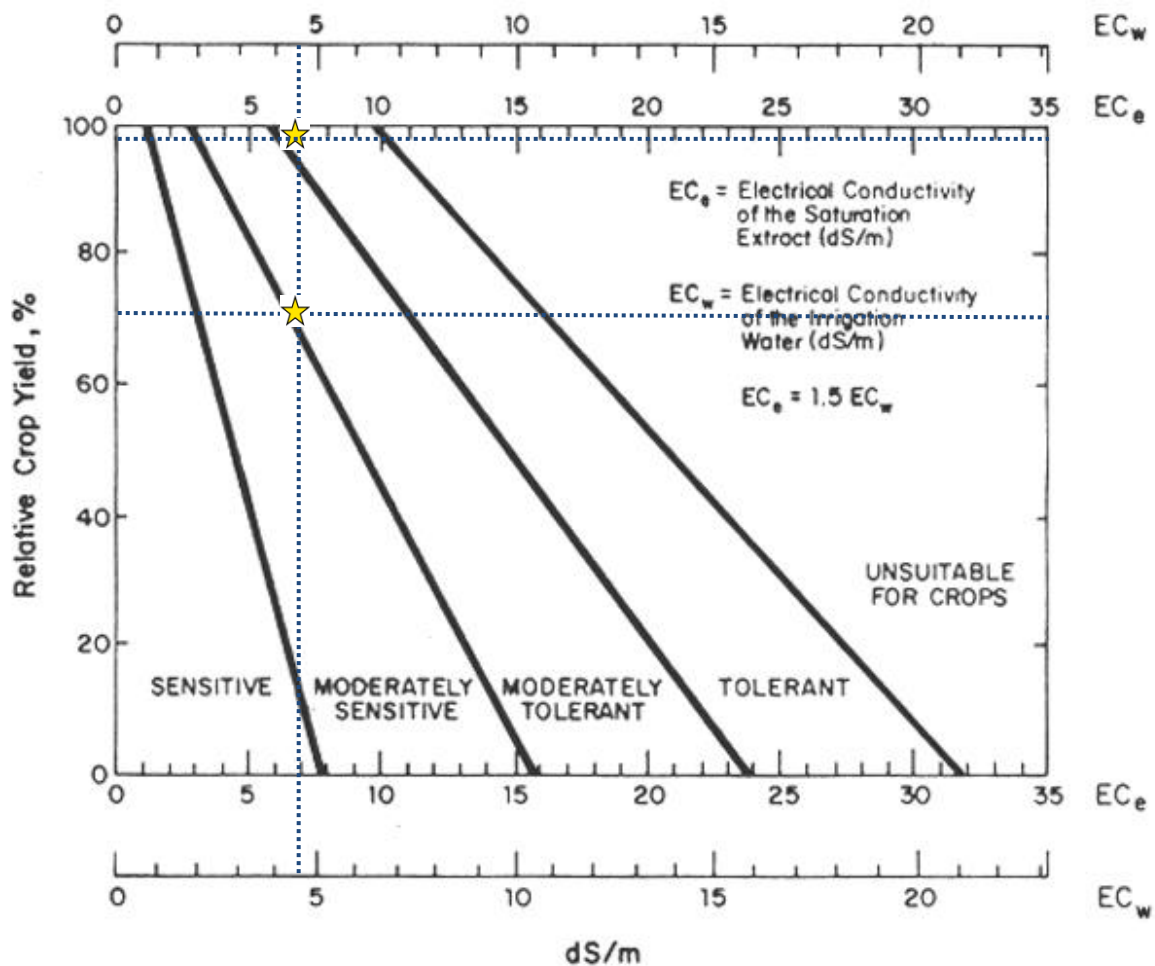


Figura 73. Divisiones para la tasa relativa de tolerancia de sal de cultivos agrícolas (Maas, 1984).

V.2. SUELO AGRÍCOLA.

V.2.1. Clasificación del pH a profundidad de 10-15 cm y perfil de suelo.

Según la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2003), todas las mediciones del pH corresponden a suelos medianamente alcalinos y las variaciones entre los dos muestreos fueron despreciables.

V.2.2. Cambios en conductividad eléctrica 2014-2015.

Las clasificaciones se hicieron con base a las que se mencionan en el método AS-18, NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2003).

Parcela 93.

En la muestra 93-1 (ver Figura 17):

La profundidad de 10-15 cm, cambio de suelo muy ligeramente salino a moderadamente salino.

El perfil 93-1, se clasifica como suelo moderadamente salino.

El aumento de la CE se debe por el aporte de cationes y aniones del ART, ya que es mayor que el del extracto de saturación y exceden en cuanto a la capacidad de absorción de las plantas y la capacidad de percolación como constituyentes de lixiviados del ART.

En la muestra 93-5 (ver Figura 28):

La profundidad de 10-15 cm, cambio de suelo moderadamente salino a ligeramente salino.

El Perfil 93-5, se clasifica en suelo muy ligeramente salino para las profundidades de 0-5 y 10-15 cm, suelo moderadamente salino para la de 20-25 cm y suelo salino para la de 30-35 cm.

En la muestra 93-6 (ver Figura 39):

La profundidad de 10-15 cm, cambio de suelo muy fuertemente salino a moderadamente salino.

El perfil 93-6, se clasifican en suelo moderadamente salino para las profundidades de 0-5 y 10-15 cm, y suelo muy ligeramente salino para las de 20-5 y 30-35 cm.

La disminución de la CE se debe por la alta porosidad del suelo y la capacidad de infiltración de los cationes y aniones como lixiviados del ART.

Parcela PAR.

En la muestra PAR-5 (ver Figura 50):

La profundidad de 10-15 cm, cambio de suelo salino a moderadamente salino.

El perfil PAR-5, se clasifica como suelo moderadamente salino.

La disminución de la CE se debe por la alta porosidad del suelo y la capacidad de infiltración de los cationes y aniones como lixiviados del ART.

En la muestra PAR-6 (ver Figura 61):

La profundidad de 10-15 cm, se clasifica como de suelo salino.

El perfil PAR-6, se clasifica como suelo salino.

V.2.3. Cambios en la Relación de Adsorción de Sodio (RAS) 2014-2015.

Todas la clasificaciones son con base en US Salinity Laboratory Staff, 1954.

Parcela 93.

En la muestra 93-1 (ver Figura 25):

La profundidad 10-15 cm, sin cambios, se clasifica como suelo no sódico.

El perfil 93-1, se clasifica como suelo no sódico.

En la muestra 93-3 (ver Figura 36):

La profundidad 10-15 cm, decremento, sin cambios en cuanto su clasificación de suelo no sódico.

El perfil 93-3, se clasifica como suelo no sódico.

En la muestra 93-5 (ver Figura 47):

La profundidad 10-15 cm, aumentó, cambiando de suelo no sódico a suelo sódico. Dado el problema de sodicidad en este punto se debe de extender el muestreo para identificar el área de afectación y remediarlo ya sea a través de lavado con agua baja en iones o mejoradores de suelo.

El perfil 93-5, se clasifica como suelo no sódico para las profundidades 0-5, 20-25 y 30-35 cm y sódico para la profundidad de 10-15 cm.

Parcela PAR.

En la muestra PAR-5 (ver Figura 58):

La profundidad 10-15 cm, aumento, sin cambios en cuanto su clasificación de suelo no sódico.

En la muestra PAR-6 (ver Figura 69):

Profundidad 10-15 cm, decremento, sin cambios en cuanto su clasificación de suelo no sódico.

Los perfiles PAR-5 y PAR-6, se clasifican como suelos no sódicos.

V.3. TEXTURA.

Clasificación de la textura de suelo (profundidad de 10-15 cm) y perfil con el diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA:

Parcela 93.

La muestra 93-1: Fue la que tuvo mayor cambio en el porcentaje (arcilla, limo y arena), ya que pasó de una clasificación franco-limosa a franco-arenosa.

El perfil del segundo muestreo se clasifica como franco-arenosa.

La muestra 93-5 y 93-6: Muy poca variación en el porcentaje (arcilla, limo y arena) y sin cambio en cuanto a su clasificación de franco-limosa. El perfil del segundo muestreo también se encuentra dentro de esta clasificación.

Parcela PAR.

La muestra PAR-5 y PAR-6: Muy poca variación en el porcentaje (arcilla, limo y arena) y sin cambio en cuanto a su clasificación de franco-limosa. El perfil del segundo muestreo también se encuentra dentro de esta clasificación.

En cuanto al % de saturación, para ambos cultivos tiende a decrecer a mayor profundidad, dados los tamaños de grano y la morfología de los mismos.

V.4. EFECTO DE LA SALINIDAD Y SODICIDAD PARA EL CULTIVO DE CEBADA Y FLOR ESTÁTICE.

Parcela 93 (Cebada).

Para analizar el efecto del rendimiento del cultivo de cebada con riego de ART en relación a salinidad y sodicidad, se consideró el promedio de la CE del extracto de saturación del perfil del suelo (horizontes 0-5, 10-15, 20-25 y 30-35 cm de profundidad) ya que la absorción de los cationes y aniones de la cebada se lleva a profundidad de raíz, cabe mencionar que el 60% de las raíces se encuentra en los primeros 25 cm y se requieren 30 cm para un enraizamiento adecuado (Pearson M., 1984).

El promedio de las muestras quedó de la siguiente forma:

- Perfil 93-1: Promedio = 2.14 dS/m.
- Perfil 93-5: Promedio = 2.87 dS/m.

Con base al promedio de la CE del extracto de saturación y la CE del ART y la interpretación de la tabla de tolerancia del cultivo y potencial de rendimiento de cultivos seleccionados como influenciado por irrigación de agua salina (CE) y suelo salino (CE, del extracto de saturación) (Maas y Hoffman, 1977), se tendría un rendimiento del 100% en el cultivo.

- Perfil 93-6: Promedio = 10.84.

Con base al promedio de la CE del extracto de saturación y la CE del ART y la interpretación de la tabla de tolerancia del cultivo y potencial de rendimiento de cultivos seleccionados como influenciado por irrigación de agua salina (CE) y suelo salino (CE, del extracto de saturación) (Maas y Hoffman, 1977 y Maas, 1984), se tendría un rendimiento menor del 80% en el cultivo.

Es importante mencionar que el rendimiento es solamente teórico y el autor refiere a condiciones controladas en el laboratorio y a observaciones en la práctica y el rendimiento no solamente concierne a la salinidad y sodicidad, sino también por otros elementos que lo afectan, como por ejemplo: una deficiencia o exceso de macro y micronutrientes, plagas, clima, etc.

Parcela PAR (flor estática).

La especie y variedad de la flor estática corresponde a *Limonium Sinuatum* (Figura. 73).

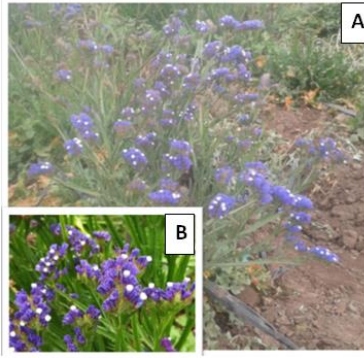


Figura 73. A) Foto tomada en sitio (marzo, 2015) y B) Foto de The Garden Helper. (2015).

Para analizar el efecto del rendimiento del cultivo de flor estática con riego de ART en relación a salinidad y sodicidad, se considera el promedio de la CE del extracto de saturación y del perfil del suelo (horizontes de 0-5, 10-15, 20-25 y 30-35 cm de profundidad).

El promedio de las muestras queda de la siguiente forma:

- Perfil PAR-5: Promedio = 5.42 dS/m.
- Perfil PAR-6: Promedio = 10.85 dS/m.

Con base al promedio de la CE del ART y su requerimiento para una calidad de mercado, se encuentra cercano (7 dS/m) al óptimo (Griever *et al.*, 2005). En cuanto a la CE del extracto de saturación para la muestra PAR-5 predominarían tallos con una altura mayor de 55 cm y con una floración de alrededor del 75%. En cuanto a la muestra PAR-6 serían en un rango de altura de 45-55 cm y con un porcentaje de floración entre 40-55%.

Es importante volver a mencionar que el rendimiento es solamente teórico y el autor refiere a condiciones controladas en vivero. Por último el rendimiento no solamente concierne a la salinidad y sodicidad, sino también por otros elementos que lo afectan, como por ejemplo: una deficiencia o exceso de macro y micronutrientes, plagas, clima, etc.

V.5. COMPARACIÓN CON OTROS ESTUDIOS EN MÉXICO E INTERNACIONALES.

Con el propósito de colocar en contexto el presente estudio en relación a salinidad y sodicidad con respecto a las experiencias adquiridas en otros sitios en donde se ha utilizado el ART como agua de riego, se seleccionó un caso de estudio en México y 3 internacionales. Cada uno presenta sus particularidades en cuanto su calidad de agua y usos (Tabla 21).

Tabla 21. Comparación de parámetros de agua de riego con otros casos de estudio.

LUGAR	CE (dS/m)	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	RAS	Referencia
			meq/L							
Ensenada, B.C., México	4.56	8.07	8.8	15	23.6	33	6	8.2	6.81	Presente trabajo
San Luis Potosí, S. L. P, México	1.16	7.06	5.7	1.3	3.98	3.2	2.58	1.27	2.22	Sarabia, 2011
Braunschweig, FR, Alemania*	1.11	7.1	4	2.8	3.4	3.6	2.8	4.6	1.8	Tietien <i>et al.</i> 1978
Backersfield, CA, EU*	0.88	-	2.3	0.4	4.7	3	1.5	3.6	4.1	EPA 1979
Santa Rosa, CA, EU*	0.7	-	2	1.6	1.6	3.3	1.4	2.7	2.9	Bain and Esmaili 1976

* Datos tomados del Annex 1 de Ayers & Westcot (1976).

El efecto que puede tener la calidad de agua de riego en el suelo depende de muchas variables y factores que se han mencionado en el presente trabajo. Sin embargo, los trabajos presentados fueron hechos con los siguientes fines específicos:

Sarabia (2011) hace un estudio en 20 pozos someros donde menciona que hay infiltraciones de aguas domésticas a través de canales superficiales. La calidad del agua de riego es apta para plantas sensitivas a tolerantes (Maas, 1984) y no presenta ningún riesgo de aporte de salinidad y sodicidad. En cuanto al suelo solo estudió metales pesados por lo que no es posible comparar los resultados con el presente trabajo.

Tietien *et al.* (1978) mencionan que desde hace casi 100 años se utiliza el ART para riego agrícola. La calidad de agua de riego es apta para plantas sensibles a tolerantes (Maas, 1984) y no presenta ningún riesgo de aporte de salinidad y sodicidad. En cuanto a estudios del efecto en el suelo no se mencionan ni tampoco si lleva o no un tipo de tratamiento el agua residual.

Bain and Esmaili (1976) describieron que los agricultores utilizan el ART para riego agrícola. El sistema de reuso consiste en almacenar el agua en un depósito durante 60 días con embalses de equilibrio en el sistema. Los agricultores consideran que el ART les ahorra dos terceras partes de fertilizantes. Este tipo de agua es apta para plantas sensibles a tolerantes (Maas, 1984) y no presenta ningún riesgo de salinidad y sodicidad y no han presentado problemas a partir de 1976. Sin embargo, por la naturaleza del agua los mayores cambios se presentan en la concentración de Na^+ y Cl^- . En cuanto a estudios del efecto en el suelo no se mencionan pero se ha llevado con éxito diferentes tipos de cosecha como maíz, pastos, avena y forraje.

La EPA (1979) describe que se han utilizado el ART por más de 65 años, utilizando un tipo de tratamiento primario seguido de lagunas aereadas y depósitos de almenamientos que pueden llegar hasta 90 días lo cual lo consideran como un tratamiento del tipo secundario. Este tipo de agua es apta para plantas sensibles a tolerantes (Maas, 1984) y no presenta ningún riesgo de salinidad y sodicidad. Se tienen cultivos de cebada, maíz, alfalfa, sorgo y pastos. Las autoridades de la ciudad de Bakersfield implementaron junto con los agricultores un plan de recuperación de tierra que consistió en rasgar el suelo hasta una profundidad de 0.8 m, seguido de su clasificación para luego inundar los suelos por riego por inundación o surcos antes de la siembra. Para la recuperación del suelo, se dio un riego de lixiviación más la adición de un mejorador (yeso) y luego se realizó la siembra con la secuencia de cebada, sorgo y por último pasto. Las condiciones

fueron monitoreadas hasta que los niveles de salinidad alcanzaron un nivel suficientemente seguro para otros cultivos por riego de surcos.

Capítulo V

Conclusiones

Dentro los constituyentes catiónicos del ART se tienen una porción de sodio alta por lo que representa un peligro de sodificación en función de las propiedades físicas y químicas del suelo.

El ART es salina pero adecuada para el cultivo de cebada y flor estáctice (*Limonium Sinuatum*) ya que dichas especies son tolerantes a la salinidad del ART. Sin embargo, dadas las características del suelo, una disminución de los iones mejoraría la calidad del suelo permitiendo la siembra de plantas de menor tolerancia a la salinidad.

La clasificación del sitio de estudio varía de suelo no salino a salino y dada la predominancia de la distribución y tamaño de partícula (principalmente arena y limo) lo hace un suelo con baja capacidad de retención de agua con una elevada permeabilidad, potencialmente dispersivo, de baja cohesión y de fácil lavado.

En relación al RAS hubo variaciones sin embargo, por las características antes mencionadas y la baja cantidad de arcilla se puede mejorar o remediar con riego de agua baja en sales y mediante mejoradores de suelos.

Es prioritario establecer un programa de muestreo estadístico y monitoreo permanente del suelo en cuanto a los parámetros de textura, CE, SDT, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , SO_4^- , RAS y PSI antes de la siembra en estas y otras parcelas y durante la irrigación con ART para cada cultivo, con la finalidad de tomar las

mejores decisiones en cuanto al manejo de la salinidad y sodicidad y obtener mejor rendimiento, calidad y producción.

REFERENCIAS.

- Agencia Fronteriza de Noticias. (2014). Analizan salinidad en el valle de Maneadero. Recuperado el 3 Mayo del 2014, de AFN Sitio web: http://www.afntijuana.info/informacion_general/26115_analizan_salinidad_del_agua_en_maneadero.
- Aguilar Santelises Andrés. Etchevers Barra Jorge D., 1987 Análisis Químico Para Evaluar La Fertilidad del Suelo. Chapingo, México, México: Imprenta Universitaria de la U.A.CH. Pág. 4.
- Aguilera C.M. y Martínez E.R. (1980). Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de enseñanza investigación y servicio en irrigación, Chapingo México. Segunda edición. Pág. 40.
- Aizpuru *et al.* (1999); Benito *et al.* (2000), Canals (2002), Delgado (2000), GRIN (2007), Hernández (1995), Suttie (2003). Herbario UPNA, Departamento de Producción Agraria. Universidad Autónoma de Navarra, 12/Junio/2015, http://www.unavarra.es/herbario/pratenses/htm/Hord_vulg_p.htm.
- Alfaro, Nelly. (2014). Inicia UABC revisión de manto acuífero de Maneadero. Recuperado el 3 de Mayo del 2014, de RadaNoticias Sitio web: <http://radanoticias.info/inicia-uabc-revision-de-manto-acuifero-de-maneadero/>.
- ARMCANZ, ANZECC (2000). Australia y Nueva Zelanda, lineamientos para la calidad de agua fresca y marina 2000. Estrategia nacional de manejo de calidad del agua, papel No. 4 Australia y Nueva Zelanda ambiente y consejo de conservación, Agricultura y manejo de recursos del consejo de Australia y Nueva Zelanda, Camberra, ACT.
- Ayer R.S. & Westcot D.W.. (1976). Water Quality for Agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1, 1-13. 18/Mayo/2015, De ISBN 92-5-102263-1 Base de datos. Última actualización 1994.
- Barbagallo, S., Cirelli, G. L., Consoli, S., Licciardello, F., Marzo, A., & Toscano, A.(2012). Analysis of treated wastewater reuse potential for irrigation in Sicily. Water Science & Technology, 65(11), 2024-2033. Marzo 2014, De IWA Publishing 2012 doi:10.2166/wst.2012.102 Base de datos.
- Cárdenas, M. D. (2006). Evaluación del potencial del efluente de la planta de tratamiento

- El Naranjo, como fuente de agua para la irrigación de productos agrícolas y la recarga del acuífero costero de Maneadero, B.C. (Tesis, Ed.) Ensenada, Baja California, México: Colección de tesis Biblioteca central UABC
- CESPE. (2014). CESPE GobBC. Antecedentes. Recuperado 4 septiembre 2014, de web: <http://www.cespe.gob.mx/?id=antecedentes>.
- Comisión Nacional del Agua (2014) Ley Federal de Derechos Disposiciones Aplicables eb Materia de Aguas Nacionales 2014.
- Daesslé, L. W., Sánchez, E. C., Camacho-Ibar, V. F., Mendoza-Espinosa, L. G., Carriquiry, J. D., Macias, V. A., & Castro, P. G. (2005). Geochemical evolution of groundwater in the Maneadero coastal aquifer during a dry year in Baja California, Mexico. *Hydrogeology Journal*, 13(4), 584-595.
- Daesslé, L. W., Ruiz/Montoya L., Tobschall H. J., Chandrajith R., Camacho/Ibar V. F., Mendoza.Espinosa L. G., Quintanilla/Montoya A. L., Lugo/Ibarra K. C. (2008). Fluoride, nitrate and water hardness in groundwater supplied to the rural communities of Ensenada Country, Baja California, Mexico. *Environmental Geology* (58), 419-429.
- Daesslé, L. W., Pérez-Flores, M. A., Serrano-Ortiz, J., Mendoza-Espinosa, L., Manjarrez-Masuda, E., Lugo-Ibarra, K. C., & Gómez-Treviño, E. (2014). A geochemical and 3D-geometry geophysical survey to assess artificial groundwater recharge potential in the Pacific coast of Baja California, Mexico. *Environmental earth sciences*, 71(8), 3477-3490.
- Diario Oficial de la Federación (1989) CE-CCA-001/89, Acuerdo por el que se establecen los criterios ecológico de calidad del agua. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología.
- Diario Oficial de la Federación, (1996). NOM-001-SEMARNAT-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., 1-15, última actualización. (23 Abril 2003).
- Diario Oficial de la Federación (14 enero 1998). NOM-003-SEMARNAT-1997 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen al servicio público. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 1-17.
- Diario Oficial de la Federación (2003). NOM.021-SEMARNAT-2000 Que establece

las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1-85.

Ensenada.Net. (2014). Recuperado 3 de Mayo del 2014 de <http://www.ensenada.net/noticias/print.php?seccion=noticias&id=33715>

Fabriol, H., Martínez, M. y Vázquez, R. (1982) Mediciones gravimétricas y telúricas en el valle de Maneadero, Ensenada, Baja California. *Geofísica Internacional* 21:41-55.

Friedler, E. (2001). Water reuse – an integral part of water resources management: Israel as case study, *Water Policy*, Volume 3, Issue 1, Páginas 29-39. De Elsevier base de datos.

García Reynoso, E. & Bautista Reséndiz, I. (2002). Alternativas de sistemas tecnificados de riego agrícola, mediante el uso de aguas residuales tratadas del área metropolitana de la ciudad de México, en el Valle del Mezquital, Hgo. Chapingo, Estado de México, tesis en Ing. en Irrigación, UACH, Departamento de Irrigación.

Grieve, C. M., Poss, J. A., Grattan, S. R., Shouse, P. J., Lieth, J. H., & Zeng, L. (2005). Productivity and mineral nutrition of Limonium species irrigated with saline wastewaters. *HortScience*, 40(3), 654-658.

HORIBA, Ltd. (2014). LASER SCATTERING PARTICLE SIZE DISTRIBUTION ANALYZER LA-910. Agosto 2014, de OSROK Sitio web: <http://www.osrok.com/products/catalog/psa/LA-910.pdf>.

Israel Ministro de Salud (2003), Actualización de estándar de la calidad del efluente. http://sviva.gov.il/www.sviva.gov.il/enviroment/bin/en.jsp?enpage=blankpage&endisplay=view&endispwhat=object&endispwho=articals^12092&enzone=wastewater_treatment [verificada 15 Octubre 2005].

Lara Valenzuela K. M. (2011). Evaluación de intrusión marina utilizando isótopos de estroncio: Un ejemplo de Ensenada, B. C., México. Tesis (Maestría en Ciencias) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Programa de posgrado en ciencias en Ciencias de la Tierra, Abril del 2011.

Larson, Roy A. (2004). Introducción a la Floricultura. México: AGT Editor S.A.

Ley Federal de Derechos de agua (2014). Acuerdo por el que se dan a conocer los valores de cada una de las variables que integran las fórmulas para determinar durante el ejercicio fiscal 2015 las zonas de disponibilidad, a que se refieren las fracciones I y II, del artículo 231 de la ley federal de derechos, vigente a partir del 1 de enero del 2014.

- López Fernández, C.M. (2009). Reactivación y actualización de la red de monitoreo piezométrica del acuífero de Maneadero, municipio de Ensenada B.C. México. Técnico, Comité Técnico de Aguas Subterráneas de Maneadero A.C., Ensenada.
- Lujan Flores Violeta. (2006). Utilización de ondas electromagnéticas para detectar la invasión de agua marina en el valle de Maneadero en Ensenada B.C. Ensenada, Baja California, México.
- Maas E.V. 1984 Salt tolerance of plants. In: The Handbook of Plant Science in Agriculture. B.R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Maas. (1984). Water Quality for Agriculture. 8 Junio 2015, de FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER Sitio web: <http://www.fao.org/DOCRp/003/T0234e/T0234E03.htm>.
- Maas & Hoffman. (1977). Water Quality for Agriculture. 8 Junio 2015, de FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER Sitio web: <http://www.fao.org/DOCRp/003/T0234e/T0234E00.htm#pre>.
- Mares-Olmos, M.A. (1996). Propuesta preliminar del manejo del acuífero costero del valle agrícola de Maneadero, Baja California., Tesis de Maestría en Administración Integral de Medio Ambiente, CICESE-COLEF, Tijuana B. C. México, 61 pp.
- Mizyed, Numan R. (2013). Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. *Environmental Science & Policy*, 25, 186-195. Marzo 2014, De Environment Complete, EBSCO Base de datos.
- Mendoza-Espinosa, L. Orozco-Borbón MV & Silvia Nava P. (2004). Quality assessment of reclaimed water for its possible use for crop irrigation and aquifer recharge in Ensenada, Baja California, Mexico. *Water Science & Technology*, , 50 (2), 285-291.
- Mendoza-Espinosa L. & Barraza González M. (Abril-Junio 2005). La posibilidad del riego de productos agrícolas con aguas residuales tratadas en el valle de Maneadero Baja California. *Divulgare Revista Universitaria*, 49, 24-29.
- Oster J.D. and Schroer F.W. 1979 Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 43:444–447.
- Pacheco, B. (18 de Marzo del 2014). Perforan suelo, revisan salinidad. Recuperado el 03 de Mayo del 2014, de El Vigía Sitio web: <http://www.elvigia.net/general/2014/3/18/perforan-suelo-revisan-salinidad-153215.html>.
- Rengasamy P, Greene RSB, Ford GW, Mehanni AH (1984). Identification of dispersive

- behavior and the management of red-brown earths. *Australian Journal of soil research* 22, 413-431.
- Rhoades J.D. (1977). Potential for using saline agricultural drainage waters for irrigation. *Proc. Water Management for Irrigation and Drainage*. ASCE, Reno, Nevada. 20–22 July 1977. pp. 85– 116.
- Richards, L. A. (1973.). *Diagnostico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos.*: LIMUSA. Pag. 1-33, 75-88.
- Sánchez Rentería E.C. (2004). Intrusión del agua de mar y la evolución hidrogeoquímica del acuífero costero de Maneadero B.C. Ensenada, Baja California, México.
- SARABIA MELÉNDEZ, Irma Francisca, CISNEROS ALMAZÁN, Rodolfo, ACEVES DE ALBA, Jorge, DURÁN GARCÍA, Héctor Martín, & CASTRO LARRAGOITIA, Javier. (2011). Calidad del agua de riego en suelos agrícolas y cultivos del Valle de San Luis Potosí, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(2), 103-113. Recuperado en 30 de julio de 2015, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992011000200002&lng=es&tlng=es. .
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1978). Estudio de Factibilidad Hidrológica en San Quintin y Maneadero B. C., Diagnóstico del valle de Maneadero, Subdirección y Promoción de Programas, p. 1.1-5.27.
- Serrano Ortiz J. (2011). Determinación de la geometría 2D y 3D del acuífero del sur del valle de Maneadero, mediante mediciones de resistividad. Ensenada, Baja California, México. Tesis (Maestría en Ciencias) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Programa de posgrado en Ciencias de la Tierra, Mayo de 2011.
- Stevens, D. (Ed.). (2006). *Growing crops with reclaimed wastewater*. CSIRO PUBLISHING. Pag. i-vii, 49, 53, 125-138.
- Szablocs I (1989). *Sal-affected soils*. CRS Press, Boca Rton FL.
- Teakle, L.J.H. (1937). La sal (cloruro de sodio) contenido de agua de lluvia. Este de Austria, Departamento de Agricultura, *Journal*, Ser. 2, 14:115-123, Illus.
- The Garden Helper. (2015). How to Grow and Care for Statice Flowers. 12/Junio/2015, de The Garden Helper Sitio web: <http://www.thegardenhelper.com/statice.html>
- US EPA (2004). *Lineamientos para el reuso del agua*. Revisada en. Estados Unidos

Agencia Protección al Ambiente y Estados Unidos Agencia para el desarrollo internacional, publicación EPA/625/R-04/108, Estados Unidos Agencia Protección al Ambiente, Washington, DC.

US Salinity Laboratory Staff (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook No. 60. Government Printing Office, Washington, DC.

Vargas Elizabeth. (30 de Junio del 2014). Inauguran obra para usar agua tratada en riego. Recuperado el 8 Septiembre del 2014, de Ensenada.Net Sitio web: <http://ensenada.net/noticias/nota.php?id=35293>.

Waller-Barrera, C. (2007). Optimización del manejo del agua de uso urbano de Ensenada y uso agrícola de Maneadero y Valle de Guadalupe, B.C. Ensenada, Baja California, México: Colección de tesis Biblioteca central UABC de Ensenada B.C.

World Health Organization (Ed.). (1987). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater: Policy and regulatory aspects (Vol. 1). World Health Organization.

World Health Organization (WHO). 1989. Health Guidelines For the Safe Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture. Geneva, WHO.

World Health Organization (WHO). 2006. WHO Guidelines For the Safe Use of Wastewater. Excreta a Greywater United Nations Environment Program París.

Zúñiga-Violante E. (2014). Contaminantes y riesgos a la salud en la comunidad agrícola del Valle de Maneadero, Baja California, México. Tesis (Doctorado en Medio Ambiente y Desarrollo), Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias, Facultad de Ciencias Marinas e Instituto de Investigaciones Oceanológicas, Diciembre 2014.

ANEXO.

ANEXO I. PUNTOS DE MUESTREO				
PARCELA	MUESTRA	COORDENADAS		OBSERVACIONES
		GMS (° " ')	UTM	
PAR	1	31 43 11.4	537744	Tierra arada
		116 36 05.8	3509451	
	5	31 43 19.8	537506	Tierra arada
		116 36 14.8	3509709	
	6	31 43 21.3	537701	Tierra arada
		116 36 07.4	3509756	
93	5	31 43 26.3	536771	Tierra arada y con semilla
		116 36 42.7	3509906	
	6	31 43 24	536861	Tierra arada y con semilla
		116 36 39.3	3509836	