

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ciencias  
Facultad de Ciencias Marinas  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas



DOCTORADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO

**“Efecto del agua residual tratada en suelo y ambiente de trabajo agrícola  
del valle de Maneadero, Baja California”**

**TESIS**

Para obtener el grado de

**DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

Presenta

**SAÚL OCTAVIO SALGADO MÉNDEZ**

Ensenada, Baja California, México, 17 de junio de 2019.

## DEDICATORIAS

A Dios, por bendecirme todos los días.

A mi amada esposa, Sandra Aracely Rubio Flores, y nuestra hija, Leah Salgado Rubio, quienes me motivan a ser un buen esposo, padre y me llenan el corazón de amor, gozo y alegría.

A mi papá, Dr. José Luis Salgado Ruíz† y a mi madre María Olivia Méndez Arellano, por brindarme mucho cariño, amor y enseñarme a ser una persona de bien.

A mis hermanos: José Luis Salgado Méndez y Daniel Alberto Salgado Méndez, por ser muy buenos hermanos, trabajadores y responsables.

A mis bellos sobrinos, Danna, Sarahí, Alexander, Mauricio y Dylan.

A mis abuelos Trinidad Méndez Arellano† y Dolores Ruíz Osorio, por tanto amor, cariño y por ser mujeres ejemplares.

A mis mejores amigos César Alejandro Pérez Morales, César Gerardo Díaz Trujillo, Alberto Manjarrez Osuna, Edith Adriana Méndez Martínez, quienes han estado conmigo a lo largo de estos años, han forjado e incidido en mi vida y hemos establecidos fuertes lazos de amistad, trabajo y negocios.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Dr. Luis Walter Daesslé Heuser, por su infinito apoyo a lo largo de todo este tiempo para lograr cumplir este sueño.

A la Dra. Christian Gilabert Alarcón, por su amistad y colaboración en la toma de muestras de campo, análisis de laboratorio, trabajos en publicaciones y por los momentos divertidos que pasamos juntos durante nuestros estudios.

Al M. en C. Eduardo Ortiz<sup>†</sup>, por su apoyo en el laboratorio y su gran profesionalismo.

A la Dra. Nancy Ramírez Álvarez y Lic. en Biología Roxana Ortiz López, por apoyarme con equipo de laboratorio.

A mis compañeros de generación: Christian, Esther, Lupita, Mariana, Rinah y Arturo que durante todo este tiempo aprendimos mucho y logramos buenos lazos de amistad.

A mis síndos: Dra. Silvia Mónica Avilés Marín, Dra. Zayre Ivonne González Acevedo, Dra. Mariana Villada Canela y Dr. Jesús Salvador Ruiz Carvajal, por su importante contribución para la conclusión de la presente tesis.

Al cuerpo académico en Agua y Ambiente del Instituto de Investigaciones Oceanológicas, en especial al doctor Leopoldo Mendoza Espinosa.

A mi alma mater, Universidad Autónoma de Baja California.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el otorgamiento de la beca para la realización del programa de Doctorado y Medio Ambiente de la Universidad Autónoma de Baja California.

## RESUMEN

El valle agrícola de Maneadero en Baja California, se ha convertido en un referente estatal y nacional en el reúso del agua residual tratada (ART) para riego agrícola de flores y forraje. No obstante, la calidad del ART tiene implicaciones en el sistema de riego, suelo y constituye riesgos a la salud del trabajador del campo en contacto directo, indirecto u ocasional. La presente tesis tuvo como objetivos: 1) evaluar el efecto del riego con ART en los suelos del valle agrícola de Maneadero durante dos años (2015-2017) y 2) examinar el ambiente de trabajo de los trabajadores del campo en contacto directo, indirecto u ocasional con ART. La presente tesis se divide en cinco capítulos: 1) Introducción; 2) Marco teórico; 3) Efecto a corto plazo en suelo agrícola irrigado con agua residual tratada del valle de Maneadero, Baja California; 4) Seguridad y ambiente del trabajador del campo en contacto con agua residual tratada del valle agrícola de Maneadero, Baja California. y; 5) Conclusiones y recomendaciones. Para el primer objetivo se evaluó la calidad del ART para riego agrícola de acuerdo a los estándares de la FAO y la normatividad mexicana en términos de salinidad (conductividad eléctrica), sodicidad, toxicidad por ion específico y misceláneos. Adicionalmente, se clasificó la calidad del ART para sistema de riego por goteo. En cuanto al suelo, se determinaron los mismos parámetros físico-químicos que el ART en el extracto de saturación y se clasificó su salinidad de acuerdo a los estándares de la USDA y normatividad mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000), además se determinó la clase textural de suelo de acuerdo al diagrama textural de la USDA y se midió el tamaño de grano con el método de difracción de láser. Los resultados obtenidos para el ART de acuerdo a los estándares de la FAO, es que tuvo una alta salinidad (4-5 dS/m) y valores por arriba del rango para  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$  (análisis cualitativo con espectrometría de masas) y  $Cl^-$  (análisis por cromatografía). La clasificación del ART para riego por goteo fue de moderado a severo para taponamiento químico y biológico, como realmente ocurre. Para el suelo, el principal efecto fue la lixiviación del  $Na^+$  y  $Cl^-$  por debajo de los 120 cm; en cuanto a los micronutrientes, no se rebasaron los niveles, sin embargo, el Al, Fe y Zn incrementaron de dos a 8 veces su concentración durante el periodo de 2 años. Los resultados obtenidos de segundo objetivo, fueron que no se cumple con lo dispuesto en todo el marco legal (leyes y

normas) para actividades agrícolas y las condiciones de seguridad para el manejo del ART para riego agrícola. Entre los principales hallazgos, se destaca que los trabajadores del campo del valle agrícola de Maneadero no tienen un trabajo digno o decente, pues se encuentran en situación de vulnerabilidad y son víctimas de explotación. Además, se encontraron niños, niñas y adolescentes trabajando, a pesar de que está prohibido por la Ley Federal del Trabajo y Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes. Los trabajadores del campo no cuentan con seguridad social y un contrato que acredite la relación obrero-patronal. Las normas de seguridad, organización y específicas no se cumplen. Los centros de trabajo carecen de señalamientos, baños, lugares para aseo personal, vestidores, áreas delimitadas, regaderas para descontaminación, entre otros. Los trabajadores del campo carecen de capacitación por parte de los patrones, desconocen las normas de trabajo, reglamentos, las normas en materia de seguridad, organización y específicas. Los trabajadores del campo se encuentran trabajando en condiciones de riesgo y sin equipo de protección personal, lo que ha ocasionado accidentes de trabajo y enfermedades por el contacto directo con ART e insumos agrícolas. Las conclusiones más destacadas del presente trabajo son que El ART de la PTARN generalmente cumple con la normatividad mexicana y la calidad de acuerdo a estándares de la FAO el ART de la PTARN es salino, la CE<sub>s</sub> y SDT se encuentra por arriba de las concentraciones recomendadas. Asimismo, el ART se encuentra enriquecida en Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> y K. Las altas concentraciones de SS, SDT, Mn y contaminantes patógenos son los causantes de la obturación o taponamiento del sistema del riego por goteo. La textura del suelo predominan limos y arenas, donde la profundidad comprendida de 0-60 cm predominó la clasificación franco-limoso y franco-arenoso para la profundidad de 60-120 cm. Al final del periodo disminuyó salinidad en el suelo, principalmente por el lavado del Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> en los perfiles. Las concentraciones del Ca<sup>2+</sup> en el extracto de saturación de suelo aumentaron hasta seis veces. En cuanto los metales traza en el extracto de saturación de suelo en la profundidad superficial, aumentaron las concentraciones del Al y Fe por arriba del rango de concentración de la superficie en el suelo en el mundo y el Zn aumentó alrededor de 2 veces en el sitio 6 pero por debajo del rango. En relación a la seguridad y medio ambiente de los

trabajadores, los trabajadores del campo no tienen un trabajo digno o decente y se encuentran en situación de vulnerabilidad y son víctimas de explotación. Las leyes en materia de actividades agrícolas y las normas de seguridad, organización y específicas no se cumplen. Todos los trabajadores del campo trabajan en un insalubre y sin equipo de protección personal. Finalmente, en cuanto a recomendaciones, se debe mejorar la calidad del ART, cumplir con todos los dispuesto en leyes y normas para actividades agrícola y que todos los trabajadores usen equipo de protección personal de acuerdo a su actividad o función.

### **ABSTRACT**

Maneadero agricultural valley in Baja California, has become state and national reference in reclaimed municipal water (RW) reuse in forage and flower irrigation. However, quality of RW has implications over the irrigation system, soil and constitutes a risk to the farm worker's health who is in direct, indirect or occasional contact.

The present thesis had as objectives: 1) to evaluate the effect of irrigation with RW on Maneadero agricultural valley soil over the course of two years (2015-2017) and 2) to examine the working environment of farm workers in direct, indirect or occasional contact with RW. The present thesis is divided in five chapters: 1) Introduction; 2) Theoretical framework; 3) Short term effect on agricultural soil irrigated with reclaimed municipal water in Maneadero valley, Baja California; 4) Safety and environment of the farm worker in contact with RW on Maneadero agricultural valley in Baja California and; 5) Conclusions and recommendations.

For the first objective the quality of RW for agricultural irrigation was evaluated in accordance with FAO standards and mexican normativity in terms of salinity (electrical conductivity), sodicity, toxicity by specific ion and miscellaneous. In addition, quality of RW for drip irrigation system was classified. Regarding the soil, the same physical-chemical parameters were established as for RW in the saturation extract and its salinity was classified in accordance with FAO standards and mexican normativity (NOM-021-

SEMARNAT-2000), furthermore soil textural class was established in accordance to USDA textural diagram and with laser diffraction method.

Obtained results for RW in accordance with FAO standards, showed high salinity (4-5 dS/m) and values above the range for  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$  (qualitative analysis with mass spectrometry) and  $Cl^-$  (chromatography analysis). Classification of RW for drip irrigation was moderate to severe for chemical and biological clogging, as it really occurs. For the soil, main effect was leaching of  $Na^+$  and  $Cl^-$  below 120 cm; regarding micronutrients, levels were not surpassed, however, Al, Fe and Zn increased from two to 8 times their concentration over the 2 year period.

Obtained results for the second objective, were of no compliance with that set forth in all legal framework (norms and laws) for agricultural activities and safety conditions for agricultural irrigation RW handling. Among the main findings, standing out is the fact that Maneadero agricultural valley farm workers don't have a dignified or decent job, because they find themselves in a vulnerable situation and are victims of exploitation.

Added to this, boys, girls and teenagers were found working, despite being prohibited by Federal Labor Law and General Law of Rights for Boys, Girls and Teenagers. Farm workers don't have social security nor a contract that attests an employer-employee relationship. Safety, organizational and specific norms are not met. Working centers don't have signaling, bathrooms, personal hygiene areas, dressing rooms, defined areas or decontamination showers, among others.

Farm workers lack training from their employers, they don't know labor norms, rules of procedure or safety, organizational and specific norms. Farm workers do their labor in hazardous conditions and without personal protection equipment, which has caused working accidents and diseases due to direct contact with RTW and agricultural inputs.

Most notable conclusions of this work are that RW of the wastewater treatment plant "El Naranjo" (WWTPN) generally complies with the mexican normativity and quality in accordance with FAO standards. RW of WWTPN is saline,  $EC_w$  and SDT are above recommended concentrations. Likewise, RW is enriched with  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $PO_4^{3-}$  and K. High

concentrations of SS, SDT, Mn and pathogen pollutants are the cause of obstruction or clogging of the drip irrigation system.

Soil texture is predominantly silts and sands, and the classifications are generally where comprised depth of 0-60 cm was predominant the classification silt-loam and sandy-loam for 60-120 cm depth. At the end of the period soil salinity decreased, mainly because of  $\text{Cl}^-$  and  $\text{Na}^+$  scouring on the profiles. Concentrations of  $\text{Ca}^{2+}$  in the saturation extract of the soil increased up to six times. Regarding trace metals in the soil saturation extract at superficial depth, concentrations of Al and Fe increased above world concentration range for soil surface and Zn increased around 2 times on site 6 but below range.

In relation to safety and environment for farm workers, they don't have a dignified or decent job and are found to be in a vulnerable situation and as victims of exploitation. Laws in terms of agricultural activities and safety, organizational and specific norms are not applied.

All of the farm workers do their labor in an unsanitary environment and without personal protection equipment. Finally, regarding recommendations, quality of RW needs to be improved, all of that set forth in laws and norms for agricultural activities has to be met and all of the workers must use personal protection equipment in accordance with their activity or function.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

Facultad de Ciencias  
Facultad de Ciencias Marinas  
Instituto de Investigaciones Oceanológicas

**“Efecto del agua residual tratada en suelo y ambiente de trabajo agrícola  
del valle de Maneadero, Baja California”**

**TESIS**

Para obtener el grado de

**DOCTOR EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO**

PRESENTA

**SAÚL OCTAVIO SALGADO MÉNDEZ**

---

Dr. Luis Walter Daesslé Heuser  
Presidente del jurado

---

Dra. Silvia Mónica Avilés Marín  
Sinodal propietaria

---

Dra. Zayre Ivonne González Acevedo  
Sinodal propietaria

---

Dra. Mariana Villada Canela  
Sinodal propietaria

---

Dr. Jesús Salvador Ruiz Carvajal  
Sinodal propietario

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Hipótesis.....	3
1.4 Objetivos.....	3
1.5 Estudios previos.....	4
1.5.1 Efluente de la PTARN.....	4
1.5.2 Estudios de suelo agrícola.....	5
1.5.3 Estudios de percepción de salud y riesgos a la salud asociados por el ambiente de trabajo de los trabajadores del campo.....	5
1.6 Estructura de la tesis.....	6
<b>CAPÍTULO 2: Marco teórico.....</b>	<b>7</b>
2.1 Agua residual tratada.....	7
2.1.1 Normatividad del agua residual tratada para uso agrícola en suelo.....	7
2.1.2 Tipos de tratamientos del agua residual.....	7
2.1.3 Vías de exposición de las personas en contacto con agua residual en riego agrícola.....	8
2.2 Suelo.....	9
2.2.1 Efectos del agua residual tratada en el suelo.....	9
2.2.2 Normatividad en suelos.....	10
<b>CAPÍTULO 3: Efecto a corto plazo en suelo agrícola irrigado con agua residual tratada del valle de Maneadero, Baja California, México.....</b>	<b>11</b>
Resumen.....	11
3.1 Introducción.....	12
3.2 Antecedentes.....	14
3.3 Área de estudio.....	15
3.4 Materiales y métodos.....	16
3.4.1 Muestreo de suelo.....	16
3.4.2 Análisis de suelo.....	17
3.5 Resultados y discusión.....	18
3.5.1 Agua residual tratada.....	18
3.6.1 Suelo.....	22
3.6.2 Textura.....	22
3.6.3 pH.....	24
3.6.4 Salinidad y sodicidad.....	28
3.6.5 Cationes.....	35

3.6.6 Aniones.....	44
3.6.7 Nitrógeno y porcentaje de materia orgánica.....	49
3.6.8 Productividad.....	54
3.7 Conclusiones.....	55

**CAPÍTULO 4: Seguridad y ambiente de trabajo del trabajador del campo en contacto con agua residual tratada del valle agrícola de Maneadero, Baja California.....** 56

Resumen.....	56
4.1 Introducción.....	57
4.2 Antecedentes.....	60
4.3 Métodos.....	62
4.4 Resultados y discusión.....	63
4.5 Conclusiones.....	86

**CAPÍTULO 5: Conclusiones y recomendaciones.....** 87

Referencias.....	89
Apéndice 1.....	103

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Vía de exposición del agua residual para consumidores, trabajadores del campo y sus familias y comunidades de los alrededores (traducido de Dickin <i>et al.</i> , 2016).....	8
<b>Figura 2.</b> Localización del sitio de estudio, parcela 97 y los sitios de muestreo en el valle de Maneadero.....	16
<b>Figura 3.</b> Expresiones para el cálculo del RAS y PSI.....	17
<b>Figura 4a.</b> Cambio del pH en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	26
<b>Figura 4b.</b> Clasificación del pH del suelo del 2015-2017.....	27
<b>Figura 5a.</b> Cambios de la $CE_s$ en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	30
<b>Figura 5b.</b> Clasificación de la salinidad del suelo del 2015-2017.....	31
<b>Figura 6a.</b> Cambio del RAS en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	32
<b>Figura 6b.</b> Cambio del RAS del suelo del 2015-2017.....	33
<b>Figura 7a.</b> Cambio del PSI en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	34
<b>Figura 7b.</b> Clasificación del PSI del suelo del 2015-2017.....	35
<b>Figura 8a.</b> Cambio del $Na^+$ en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	37
<b>Figura 8b.</b> Cambio del $Na^+$ del suelo del 2015-2017.....	38
<b>Figura 9a.</b> Cambio del $Ca^{2+}$ en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	39
<b>Figura 9b.</b> Cambio del $Ca^{2+}$ del suelo del 2015-2017.....	40
<b>Figura 10a.</b> Cambio del $Mg^{2+}$ en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	41
<b>Figura 10b.</b> Cambio del $Mg^{2+}$ del suelo del 2015-2017.....	42
<b>Figura 11a.</b> Cambio del $K^+$ en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	43
<b>Figura 11b.</b> Cambio del $K^+$ del suelo del 2015-2017.....	44
<b>Figura 12a.</b> Cambio del $Cl^-$ en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	46

<b>Figura 12b.</b> Cambio del $\text{Cl}^-$ del suelo del 2015-2017.....	47
<b>Figura 13a.</b> Cambio del $\text{SO}_4^{2-}$ en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	48
<b>Figura 13b.</b> Cambio del $\text{SO}_4^{2-}$ del suelo del 2015-2017.....	49
<b>Figura 14a.</b> Cambio del N en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	51
<b>Figura 14b.</b> Cambio del N del suelo del 2015-2017.....	52
<b>Figura 15a.</b> Cambio del % MO en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.....	53
<b>Figura 15b.</b> Clasificación del % MO del suelo del 2015-2017.....	54
<b>Figura 16.</b> Reservorio de agua residual tratada de la parcela 97.....	71
<b>Figura 17.</b> Guante de nitrilo del operador del tractor con sistema de fumigación.....	79
<b>Figura 18.</b> Cortador/deshierbador con herramienta para deshierbe.....	80
<b>Figura 19.</b> Trabajadores del campo expuestos a insumos fitosanitario o plaguicidas.....	79
<b>Figura 20.</b> Herramientas del instalador del sistema de riego.....	81

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Calidad del ART en Maneadero comparado con las guías de riego agrícola.....	19
<b>Tabla 2.</b> Concentración de elementos traza en ART comparado con las regulaciones internacionales y nacional.....	20
<b>Tabla 3.</b> Concentración de elementos traza en el extracto de saturación de suelo de la superficie de tres perfiles (0-30 cm) en 2015 y 2017, comparado con la concentración promedio de diferentes tipos de superficies en el mundo.....	21
<b>Tabla 4.</b> Textura del suelo .....	22
<b>Tabla 5.</b> Clase textural de suelo .....	24
<b>Tabla 6.</b> Datos generales del grupo 1.....	64
<b>Tabla 7.</b> Datos generales del grupo 2.....	64
<b>Tabla 8.</b> Resultados del marco legal de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y Leyes en materia de seguridad social, seguridad e higiene y ambiente de trabajo.....	65
<b>Tabla 9.</b> Resultados de las obligaciones del trabajador y del patrón de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de seguridad.....	68
<b>Tabla 10.</b> Carga manual de materiales del grupo 1.....	74
<b>Tabla 11.</b> Carga manual de materiales del grupo 2.....	74
<b>Tabla 12.</b> Resultados de las obligaciones del trabajador y del patrón de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de organización.....	77
<b>Tabla 13.</b> Equipo de protección personal y partes del cuerpo expuestas de los trabajadores del campo del grupo 1.....	78
<b>Tabla 14.</b> Equipo de protección personal y partes del cuerpo expuestas de los trabajadores del campo del grupo 2.....	78
<b>Tabla 15.</b> Recomendación de equipo de protección personal para los trabajadores de campo en contacto con agua residual tratada e insumos agrícolas.....	81
<b>Tabla 16.</b> Resultados de las obligaciones del trabajador y del patrón de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de condiciones de seguridad para actividades agrícolas.....	82

## CAPÍTULO 1

### Introducción

El reúso del agua residual (AR) para riego agrícola es una práctica que inició hace 5,000 años (Angelakis y Spyridakis, 1996) y que actualmente se sigue llevando a cabo, principalmente en países emergentes. En 1918, nacen los primeros criterios de regularización para el reúso del agua residual tratada (ART) en el estado de California de los Estados Unidos de Norte América (CSBH, 1918) y posteriormente diferentes países adoptaron sus medidas regulatorias y organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS). En el caso particular de México, las dos normas que regulan los criterios para el uso del ART son: a) NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes básicos (grasas y aceites), metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn), cianuro (CN) y, contaminantes patógenos y parasitarios (coliformes fecales y huevos de helminto, respectivamente) para el uso en riego agrícola y b) NOM-003-SEMARNAT-1997, que considera los límites de la norma anterior pero con la variante para coliformes de 240 NMP/100 mL para servicios al público con contacto directo y 1,000 NMP/100 mL para servicios al público en contacto indirecto u ocasional con ART que se reúsen en servicios al público (ejemplos: lagos artificiales recreativos y no recreativos, áreas verdes, panteones, etc.) (DOF, 1997; 1998).

El distrito de riego 03, del valle de Mezquital del estado de Hidalgo, México, es el lugar de mayor antigüedad que ha sido regado con AR (>100 años) y el más grande del mundo en cuanto a hectáreas irrigadas (90,000 ha) (Lucho-Constantino *et al.*, 2005; Angelakis *et al.*, 2018). Durante el 2016, a nivel nacional se trataron el 58.3 % de los 212 m<sup>3</sup>/s de AR colectado por alcantarillado en las plantas de tratamiento y solamente se reutilizaron indirectamente 78.9 m<sup>3</sup>/s y 28.5 m<sup>3</sup>/s directamente (CONAGUA, 2017). En el 2016, en la Región Hidrológico Administrativo I (RHA I, Baja California y Baja California Sur) se contaba con 72 plantas de tratamiento de AR con una capacidad de tratamiento de 9.55 m<sup>3</sup>/s de las cuales solamente se trataban 6.98 m<sup>3</sup>/s (CONAGUA, 2017). El uso o aprovechamiento del

ART es impulsado por los tres niveles de gobierno (CONAGUA, 2018; CONAGUA, 2012; PEDBC, 2014; PMD, 2017). En Ensenada B.C., la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales el Naranja (PTARN) cuenta con una capacidad máxima de tratamiento de 0.5 m<sup>3</sup>/s, de los cuales actualmente se destinan 0.15 m<sup>3</sup>/s para el riego de aproximadamente 380 ha de forraje y flores en el valle de Maneadero.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto del riego con ART en la parcela 97 del periodo 2015-2017 y examinar las condiciones de la seguridad y ambiente de trabajo del trabajador del campo en contacto con ART del valle de Maneadero.

### **1.1 Planteamiento del problema**

En el año 2007, algunas zonas dejaron de cultivarse en el valle de Maneadero por el incremento de la salinidad del agua del acuífero costero (Daesslé *et al.*, 2005; 2014) y algunos agricultores implementaron sistemas de tratamientos de osmosis inversa para bajar la salinidad del agua del acuífero de Maneadero (información no publicada, proporcionada por el Ing. Alejandro Guzmán de COTAS Maneadero). Como una solución emergente, a partir del año 2014 se implementó el reúso del ART de la PTARN bajo un ineficaz régimen (no integrado) y con resultados de contaminación en aguas subterráneas, además de contaminación con coliformes fecales en suelo en la parcela 97 (Gilbert-Alarcón *et al.*, 2018; Mendoza-Espinosa y Daesslé, 2018). Por otra parte, la norma oficial mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997), para en uso en riego agrícola en suelo solamente considera algunos contaminantes de metales pesados (Ar, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn), cianuros (CN), contaminantes patógenos (coliformes fecales con concentraciones de 1000 y 2000 NMP/100 mL para promedio diario y mensual, respectivamente) y contaminantes parasitarios (huevos de helminto de 1 a 5 huevos/L para riego no restringido y restringido, respectivamente) y es una norma que no garantiza la protección del suelo (ejemplos: problemas de salinidad, toxicidad por ion específico, metales traza misceláneos y otros contaminantes), plantas (calidad de agua para especies específicas) y un ambiente de

trabajo seguro para el trabajador del campo que está en contacto directo, indirecto u ocasional con ART.

## **1.2 Justificación**

El estudio de la calidad del ART para uso en riego agrícola, permitirá determinar:

- a) Como los iones de la carga contaminante del ART lixivian o se acumulan en el suelo por debajo de la zona radicular.
- b) Si existen problemas de taponamiento en el sistema de riego por goteo por la carga contaminante del ART, asimismo,
- c) Sugerir recomendaciones de la calidad del ART para proteger el suelo, plantas, acuífero y la seguridad y ambiente del trabajo de los trabajadores del campo.

## **1.3 Hipótesis**

Conocer la calidad del ART para uso en riego agrícola y su efecto en suelo durante un periodo a corto plazo (2015-2017), permitirá demostrar los beneficios y potenciales consecuencias en la calidad suelo y sistemas de riego por goteo.

Por otro lado, el uso de ART para riego, así como las condiciones generales de los trabajadores del campo, representan riesgos asociados al desempeño de las actividades de los trabajadores del campo que están en contacto con ART.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto del riego con ART en los suelos del valle agrícola de Maneadero durante el periodo 2015-2017 y el ambiente de trabajo de los trabajadores del campo en contacto directo, indirecto u ocasional con ART.

## **1.4.2 Objetivos específicos**

**1.4.2.1** Clasificar el ART con base en los parámetros de la FAO y la normatividad mexicana.

**1.4.2.2** Identificar los riesgos potenciales de taponamiento en el sistema de riego por goteo del ART.

**1.4.2.3** Determinar los parámetros físicos y químicos del suelo y clasificarlos de acuerdo a la FAO y la NOM-021-SEMARNAT-2000.

**1.4.2.4** Examinar la normatividad en materia de seguridad y ambiente de trabajo para actividades agrícolas y en la zona irrigada con ART en el valle de Maneadero.

## **1.5 Estudios previos**

### **1.5.1 Efluente de la PTARN**

La información sobre la calidad y viabilidad de reúso del efluente de la PTARN. Mendoza-Espinosa *et al.* (2004), demostraron que la calidad del efluente de la PTARN cumplió, en la mayoría de las ocasiones, con las normas para el reúso agrícola y para las actividades de contacto humano directo durante el periodo del 2000 al 2003. Waller-Barrera *et al.* (2009), mediante un procesamiento de datos con un modelo denominado Baja Calvin, demostraron que el reúso directo de las ART en el valle agrícola de Maneadero, representan el mayor valor económico para suministro de agua a la ciudad de Ensenada, debido a que ayudaría a disminuir o eliminar la sobreexplotación de los acuíferos. Asimismo, sugieren que si se utilizara el efluente de la PTARN para riego de productos de consumo directo, sería necesario mejorar su calidad microbiológica que, aunado con una disminución de los sólidos suspendidos totales (SST), disminuiría la obturación de los sistemas de riego (Ramírez-Acosta y Mendoza-Espinosa, 2005). Rivera (2006), concluye que el efluente de la PTARN, cumplió con los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso en riego agrícola restringido durante el periodo del 2003 a 2005. Salgado (2015), demostró que en la descarga de la tubería morada en la parcela 93, la CE (conductividad eléctrica) y los SDT se clasificaron con un grado de restricción severo de acuerdo a estándares de la FAO (1985).

Algo similar con el anión  $\text{Cl}^-$  en su clasificación y el catión  $\text{Na}^+$  con un grado de restricción moderado de acuerdo a los estándares de la FAO. En este sentido, se determinó que el efluente tuvo una salinidad excesiva y dado su contenido medio de  $\text{Na}^+$ , pudiera representar un peligro de acumulación en suelos arcillosos y franco-arcillosos.

### **1.5.2 Estudios de suelo agrícola**

De los estudios en suelo agrícola en el valle de Maneadero, se destaca el de Zuñiga-Violante *et al.* (2015), que detectaron 22 plaguicidas (orgánicos e inorgánicos). Entre los plaguicidas orgánicos, predominó el endosulfan y los BPC ligeros. Entre los contaminantes inorgánicos, el vanadio se encontró por encima de la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, por lo que los autores sugieren que se debe llevar un estudio específico de evaluación de riesgo a los trabajadores ya que puede tener un efecto negativo en la salud. Estudios realizados en la parcela 93 y la propiedad del Sr. Armando Rojas (PAR) en el valle de Maneadero por Salgado (2015), indica que la salinidad del suelo, varía de no salino a salino y tiene una textura donde predominan los limos y las arenas.

### **1.5.3 Estudios de percepción de salud y riesgos a la salud asociados por el ambiente de trabajo de los trabajadores del campo**

En general, solamente existen estudios de percepción y de genotoxicidad a jornaleros. Camarena *et al.* (2012), realizaron un estudio de percepción a trabajadoras agrícolas expuestas a plaguicidas de San Quintín y Maneadero, y como resultados obtuvieron que los riesgos y enfermedades fueron principalmente la insolación, seguido del contacto con productos tóxicos, picadura de animales y accidentes. Finalmente, en relación a las enfermedades padecidas y contraídas por las condiciones y la falta de protección fueron las respiratorias y de la piel fueron las más comunes y, en menor proporción, las gastrointestinales y de los ojos. Zúñiga *et al.* (2012), con base en un estudio de genotoxicidad en el valle de San Quintín en jornaleros (hombre y mujeres), concluyeron que la exposición laboral y ambiental a plaguicidas es un factor de daño genético, principalmente para las mujeres. Otro estudio de percepción por Camarena *et al.* (2013) en el valle de San Quintín, sugiere que existe evidencia de falta de cobertura de seguridad

social, las jornadas laborales se pueden extender hasta 10 h, que en la mayoría de los campos agrícolas no les proporcionan equipo de protección; en algunos casos se encuentran expuestos a químicos durante su aplicación y los padecimientos son posturales, heridas por objetos punzocortantes, afectaciones por exposición a los plaguicidas (irritación, comezón, ronchas y manchas en la piel). Estudios genotóxicos por Arellano *et al.* (2013), demostraron que de cuatro zonas de estudio, la zona de San Quintín fue la que tuvo mayor daño por la mezcla de contaminantes (plaguicidas y condiciones de vida).

### **1.6 Estructura de la tesis**

La tesis está integrada en cinco capítulos: Capítulo 1, consta de la introducción, planteamiento del problema, justificación, hipótesis, objetivo general, objetivos específicos y estudios previos del efluente de la PTARN , suelo agrícola y de percepción de la salud y riesgos a la salud asociados por trabajo de los trabajadores del campo; Capítulo 2, comprende el marco teórico donde se incluyen definiciones de los objetos de estudio (ART y suelo), su normatividad y se explica brevemente el efecto que tiene el ART en riego agrícola en suelo y las vía de exposición de las personas que están en contacto; Capítulo 3, se basan en el estudio del efecto a corto plazo en suelo agrícola irrigado con ART en el valle de Maneadero donde se evaluó la calidad del efluente de la PTARN y se estudia el efecto del ART en suelo; Capítulo 4, se examinó la seguridad y medio ambiente de trabajo del trabajador del campo en contacto con agua residual tratada en el valle agrícola de Maneadero y finalmente; Capítulo 5, se mencionan las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPITULO 2**

### **Marco teórico**

#### **2.1 Agua residual tratada**

De acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 1998) las aguas residuales tratadas (ART), son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público. Otra terminología que son comúnmente utilizadas para el ART en Estados Unidos de Norte América y en diferentes partes del mundo son agua regenerada, agua reciclada, reciclaje y reutilización del agua (EPA, 2012).

##### **2.1.1 Normatividad del agua residual tratada para uso agrícola en suelo**

La NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997), proporciona los límites máximos permisibles de contaminantes que debe tener el ART para distintos usos, para el presente trabajo solamente se hace énfasis para uso agrícola en suelo. Esta norma, proporciona dos estándares (P.D.= Promedio Diario y P.M.= Promedio Mensual) para tres tipos de contaminantes: a) contaminantes básicos, donde se consideran las grasas y aceites y materia flotante; b) metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y Zn) y cianuro (CN) y; c) contaminantes patógenos (coliformes fecales) y parasitarios (huevos de helminto).

##### **2.1.2 Tipos de tratamientos del agua residual**

Existen tres tipos de tratamiento de aguas residuales y varían en cuanto al diseño y proceso:

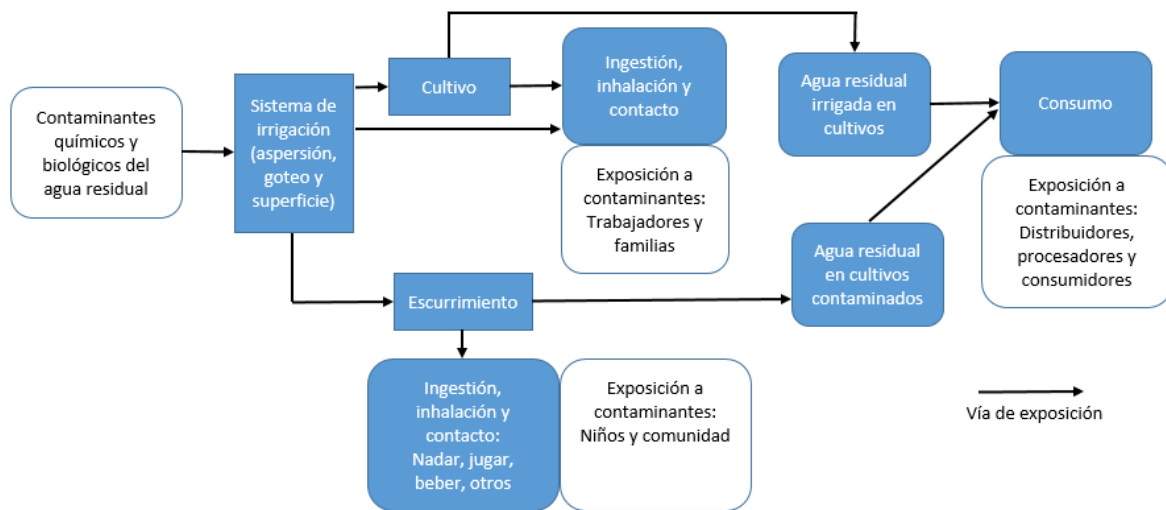
a) **Primario.** Por lo general, en la primera etapa se separa el material grueso mediante barreras físicas como mallas o rejilla y para las grasas y aceites se utiliza un desnatador. El sólido restante, se separa con un equipo de sedimentación donde en ingeniería sanitaria distingue cuatro categorías (discreta, floculante, por zonas y compresión).

b) **Secundario.** Es un tratamiento biológico (aeróbico o anaeróbico) para remover la materia biodegradable disuelta en el AR.

c) **Terciario y/o avanzado.** Son un conjunto de procesos físicos y químicos (carbón activado, osmosis inversa, procesos avanzados de oxidación, rayos UV, etc.) para mejorar la calidad del agua y con ellos reducir y quitar contaminantes como fósforo, nitrógeno, metales, virus, compuestos orgánicos, etc. Los procesos antes mencionados, van aunados a procesos de desinfección (EPA, 2012; CONAGUA, 2007).

### 2.1.3 Vías de exposición de las personas en contacto con agua residual en riego agrícola

Existen diversos estudios de los efectos del AR y ART a la salud de trabajadores del campo y sus familias, comunidades y consumidores. Los efectos del ART en la salud de las personas dependen del tipo de contaminante y la vía de exposición. De una revisión de 126 estudios de 1995 al 2013 en riesgos a la salud por diferentes vías de exposición asociados con el riego con el AR y ART, Dickin *et al.* (2016) concluyeron que para tener una mejor comprensión de los riesgos a la salud por la exposición al AR en la agricultura, se deben de considerar las múltiples rutas de exposición, implicaciones al largo plazo en la salud y aumentar el rango de contaminantes, particularmente en regiones altamente dependientes del riego con AR. En la figura 1, se observa la ruta del aprovechamiento del AR en riego agrícola y las afectaciones a las personas por las diferentes vías de exposición.



**Figura 1.** Vía de exposición del agua residual para consumidores, trabajadores del campo y sus familias y comunidades de los alrededores (traducido de Dickin *et al.*, 2016).

Países como Estados Unidos de Norte América, Australia y Nueva Zelanda, han adoptado medidas en cuanto a la calidad del ART para mitigar los riesgos a la salud de las personas y sus diferentes tipos de usos (EPA, 2012; ARMCANZ, ANZECC y NHMRCC, 2000).

En el capítulo 4, se presenta un estudio de investigación desarrollado en el valle agrícola de Maneadero, donde los trabajadores del campo se encuentran expuestos a la carga contaminante del ART debido a que no cuentan con el equipo de protección. Además, para el desarrollo de esta actividad no se cumple con lo dispuesto en las normas en materia de seguridad, seguridad e higiene y ambiente de trabajo ni con las leyes en materia de trabajo, derechos de niñas, niños y adolescentes y la Ley General para Prevenir, Sancionar y Radicar los Delitos en Materia de Trata de Personas y Para la Protección y Asistencia a las Víctimas de estos Delitos.

## **2.2 Suelo**

Con base en la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002), el suelo es una colección de cuerpos naturales formados por sólidos (minerales y orgánicos), líquidos y gases, sobre la superficie de los terrenos. Presenta, ya sea, horizontes o capas que se diferencian del material de origen como resultado de adiciones, pérdidas, migraciones, transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural.

### **2.2.1 Efectos del agua residual tratada en el suelo**

Los efectos del ART en suelo van a depender de la calidad del agua (características físicas, químicas y biológicas) y principalmente se asocian a problemas de salinidad (concentraciones de iones mayoritarios), sodicidad (porcentaje de sodio intercambiable), tasa de infiltración (en función de las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{Ca}^{2+}$ ), toxicidad por iones específicos (concentraciones de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , B y elementos traza) y misceláneos (concentraciones de  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{HCO}_3$  y pH) (Ayers y Westcot, 1985). Existen otros tipos de contaminantes conocidos como emergentes (productos farmacéuticos y de cuidado personal, surfactantes, aditivos y químicos industriales, etc.) que no son regulados en

México y ocasionan contaminación en suelo y acuíferos (Belong *et al.*, 2009). En el capítulo 3 se presenta el efecto del ART de la PTARN en riego en el valle agrícola de Maneadero (salinidad, sodicidad, toxicidad por iones específicos y misceláneos). El presente trabajo no incluye a los contaminantes emergentes, sin embargo, existen varias investigaciones de los efectos que estos ocasionan en suelo, plantas y acuíferos.

### **2.2.2 Normatividad en suelos**

La norma oficial mexicana es la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002) y tiene por objeto establecer las especificaciones técnicas de muestreo y análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, a partir de sus características específicas de constitución, formación y distribución.

## **CAPÍTULO 3**

### **Efecto a corto plazo en suelo agrícola irrigado con agua residual tratada del valle de Maneadero, Baja California, México**

#### **Resumen**

En el 2014 empezó el reúso de agua residual tratada para el riego agrícola en 200 ha en el valle de Maneadero. Los resultados indican que el agua residual tratada tiene alta conductividad eléctrica (4 – 5 dS/m), y altas concentraciones de  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$  y  $Cl^-$  con respecto a las guías de riego. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del ART en el suelo agrícola en el valle de Maneadero, Baja California, con el fin de determinar el efecto a corto plazo en suelo durante el riego con ART sobre la salinidad, iones mayoritarios, nutrientes y elementos traza; y determinar la calidad de agua para uso agrícola y sistemas de riego por goteo de acuerdo a la FAO y normatividad mexicana. La metodología empleada para las muestras de suelo se colectaron a tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm) en agosto-15 (antes del riego con ART), marzo-16, marzo-17 y agosto-17. Adicionalmente, se colectaron muestras a una profundidad de 90-120 cm en agosto-15 y agosto-17. Las muestras de suelo se extrajeron en seis puntos equidistantes y fueron homogenizadas y tamizadas con una malla de 2 mm. El tamaño de partícula fue analizado difracción láser y los datos fueron procesados con el software SysGran 3.0 por el método de Folk & Ward. El extracto de saturación de suelo se realizó con base en el método AS-16 de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los SDT, pH (1:2, relación suelo-agua) y la CE del extracto de saturación de suelo ( $CE_s$ ) fueron medidos con el equipo sonda YSI6600. El nitrógeno total (N) fue analizado con el analizador LECO CHNS-932 Elementary Chemical Analyzer. Las muestras del extracto de saturación fueron acidificadas con HCl al 5 % para eliminar carbonatos y realizar el análisis del % carbono orgánico (CO). Para la determinación del porcentaje de materia orgánica (MO), se multiplicó el % CO por el factor de Van Bemmelen. Para los análisis de cationes los extractos de suelo fueron filtrados con un filtro de porosidad de 0.45  $\mu m$  Milipore® y acidificados con 0.1 N grado metal traza de  $HNO_3^-$ . Los cationes ( $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ ) fueron determinados usando el equipo Agilent 8800 ICP-MS instrument

(Agilent Technologies, Japan) y los aniones ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) fueron analizados por el cromatógrafo de iones (ICS 5000, Thermo Scientific) con un a Dionex Anion Self-Regenerating suppressor (Dionex ARS-400 4mm). Los metales traza (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V, Zn y Hg), así como el B del ART fueron analizados con ICPMS, usando materiales certificados. No se observaron acumulación de estos elementos ni tampoco de nitrógeno en el estudio de suelo. El principal efecto de ART para riego agrícola fue el lavado del  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  de la parte inferior de los perfiles por abajo de 120 cm, causando un ligero decremento en la conductividad eléctrica en el suelo. Además, el ART contribuyó junto con la adición del ácido húmico a un aumento de hasta 6 veces en el porcentaje de materia orgánica en algunos sitios. El ácido húmico es utilizado por los agricultores como fuente de materia orgánica. El Al, Fe y Zn mostraron una acumulación (hasta 4 veces) en la capa superficial después de dos años. El problema de taponamiento químico y biológico en el sistema de riego por goteo se clasificó de moderado a severo debido a un significativo incremento en la carga microbiológica del agua residual tratada como ocurre en la actualidad. Las guías mexicanas comprometen el uso seguro del agua residual en los sistemas de riego por goteo y el suelo agrícola.

**Palabras clave:** agua residual tratada; riego; suelo; salinidad; metales

### 3.1 Introducción

El agua residual tratada (ART) ha sido una importante alternativa para sustituir otros recursos hídricos para agricultura en regiones áridas y semiáridas (Oliveira *et al.*, 2016; Asano, 1987). El ART representa una importante fuente de nutrientes para los cultivos por lo que reduce la necesidad de la aplicación de fertilizantes pero también puede aportar contaminantes que comprometen la seguridad de los cultivos. Para garantizar el éxito de uso del ART, se requieren continuos estudios de calidad de agua, suelo y plantas (Salgot y Folch 2018). Las guías de calidad del agua para la evaluación del agua para riego de Ayers & Westcot (1985) han sido usadas para diferentes tipos de aguas, incluyendo el ART. Estas guías están basadas en experiencias a largo plazo en suelos agrícolas alrededor del mundo,

principalmente en regiones áridas y semiáridas. Estas regiones áridas son caracterizadas por tener suelos salinos, en los cuales, la conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación de suelo ( $CE_s$ ) en la raíz excede 4 dS/m (aproximadamente 40 mM NaCl a 25°C) (Shrivastava y Kumar, 2015). La salinidad del ART varía dependiendo de la fuente de agua o el tratamiento (Schuch, 2005). De acuerdo con Wu y Dodge (2005) el riego con ART con  $CE < 6$  dS/m produce cultivos comercialmente aceptables sin manejos adicionales en el suelo. Gloaguen *et al.* (2007) demostraron que el riego con ART causa una progresiva sodificación de suelo (saturación de sodio  $> 6\%$ ) con una lenta migración de  $Na^+$  de la solución de suelo hasta el complejo de intercambio de suelo. Otros autores encontraron que un bajo contenido de material orgánica y por consiguiente una baja capacidad de intercambio catiónico acelera el proceso de sodificación, especialmente en la capa sub-superficial del suelo (0.5-1.0 m). Al-Hamaiedeh y Bino (2010) evaluaron el ART en las propiedades del suelo agrícola y observaron que la salinidad, sodio, relación de adsorción de sodio (RAS) y el contenido de materia orgánica de suelo aumentaron en función del tiempo debido a las altas tasas de evaporación, las bajas precipitaciones y la ausencia de sistemas de drenaje. Los elementos traza pueden estar presentes en el ART y tienden a acumularse en el suelo y estar biodisponibles (Chen *et al.*, 2015). Una pobre calidad del ART (por ejemplo: altos niveles de partículas suspendidas, iones, algas, contaminantes orgánicos y microorganismos) puede también resultar en taponamiento derivado de la formación y crecimiento de biopelículas durante el proceso de infiltración del ART en el suelo (Li *et al.*, 2013). El efecto del agua residual (AR) para irrigación en el crecimiento y rendimiento de los cultivos ha sido ampliamente estudiado. En cultivos de flores, por ejemplo, Grieve *et al.* (2005) encontraron que el riego con AR con 2.7 a 7 dS/cm resultó en reducción de tallos de especie de lavanda. Grieve *et al.* (2006) observaron que el tamaño de flores en especies de alhelí decreció por el incremento de salinidad.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto del ART en el suelo agrícola en una zona costera árida en México en el valle de Maneadero, Baja California, con el fin de determinar el efecto a corto plazo (2 años) en suelo durante el riego con ART sobre la salinidad, iones mayoritarios, nutrientes y elementos traza; y determinar la calidad de agua

para uso agrícola y sistemas de riego por goteo de acuerdo a la FAO y normatividad mexicana.

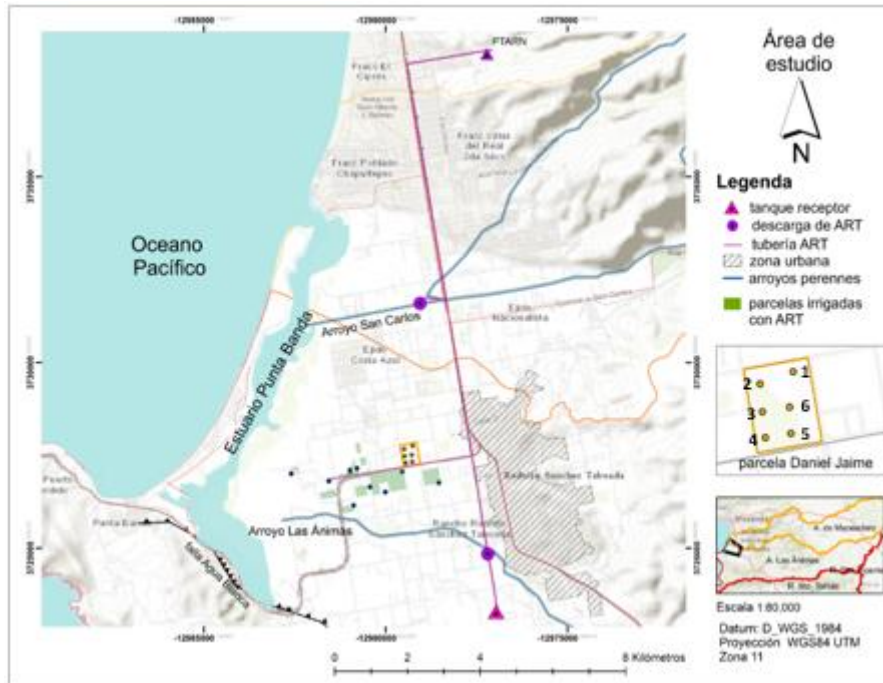
### 3.2 Antecedentes

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, 2009; Lara, 2011). En el 2007, debido al incremento de la salinidad del acuífero costero de Maneadero por la sobreexplotación y la salinización del suelo agrícola, se dejó de sembrar en las zonas más afectadas del valle agrícola de Maneadero (Gilabert-Alarcón *et al.*, 2018; Daesslé *et al.*, 2005; 2014). Como una solución emergente, en el año 2003, el Plan de Manejo Integrado, sugirió el reúso del ART de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “El Naranja” (PTARN) e infraestructura hidráulica para conducir este efluente a la zona agrícola de Maneadero (Gilabert-Alarcón *et al.*, 2018). Posteriormente en el 2010, se realizó un proyecto piloto de reúso de ART en fase experimental denominado “Reúso de aguas tratadas para el riego de cultivos de flor” en tres hectáreas, como parte de los terrenos de la PTARN. El estudio consistió en determinar la calidad del ART y la evaluación de su efecto en el rendimiento de las flores comerciables de girasol, con variedades *Sunbean*, *Procut* y *Sunbright*, y la medición agentes patógenos en el suelo. Para la evaluación de la calidad del ART, se consideraron indicadores biológicos (coliformes fecales, huevos helminto, salmonela), metales (Ar, Pb, Hg), cianuros totales, nitrógeno mineral, sólidos disueltos totales (SDT) y algunos constituyentes iónicos, tales como P, K, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>. Finalmente, los resultados arrojaron que no se detectaron patógenos (coliformes fecales, huevos de helminto y salmonella) en el suelo a dos profundidades (0-30 y 30-60 cm) y en relación al ART no se detectaron los huevos de helminto y los coliformes fecales no rebasaron los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Las cosechas cumplieron con la calidad comercial, con un rendimiento del 98% para las variedades *Procut* y *Sunbraight* y un 91% para *Sunbean*. Esto aunado a un aporte de nutrientes de 97 kg/ha de N, 19 kg/ha de P y 39 kg/ha de K (72, 8 y 100%, respectivamente) (Sistema Producto Flor, 2010). En junio del 2014, inició el riego con ART proveniente de la PTARN para riego de forraje y flores.

Finalmente, con base a la experiencia de los agricultores para mejorar la calidad del ART y suelo han adaptado las medidas siguientes: 1) ART, colocación de un equipo auxiliar (tanques de arena) previo a la descarga de los reservorios de ART para bajar las concentraciones de los sólidos suspendidos, dosificación de ácido fosfórico y ácido sulfúrico para disminuir el pH del ART y aumentar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y, análisis del ART cada 4 meses y, 2) suelo, análisis de nutrientes y salinidad en suelo en cada ciclo de cultivo con la finalidad de cuantificar los requerimientos de nutrientes, adición de yeso para mitigar los problemas de sodicidad y, utilización de ácido húmico para aumentar la CIC. La PTARN, actualmente provee 150 L/s de ART para el riego de 380 ha de flores y forraje (Gilabert-Alarcón *et al.*, 2018a; COTAS, comunicación personal, 2019).

### **3.3 Área de estudio**

El área de estudio se ubica en el ejido Rodolfo Sánchez Taboada, conocido como el valle de Maneadero 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 (Figura 2). Es una subcuenca hidrológica con una extensión de 1,975 km<sup>2</sup>, de los cuales 64 km<sup>2</sup> pertenecen a la planicie costera. El valle se encuentra delimitado al norte por una amplia terraza fluvial que lo separa de Ensenada, al sur por la falla geológica 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, 2004). El área de estudio fue la parcela 97 con una extensión de aproximadamente 20 ha. El criterio de selección de la parcela se debió a que se iba a implementar el riego con ART, por lo que permitió coleccionar el primer muestreo de suelo antes del riego con ART y con ello poder evaluar el cambio en dos años. La geología del área de estudio, corresponde a un depósito aluvial de una unidad geológica de rocas sedimentarias del cuaternario (Gastil *et al.*, 1975).



**Figura 2.** Localización del sitio de estudio, parcela 97 y los sitios de muestreo en el valle de Maneadero.

### 3.4 Materiales y Métodos

#### 3.4.1 Muestreo de suelo

Las muestras de suelo se colectaron homogenizando el sedimento de tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm) en agosto-15 (antes del riego con ART), marzo-16, marzo-17 y agosto-17. Adicionalmente, se colectaron muestras a una profundidad de 90-120 cm en agosto-15 y agosto-17. Las muestras de suelo se extrajeron con un nucleador Auger, considerando el sustrato que se encontraba ubicado entre la fila de las plantas y el surco en seis puntos equidistantes (aprox. 150 m) que cubrieron la totalidad de la parcela 97 (Figura 2). Las muestras fueron homogenizadas y guardadas en bolsas de plástico herméticamente cerradas, transportadas en una hielera y se mantuvieron en refrigeración hasta su preparación y análisis en el laboratorio. Los criterios de selección de la capa superficial de suelo para la determinación de los metales traza se debió en que estos sitios fueron los que tuvieron mayores cambios significativos en los iones mayoritarios.

### 3.4.2 Análisis de suelo

Las muestras de suelo fueron secadas a la sombra, homogenizadas y tamizadas con una malla de 2 mm. El tamaño de partícula fue analizado en el equipo HoribaLA-910 Laser Particle Size Analyzer y los datos fueron procesados con el software SysGran 3.0 por el método de Folk y Ward y se determinó la clase textural con el triángulo de texturas, se utilizó la versión electrónica de cálculo propuesto por la USDA (NRCS, 2018). El extracto de saturación de suelo se realizó con base en el método AS-16 de la NOM-021-SEMARNAT-2000. Los SDT, pH (1:2, relación suelo-agua) y la CE del extracto de saturación de suelo (CEs) fueron medidos con el equipo sonda YSI6600. El nitrógeno total (N) fue analizado con el analizador LECO CHNS-932 Elementary Chemical Analyzer. Las muestras del extracto de saturación fueron acidificadas con HCl al 5 % para eliminar carbonatos y realizar el análisis del carbono orgánico (CO) en %. Para la determinación del porcentaje de materia orgánica (MO), se multiplicó el % CO por el factor de Van Bemmelen. Para los análisis de cationes los extractos de suelo fueron filtrados con papel filtro de 0.45 µm de tamaño de poro, de la marca Milipore® y acidificados con 0.1 N grado metal traza de HNO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Los cationes (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>) fueron determinados usando el equipo Agilent 8800 ICP-MS instrument (Agilent Technologies, Japan) y los aniones (Cl<sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) fueron analizados por el cromatógrafo de iones (ICS 5000, Thermo Scientific) con un a Dionex Anion Self-Regenerating suppressor (Dionex ARS-400 4mm). Los metales traza (Al, As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V, Zn y Hg), así como el B del ART fueron analizados con ICPMS, usando materiales certificados para garantizar la veracidad de los datos. Los metales traza del de extracto de saturación de suelo también se analizaron por ICPMS. La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), se calcularon con los meq/L de los cationes (Apéndice 1) con base a las expresiones de la figura 3.

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad \text{PSI} = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}{1 + (-0.0126 + 0.01475 \text{ RAS})}$$

**Figura 3.** Expresiones para el cálculo del RAS y PSI.

Para la determinación de las diferencias significativas, se utilizó la prueba t de student para datos agrupados en Excel.

### **3.5 Resultados y discusión**

#### **3.5.1 Agua residual tratada**

La cantidad de ART para el riego agrícola varía dependiendo de la especie de flor. De acuerdo a COTAS Maneadero, actualmente se utilizan de 50-55 m<sup>3</sup>/ha por día para riego agrícola y en total se irrigan 380 ha. No obstante, se pretende aumentar la cobertura hasta 500 ha y se encuentran en pláticas con la CESPE para mejorar la calidad del agua para poder sembrar hortalizas y aumentar la cobertura hasta 1,200 ha.

Para calcular un estimado de la carga contaminante que aportó el ART durante el periodo de 2 años en el suelo, se consideró el promedio del volumen que se utiliza para riego (52.5 m<sup>3</sup>/ha) y el promedio de la concentración del ART de la tabla 1. En total el ART aportó al suelo: 8,910.56 Kg/ha de Ca<sup>2+</sup>; 3,564.23 kg/ha de Mg<sup>2+</sup>; 18,645.11 kg/ha de Na<sup>+</sup>; 6,764.36 kg/ha de CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>; 13,758.68 Kg/ha de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 43,364.74 Kg/ha de Cl<sup>-</sup>; 114.98 Kg/ha de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>N; 195.46 Kg/ha de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>P; 881.48 Kg/ha de K<sup>+</sup> y; 38.33 Kg/ha de B.

La calidad del ART para irrigación durante el periodo del 2015-2017 se analizó para determinar el cumplimiento con las guías recomendadas por la FAO (1992) y la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso agrícola (Tablas 1 y 2) (DOF, 1997). Todas las muestras de ART tienen una CE y SDT arriba de las guías de la FAO, principalmente como consecuencia de las altas concentraciones del Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup>. De acuerdo con Ayers y Westcot (1985), el ART de la PTARN se clasificó con un severo grado de restricción para riego en cultivos. Sin embargo, la concentraciones de SDT en el ART son más bajos que el agua del acuífero extraídos de la mayoría de los pozos en Maneadero (Gilabert-Alarcón *et al.*, 2018). El Cl<sup>-</sup> y Mg<sup>2+</sup> tuvieron concentraciones más altas que las recomendadas por la FAO y pueden ocasionar problemas en sistemas de riego por superficie o aspersión. Adicionalmente, las concentraciones de PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>P y K<sup>+</sup> se encontraron también por arriba de las guías de la FAO.

Las altas concentraciones de  $\text{PO}_4^{3-}\text{P}$  y  $\text{K}^+$  son comúnmente encontradas en AR (Singh *et al.*, 2012). En cuanto los metales traza, el ART se encuentra relativamente enriquecido de Al (0.33 mg/L), Fe (0.51 mg/L) y Zn (1.7 mg/L). No obstante, ninguno de los metales traza estudiados se encontraron por arriba de las regulaciones. Adicionalmente, las variables en la tabla 1, la norma mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997) considera los coliformes fecales, los cuales se encontraron significativamente por arriba del rango máximo permitido para los contaminantes patógenos (Mendoza-Espinosa y Daesslé, 2018). De los elementos traza del extracto de saturación de la superficie de suelo de los sitios 2, 5 y 6, solamente el Al, Fe y Zn (sitio 6) incrementaron significativamente entre el 2015 y 2017 (Tabla 3), alcanzando concentraciones por arriba del rango de superficies de suelo del mundo (Bradford *et al.*, 1971; Kabatas-Pendias, 2010). Estos autores argumentan que el exceso de Al en plantas puede inducir a la deficiencia de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , además de que las altas concentraciones de Fe son asociadas con la salinidad y bajas concentraciones de fosfatos.

**Tabla 1.** Calidad del ART en Maneadero comparado con las guías de riego agrícola.

Parámetros		Unidades	FAO	ART <sup>1</sup>
Conductividad Eléctrica	CE	dS/m	0 - 3	3.98 - 4.89
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/L	0 - 2,000	2,691 - 3,663
Calcio	$\text{Ca}^{2+}$	mg/L	0 - 400	210 - 255
Magnesio	$\text{Mg}^{2+}$	mg/L	0 - 60	84 - 102
Sodio	$\text{Na}^+$	mg/L	0 - 920	437 - 536
Carbonato	$\text{CO}_3^{2-}$	mg/L	0 - 150	133 - 220
Bicarbonato	$\text{HCO}_3^-$	mg/L	0 - 610	270 - 448
Cloro	$\text{Cl}^-$	mg/L	0 - 1,065	981 - 1,282
Sulfato	$\text{SO}_4^{2-}$	mg/L	0 - 960	217 - 296
Nitrato-Nitrógeno	$\text{NO}_3^- \text{N}$	mg/L	0 - 10	3.0
Fosfato-Fosforo	$\text{PO}_4^{3-}\text{P}$	mg/L	0 - 2	5.1
Potasio	$\text{K}^+$	mg/L	0 - 2	21 - 25
Boro	B	mg/L	0 - 2	0.9 - 1.1
Acido/Básico	pH		6.0 - 8.5	6.8 - 7.6
Relación de Adsorción de Sodio	RAS		0 - 15	6.0 - 8.0
<sup>2</sup> Coliformes Fecales		NMP/100 mL	1,000	2 - 50*

<sup>1</sup>Datos de Gilabert-Alarcón *et al.* (2018b). <sup>2</sup>Datos de Mendoza-Espinosa & Daesslé (2018).

\*En ocasiones los coliformes fecales fueron >1,600 y 160,000 NMP/100 mL; La NOM-001-SEMARNAT-1996 Indica el máximo de contaminantes patógenos.

**Tabla 2.** Concentración de elementos traza en ART comparado con las regulaciones internacionales y nacional.

Elemento	FAO (mg/L)	NOM-001-SEMARNAT-1996 (mg/L)		ART (mg/L)
		Diario	Mensual	
Al	5.0			0.05 - 0.33
As	0.1	0.2	0.4	0.001 - 0.002
Be	0.1			< 0.002
Cd	0.01	0.05	0.1	0.001 - 0.003
Co	0.05			0.004 - 0.007
Cr	0.1	0.5	1.0	0.001 - 0.002
Cu	0.2	4.0	6.0	0.008 - 0.013
Fe	5.0			0.08 - 0.51
Li	2.5			0.052 - 0.19
Mn	0.2			0.113 - 0.143
Mo	0.01			0.007 - 0.008
Ni	0.2	2.0	4.0	0.003 - 0.006
Pb	5.0	5.0	10.0	0.001 - 0.004
Se	0.02			0.004 - 0.06
V	0.1			0.001 - 0.003
Zn	2.0	10.0	20.0	0.86 - 1.74
Hg		0.005	0.01	0.0004 - 0.0007

**Tabla 3.** Concentración de elementos traza en el extracto de saturación de suelo de la superficie de tres perfiles (0-30 cm) en 2015 y 2017, comparado con la concentración promedio de diferentes tipos de superficies en el mundo.

Elemento	Promedio de la superficie del suelo en el mundo (mg/L)	Suelo 2015 a 0-30 cm sitio			Suelo 2017 a 0-30 cm sitio		
		2	5	6	2	5	6
<sup>1</sup> Al	0.4 <sup>1</sup>	0.149	0.169	0.338	0.705	1.45	1.18
As	4.4-9.3	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005
Be	-	< 0.001	< 0.0004	< 0.0007	< 0.0004	< 0.0004	< 0.0006
Cd	0.37-0.78	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Co	4.5-12	0.014	0.011	0.013	0.004	0.004	0.007
Cr	12-83	< 0.006	< 0.002	< 0.003	0.0024	0.0024	< 0.003
Cu	13-24	0.065	0.036	0.070	0.028	0.027	0.034
<sup>2</sup> Fe	0.030-0.550	0.34	0.21	0.42	0.56	1.15	0.99
Li	1.3-56	0.014	0.006	0.009	0.008	0.008	0.012
Mn	270-525	0.396	2.08	1.41	0.0375	0.0648	0.0557
Mo	1.3-2.8	0.060	0.100	0.104	0.033	0.018	0.027
Ni	13-34 <sup>2</sup>	0.019	0.011	0.023	0.023	0.011	0.020
Pb	22-44 <sup>2</sup>	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
Se	0.25-0.38	0.005	0.004	0.006	0.004	0.004	0.005
V	18-115	0.0103	0.0129	0.0154	0.0175	0.0162	0.0159
Zn	45-100	2.16	0.496	0.852	0.521	0.678	1.51
Hg	0.05-0.26	< 0.002	< 0.0007	< 0.001	< 0.0009	< 0.0008	< 0.001

<sup>1</sup> Concentraciones de Al en el extracto de saturación de suelo Bradford *et al.* (1971); <sup>2</sup> Concentración de Fe en solución con niveles comunes de pH (Kabata-Pendias 2010); Los concentraciones de los demás elementos se expresan en concentraciones totales (Kabata-Pendias 2010).

De acuerdo a los requerimientos para la calidad del agua para sistemas de riego por goteo de Nakayama (1982) el ART usada en Maneadero puede representar un severo riesgo químico de taponamiento basado en las concentraciones de SDT, y un riesgo de ligero a moderado considerando las concentraciones de Fe y Mn, y un grado de restricción severo basado en la concentración de los sólidos suspendidos totales reportados por Mendoza-Espinosa y Daesslé (2018). Aunque el riesgo de taponamiento físico y biológico es despreciable, las altas concentraciones de bacterias en el ART pueden representar un riesgo de taponamiento debido a las inconsistencias en el tratamiento del ART de la PTARN, como también una amenaza potencial de riesgo a la salud de los trabajadores y la calidad de suelo/cultivo (Mendoza-Espinosa y Daesslé 2018). Los agricultores en Maneadero han tomado medidas preventivas para mejorar la calidad del ART, suelo y cultivos: 1) Instalación de equipo auxiliar (filtros de arenas) para disminuir los sólidos suspendidos y, 2) dosificación de ácido fosfórico y ácido sulfúrico para reducir el pH, alcalinidad y además que contribuyen

como fuente de nutrientes. A pesar de estas acciones, hay problemas de taponamiento en el sistema de irrigación de riego por goteo (mantenimiento cada 2-3 días) y taponamiento en el suelo por la reducción de la conductividad hidráulica.

### 3.6.1 Suelo

### 3.6.2 Textura

La textura de suelo de los perfiles de suelo de los seis sitios, el tamaño de partícula tiende a ser más grueso a mayor profundidad (Tabla 4).

**Tabla 4.** Textura del suelo

Sitio	Prof. (cm)	Arena (%)				Limo (%)				Arcilla (%)			
		Ago-15	Mar-16	Mar-17	Ago-17	Ago-15	Mar-16	Mar-17	Ago-17	Ago-15	Mar-16	Mar-17	Ago-17
1	0-30	54.17	62.43	56.35	54.37	45.16	36.98	42.91	44.64	0.674	0.592	0.747	0.992
	30-60	63.99	61.69	59.65	63.85	35.26	37.56	39.47	35.21	0.756	0.746	0.883	0.932
	60-90	67.58	67.09	73.57	64.57	31.77	32.06	25.85	34.5	0.652	0.847	0.574	0.923
	90-120	65.7			75.15	33.66			24.28	0.636			0.566
2	0-30	28.14	54.12	45.57	37.36	70.32	44.85	52.89	61.22	1.534	1.037	1.545	1.417
	30-60	30.47	41.65	44.41	42.9	68.25	56.96	54.19	55.73	1.28	1.384	1.4	1.37
	60-90	45.34	59.68	52.3	66.69	53.88	39.37	46.68	32.65	0.784	0.952	1.016	0.659
	90-120	49.97			67.28	49.06			31.76	0.967			0.955
3	0-30	26.12	39.79	42.1	43.88	73.03	58.59	56.47	54.77	0.851	1.622	1.43	1.345
	30-60	30.71	47.09	44.48	53.06	68.34	51.88	54.03	45.95	0.957	1.037	1.488	0.995
	60-90	65.78	56.5	61.42	71.57	33.89	42.72	37.79	27.8	0.329	0.785	0.789	0.623
	90-120	49.83			52.96	49.2			45.94	0.967			1.101
4	0-30	37.84	43.1	46.37	41.29	61.27	55.67	52.09	57.51	0.892	1.236	1.54	1.201
	30-60	35.44	49.01	48.46	45.25	63.53	49.71	50.09	53.32	1.028	1.279	1.447	1.433
	60-90	29.32	46.65	46.66	43.48	69.22	51.8	51.84	54.59	1.462	1.552	1.505	1.927
	90-120	42.22			57.54	56.31			41.28	1.467			1.183
5	0-30	29.09	40.3	41.98	42.99	69.95	58.35	56.43	55.63	0.962	1.351	1.595	1.386
	30-60	28.65	52.39	49.35	49.54	69.84	46.35	49.22	49.13	1.51	1.257	1.433	1.336
	60-90	34.13	54.17	58.61	52.61	64.25	44.75	40.33	45.99	1.624	1.078	1.064	1.396
	90-120	41			57.29	57.98			41.38	1.021			1.33
6	0-30	25.42	39.69	38.58	39.26	73.25	59.05	60.01	59.51	1.322	1.261	1.417	1.225
	30-60	30.01	47.58	40.45	43.8	68.56	51.26	57.85	54.69	1.465	1.162	1.707	1.514
	60-90	36.05	58.15	69.41	66.33	62.57	41	29.89	32.96	1.379	0.85	0.704	0.709
	90-120	38.74			60.1	60.44			39.03	0.825			0.874

El suelo tiene muy baja capacidad de intercambio catiónico debido al bajo contenido de arcillas (Tabla 4). En la tabla 4, se observa que los porcentajes de la composición de suelos

del sitio 1, fueron los más consistentes durante el estudio. Los sitios comprendidos del 2 al 6, las muestras de agosto-15 no fueron consistentes con los estudios posteriores, posiblemente esta variación se deba por la homogenización por laboreo de diferentes depósitos aluviales más gruesos. A decir de los agricultores, el arado en suelo lo realizan a una profundidad de 50 cm y el discado a 30 cm. El laboreo del suelo al romper los agregados del suelo modifican su tamaño afectando la estructura del suelo, en consecuencia se afecta la infiltración del suelo, aumenta la densidad aparente por la reorganización de agregados individuales en el sistema de poros entre agregados existentes, genera una homogeneización completa, rompe la capa de suelo de alta densidad, mejora la infiltración y movimiento del agua en el suelo, mejora el crecimiento y desarrollo de la raíz y aumenta el potencial de producción de cultivos (USDA, 2008; Horn *et al.*, 1994; Bennie y Botha, 1986). Estudios de Ben-Hur *et al.* (2009) demostraron experimentalmente que los suelos franco-arenosos bajo condiciones salinas ( $CE = 5 \text{ dS/m}$ ) permitieron la movilidad de las partículas hacia abajo sin que estas ocasionaran un taponamiento significativo en los poros, aunado de un aumento del PSI y la disminución del electrolito en la solución de suelo durante el lixiviado de suelo.

En la tabla 5, se observa la clase textural de suelo: Los sitios 1 y 4, se mantuvieron sin cambios en todo el perfil durante el periodo de estudio, el sitio 1 se clasificó franco-arenoso y el sitio 4 franco-limoso (excepto profundidad 90-120 cm que cambió de franco-limoso a franco-arenoso); el sitio 2, las profundidades de 0-30 y 30-60 cm al inicio (agosto-15) y fin (agosto-17) se clasificaron franco-limoso, la profundidad de 60-90 cm cambió de franco-limoso a franco arenoso y la de 90-120 cm se mantuvo en franco-arenoso; el sitio 3, la capa superficial de 0- 30 cm no tuvo cambios y se clasificó franco-limoso, la profundidad de 30-60 cm cambió de franco-limoso a franco-arenoso y las profundidades de 60-90 y 90-120 cm se mantuvo sin cambios (franco-arenoso) con respecto al inicio y fin del estudio; el sitio 5, al inicio del estudio (agosto-15) el perfil se clasificó franco-limoso y al final (agosto-17) cambió la clasificación a franco-arenoso para las profundidades 30-60, 60-90, 90-120 cm; el sitio 6, el perfil se clasificó franco-limoso al inicio del estudio (agosto-16) y cambió a franco-arenoso solamente en las profundidades 60-90 y 90-120 cm al final del estudio (agosto-17).

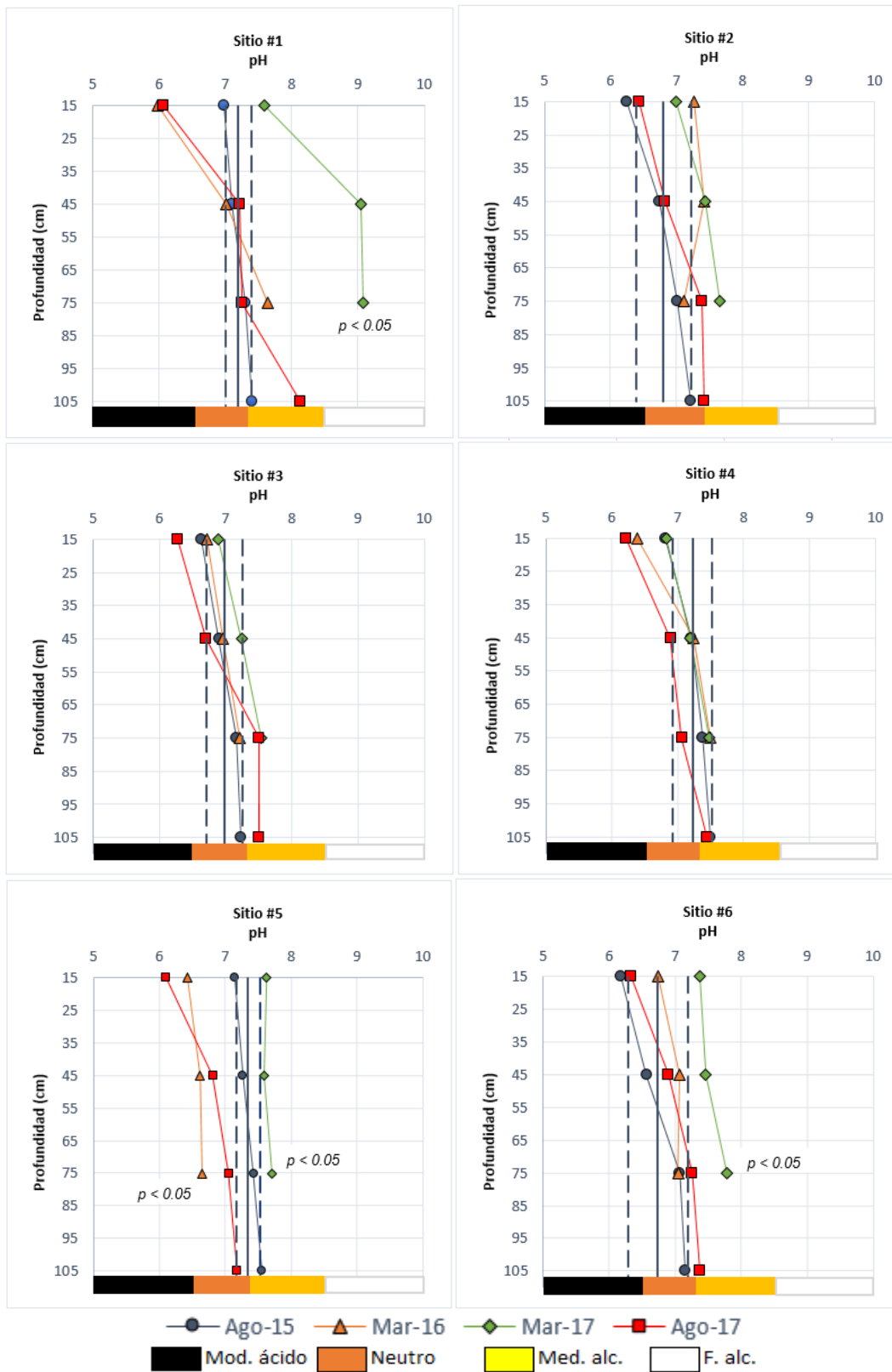
**Tabla 5. Clase textural de suelo**

Sitio	Prof. (cm)	Ago-15	Mar-16	Mar-17	Ago-17
1	0-30	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
	30-60	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
	60-90	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
	90-120	Franco-arenoso			Franco-arenoso
2	0-30	Franco-limoso	Franco-arenoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	30-60	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	60-90	Franco-limoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
	90-120	Franco-arenoso			Franco-arenoso
3	0-30	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	30-60	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-arenoso
	60-90	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
	90-120	Franco-arenoso			Franco-arenoso
4	0-30	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	30-60	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	60-90	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	90-120	Franco-limoso			Franco-arenoso
5	0-30	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	30-60	Franco-limoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
	60-90	Franco-limoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
	90-120	Franco-limoso			Franco-arenoso
6	0-30	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	30-60	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso	Franco-limoso
	60-90	Franco-limoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso	Franco-arenoso
	90-120	Franco-limoso			Franco-arenoso

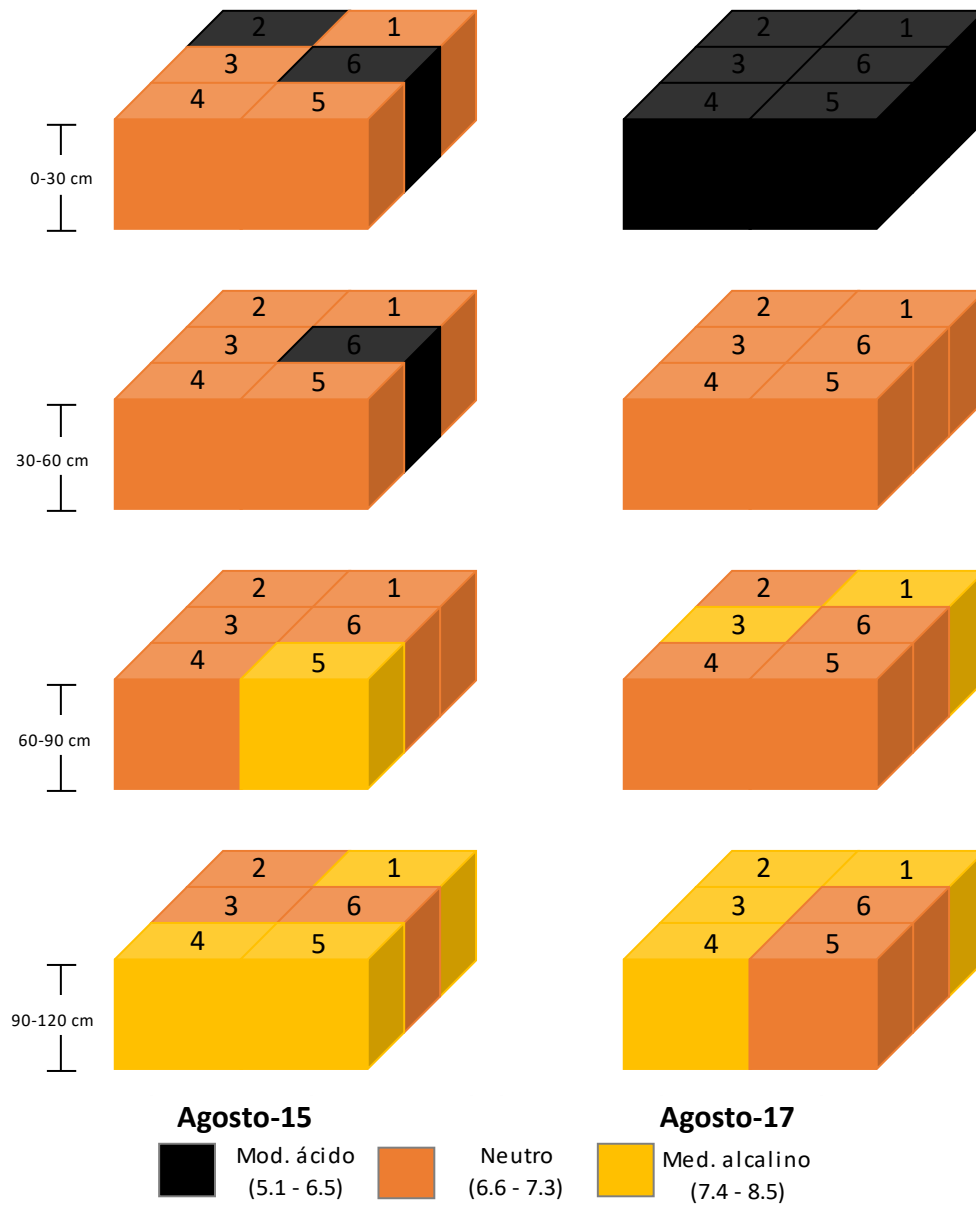
### 3.6.3 pH

Con base en la clasificación de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002) y el promedio de los perfiles (Apéndice 1), al inicio y al fin del estudio los perfiles oscilaron de moderadamente ácido a neutros (Figura 4a). El pH tiende a ser más alcalino a mayor profundidad para todos los perfiles de suelo de los sitios (Figura 4a). Al final del estudio no hubo cambios significativos en el pH de los perfiles con respecto a los perfiles medidos antes del reúso de ART (agosto-15), la concentración de pH disminuyó principalmente para los perfiles 4 y 5 y aumentaron ligeramente los perfiles 2 y 6, probablemente el aumento de acidez de los perfiles 4 y 5 se deba por el aumento del % MO (ver figura 15b) por el uso ácido húmico o compuestos nitrogenados (Pettit, 2004). El perfil más ácido fue en marzo-17 del sitio 5 con cambios significativos ( $P < 0.05$ ) y los perfiles más básicos fueron en marzo-16 de los sitios 1, 5 y 6 con cambios significativos ( $P < 0.05$ ). La profundidad superficial (0-30 cm) al inicio del estudio se clasificó neutro para los sitios 1, 3, 4 y 5 y moderadamente ácido

para los sitios 2 y 6 y al final del estudio todos los sitios se clasificaron moderadamente ácidos. La profundidad de 30-60 cm se clasificó neutro para todos los sitios al inicio y fin del estudio. La profundidad 60-90 cm en los sitios 1, 2, 4 y 6 tuvieron la clasificación de neutro al inicio y fin del estudio, el sitio 3 aumentó su pH y cambió de neutro a medianamente alcalino y el sitio 5 disminuyó el pH cambiando de medianamente alcalino a neutro. Finalmente, la profundidad de 90-120 cm se clasificó al inicio y fin del estudio de medianamente alcalino para los sitios 1 y 4, los sitios 2 y 3 aumentaron su alcalinidad cambiando de neutro a moderadamente alcalino, el sitio 5 cambió de medianamente alcalino a neutro y el sitio 6 se mantuvo en neutro (Figura 4b). La profundidad superficial tuvo una tendencia a la acidez, probablemente por la adición de ácido húmico o compuestos nitrogenados (como se mencionó anteriormente) y a la dosificación de ácido sulfúrico y fosfórico en el ART para aumentar su acidez. Al final del periodo, la en la capa superficial de todos los sitios tuvo un rango de pH de 6.1-6.4, que es favorable para el crecimiento de las plantas y de mayor disponibilidad de nutrientes del suelo, además en marzo-16 y marzo-17 se tuvieron valores de pH que favorecen la actividad microbiana y aumenta la disponibilidad de nitrógeno, sulfuro y fósforo en suelo (USDA, 1998).



**Figura 4a.** Cambio del pH en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



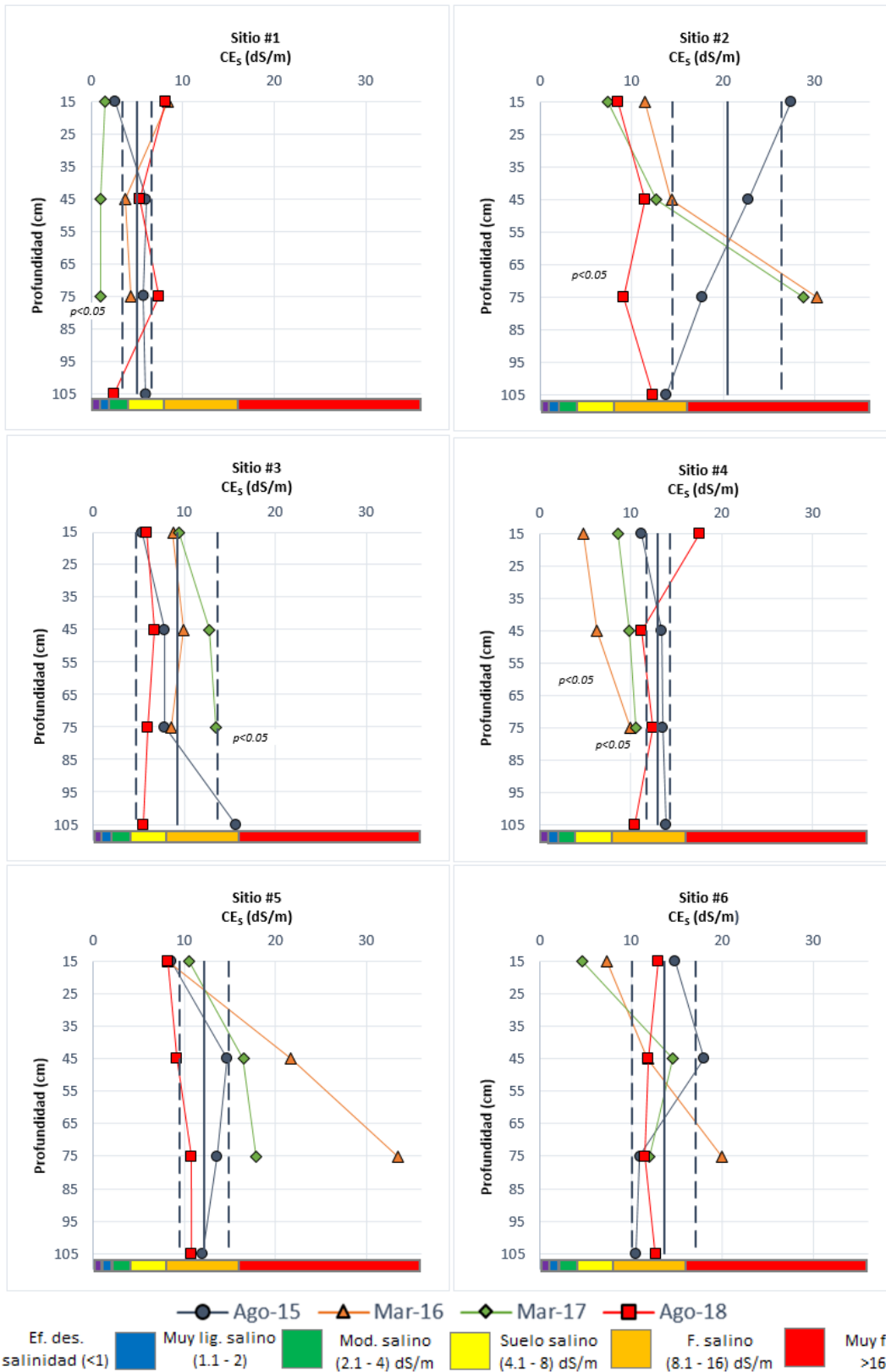
**Figura 4b.** Clasificación del pH del suelo del 2015-2017.

### 3.6.4 Salinidad y sodicidad

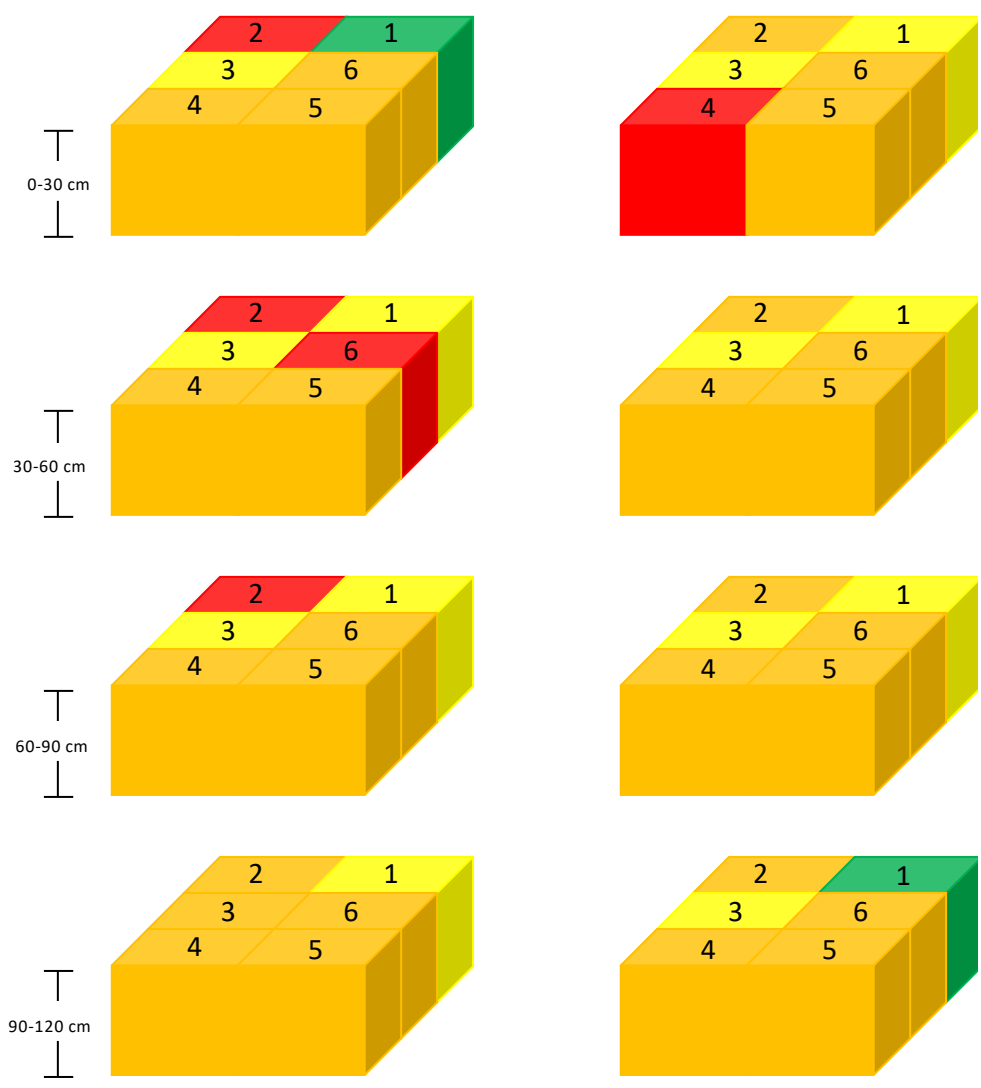
Con respecto a la  $CE_s$  (Figuras 5a y 5b), en lo general, disminuyó la salinidad de los perfiles al termino el estudio. Al final del estudio la salinidad fue menor en los perfiles de los sitios comprendidos del 2 al 6 y aumentó en el sitio 1. Las clasificaciones de salinidad en suelo de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 (DOF, 2002) y la media de los perfiles fueron: el perfil del sitio 1 se clasificó como suelo salino al inicio y al final del estudio; el perfil 2 cambió de muy fuertemente salino a fuertemente salino con cambios significativos ( $P < 0.05$ , agosto-17) por la disminución de la salinidad; el perfil 3 cambió de fuertemente salino a suelo salino por la disminución de la salinidad y; los perfiles 4, 5 y 6 se mantuvieron en fuertemente salinos. El perfil con más baja salinidad fue en marzo-17 del sitio 1 ( $P < 0.05$ ), principalmente por el lixiviado de los cationes  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$  y el anión  $SO_4^{2-}$  y los perfiles más salinos fueron en de agosto-15 del sitio 2 debido a altas concentraciones de  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Cl^-$  y en marzo-16 del sitio 5 por la acumulación de  $Ca^{2+}$  y  $Cl^-$  (Apéndice 1). En cuanto la clasificación de la salinidad de capa superficial (0-30 cm) al inicio y fin del estudio fueron: moderadamente salino a suelo salino para el sitio 1; muy fuertemente salino a fuertemente salino para el sitio 2 ( $P < 0.05$ ); fuertemente salino a muy fuertemente salino para el sitio 3; fuertemente salino a muy fuertemente salino y; los sitios 5 y 6 se clasificaron como fuertemente salino (Figura 5a). Cabe destacar que esta profundidad es la zona radicular de las flores. Todas las profundidades tendieron a disminuir la concentración de su salinidad.

En relación al RAS y el PSI, al final del estudio, solamente el perfil del sitio 1 aumentó con cambios significativos ( $P < 0.05$ ) y los perfiles comprendidos del 3 al 6 disminuyeron con cambios significativos ( $P < 0.05$ ) (Figuras 6a, 6b, 7a y 7b). Con base a la clasificación de la US Salinity Laboratory staff (1954) y media de los perfiles, se clasificaron como suelo sódico: al inicio del estudio solamente el perfil de agosto-15 del sitio 2; los perfiles de marzo-16 de los sitios 1 ( $P < 0.05$ ), 2 y 6; los perfiles de marzo-17 de los sitios del 1 ( $P < 0.05$ ) al 3 ( $P < 0.05$ ), 5 ( $P < 0.05$ ) y 6 ( $P < 0.05$ ) y; el perfil de agosto-17 del sitio 2. En cuanto la clasificación según su profundidad con respecto al inicio y fin del estudio, se clasificó para la profundidad de 0-30 cm como salino - no sódico en todos los sitios. La profundidad de 30-60 cm se clasificó como salino - sódico para los sitios 1 y 2 y salino - no sódico para los sitios 3, 4, 5 y 6. La

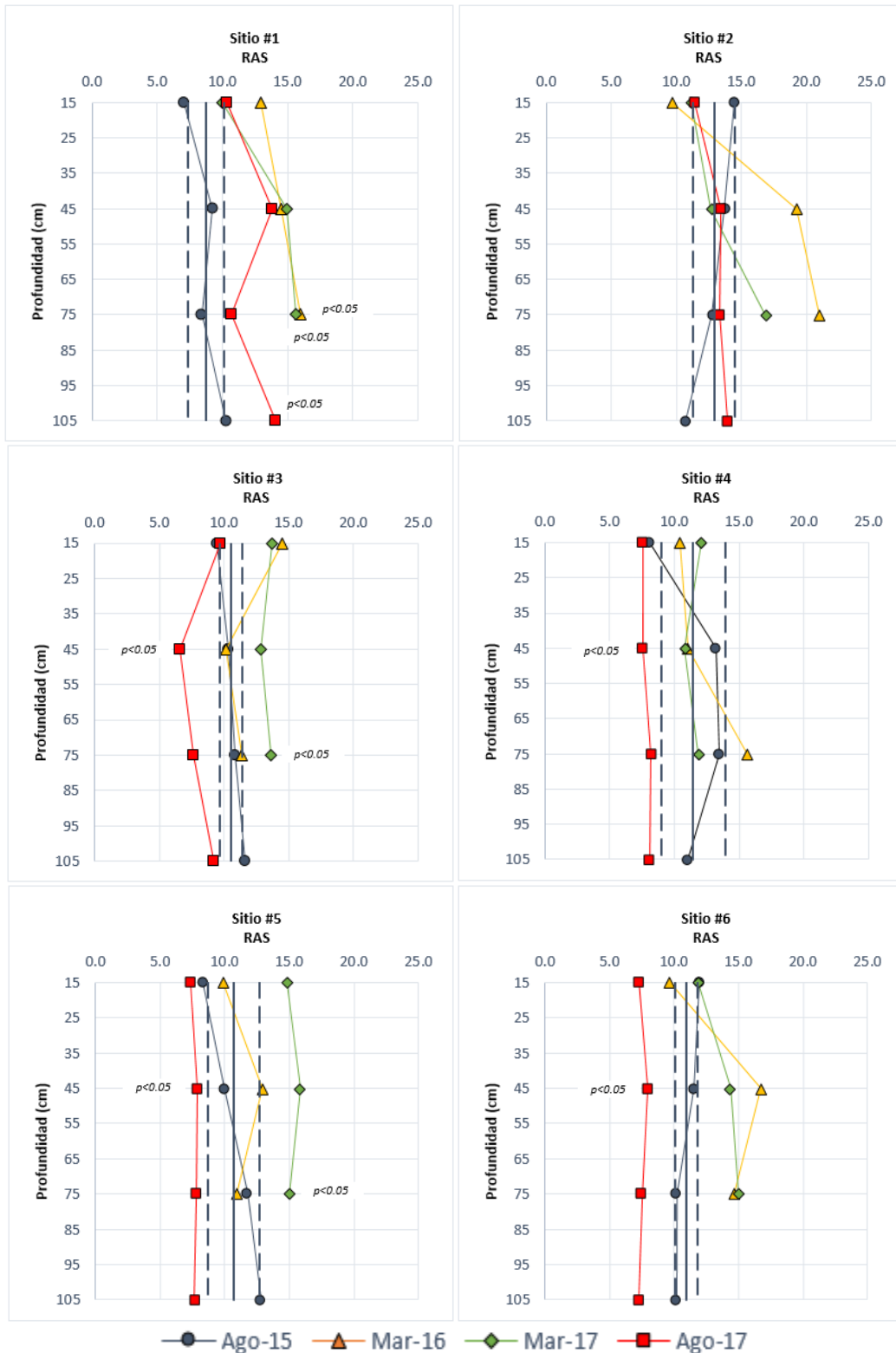
profundidad de 60-90 cm se clasificó como salino - no sódico para los sitios 1, 3, 4, 5 y 6 y salino - sódico para el sitio 2 y la última profundidad (90-120 cm), el sitio 1 se clasificó como no salino - sódico, el sitio 2 salino- sódico y los sitios 3, 4, 5 y 6 como salino - no sódico.



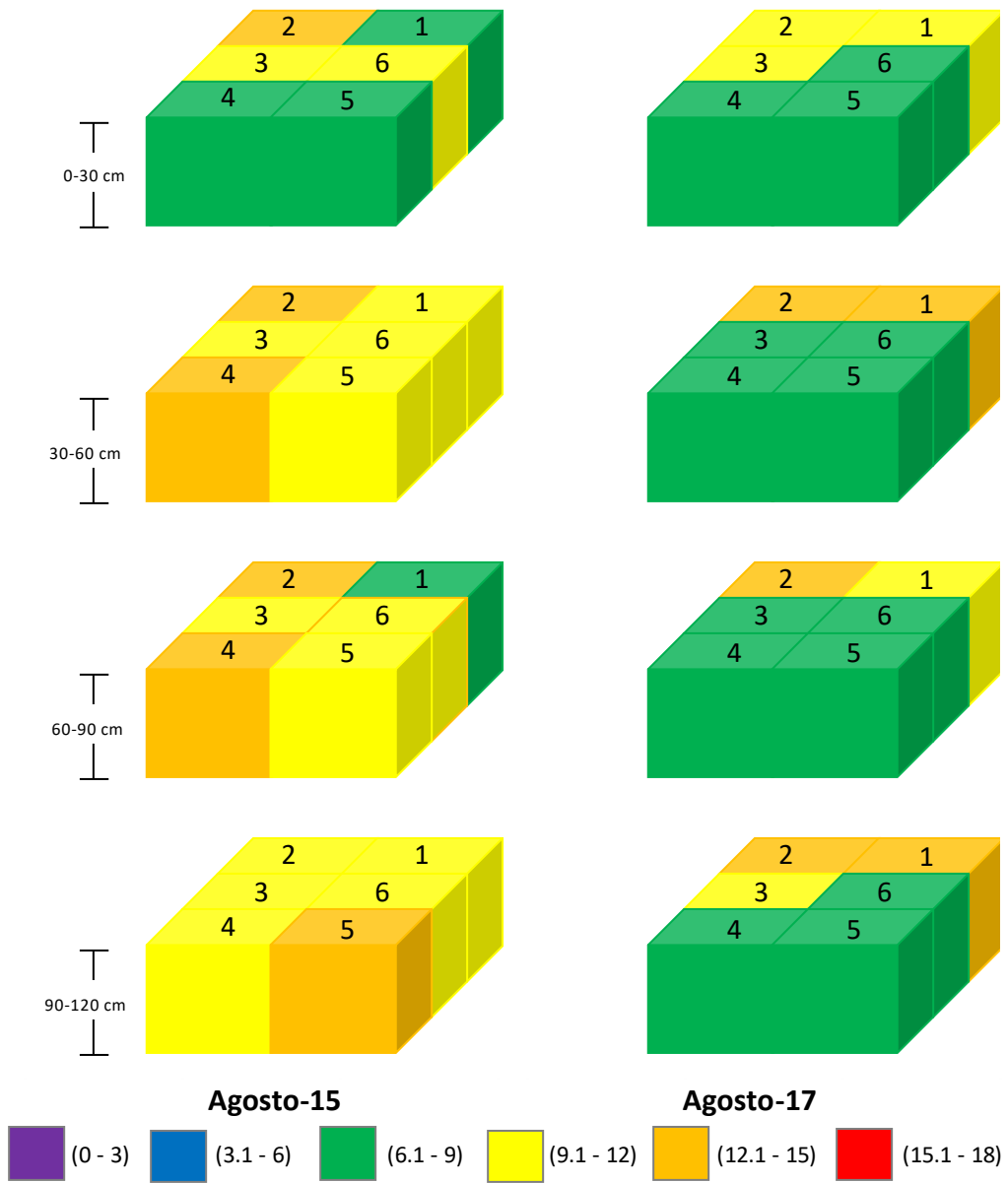
**Figura 5a.** Cambio de la CE<sub>5</sub> en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



**Figura 5b.** Clasificación de la salinidad del suelo del 2015-2017.



**Figura 6a.** Cambio del RAS en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



**Figura 6b.** Cambio del RAS del suelo del 2015-2017.

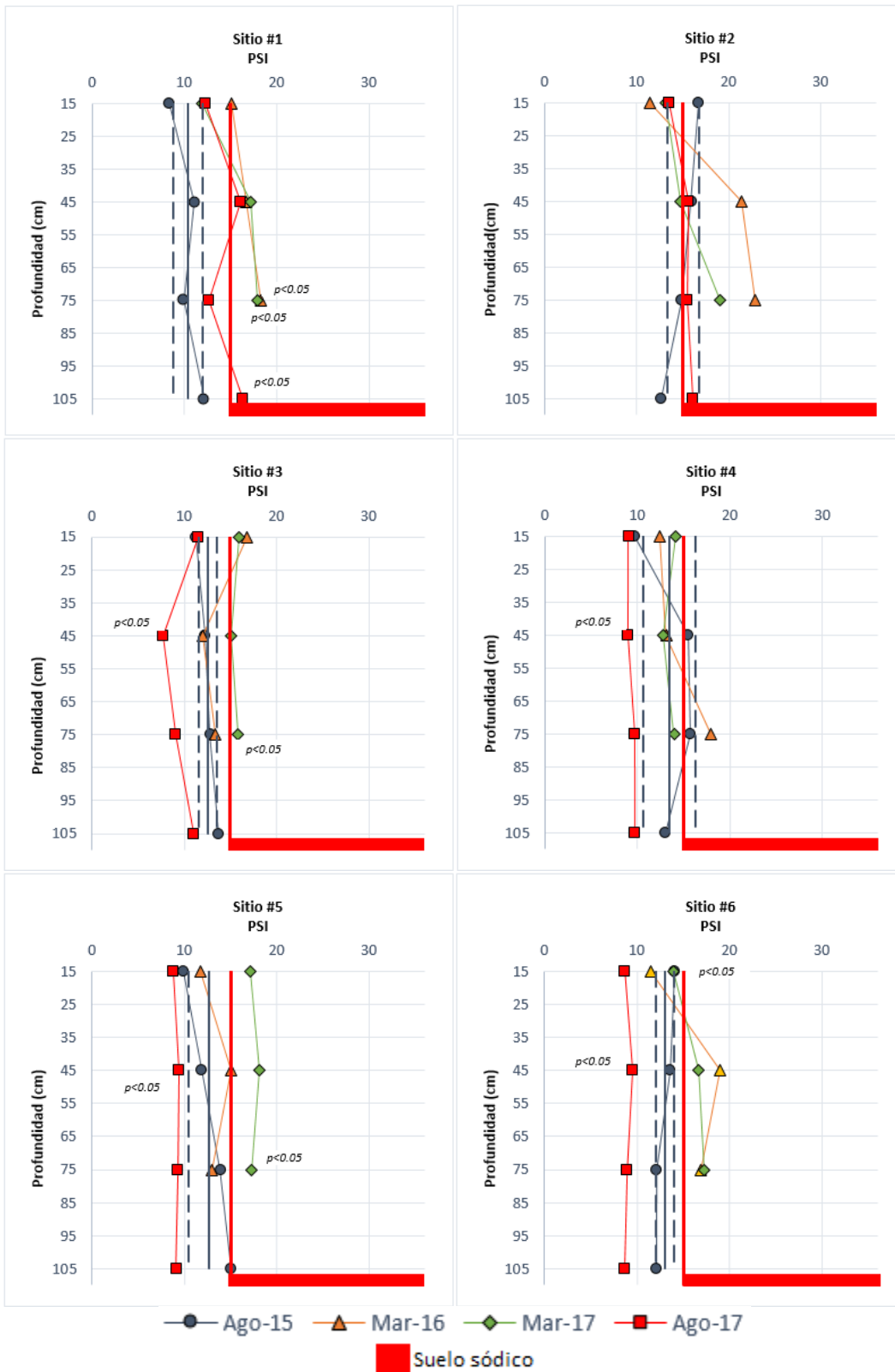
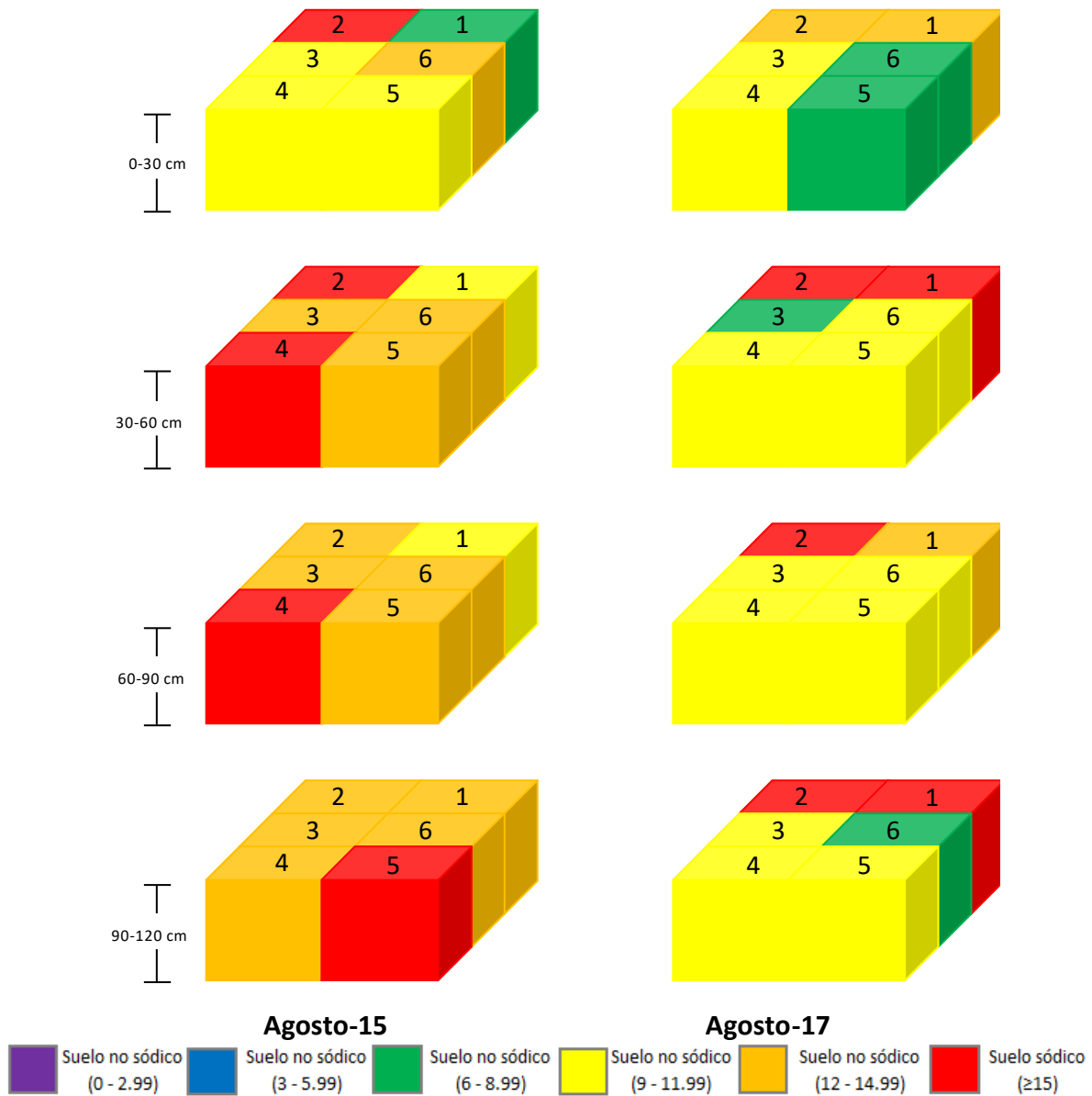


Figura 7a. Cambio del PSI en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



**Figura 7b.** Clasificación del PSI del suelo del 2015-2017.

### 3.6.5 Cationes

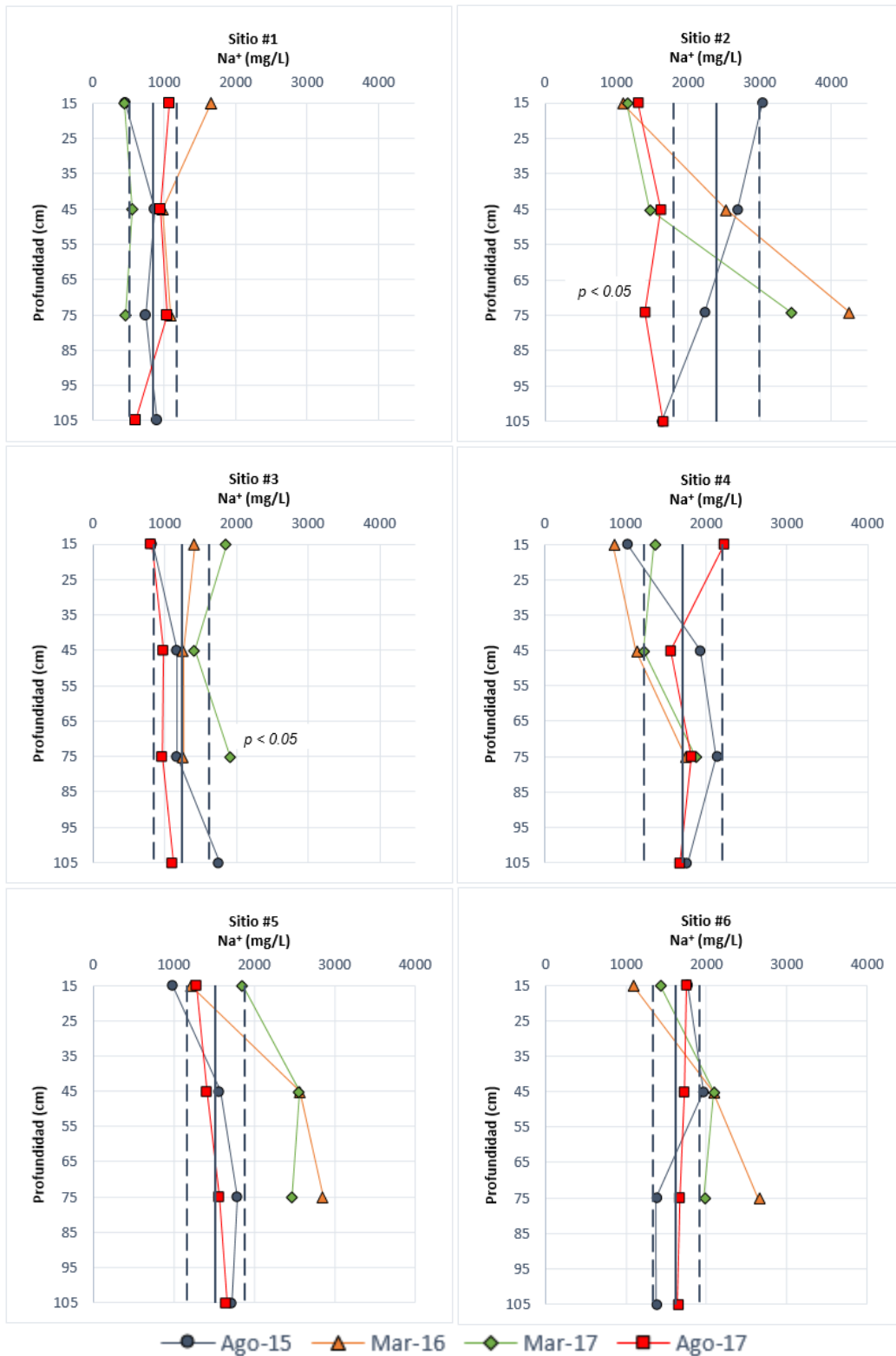
Con base en la media de los perfiles de  $\text{Na}^+$  al final del estudio (Figura 8a), los perfiles 1, 4 y 6 aumentaron su concentración y los perfiles 2 ( $p < 0.05$ ), 3 y 5 disminuyeron. El perfil de agosto-15 del sitio 2 tuvo la concentración más alta y el de menor concentración fue en marzo-17 del sitio 1. En cuanto a profundidad, la profundidad de 0-30 cm tuvo variaciones en la mayoría de los sitios de alrededor de 1,000 mg/L (excepto el sitio 2) y sus

profundidades comprendidas de 30-120 cm, en lo general tendieron a disminuir sus concentraciones al final del periodo (Figura 8b).

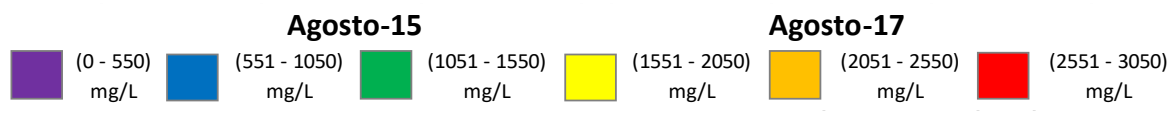
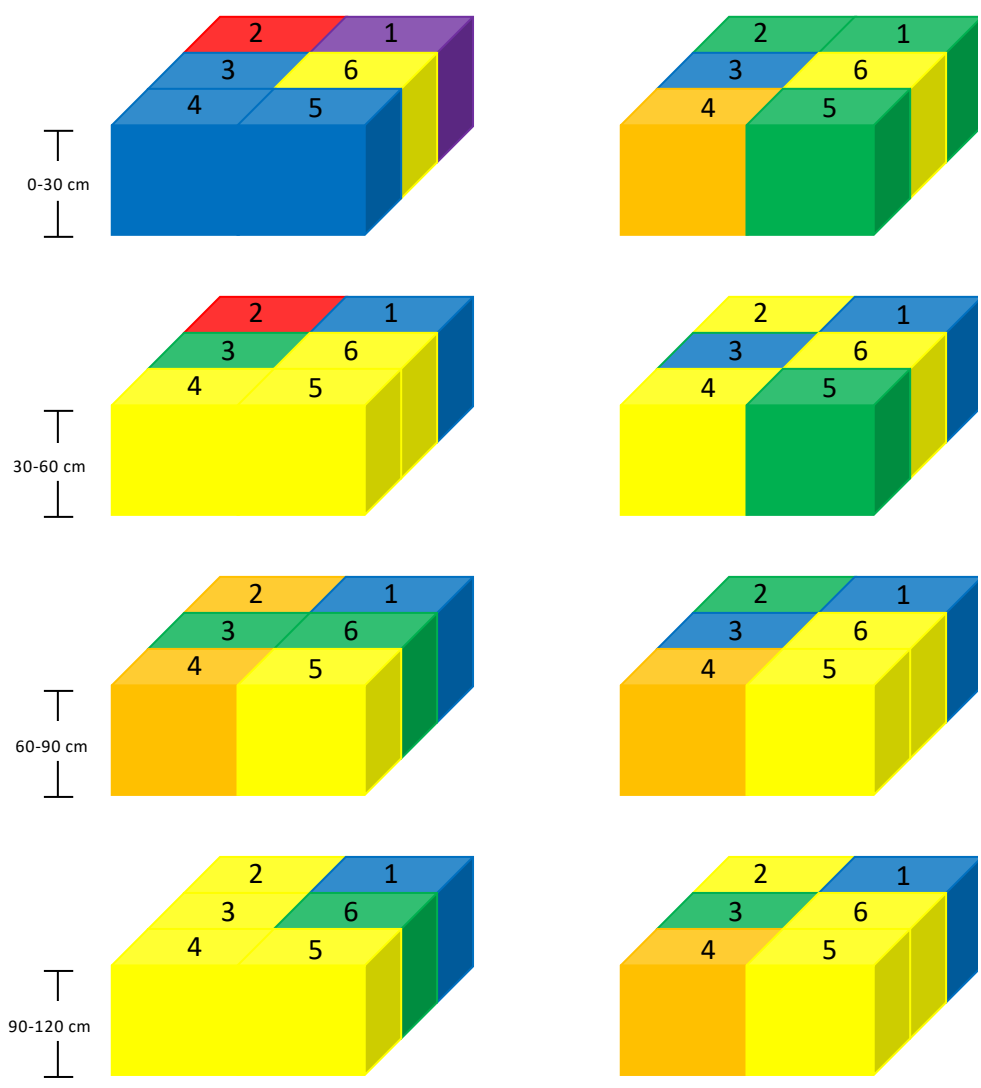
Las concentraciones de  $\text{Ca}^{2+}$  de la media de los perfiles al final del periodo, aumentaron ligeramente en el sitio 1, casi 2 veces en el sitio 3 y alrededor de 4 veces los sitios 4, 5 y 6, estos últimos con cambios significativos ( $p < 0.05$ ) (Figuras 9a y 9b). Esto probablemente fue ocasionado por la adición de yeso ( $\text{CaSO}_4$ ) como mejorador de suelo para reducir el PSI dado por la alta concentración de  $\text{Na}^+$  (Halliwell *et al.*, 2001). El uso de yeso es comúnmente utilizado por los agricultores de Maneadero para corregir los problemas de salinidad. La sustitución del  $\text{Na}^+$  por el  $\text{Ca}^{2+}$  adsorbido probablemente resultó en el lixiviado del  $\text{Na}^+$  debido al orden de floculación de  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+$  aunado a una mayor retención del  $\text{Ca}^{2+}$  en el suelo ocasionada por su valencia y la interacción con la carga negativa del ácido húmico añadido (Rengansamy, 2006).

Las concentraciones de la media de  $\text{Mg}^{2+}$  en los perfiles, mantuvieron una tendencia a disminuir durante el estudio a pesar de las altas concentraciones de éste elemento en el ART con cambios significativos ( $p < 0.05$ ) en los perfiles 2 y 5 al final del estudio (Figuras 10a y 10b). Algo similar en cuanto a las profundidades, excepto en la profundidad superficial (0-30 cm) de los sitios 1 y 4. La lixiviación de  $\text{Mg}^{2+}$ , probablemente se debió a la competencia con el  $\text{Ca}^{2+}$  y a la textura del suelo. Se debe seguir monitoreando este elemento, debido a que la deficiencia de  $\text{Mg}^{2+}$  en suelo, puede ocasionar problemas de clorosis intervenal en hojas y la reducción de crecimiento en plantas (Cakmak y Yazici, 2010).

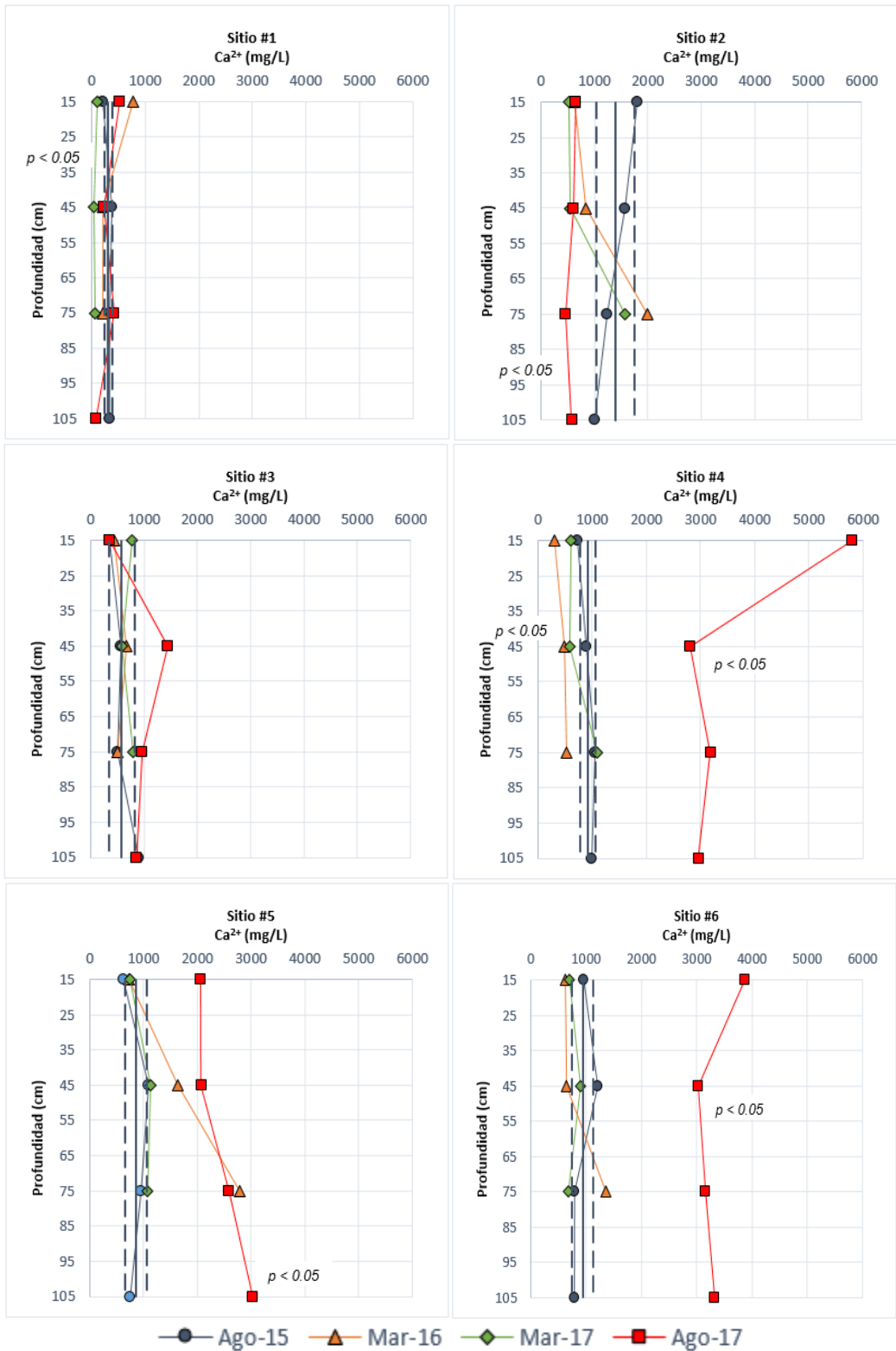
Las concentraciones de la media del  $\text{K}^+$  de los perfiles disminuyeron a partir de la profundidad 30 en todos los sitios al final del estudio (Figuras 11a y 11b). En la superficie, solamente aumentaron sus concentraciones los sitios 1, 4 y 6. El cambio de las concentraciones de K es difícil de evaluar en como el ART contribuyó al enriquecimiento del  $\text{K}^+$ , debido a que la parcela se subdivide para diferentes cultivos con sus respectivos ciclos de siembra. Cada área subdividida, tiene diferentes aportes de fertilizantes (incluyendo el  $\text{K}^+$ ) en función de los requerimientos de la especie y necesidades de nutrientes según el análisis de suelo.



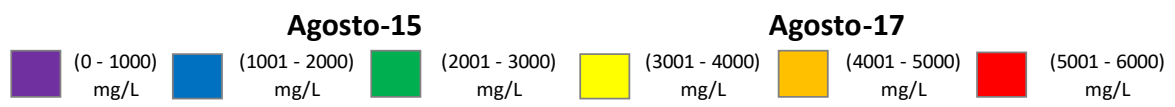
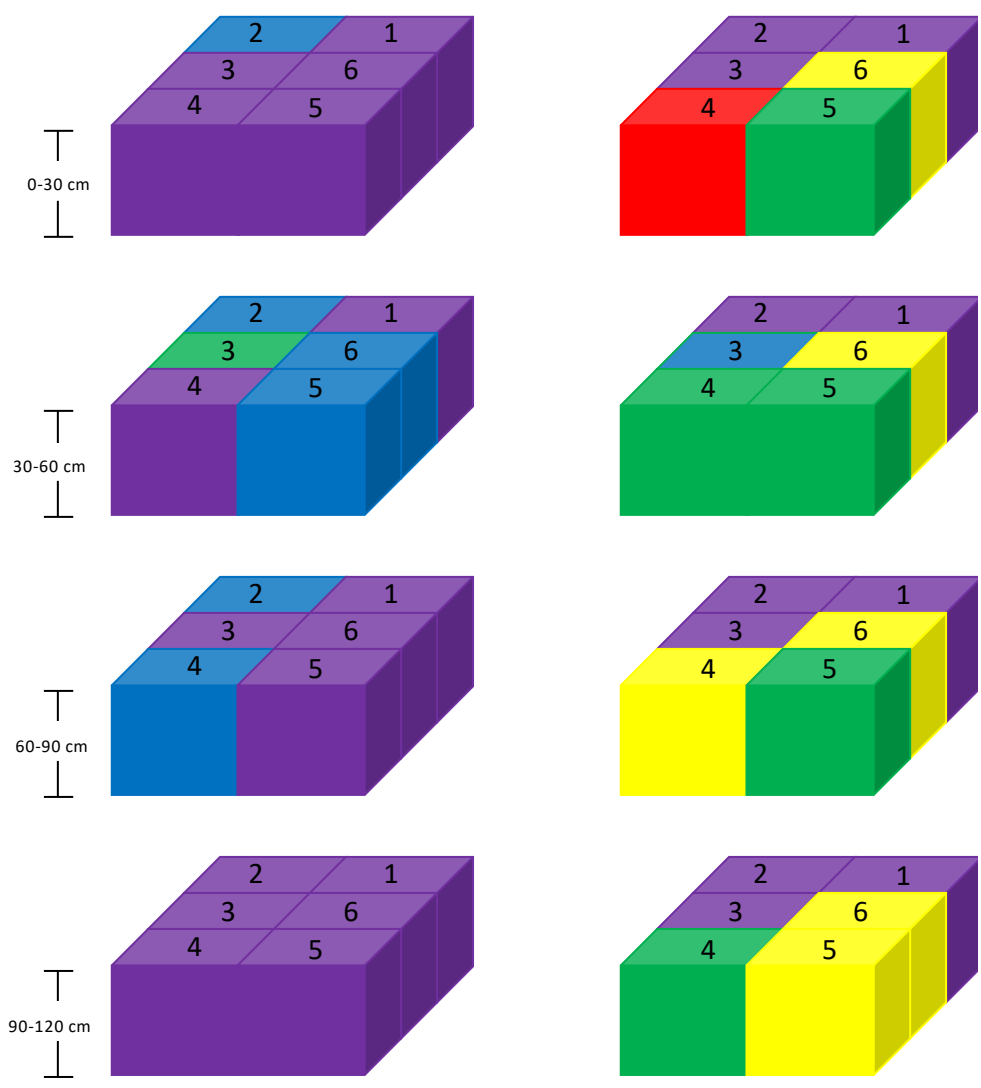
**Figura 8a.** Cambio del Na<sup>+</sup> en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



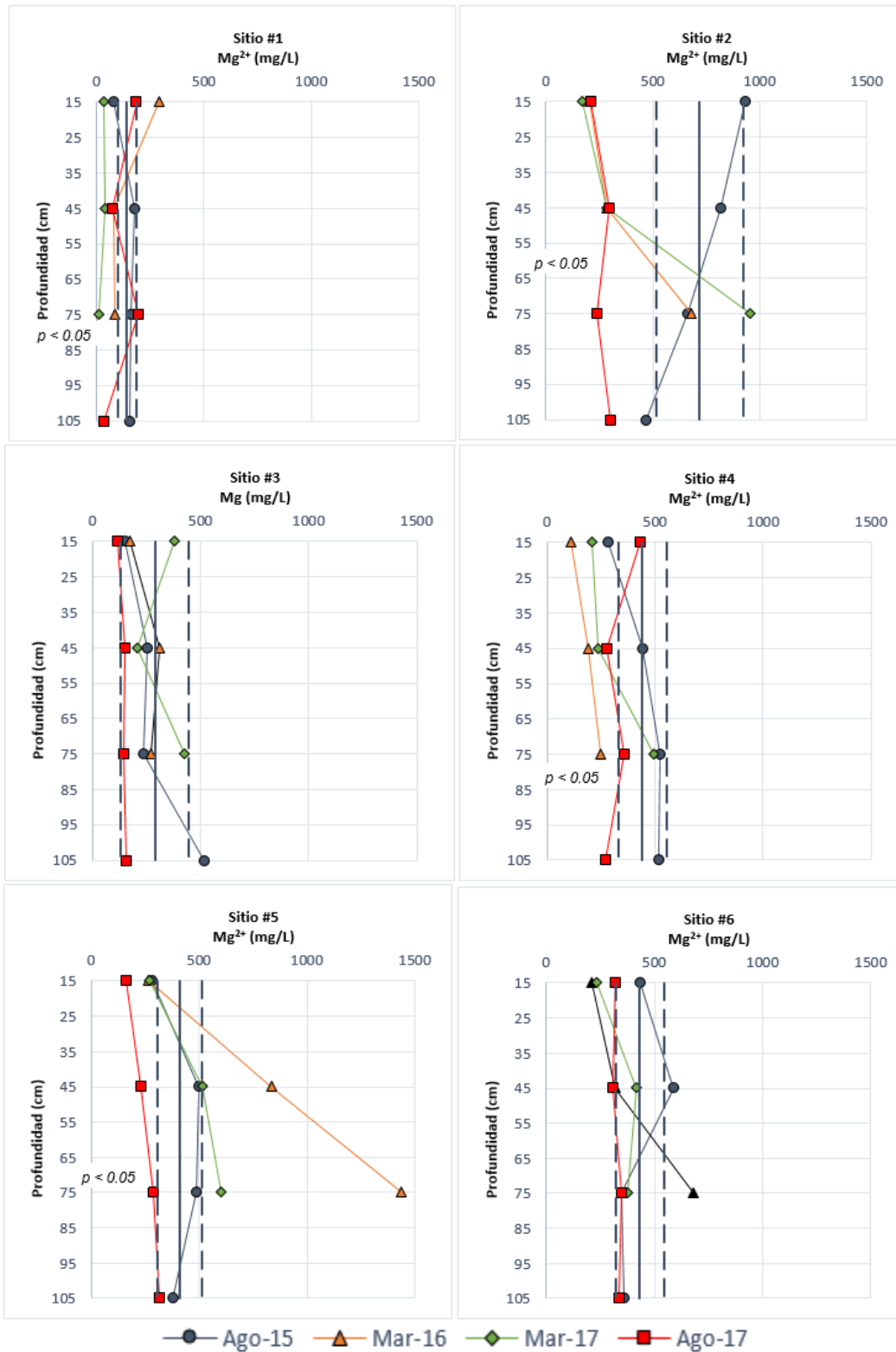
**Figura 8b.** Cambio del Na<sup>+</sup> del suelo del 2015-2017.



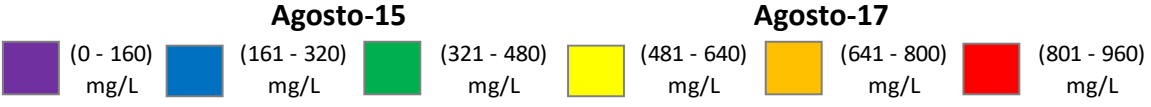
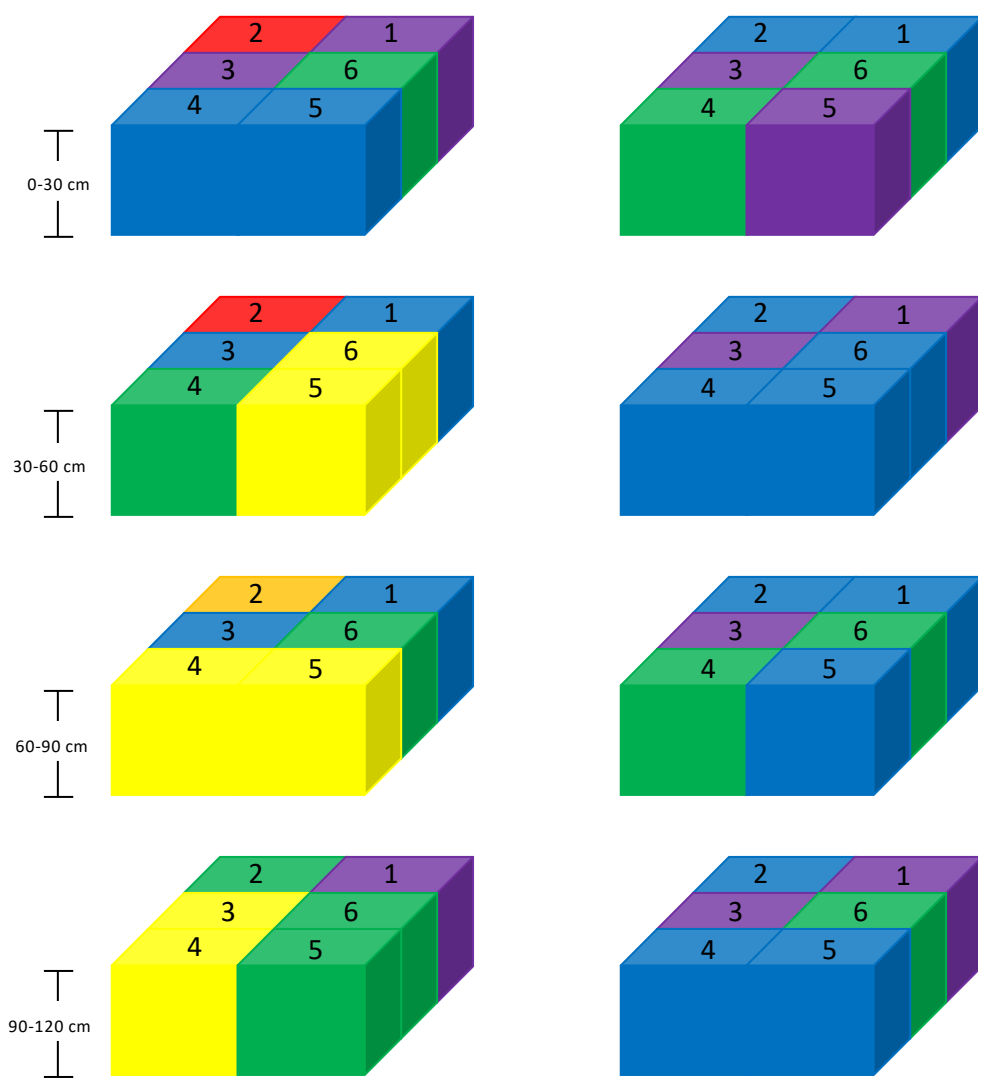
**Figura 9a.** Cambio del Ca<sup>2+</sup> en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



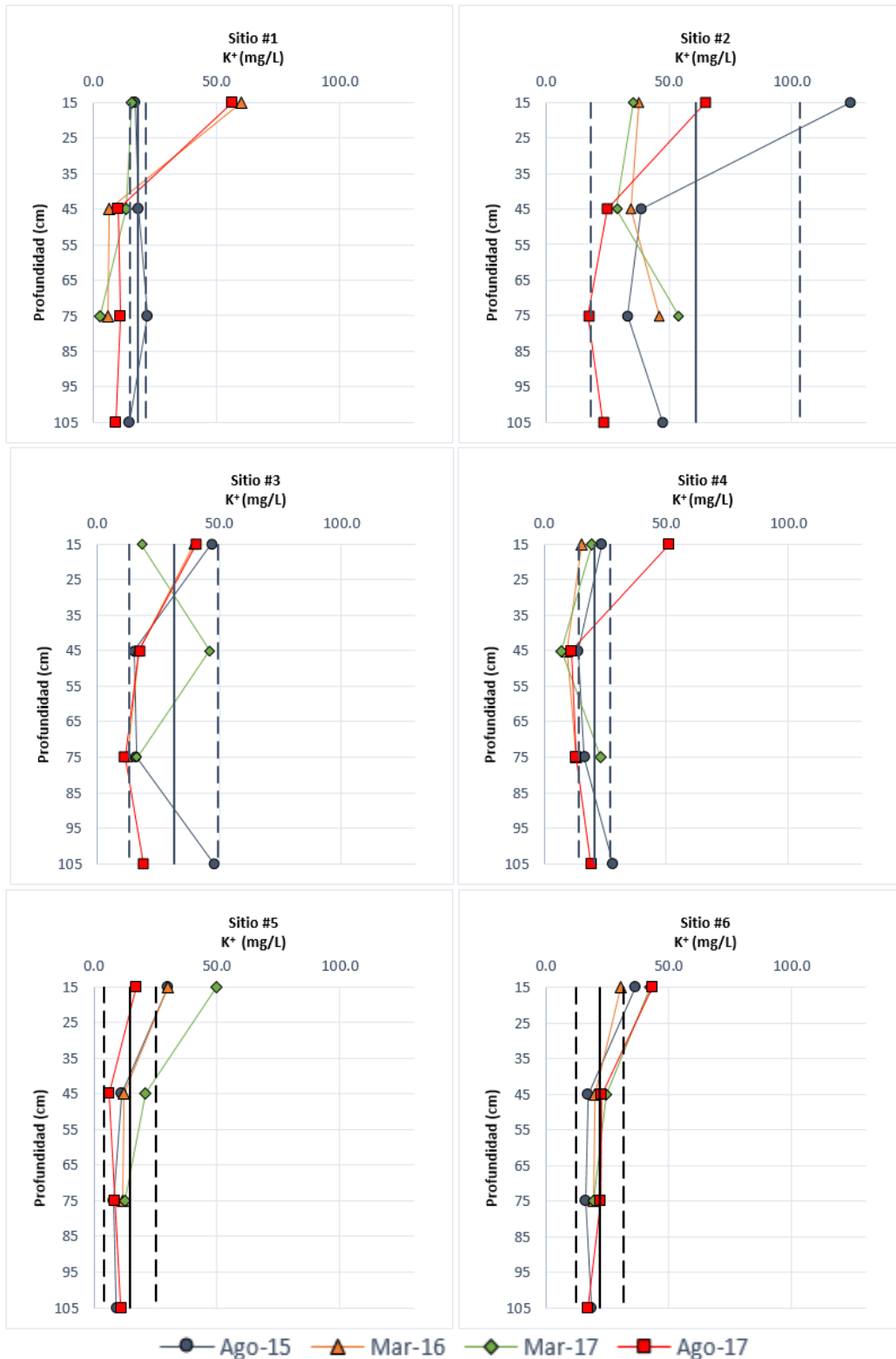
**Figura 9b.** Cambio del Ca<sup>2+</sup> del suelo del 2015-2017.



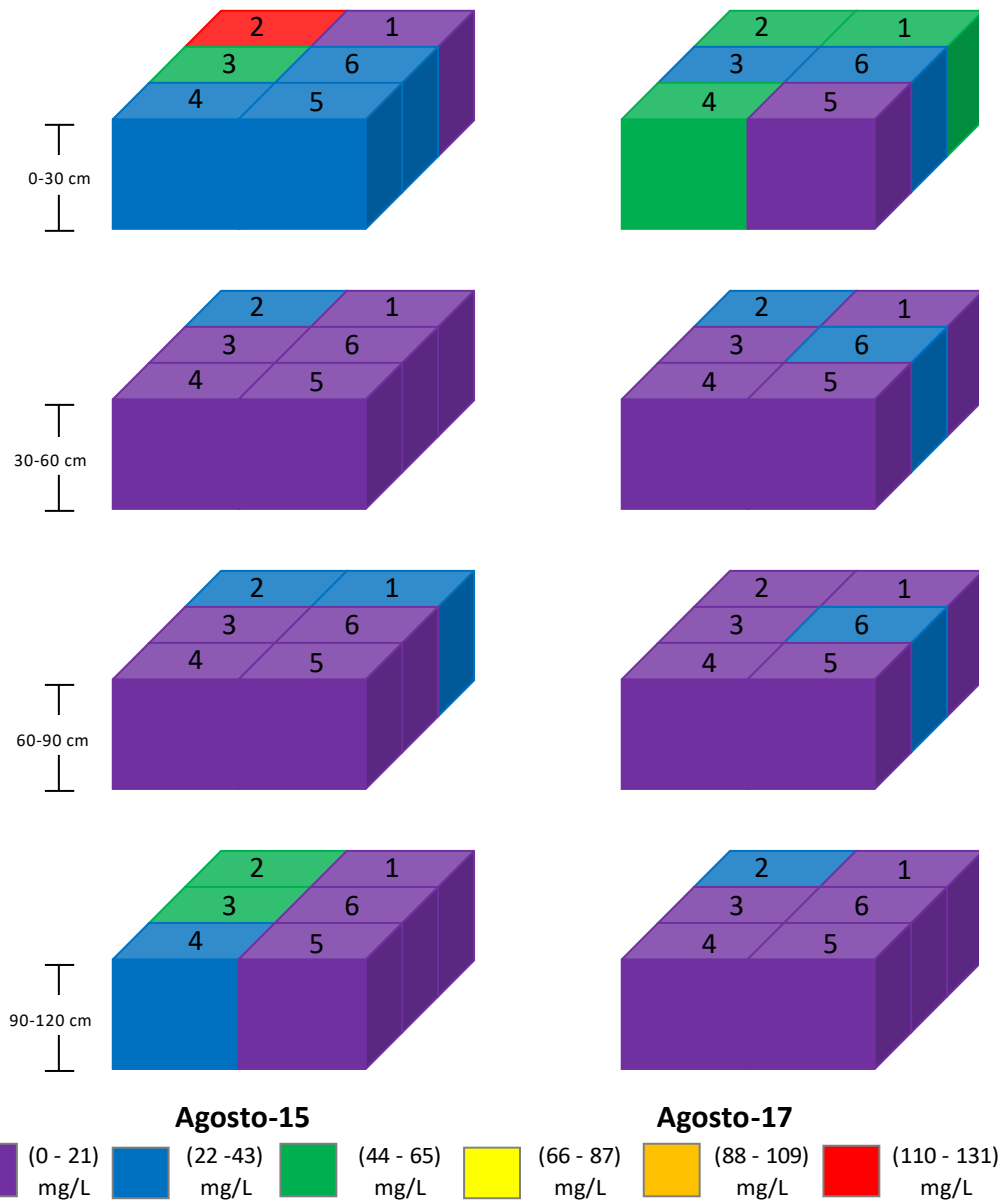
**Figura 10a.** Cambio del  $Mg^{2+}$  en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



**Figura 10b.** Cambio del  $Mg^{2+}$  del suelo del 2015-2017.



**Figura 11a.** Cambio del  $K^+$  en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.

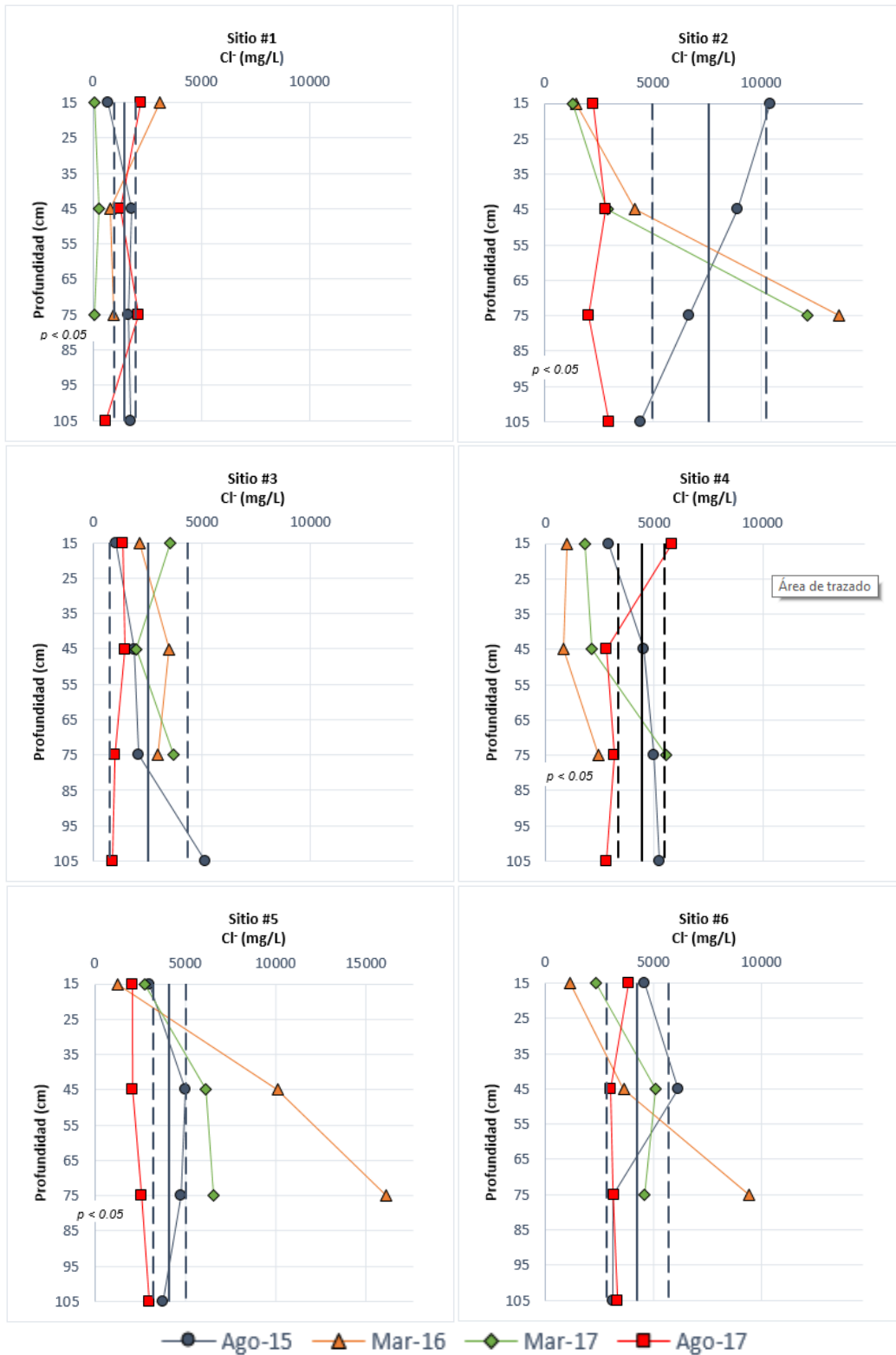


**Figura 11b.** Cambio del K<sup>+</sup> del suelo del 2015-2017.

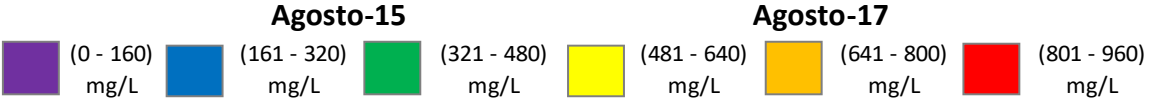
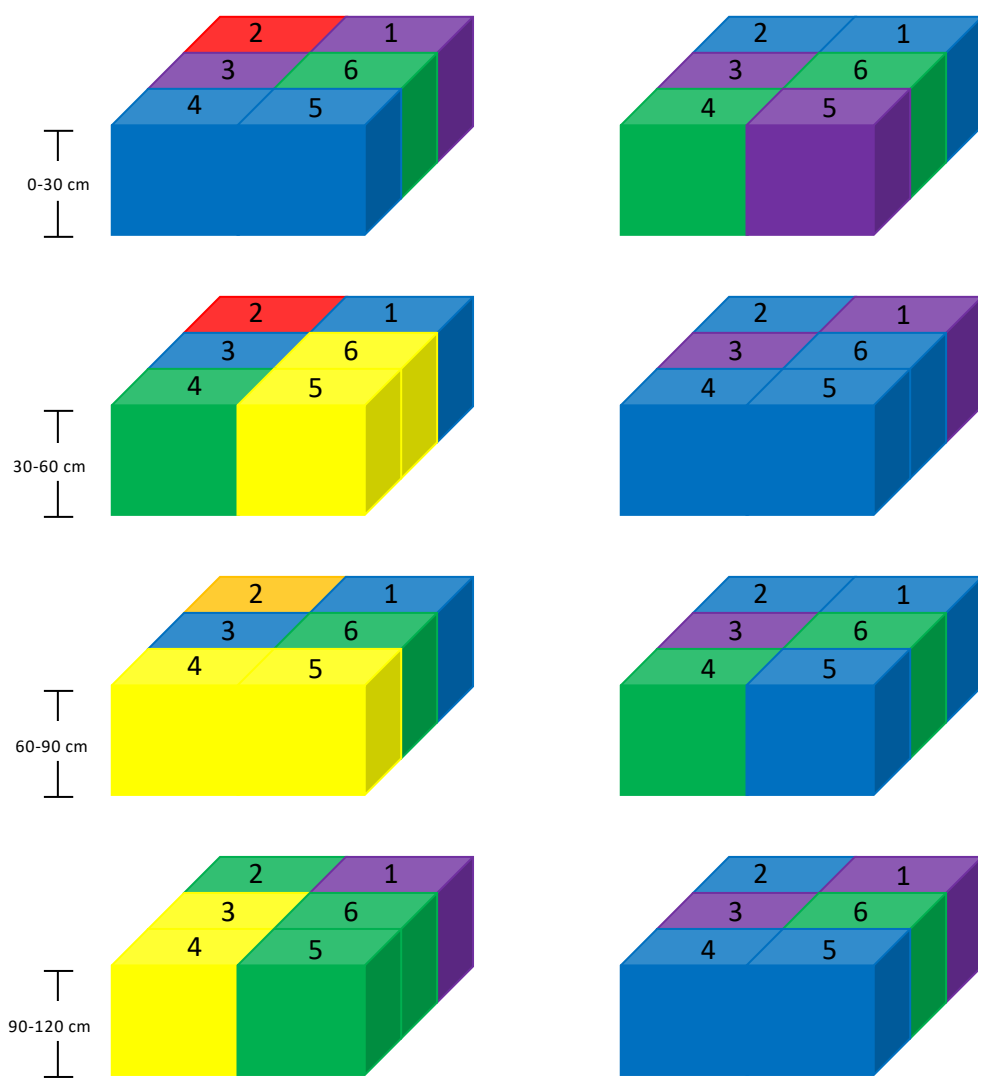
### 3.6.6 Aniones

Las concentraciones de la media de Cl<sup>-</sup> en los perfiles al final del estudio, el sitio 1 aumentaron ligeramente y los demás perfiles disminuyeron su concentración con cambios significativos ( $p < 0.05$ ) en los sitios 2, 4 y 5. La disminución de la concentración de los perfiles, se observa más claramente a partir de los 30 cm (Figuras 12a y 12b). De los aniones estudiados, el Cl<sup>-</sup>, fue el que más disminuyó a pesar de las altas concentraciones en ART.

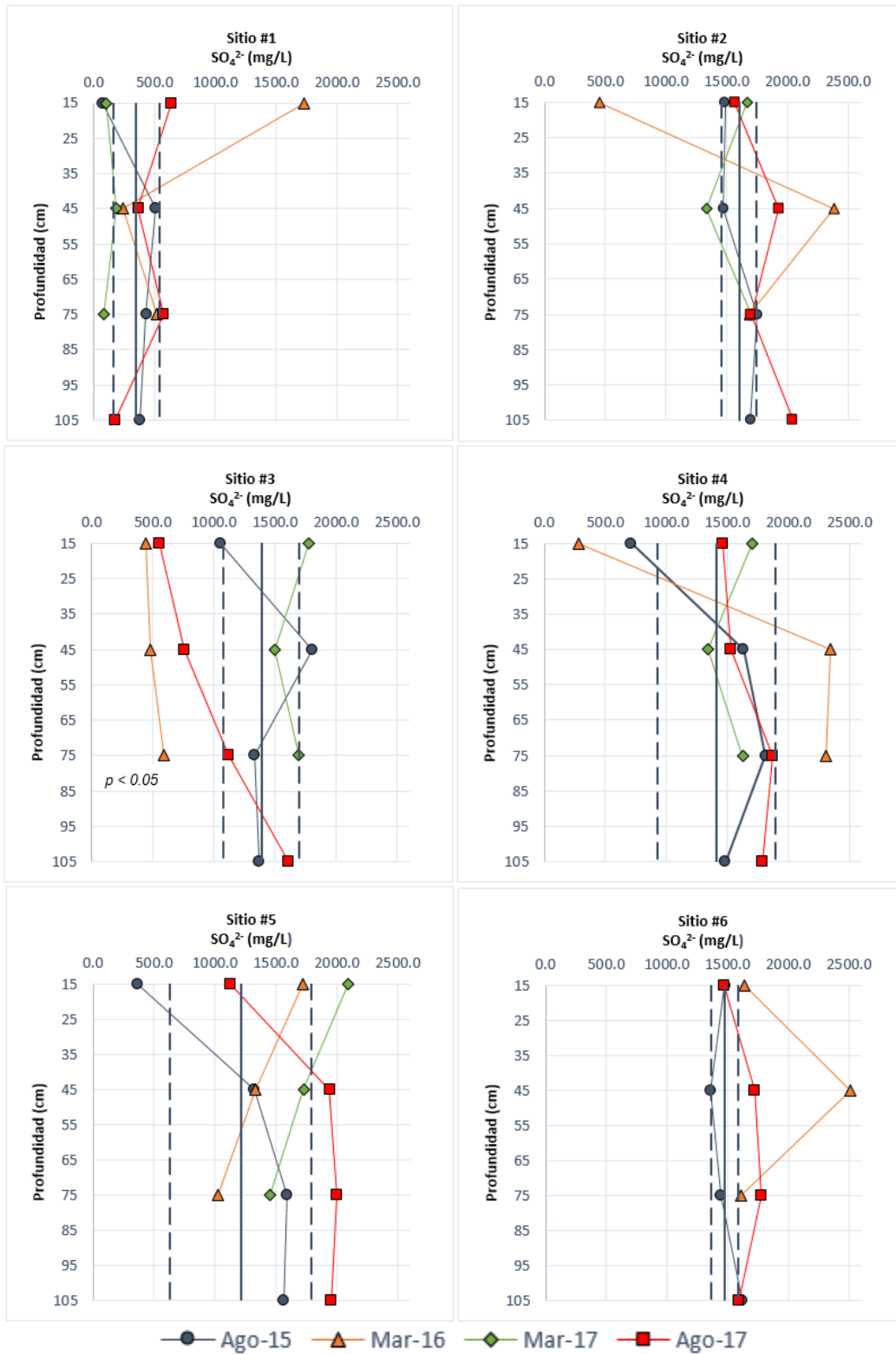
En relación a las concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$ , solamente aumentaron sus concentraciones de la media los perfiles 1 y 2 y los demás perfiles disminuyeron al final del estudio. En cuanto a su profundidad los cambios de concentración fueron inconsistentes (Figuras 13a y 13b). La concentración del  $\text{SO}_4^{2-}$  en el ART es baja con respecto al recomendado por la FAO, el aumento de las concentraciones en la mayoría de los sitios, se debe principalmente al uso de  $\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$  que se utiliza para bajar el pH en el ART. Los perfiles de marzo-16, las concentraciones de la capa superficial significativamente hasta los 90 cm, esto se debe al lavado de cloro desde la superficie.



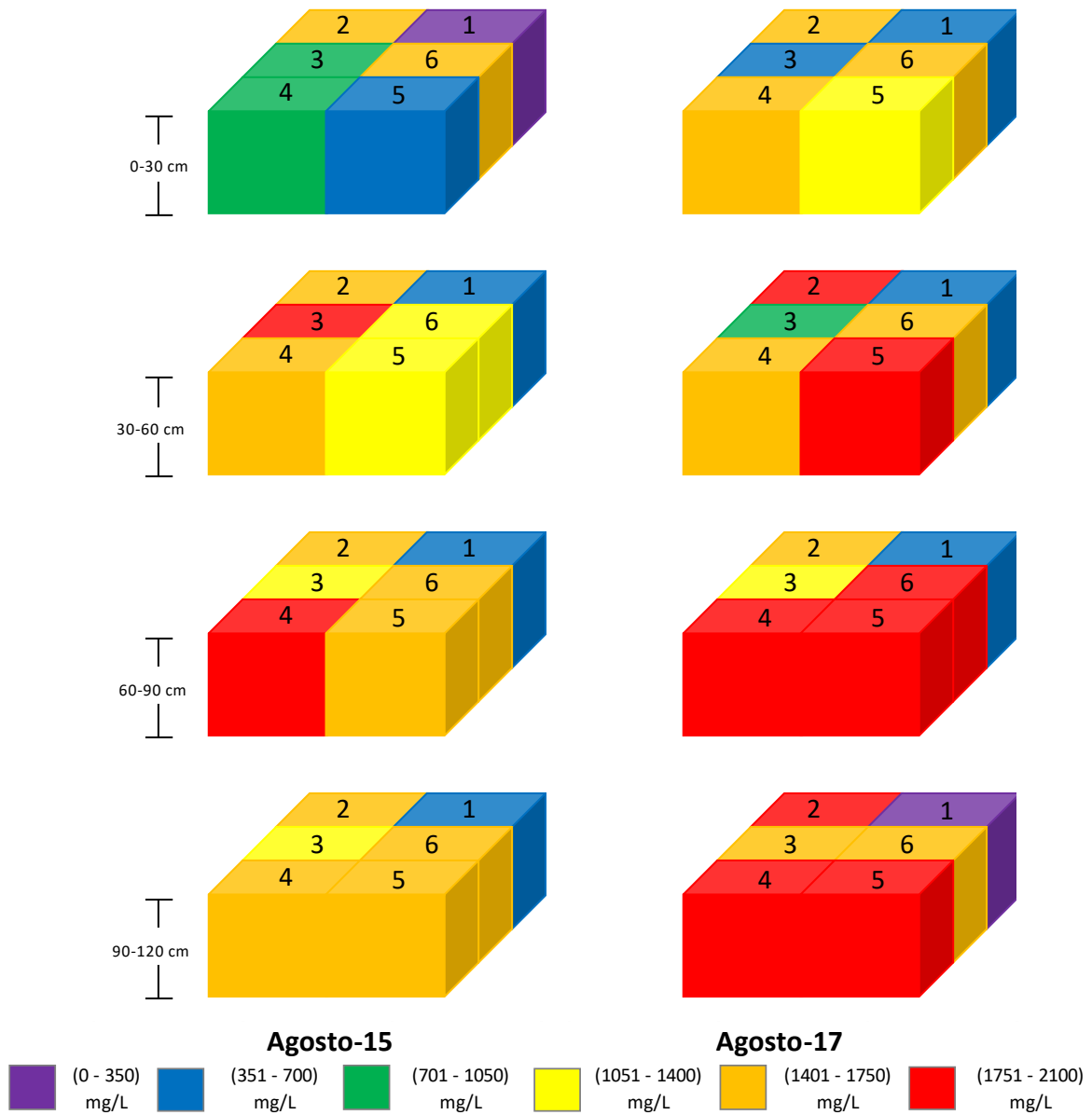
**Figura 12a.** Cambio del Cl<sup>-</sup> en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



**Figura 12b.** Cambio del Cl<sup>-</sup> del suelo del 2015-2017.



**Figura 13a.** Cambio del  $\text{SO}_4^{2-}$  en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



**Figura 13b.** Cambio del  $\text{SO}_4^{2-}$  del suelo del 2015-2017.

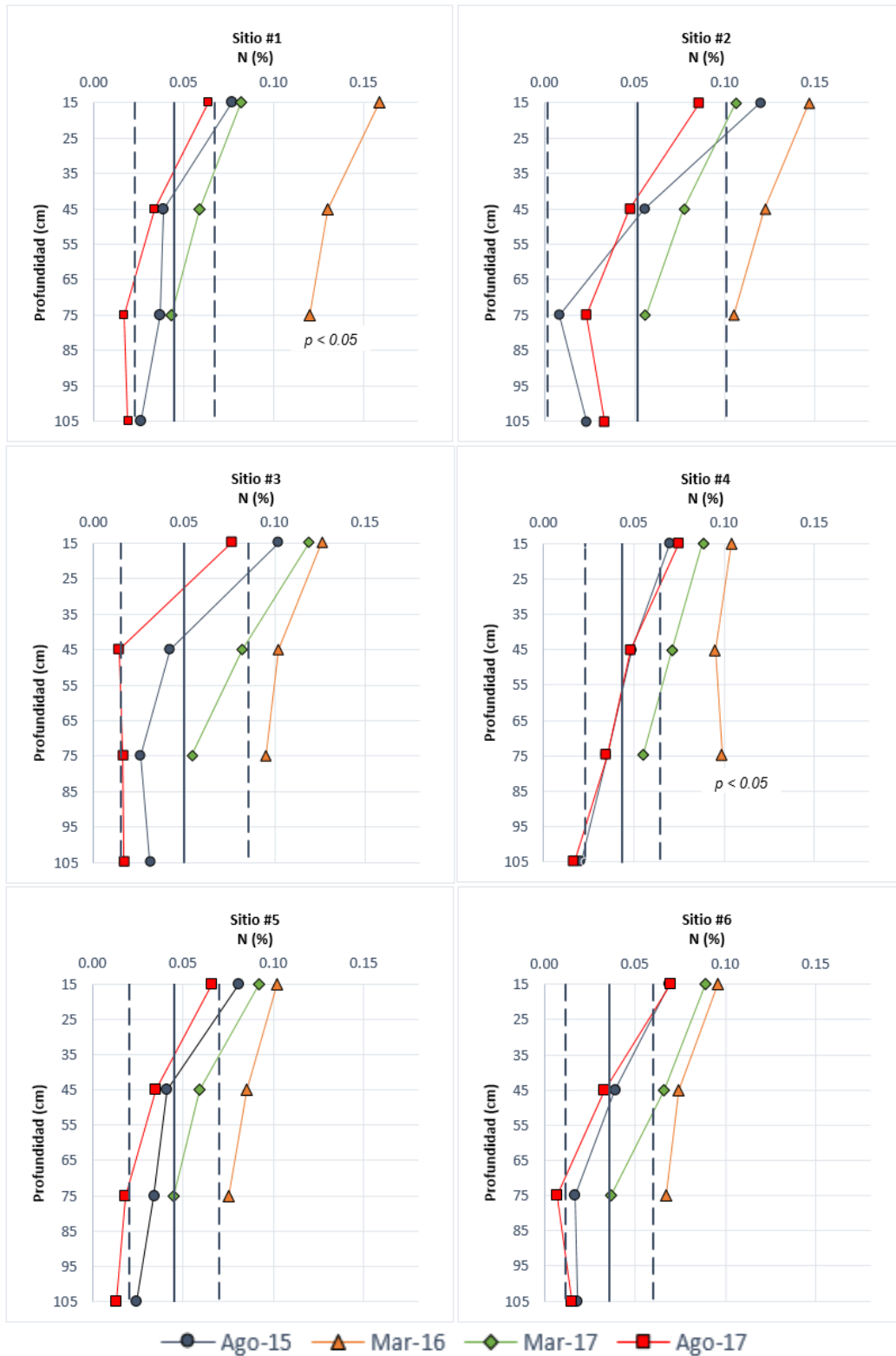
### 3.6.7 Nitrógeno y porcentaje de materia orgánica.

En cuanto al N total, la distribución fue consistente en todos los perfiles y profundidades (Figuras 14a y 14b). Sus concentraciones disminuyeron de la capa superficial a las capas más profundas. Las concentraciones más altas fueron en marzo-16, un año después de la implementación del riego con ART. Sin embargo, las concentraciones disminuyeron hasta valores similares a los del inicio y a lo largo de todo el perfil al final del estudio. El ART tiene

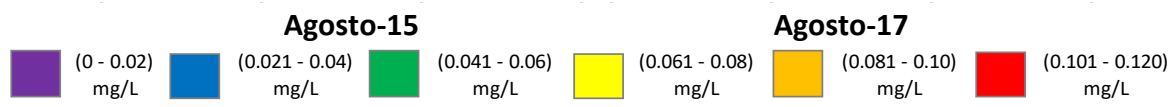
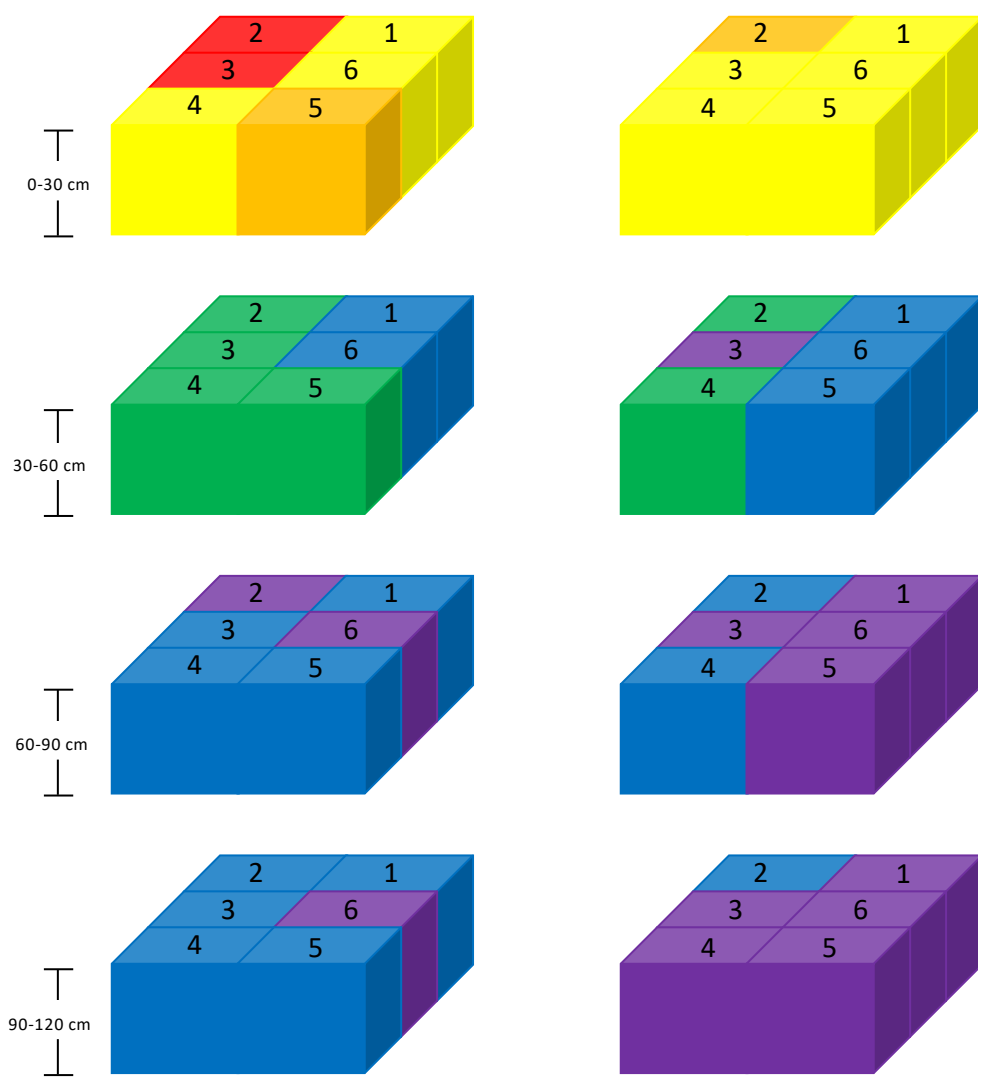
relativamente baja concentración de  $\text{NO}_3^-$ -N (Tabla 1). Por lo tanto, es probable que este comportamiento se deba a procesos de lixiviación y/o de denitrificación y la poca retención del suelo por el bajo contenido de arcilla.

En relación al % de MO, al final del estudio solamente el perfil del sitio 3 disminuyó ligeramente, los demás perfiles aumentaron de 2 a 6 veces (Figuras 15a y 15b). El perfil que más aumentó fue el sitio 6 con cambios significativos (0.08 a 0.7 promedio del perfil) ( $p < 0.05$ ). Las profundidades comprendidas de 0-60 cm tuvieron el % MO más alto excepto el sitio 3. La clasificación del % MO para la primera profundidad cambió de muy bajo a bajo para el sitio 3 y los demás sitios se mantuvieron en la clasificación de baja. La profundidad de 30-60 cm se mantuvo en la clasificación de muy baja para el sitio 3 y los otros sitios aumentaron su concentración de tal manera que su clasificación cambió de muy baja a baja. La profundidad de 60-90 cm en lo general se mantuvo en muy baja, excepto el sitio 2 que cambió de baja a muy baja. El aumento del porcentaje de la materia orgánica coincide con otros estudios de sitios irrigados con ART en periodos más largos (Xu *et al.*, 2010; Rusan *et al.*, 2007; Qian y Mecham, 2005).

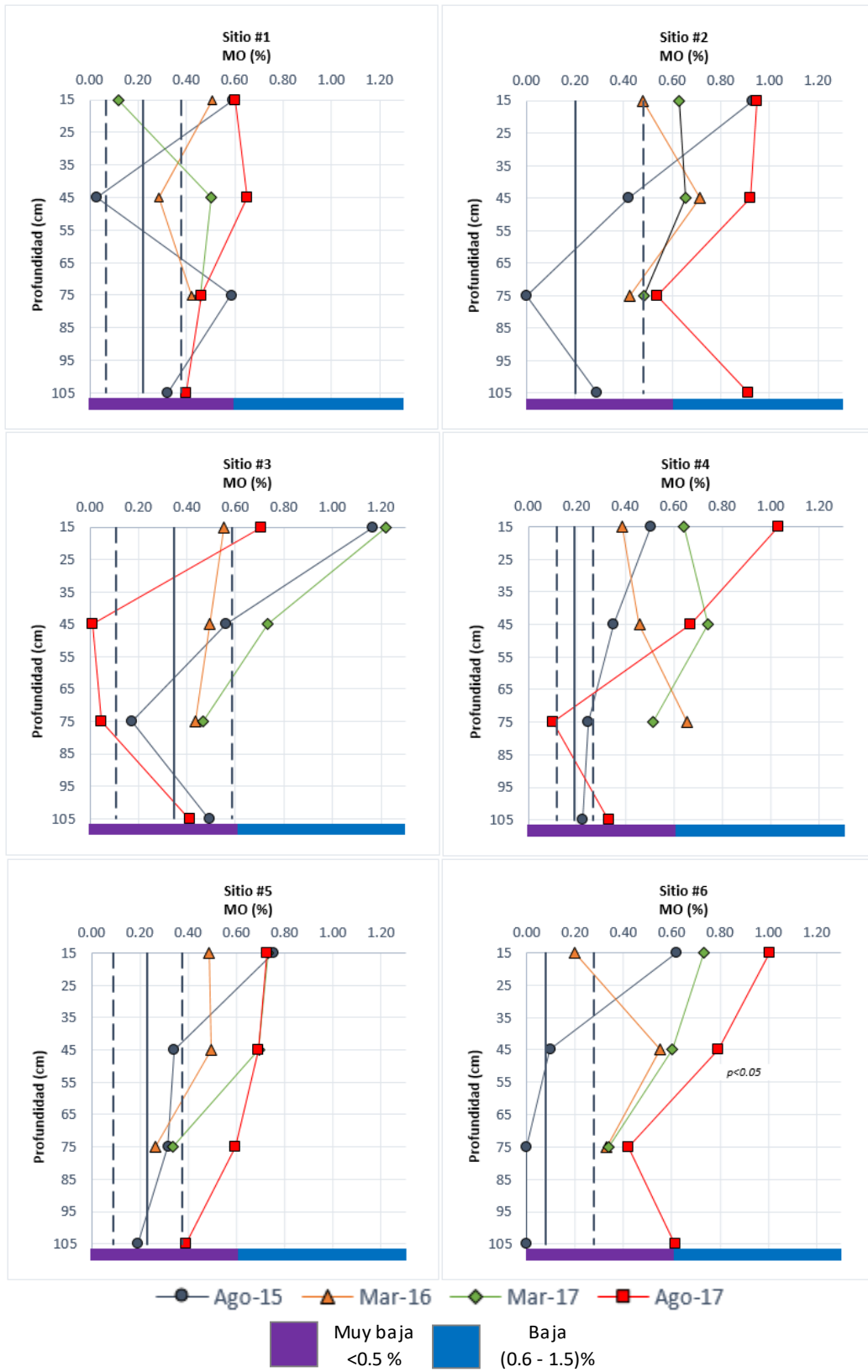
De acuerdo a la percepción de los agricultores, con el uso del ART les ha representado un ahorro de alrededor de un 35 % en fertilizantes, además, utilizan ácido húmico para incrementar la capacidad de intercambio catiónico.



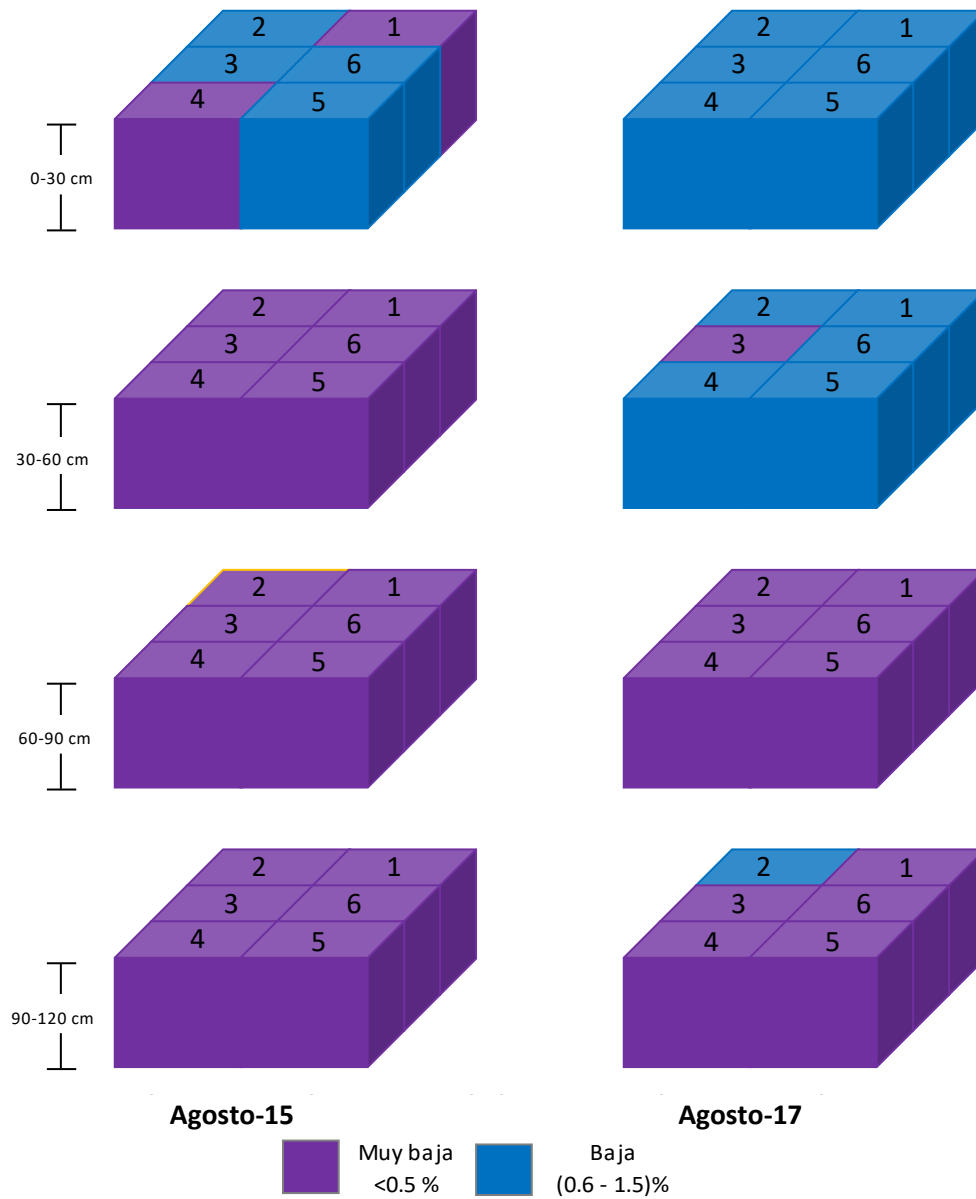
**Figura 14a.** Cambio del N en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



**Figura 14b.** Cambio del N del suelo del 2015-2017.



**Figura 15a.** Cambio del % MO en los perfiles de los sitios del 2015-2017. Las líneas (azul y punteadas) representan el promedio y la desviación estándar de la muestra de agosto-15.



**Figura 15b.** Clasificación del % MO del suelo del 2015-2017.

### 3.6.8 Productividad

La productividad de las flores, se basa en las experiencias de los agricultores. Previo a la implementación de la siembra, se hicieron pruebas con las diferentes especies de girasoles (*Helianthus annuus*), alelís (*Cheiranthus cheiri*), estáticas (*Limonium sinuatum*), etc., en dos líneas de siembra, presentaban un rendimiento del 95 %, sin embargo, en la actualidad el

rendimiento disminuyó al 75 % debido a problemas de enfermedad de raíz (*Fusarium spp.*) y plaga de mosca blanca, cuyas causas se deben investigar más a fondo.

### 3.7 Conclusiones

El ART se encuentra significativamente enriquecida por  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  y  $Cl^-$ , con respecto a las guías de irrigación. Aunque las concentraciones de  $K^+$  y N son más altas en la capa superficial (0-30 cm), la acumulación de estos elementos no necesariamente provienen del riego con ART, y esto puede ser causado por la adición de fertilizantes. El principal efecto por irrigación de ART en Maneadero en los perfiles fue el lavado de  $Cl^-$  y  $Na^+$  por debajo de los 120 cm, que causaron el incremento de la CEs en la parte inferior de los perfiles. Antes del uso del riego con ART, el suelo se encontraba con una alta salinidad inducida por el riego con agua salobre del acuífero de Maneadero. Las concentraciones de calcio, incrementaron hasta seis veces en la superficie debido a la adición de yeso y su poder de floculación. En cuanto los metales traza, solamente el Al, Fe y Zn (solo un sitio) del extracto de saturación de la superficie (0-30 cm), mostraron una acumulación significativa y por arriba de las concentraciones del rango de superficies de suelo del mundo. Las altas concentraciones de SDT, Fe y Mn pueden ocasionar un taponamiento de moderado a severo en el sistema de riego por goteo, adicionalmente, un taponamiento biológico debido al incremento ocasional de la carga biológica del ART. Finalmente, el riego con ART y el uso de ácido húmico contribuyeron al aumento de hasta 6 veces en el % MO. Las regulaciones mexicanas no consideran la salinidad en el ART, por lo que el suelo es susceptible de efectos negativos en la propiedades químicas del suelo.

## **CAPITULO 4**

### **Seguridad y ambiente de trabajo del trabajador del campo en contacto con agua residual tratada del valle agrícola de Maneadero, Baja California.**

#### **Resumen**

El reúso de aguas residuales tratadas en la agricultura representa una solución a la escasez de agua en regiones áridas y semiáridas. No obstante, el incumplimiento del marco legal en materia de seguridad laboral en actividades agrícolas, aunadas al aprovechamiento del agua residual tratada para riego, genera condiciones inseguras para el trabajador del campo con riesgos de accidentes y efectos nocivos en la salud. Esta investigación presenta los resultados de una encuesta (n=19) que tuvo por objetivo examinar las condiciones en las que ocurre el trabajo del trabajador del campo en el valle agrícola de Maneadero, con respecto a las obligaciones del patrón y de los trabajadores, derechos del trabajador y las condiciones de los centros de trabajo que exige el marco legal mexicano para garantizar sus derechos y la seguridad del trabajador del campo. El método fue mixto e incluye la observación, la elaboración y la aplicación de un cuestionario a los trabajadores del campo. Se encontró que los trabajadores del campo desconocen sus obligaciones en relación a reglamentos, las normas en materia de salud, seguridad y medio ambiente de trabajo, seguridad y protección personal. En consecuencia, los trabajadores del campo en el valle agrícola de Maneadero se encuentran en condiciones de vulnerabilidad y explotación laboral, han ocurrido accidentes de trabajo y algunos padecen problemas a su salud por el contacto con agua residual tratada por que carecen de equipo de protección personal. En cuanto a los patrones, a través de la observación en los sitios de trabajo y las respuestas de los trabajadores del campo, existe la presunción de que no cumplen con lo dispuesto en las leyes en materia de trabajo, derechos de niñas, niños y adolescentes y la Ley General para Prevenir, Sancionar y Erradicar los Delitos en Materia de Trata de Personas y Para la Protección y Asistencia a las Víctimas de estos Delitos y normas en materia de seguridad, organización y específicas.

**Palabras clave:** seguridad e higiene, centro de trabajo, trabajador del campo, agua residual tratada.

#### **4.1 Introducción.**

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud, los grupos de personas que tienen un riesgo potencial a la salud por el uso de las agua residuales (AR) en la agricultura son: trabajadores del campo y sus familias, manejadores de cultivo, consumidores y quienes viven en zonas aledañas de los campos de cultivo (WHO, 1989). Sin embargo, de entre todos estos grupos, los trabajadores del campo y sus familias son quienes tienen o exhiben un mayor riesgo a la salud por enfermedades causadas por nematodos, bacterias/virus, protozoarios y otros microorganismos que contienen las aguas municipales tratadas o no tratadas (EPA, 2012; WHO, 2006; Carr *et al.*, 2004). En este sentido, Blumenthal *et al.* (2000a) revisan y contrastan evidencia epidemiológica, microbiológica y evaluación de riesgos de los parámetros establecidos por la OMS (WHO, 1989). Entre sus hallazgos en relación a riesgos a la salud de los trabajadores del campo se destaca lo siguiente: Para zonas con condiciones calientes y secas, el valor de  $\leq 1$  huevo de nematodo/L es adecuado como factor de riesgo de ascariasis para los trabajadores del campo que están en contacto directo y con la protección adecuada.

En riego restringido, la WHO (1989) no establece límites para coliformes, sin embargo, en estudios realizados por Shuval *et al.*, (1989) y Camann *et al.*, (1986) demostraron que no hay afectaciones a la salud para los trabajadores del campo que están en contacto con AR con valores comprendidos entre  $10^3$ - $10^5$  coliformes fecales/100 mL en riego por aspersores. Como ejemplo, el valle del Mezquital en Hidalgo, México, cuenta con el distrito de riego más grande y el que tiene más años con riego con AR (Lucho-Constantino *et al.*, 2005; Angelakis *et al.*, 2018). Contreras *et al.* (2017), de una revisión de estudios de riesgos a la salud por exposición al AR en riego agrícola en Hidalgo, México (estudios desde principios de los años noventa del siglo pasado hasta fechas recientes), demostraron que prevalecen las enfermedades diarreicas a pesar de su disminución, sin embargo, no descartan un

repunte de este tipo de padecimiento. Estudios de Cifuentes *et al.* (1993) y Cifuentes (1985) realizados en este mismo valle en áreas regadas con AR parcialmente tratadas con sistemas de riego por inundación y canales, señalan que puede haber un riesgo de enfermedad diarreica para los valores comprendidos entre  $10^3$ - $10^4$  coliformes fecales/100 mL.

El límite máximo para los huevos de nematodos ( $\leq 1$  huevo/L) de la NOM-001-SEMARNAT-1996 es insuficiente para proteger a los trabajadores del campo y sus familias que están en contacto directo con AR parcialmente tratadas (Blumenthal *et al.*, 1996; Blumenthal *et al.*, 2000b) y el límite máximo de 1000 NMP/100 mL de coliformes fecales que considera esta norma para uso en riego agrícola, se encuentra muy por arriba de estándares de países como Australia, Nueva Zelanda, Canadá y EUA (Uyttendaele *et al.*, 2015).

Las AR o las AR con tratamientos deficientes, pueden contaminar el suelo con patógenos y generar problemas a la salud a la población expuesta como la helmintiasis, que es una enfermedad causada por los huevos de helminto. Las principales especies de helminto transmitidos por el suelo son la ascáride (*Ascaris lumbricoides*), el tricocéfalo (*Trichuris trichiura*) y el anquilostoma (*Necator americanus* y *Ancylostoma duodenale*), donde esta última puede penetrar la piel (WHO, 2017).

El riego localizado ofrece la máxima protección a la salud a los trabajadores de campo con respecto a otras técnicas de riego. En este sentido, las medidas que recomienda para la reducción e incluso la eliminación del riesgo a la salud de los trabajadores de campo son: 1) selección del sistema de riego menos contaminante con el equipo de protección adecuado (ejemplos: zapatos, botas y guantes), 2) facilidades sanitarias, agua potable, evitar el consumo y contacto del ART, así como también 3) prácticas de aseo personal (ejemplo: lavado de manos) (WHO, 2006). Adicionalmente, la Organización Mundial de la Salud (WHO, 2010 y 2006) proporciona los requisitos mínimos de buenas prácticas para proteger la salud de las personas que utilizan AR o excretas, o que consumen productos cultivados.

A nivel internacional, la WHO (2006) establece algunas recomendaciones para mitigar los riesgos a la salud de los trabajadores del campo en contacto con ART, parcialmente tratadas, sin tratar o algunas combinaciones de las anteriores. Estas recomendaciones

incluyen el mejoramiento de la calidad del agua, control a la exposición de las personas, manejo del AR de acuerdo a su calidad para el riego agrícola e intervenciones en cosecha y post cosecha. Por otra parte, países como Estados Unidos de Norteamérica, establece en la Guía para reducir los riesgos para la salud de los trabajadores que manipulan desechos humanos o AR cuatro directrices que consisten en: 1) practicas básicas de higiene, 2) equipo de protección personal, 3) entrenamiento y, 4) recomendaciones de vacunación (CDC, 2017). Australia y Nueva Zelanda han adoptado medidas y recomendaciones para el manejo del ART en cuanto a niveles de tratamiento y monitoreo para garantizar la seguridad de las personas, cosechas y mitigar la contaminación en suelo y acuíferos (ARMCANZ-ANZECC, 1996 y 2000).

El aprovechamiento del agua residual tratada (ART) para riego agrícola de campos de flores en el valle de Maneadero, se lleva a cabo desde el 2014 como una alternativa para la sustitución del agua salobre del acuífero, debido a la intrusión de agua de mar (Gilabert-Alarcón *et al.*, 2018; Daesslé *et al.*, 2014 y 2005). Esta medida ha sido exitosa por la reactivación de la siembra, mejoramiento del suelo y agua subterránea con la disminución de la salinidad. No obstante, hasta el momento no existen investigaciones e información respecto a las condiciones de trabajo de los trabajadores del campo que están en contacto con ART. En cuanto a la calidad del ART de la PTARN, algunas descargas en diferentes puntos rebasaron los límites máximos recomendables de coliformes fecales y coliformes totales (Mendoza-Espinosa y Daesslé, 2018), lo que puede representar un riesgo de salud para los trabajadores del campo.

Si bien el ART aporta nutrientes y minerales a los suelos, una deficiencia en el tratamiento de las aguas residuales puede aportar también microorganismos patógenos a la población en contacto directo (trabajadores del campo y sus familias) e indirecto (comunidades cercanas, consumidores, etc.) (WHO 2016 y 2006). Los riesgos a los que están expuestos los trabajadores del campo derivan del mantenimiento del sistema de riego, el deshierbe, el corte de cosecha, así como a la exposición a fertilizantes y plaguicidas. La falta de aplicación de normatividad en materia de seguridad y ambiente de trabajo en México para el trabajador del campo en contacto con ART, así como también la carencia de equipo de

protección personal, capacitación, señalamientos e instalaciones adecuadas de aseo personal, aumentan los riesgos a su seguridad y la salud de los trabajadores del campo.

Por lo anterior, en este capítulo se investiga y se analizan las condiciones laborales de los trabajadores del campo que están en contacto con ART en el valle agrícola de Maneadero y nos permite formular la hipótesis siguiente: “Los trabajadores del campo del valle agrícola de Maneadero que están en contacto con el ART se encuentran trabajando en condiciones que garantizan su integridad y salud”. El objetivo del presente estudio fue el de investigar y examinar la seguridad, seguridad e higiene y ambiente de trabajo de acuerdo al marco legal mexicano orientado al trabajador del campo que está en contacto con ART y sus sitios de trabajo en el valle agrícola de Maneadero. Con este fin, se llevaron a cabo un total de 19 encuestas a dos grupos de trabajadores de campo (grupo 1, n=9; grupo 2, n=10). Brevemente, se encontró que los trabajadores de campo se encuentran vulnerables debido a que no se cumple con lo dispuesto en el marco legal en materia de seguridad, seguridad e higiene y medio ambiente de trabajo, como se explica a continuación.

#### **4.2 Antecedentes.**

A mediados del 2014, se implementó la reutilización del ART en el valle agrícola de Maneadero como una medida para reducir la escasez de agua dulce, pero en ausencia de una planificación integrada y una evaluación de impactos potenciales en el medio ambiente y la salud pública (Mendoza-Espinosa y Daesslé, 2018; Gilabert-Alarcón *et al.*, 2018). El reúso del ART, se extendió gradualmente en el valle de Maneadero hasta que en marzo del 2015 se implementó en la parcela No. 97 con el riego de flores de girasol y de ornato. El uso o aprovechamiento del ART para riego agrícola se encuentra regulado dentro en las normas NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997) y NOM-003-SEMARNAT-1997 (DOF, 1998) y es impulsada en México por programas y planes en los tres niveles de gobierno: a) federales, como el Plan Nacional Hídrico 2014-2018 y el Programa Hídrico Nacional Visión 2030 (Región Hidrológico Administrativa I Península de Baja California); b) estatal, Plan Estatal de Desarrollo de Baja California 2014-2019 y el Programa Hídrico de Baja California Visión 2035

(POBC, 2018); c) municipal y el Plan Municipal de Desarrollo de Ensenada 2016-2019. En cuanto a estudios recientes de calidad del ART de la planta de tratamiento de aguas residuales “El Naranjo” (PTAR) y suelo del valle agrícola de Maneadero, Mendoza-Espinosa y Daesslé (2018), detectaron en un 23 % muestras de ART (periodo de febrero a noviembre del 2015) la presencia de coliformes fecales y totales en diferentes descargas. Sin embargo, una vez implementado el riego con ART, se encontraron altos niveles en octubre del 2015 en un sitio de un total de 6 y finalmente se volvió a detectar coliformes fecales solamente en un sitio en diciembre del 2015, a una profundidad de 30-60 cm y coliformes totales en 3 sitios. Cabe mencionar que antes de la implementación del riego con ART no se encontraron coliformes fecales ni totales.

A nivel regional y local, existen pocos estudios en relación a seguridad social, seguridad e higiene y ambiente de trabajo del trabajador del campo:

1) Estudios de percepción: Camarena *et al.* (2012), realizaron un estudio de percepción a trabajadoras del campo expuestas a plaguicidas de San Quintín y Maneadero y como resultados obtuvieron que los riesgos y enfermedades fueron principalmente por la insolación, seguido del contacto por productos tóxicos, picadura de animales y accidentes. Finalmente, en relación con las enfermedades padecidas y contraídas por las condiciones de trabajo y la falta de protección fueron las respiratorias y de la piel, y en menor proporción, las gastrointestinales y de los ojos. Otro estudio de percepción de Camarena *et al.* (2013) en el valle de San Quintín arrojó como resultados que hay evidencia de falta de cobertura de seguridad social, las jornadas laborales se pueden extender hasta 10 h, que en la mayoría de los campos agrícolas no les proporcionan equipo de protección, en algunos casos se encuentran expuestos a químicos durante su aplicación y que los padecimientos son posturales, heridas por objetos punzocortantes, así como afectaciones por exposición a los plaguicidas (irritación, comezón, ronchas y manchas en la piel).

2) Estudios de riesgo o exposición, Zúñiga-Violante *et al.* (2012), con base en estudios de genotoxicidad en el valle de San Quintín en trabajadores del campo (hombre y mujeres), concluyeron que la exposición laboral y ambiental a plaguicidas es un factor de daño

genético, principalmente para las mujeres; en otro estudio de genotoxicidad (Arellano *et al.* 2013), demostraron que de cuatro zonas de estudio, incluyendo Maneadero, la zona de San Quintín, es la que tiene mayor daño por la mezcla de contaminantes (plaguicidas y condiciones de vida). Estudios de Zúñiga-Violante *et al.* (2015), determinaron la presencia de contaminantes orgánicos persistentes (bifenilos policlorados (BPCs) y plaguicidas) e inorgánicos. El plaguicida predominante fue el endosulfan, para los BPCs fueron los ligeros y entre los orgánicos el vanadio, que se encontró fuera de la norma. No obstante, las concentraciones no representan riesgo para la salud, pero a decir de los autores, dichas concentraciones no se deben subestimar por su efecto acumulativo.

Por lo anterior, el presente trabajo tuvo por objetivo examinar el cumplimiento del marco legal y especificaciones en materia de seguridad e higiene y medio ambiente en el lugar de trabajo del trabajador del campo en el valle agrícola de Maneadero en Ensenada Baja California, México, a fin de proponer medidas de seguridad e higiene que atenúen los problemas percibidos. Los resultados se describen de una forma somera debido a lo extenso y complejo del marco legal en lo concerniente al presente estudio.

#### **4.3 Métodos.**

La metodología empleada es de tipo mixto porque se basó en la observación y revisión del marco legal en materia de trabajo, seguridad social, seguridad e higiene, salud y organización con base en el Protocolo de Inspección en Materia de Seguridad e Higiene y Condiciones Generales de Trabajo y Capacitación y Adiestramiento para Centros de Trabajo con Actividades Agrícolas, versión 2017, de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). Se elaboró y aplicó un cuestionario semi-estructurado con preguntas mixtas (abiertas y cerradas) con fundamento al marco legal: Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Título sexto del Trabajo y Previsión Social); Ley Federal del Trabajo (obligaciones de los trabajadores y patrón); Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes (derecho de una vida libre de violencia y a la integridad interpersonal, el derecho a la protección de salud y a la seguridad social y el derecho a la educación); Ley

General para Prevenir, Sancionar y Radicar los Delitos en Materia de Trata de Personas y Para la Protección y Asistencia a las Víctimas de estos Delitos (explotación laboral); y principalmente, con las especificaciones de las obligaciones del trabajador y del patrón de las Normas Oficiales Mexicanas vigentes de la STPS en materia de seguridad e higiene, salud, organización y específicas.

El universo fueron dos grupos de trabajadores del campo que se encontraban laborando durante el periodo de verano-otoño del 2018 en diferentes centros de trabajo (parcelas) en el valle de Maneadero. El primer grupo constó de 29 personas, sin embargo, sólo se entrevistaron a nueve personas en septiembre 2018. El segundo grupo, fueron en total 15 personas, pero solamente 10 de ellas accedieron a la aplicación del cuestionario en diciembre 2018. Cabe destacar que cada grupo tenía diferente patrón. De acuerdo a información proporcionada por el COTAS Maneadero (Comité Técnico de Aguas Subterráneas), se requieren ocho trabajadores por hectárea y hasta febrero del 2019, la cobertura de riego con ART fue de 380 ha, sin embargo, esta información no es confiable para el cálculo del universo, ya que en diferentes visitas al valle de Maneadero se observaban de uno a dos grupos reducidos de trabajadores del campo.

#### **4.4 Resultados y discusión.**

Del grupo 1 (Tabla 6), se aplicaron 9 cuestionarios y se descartó un cuestionario debido a que sus respuestas fueron parciales y otro cuestionario no se pudo realizar porque la persona solamente hablaba mixteco, lo cual es común entre los trabajadores del campo en el valle de Maneadero (Garduño et. al., 2011). Se identificaron cuatro tipos de trabajo: instalador y mantenimiento de sistemas de riego (IMSR), operador de tractor (OT), operador de tractor con sistema de fumigación (OTSF) y cortador/deshierbador (CD), siendo este último, el encargado de realizar actividades de corte y elaboración de manojos de flores y quitar la maleza (hierba). Por naturaleza del desempeño de sus funciones, el IMSR y los CD se encuentran en contacto con ART; en contraparte, en el OT y el OTSF el contacto con el ART es mínimo. En el grupo 2 (Tabla 7), se aplicaron 10 cuestionarios y 5 personas no

aceptaron contestar el cuestionario, absteniéndose de mencionar sus motivos. En este último grupo se identificaron solamente CD desempeñando funciones de deshierbe.

**Tabla 6. Datos generales del grupo 1**

Sexo	Edad	Lugar de nacimiento	Etnia indígena	Escolaridad	Leer y escribir	Idiomas	Tiempo de residencia	Tiempo en el trabajo	Tipo de trabajo
M	53	Oaxaca	Mixteco	6 <sup>to</sup> primaria	Si	Español Mixteco	8 años	1 año	IMSR
M	43	Chiapas	-	Preparatoria	Si	Español	18 años	14-15 años	OT
M	52	Chihuahua	Rarámuri	5 <sup>to</sup> primaria	Si	Español	27 años	27 años	OTSF
F	24	Oaxaca	-	-	Poco	Español	13 años	2 años	CD
M	18	Guerrero	-	6 <sup>to</sup> primaria	Poco	Español Mixteco	1 año	7-8 meses	CD
F	19	Oaxaca	-	6 <sup>to</sup> primaria	Si	Español Mixteco	15 años	1 año	CD
M	18	Oaxaca	-	Secundaria	Si	Español Mixteco	17 años	1 año	CD
M	31	Oaxaca	Mixteco	4 <sup>to</sup> primaria	Si	Español Mixteco	31 años	4 años	CD

**Tabla 7. Datos generales del grupo 2**

Sexo	Edad	Lugar de nacimiento	Etnia indígena	Escolaridad	Leer y escribir	Idiomas	Tiempo de residencia	Tiempo en el trabajo	Puesto de trabajo
M	23	Baja California	Mixteco	5 <sup>to</sup> primaria	Si	Español/mixteco	23 años	5 años	CD
F	14	Guerrero	Mixteco	6 <sup>to</sup> primaria	Si	Español/mixteco	6 años	1 año	CD
F	15	Oaxaca	Mixteco	Secundaria	Si	Español/mixteco	2 años	< 1 año	CD
M	12	Baja California	Mixteco	5 <sup>to</sup> primaria	Si	Español/mixteco	6 meses	6 meses	CD
M	16	Baja California	Mixteco	4 <sup>to</sup> primaria	Si	Español/mixteco	16 años	< 1 año	CD
F	45	Oaxaca	Mixteco	-	No	Español/mixteco	16 años	16 años	CD
M	14	Baja California	Mixteco	Secundaria	Si	Español/mixteco	14 años	< 1 año	CD
F	11	Baja California	Mixteco	5 <sup>to</sup> primaria	Si	Español/mixteco	11 años	< 1 año	CD
F	33	Oaxaca	Mixteco	Primaria	Si	Español/mixteco	6 años	1 año	CD
M	21	Oaxaca	Mixteco	Primaria	Si	Español/mixteco	4 años	2 años	CD

En la tabla 8, se observan los resultados más destacados de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y las leyes.

**Tabla 8.** Resultados del marco legal de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y Leyes en materia de seguridad social, seguridad e higiene y ambiente de trabajo.

<b>Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos</b>
En relación al artículo 123, los trabajadores del campo no tienen un trabajo digno o decente. artículo 123.
<b>Leyes</b>
<b>Ley Federal del Trabajo</b>
<b>Obligaciones de los trabajadores:</b> Los trabajadores del campo desconocen cuáles son sus obligaciones debido a que no saben cuáles son y por qué carecen de capacitación por parte de su patrón. Entre las obligaciones que no pueden cumplir son las normas de trabajo y las medidas para garantizar su seguridad personal.
<b>Obligaciones del patrón:</b> El patrón incumple con la falta de capacitación a sus trabajadores de las normas de trabajo, disposiciones de seguridad e higiene y seguridad del trabajador; no proporcionar instrumentos y materiales necesarios para la ejecución del trabajo. Por último, entre otras obligaciones, no otorga a sus trabajadores prestaciones de ley como la seguridad social, vivienda, entre otros.
<b>Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes</b>
No se cumple con lo establecido en el derecho de una vida libre de violencia y a la integridad interpersonal, principalmente por la explotación laboral de niños, niñas y adolescentes que se encuentran trabajando en actividades peligrosas y que está prohibida; el derecho a la protección de salud y a la seguridad social no se cumple en el sentido de la higiene y riesgos por la realización de actividades agrícolas y; el derecho a la educación tampoco se cumple ya que algunos niños y adolescentes no se encuentran estudiando.
<b>Ley General para Prevenir, Sancionar y Erradicar los Delitos en Materia de Trata de Personas y Para la Protección y Asistencia a las Víctimas de estos Delitos</b>
Los trabajadores del campo se encuentran en condiciones de explotación laboral y expuestos a riesgos sanitarios.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos y las leyes. En lo general, los trabajadores del campo, no tienen un trabajo digno o decente, como lo establece el artículo 123 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. La Organización Internacional del Trabajo (OIT) define el trabajo decente como “el trabajo productivo en condiciones de libertad, equidad, seguridad y dignidad, en la cual los derechos son protegidos y que cuentan con remuneración adecuada y protección social”. El trabajo

decente, integra cinco componentes: 1) trabajo productivo; 2) Con protección de derechos; 3) con ingresos adecuados; 4) con protección social y; 5) con presencia del tripartismo (gobiernos, las organizaciones de los empleados y los sindicatos) y diálogo social (Gálvez *et al.*, 2011).

En cuanto a derechos sociales de los trabajadores del campo, ambos grupos manifestaron que no tienen un contrato laboral firmado, a pesar de la prestación de un trabajo personal subordinado a una persona, mediante el pago de un salario. Además, todos los trabajadores tienen una permanencia continua mayor de tres meses, por lo que existe la presunción de ser trabajadores de planta de acuerdo al artículo 280 de la Ley Federal del Trabajo. Esto es importante porque significa que a pesar de que no existan las condiciones de trabajo por escrito, no exime al patrón la falta de esta formalidad de los derechos de las normas de trabajo y los servicios prestados (Ley Federal del Trabajo, última reforma 2012, artículos del 20 al 26). El salario que recibe un CD es de \$200.00 pesos por día y \$35.00 pesos las horas extras, su jornada es de 7:00–15:30 horas más una hora extra y no se les paga el día de descanso (domingo). En caso de trabajar el domingo, se les paga como un día de trabajo ordinario. Los trabajadores del campo encuestados señalan que, a pesar de no tener seguridad social, el patrón les proporciona servicio médico particular en caso de accidente o enfermedad.

Para las obligaciones de los trabajadores que exige la Ley Federal del Trabajo, ninguno trabajador ha recibido capacitación por parte de su patrón y desconocen los preceptos que obliga esta ley, tales como: cumplir con las disposiciones de las normas de trabajo; observar las medidas preventivas e higiénicas para la seguridad y protección personal. Respecto a las obligaciones del patrón, no hubo evidencia de que los dos patrones las cumplen con los preceptos de esta ley, ya que los trabajadores del campo manifestaron lo siguiente: no les proporcionan capacitación de las normas de trabajo y seguridad e higiene; carecen de equipo de protección personal; no tienen prestaciones de seguridad social, vivienda, entre otras que exige esta ley. En lo concerniente al apartado de trabajadores del campo de esta ley, dado al número de semanas que tienen trabajando todos los trabajadores del campo

para sus patrones y el tiempo de residencia, ningún trabajador se encuentra en la modalidad de eventual o estacional (Tablas 6 y 7).

En vista de que la ley Federal del Trabajo protege a las mujeres embarazadas o en lactancia, se cuestionó a todas las mujeres si se encontraban en alguna de estas condiciones, sin embargo, no se encontraron mujeres embarazadas o en lactancia, pero una trabajadora comentó que trabajó embarazada en este lugar y que su patrón no le brindó seguridad social, por lo que por cuenta propia contrató el servicio del seguro popular para ser atendida.

Dentro de sus lineamientos, la Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes considera un total de 20 derechos, sin embargo, en la encuesta solamente se acoto a tres derechos: derecho de una vida libre de violencia y a la integridad personal, derecho a la protección de salud y a la seguridad social y derecho a la educación. En el grupo 1 no se encontraron niños y niñas (> 12 años) ni adolescentes (12-18 años) laborando, por lo que los preceptos de la Ley en el artículo 47 fracción V y VI sí se cumplen. No obstante, un CD manifestó que empezó a trabajar a los 17 años, por lo que existe una presunción de minoría de edad. Por otra parte, en el grupo 2, se encontraron trabajando niñas, niños y adolescentes por lo que no se cumplen con el derechos de una vida libre de violencia y a la integridad interpersonal, a la protección de salud y a la seguridad social y a la educación (algunos casos) de acuerdo al artículo 13 fracciones VII, IX y XI, respectivamente de esta ley. El trabajo de menores de edad se encuentra prohibida para de realización actividades peligrosas (agrícolas) o insalubres, según la reforma del 12 de junio de 2015 de la Ley Federal del Trabajo (STPS, 2017).

En lo concerniente a la Ley General para Prevenir, Sancionar, Erradicar los Delitos en Materia de Trata de Personas y Para la Protección y Asistencia a las Víctimas de estos Delitos, se investigó la vulnerabilidad y la explotación laboral en los términos del artículo 21 de la presente ley. Los trabajadores del campo, se encuentran en situación de vulnerabilidad dado a que cumplen con algunas condiciones particulares: condición socioeconómica precaria, nivel educativo, situación migratoria, pertenecer o ser originario

de un pueblo o comunidad indígena de acuerdo a esta ley. Asimismo, a lo que refiere esta ley, son víctimas de tratos de personas por explotación laboral que refiere a las personas que se encuentran trabajando en condiciones peligrosas e insalubres y sin las protecciones necesarias, de acuerdo a la legislación laboral o las normas existentes para el desarrollo de su actividad. Las penas que puede alcanzar el patrón son de cárcel y multa, y por tratarse de delitos a personas en condición de vulnerabilidad, las penas aumentan hasta una mitad.

Para un mejor entendimiento de las Normas Oficiales Mexicanas de la STPS, se dividió en normas de seguridad, normas de salud, normas de organización y normas específicas.

En la tabla 9, se muestran los resultados más destacados de las obligaciones del trabajador y del patrón de la normas de seguridad.

**Tabla 9.** Resultados de las obligaciones del trabajador y del patrón de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de seguridad

<b>Normas en seguridad</b>
<b>NOM-001-STPS-2008</b>
<p><b>Obligaciones del trabajador:</b> A falta de capacitación o adiestramiento por parte de sus patrones, los trabajadores no informan a sus patrones sobre las condiciones inseguras en el desempeño de sus funciones a pesar que más de la mitad consideró que si las hay. Además, manifestaron que no conocen cuales son los usos y conservación de sus áreas de trabajo.</p> <p><b>Obligaciones del patrón:</b> Los patrones no tienen adecuado los centros de trabajo con áreas de sanitarios, área para el consumo de alimentos, área de regaderas y vestidores para la descontaminación del trabajador. Además, los patrones no proporcionan capacitación a los trabajadores del campo para los usos y conservación de las áreas donde realizan su trabajo.</p> <p><b>Requisitos de seguridad en el centro de trabajo:</b> No existen delimitaciones en las diferentes áreas de los centros de trabajo.</p> <p><b>Seguridad para el tránsito de los vehículos:</b> No existen delimitaciones para circulación, carga, descarga y señalamientos (circulación, límite de velocidad, etc.).</p>
<b>NOM-002-STPS-2010</b>
<p><b>Obligaciones del trabajador:</b> No cuentan con capacitación y adiestramiento por parte de sus patrones, por lo tanto, no pueden cumplir con las condiciones de prevención y protección contra incendios, plan de atención a emergencias de incendio, brigadas contra incendio, simulacros de emergencia de incendios.</p> <p><b>Obligaciones del patrón:</b> A través de información recabada con los trabajadores, existe una presunción de incumplimiento de las obligaciones de los patrones.</p>

#### **NOM-005-STPS-1998**

**Obligaciones del trabajador:** No cuentan con capacitación o adiestramiento por parte de sus patrones, por lo que no pueden cumplir con sus obligaciones de llevar un procedimiento seguro para llevar a cabo las medidas de seguridad, uso y mantenimiento de equipo de protección personal, participar en brigadas de emergencias y someterse a exámenes médicos.

**Obligaciones del patrón:** Los patrones no tienen adecuado los centros de trabajo con áreas con regaderas y lavaojos para en caso de emergencia, regaderas, vestidores y casilleros para los trabajadores que están en contacto con sustancias peligrosas; no proporcionan capacitación en primeros auxilios y sobre seguridad e higiene ni proporcionan equipo de protección personal; no comunican a sus trabajadores del campo sobre los riesgos a los que están expuestos y; no practican exámenes médicos a sus trabajadores.

#### **NOM-006-STPS-2014**

**Obligaciones del trabajador:** No cumplen con sus obligaciones ya que van en función de las normas y medidas preventivas que el patrón no les ha proporcionado. Entre las obligaciones que no cumplen son las de observar las medidas preventivas de la presente norma y las que establezcan sus patrones; someterse a exámenes médicos; participara en capacitaciones o adiestramientos.

**Obligaciones del patrón:** No hay evidencia de la existencia de un procedimiento para realizar las actividades de manejo y almacenamiento de materiales de forma manual; no proporcionan equipo de protección para el desempeño de las funciones de sus trabajadores del campo; no informan a los trabajadores sobre los riesgos expuestos ni los capacitan para el manejo y almacenamiento de materiales de forma manual.

#### **NOM-026-STPS-2008**

**Señales de seguridad e higiene:** Se encontró solamente un señalamiento de prohibición en el reservorio y cumple con las características señaladas en la norma en un solo centro de trabajo, sin embargo, los centros de trabajo carece de más señalamientos de prohibición, obligación, prevención e información.

**Identificación de riesgos por fluidos conducidos por tuberías:** En las tuberías expuestas de los centros de trabajo no cuentan con el código de identificación con las características que señala esta norma (color de seguridad, color contraste, información complementaria e indicación de dirección de flujo).

---

La NOM-001-STPS-2008 (DOF, 2008), sobre edificios locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo. Los centros de trabajo no cuentan con áreas de sanitarios, instalaciones para descontaminar al trabajador, áreas para aseo personal y vestidores y no hay delimitaciones de áreas.

En lo concerniente a las obligaciones del patrón de esta norma, con base a la observación e información recabada de los trabajadores del campo, se pudo constatar que en los centros de trabajo no se cuenta las áreas siguientes: sanitarios (retretes, mingitorios, lavabos, entre

otros) limpios y seguros (en algunos centros de trabajo cuentan con letrinas y en otros con baños portátiles), por lo que existe el riesgo de contraer enfermedades ocasionadas por la falta de higiene y aseo; lugar reservado para el consumo de alimentos, por lo que los trabajadores del campo comen en cualquier lugar de la parcela (orilla de la parcela de siembra, debajo de un árbol, al lado del camión de transporte, etc.); área de regaderas y vestidores para la descontaminación del trabajador del campo, lo cual esto es necesario ya que los CD y el IMSR se encuentran en contacto directo con el ART por el desempeño de sus funciones y el OTSF se encuentra expuesto a insumos agrícolas (insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes) y necesitan descontaminarse al final de su jornada.

Para las obligaciones de los trabajadores de la NOM-001-STPS-2008 (DOF, 2008), al cuestionarles a los trabajadores del campo de que si existían condiciones inseguras en el lugar de trabajo, más de la mitad contestó que sí, pues perciben que hay riesgos a su integridad física y su salud mas no lo externan a sus patrones, tal como lo exige esta norma. Por otro lado, todos los trabajadores contestaron que nunca han recibido información por parte de su patrón sobre los usos y conservación de las áreas de trabajo.

Por otra parte, la presente norma, en el apartado de requisitos de seguridad en el centro de trabajo obliga que todas las áreas del centro de trabajo se encuentren delimitadas, sin embargo, se pudo constatar que no hay áreas delimitadas ni señalizadas (ejemplos: siembra, circulación de personas y vehículos, etc.), salvo algunos reservorios de ART que se encuentran ubicado en diferentes centros de trabajo (con malla perimetral, señalización y de acceso restringido) (Figura 16).



**Figura 16.** Reservorio de agua residual tratada de la parcela 97.

Con respecto a la NOM-002-STPS-2010 (DOF, 2010), condiciones de seguridad-prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo, a grandes rasgos, no se cumple ningún precepto de la norma en relación con las obligaciones del trabajador y del patrón, condiciones de prevención y protección contra incendios, plan de atención a emergencias de incendio, brigadas contra incendio, simulacros de emergencia de incendios y capacitación. Para las obligaciones del patrón que exige la norma (clasificación del riesgo de incendio, elaboración de un croquis del centro de trabajo, contar con las instrucciones de seguridad en cada área del centro de trabajo, cumplir con las condiciones de prevención contra incendios del centro de trabajo, contar con un plan de atención a emergencias y brigadas contra incendio y un programa de capacitación anual teórico-práctico en materia de prevención de incendios y atención a emergencias, dotar del equipo de protección personal a los integrantes de las brigadas contra incendio, entre otros), existe una presunción de incumplimiento debido a que los patrones no se les proporcionan a sus trabajadores instrucciones de seguridad, medidas de prevención y protección contra incendios, capacitación a respuestas de emergencias e incendios, no saben ni participan en brigadas contra incendio, no cuentan con equipo para afrontar un incendio, además de que nunca han participado en simulacros de emergencias de incendios. La relevancia de la

información, es que los trabajadores no saben cómo actuar ante un incendio, por lo que su integridad quedaría comprometida ante una emergencia.

En relación con la NOM-005-STPS-1998 (NOM, 1998), relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, las únicas sustancias químicas que se utilizan en los centros de trabajo son los insumos agrícolas. Respecto a las obligaciones del patrón en la presente norma, se obtuvo de los trabajadores del campo y la observación la información siguiente: Los centros de trabajo no cuentan con regaderas y lavaojos para caso de emergencia; no hay regaderas, vestidores, casilleros y servicio de limpieza de ropa para los trabajadores que están en contacto con sustancias químicas peligrosas; no proporcionan capacitación de primeros auxilios; prácticamente no proporcionan equipo de protección personal; no capacitan o adiestran a los trabajadores sobre seguridad e higiene para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas; no comunican a sus trabajadores sobre los riesgos a los que están expuestos y; no practica exámenes médicos de ingreso, periódicos y especiales a los trabajadores que están expuestos a las sustancias químicas peligrosas. En lo que concierne al cumplimiento de las obligaciones de los trabajadores que no se cumplen son: conocer las medidas de seguridad establecidas por el patrón; participar en capacitación y adiestramiento; cumplir con las instrucciones de uso y mantenimiento del equipo de protección personal; participar en brigadas de emergencias; y sometimiento a exámenes médicos.

En cuanto a los preceptos de esta norma en relación al transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, a decir del OTSF, el mayordomo (encargado del grupo), es quien le corresponde recoger los insumos agrícolas en el almacén, transportarlos y los vacía en el tanque del sistema de fumigación. En el presente estudio no se revisó el cumplimiento de los requisitos de seguridad e higiene para el transporte y almacenamiento de las sustancias químicas.

La NOM-006-STPS-2014 (DOF, 2014), manejo y almacenamiento de materiales-condiciones de seguridad y salud en el centro de trabajo. En los centros de trabajo, no existen las

condiciones de seguridad para el manejo de materiales mediante la carga manual dado a que no siguen un procedimiento seguro para la carga, por lo que se pudo evidenciar que existen riesgos a un daños físicos delos trabajadores del campo.

En los centros de trabajo, no se observó el uso de maquinaria para el manejo y almacenamiento de materiales. A través de los trabajadores del campo se obtuvo información en relación al cumplimiento de las obligaciones de sus patrones, los hallazgos fueron los siguientes: desconocen la existencia un procedimiento para realizar las actividades de manejo y almacenamiento de materiales en forma manual, además que no se les proporcionan equipos auxiliares para el manejo de la carga; no les proporcionan equipos de seguridad y protección (por ejemplo: faja) y; no se les informan a los trabajadores sobre los riesgos expuestos ni les capacitan o se les adiestra sobre el manejo y almacenamiento seguro de acuerdo a su actividad. Los trabajadores de campo no cumplen con sus obligaciones ya que van en función de las normas y medidas preventivas que el patrón les debe proporcionar. Entre las obligaciones que no pueden cumplir son: observar las medidas preventivas y las que establezca el patrón; someterse a exámenes médicos; participar en capacitaciones y adiestramientos; entre otros.

En las tablas 10 y 11, se muestran los objetos de carga y la percepción del peso del objeto por parte del trabajador del campo. La mayoría de los trabajadores manifestaron que sienten molestias en la espalda debido a las posturas que adoptan por la naturaleza de su trabajo y la carga manual, principalmente por el levantamiento de objetos de su actividad.

**Tabla 10. Carga manual de materiales del grupo 1**

Sexo	Edad	Puesto de trabajo	Objeto o instrumento de apoyo para levantar la carga manual	Objeto de carga	Percepción de peso del objeto de carga (Kg)
M	53	IMSR	Ninguno	Rollo de manguera de riego	70-80
M	43	OT	Ninguno	Partes mecánicas del tractor	Varía
M	52	OTSF	Palanca	Cultivadoras	100-150
F	24	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
M	18	CD	Ninguno	Manojos de flores	25
F	19	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
M	18	CD	Ninguno	Manojos de flores	20
M	31	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe

**Tabla 11. Carga manual de materiales del grupo 2**

Sexo	Edad	Puesto de trabajo	Objeto o instrumento de apoyo para levantar la carga manual	Objeto de carga	Percepción de peso del objeto de carga (Kg)
M	23	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
F	14	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
F	15	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
M	12	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
M	16	CD	Ninguno	Manojos de flores	10
F	45	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
M	14	CD	Ninguno	Manojos de flores	25
F	11	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
F	33	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe
M	21	CD	Ninguno	Manojos de flores	No sabe

En la tabla 7, se observa que hay niños y adolescentes realizando actividades de carga manual, lo cual es relevante porque puede ocasionarles daños físicos y por otra parte no deberían estar realizando actividades de campo como se mencionó anteriormente. Los trabajadores del campo realizan la carga manual de materiales en condiciones inseguras con riesgos potenciales a daños físicos por el peso de los objetos de carga, falta de equipos auxiliares y desconocimiento de un procedimiento seguro para el levantamiento de objetos.

La NOM-026-STPS-2008 (DOF, 2008), colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos por tuberías, no se incluye dentro del

Protocolo de Inspección de la STPS (STPS, 2016), sin embargo, se consideró porque en los centros de trabajo se utiliza el ART para riego agrícola. Por lo que respecta a señales, solamente se encontró una señal en el reservorio (figura 16) y cumple con lo especificado en la norma en lo siguiente: color de seguridad rojo para prohibir la acción específica de tomar agua, color de contraste blanco que corresponde para el color de seguridad, la forma geométrica de prohibición para suspender una acción susceptible de provocar un riesgo y el símbolo (grifo y vaso) que corresponde para agua no potable con el mismo color del contraste (negro) y las características del texto aparentemente concuerdan con lo que se menciona en la presente norma. Los centros de trabajo carecen de señalamientos de obligación (por ejemplo: equipo de protección de seguridad), precaución (ejemplo: vía de circulación de vehículos) e información. En relación a la identificación de riesgos por fluidos conducidos por tuberías, de acuerdo a la norma y las características del ART, el ART se clasifica como fluido peligro por ser un líquido que puede ocasionar una enfermedad de trabajo por sus características intrínsecas (riesgos por agentes biológicos), donde la NOM-048-SSA1-1993, define como agente biológico a los organismos vivos que por sus características y bajo ciertas condiciones en el ambiente o el hombre, pueden causar daño a la salud humana.

En los centros de trabajo no se observaron en las tuberías expuestas que conducen el ART del reservorio hacia los campos de cultivo algún color distintivo o señalamiento de seguridad e higiene por lo que no se incumplen los preceptos de la norma (obligaciones del patrón y trabajadores, colores de seguridad y colores de contraste, señales de seguridad e higiene e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tubería). Con base en los criterios de esta norma, las tuberías que conducen este tipo de fluidos deben de utilizar un código de identificación con las características siguientes: color de seguridad amarillo, de acuerdo a cualquiera de las tres alternativas (a todo lo largo y su circunferencia, banda de identificación o etiquetas indelebles con la medida del ancho de la tabla 5 de esta norma); información complementaria con la leyenda de riesgo biológico; señalización de seguridad e higiene y; la dirección de flujo.

Actualmente, la tubería que conduce el ART de la PTARN a las descargas de los reservorios se le conoce como tubería morada debido a su color distintivo y esto obedece a un criterio de la CESPE con características del diseño de instalaciones para agua reciclada de los Estados Unidos de Norte América (Marina Coast Water District, 2002).

Dentro el Protocolo de Inspección de la STPS (STPS, 2016), también se consideran las normas: NOM-020-STPS-2011 (DOF, 2011), recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas-funcionamiento-condiciones de seguridad e higiene; NOM-022-STPS-2015 (DOF, 2016), electricidad estática en los centros de trabajo-condiciones de seguridad e higiene y; NOM-027-STPS-2008 (DOF, 2008), actividades de soldadura y corte-condiciones de seguridad e higiene. Sin embargo, no se tomaron en cuenta estas normas ya que en los centros de trabajo no se llevan actividades con los equipos anteriormente mencionados, actividades peligrosas que puedan ocasionar un conato de incendio o riesgo de explosión o incendio por generación de chipa por la electricidad estática.

En materia de salud, el protocolo de inspección de la STPS (STPS, 2016), considera la norma NOM-011-STPS-2001 (DOF, 2002), condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. En los centros de trabajo, las únicas fuentes fijas de ruido son las bombas que conducen las ART a través los filtros de arena (zona del reservorio) y las bombas auxiliares para el sistema de riego por goteo. No obstante, dada la naturaleza de trabajo no hay personal en un puesto fijo de trabajo, que este expuesto al ruido en forma permanentemente. El ruido que generan las fuentes fijas, es bajo en condiciones normales de operación y aparentemente no representan un riesgo a la salud de los trabajadores del campo, no obstante, no exime a los patrones cumplir y demostrar que los decibeles se encuentran por debajo del límite máximo permitido.

En la tabla 12, se muestran los resultados de las obligaciones del trabajador y del patrón de la normas de organización. La NOM-017-STPS-2008 (DOF, 2008), equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo, tiene por objeto los requisitos mínimos para que el patrón seleccione, adquiera y proporcione a sus trabajadores el equipo de protección personal para protegerlos de los agentes del medio ambiente de trabajo que puedan dañar su integridad física y su salud, sin embargo, los trabajadores del campo carecen del equipo de protección para realizar sus actividades de acuerdo a su función de forma segura para evitar el contacto con el ART e insumos agrícolas y han ocurrido accidentes y problemas de salud, por lo que deja en evidencia que los patrones no cuentan con un análisis de riesgo de acuerdo en función de los riesgos de trabajo según su actividad y por ende no cumplen con lo señalado en la norma.

**Tabla 12.** Resultados de las obligaciones del trabajador y del patrón de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de organización

<b>Normas de organización</b>
<b>NOM-017-STPS-2008</b>
<b>Obligaciones del trabajador:</b> No usan equipo de protección de protección personal de acuerdo al tipo de riesgo en función de su actividad.
<b>Obligaciones del patrón:</b> No proporcionan equipo de protección personal a los trabajadores.
<b>NOM-018-STPS-2015</b>
<b>Obligaciones del trabajador:</b> No conocen el sistema armonizado de identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, las hojas de datos de seguridad y la señalización.
<b>Obligaciones del patrón:</b> No capacitan o adiestran sus trabajadores en cuanto al sistema armonizado, hojas de datos de seguridad y señalización.
<b>NOM-019-STPS-2011</b>
<b>Comisión de seguridad e higiene:</b> Los trabajadores del campo desconocen que es una comisión de seguridad e higiene, por lo que deja en evidencia que en el centro de trabajo no existe una comisión de seguridad e higiene.

En las tablas 13 y 14 se observan los equipos de protección personal y las partes expuestas del cuerpo al ART e Insumos agrícolas de acuerdo a su puesto de trabajo y/o actividad de los dos grupos.

**Tabla 13.** Equipo de protección personal y partes del cuerpo expuestas de los trabajadores del campo del grupo 1

Sexo	Edad	Puesto de trabajo	Partes del cuerpo expuestas		Equipo de protección personal
			ART	Insumos	
M	53	IMSR	Todo el cuerpo	Ninguno	Ninguno
M	43	OT	Pies	Ninguno	Ninguno
M	52	OTSF	Pies	Todo el cuerpo y sistema respiratorio	Guantes de nitrilo
F	24	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Guantes de tela
M	18	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Guantes de tela
F	19	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Guantes de tela
M	18	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Guantes de tela
M	31	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Guantes de tela

**Tabla 14.** Equipo de protección personal y partes del cuerpo expuestas de los trabajadores del campo del grupo 2

Sexo	Edad	Puesto de trabajo	Partes del cuerpo expuestas		Equipo de protección personal
			ART	Insumos	
M	23	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Ninguno
F	14	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Ninguno
F	15	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Ninguno
M	12	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Ninguno
M	16	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Guantes de tela
F	45	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Guantes de tela
M	14	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Ninguno
F	11	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Ninguno
F	33	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Ninguno
M	21	CD	Pies y manos	Pies y manos (trazas)	Guantes de tela

El IMSR, no cuenta con equipo de protección personal y la totalidad de su cuerpo se encuentra expuesto al ART (Tabla 13). El IMSR, manifestó que por el desempeño de actividad tuvo un accidente de intoxicación por la ingesta involuntaria de ART al momento de reparar una manguera del sistema de riego que se encontraba presurizada, lo que le ocasionó vómito y diarrea, además comentó que actualmente tiene molestias por ardor en las manos debido a la interacción con el ART sin protección en las manos.

En la tabla 13, se observa que el OT y el OTSF, tienen similitud en cuanto a la exposición al ART en los pies ya que en el sitio de trabajo son normales los encharcamientos o

inundaciones (principalmente en los surcos) por el riego. El OTSF, se encuentra expuesto en todo el cuerpo y las vías respiratorias a los insumos fitosanitarios o plaguicidas durante su aplicación por aspersión (partículas suspendidas), a pesar de ir en la cabina del tractor. En la figura 17, se observa un guante de nitrilo que utiliza el OTSF.



**Figura 17.** Guante de nitrilo del operador del tractor con sistema de fumigación.

Los CD, tienen los pies y las manos expuestos al ART e insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes (Tablas 12 y 13). Es importante mencionar que la ropa de los CD, puede arrastrar trazas de los insumos por el contacto que tienen con las plantas por sus actividades. Hubo cortadores/deshierbadores que comentaron que tienen problemas de salud por el desempeño de sus actividades, por ejemplo, una trabajadora padece de urticaria en los brazos y otro trabajador dijo que esporádicamente tiene infecciones en los ojos. En la tabla 13, se aprecia que los cortadores/deshierbadores usan guantes de tela (en la mayoría de los casos son comprados por ellos), sin embargo, no son los adecuados ya que permiten el paso del ART hacia la piel y no tienen la característica de resistir cortes por objetos punzocortantes como tijeras o navajas que son necesarias para el levantamiento de la cosecha de las flores. En la figura 18, se observa a dos cortadores sin equipo de protección adecuado para las extremidades inferiores y superiores (nótese que uno de ellos en sus manos tiene unas verrugas).

Estudios de Mendoza-Espinosa y Daesslé (2018), durante el período de febrero a noviembre del 2015, detectaron que las concentraciones de coliformes fecales del ART rebasaron los niveles máximos permitidos de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en una ocasión en los puntos de descarga en las parcelas 93 y 94 del valle de Maneadero y en las descargas de los arroyos Las Ánimas y San Carlos. Además, en cuatro muestras de un total de seis encontraron altos niveles de coliformes fecales en octubre y otra en diciembre del 2015. Estos autores atribuyen que la presencia de coliformes pudo ser causado por problemas operacionales de la PTARN.

La Organización de la Salud (WHO, 2006), recomienda medidas de uso de equipo de protección personal, acceso a agua potable y facilidades sanitarias, promoción de salud e higiene, vector de la enfermedad y control del huésped vectorial.

Con base a la norma oficial mexicana NOM-017-STPS-2008 (DOF, 2008) y lo observado en los centros de trabajo, en la tabla 15 se hacen las recomendaciones de equipo de protección personal de acuerdo al puesto de trabajo y el tipo de riesgo en función de su actividad.



**Figura 18.** Cortador/deshierbador con herramienta para deshierbe.

**Tabla 15.** Recomendación de equipo de protección personal para los trabajadores de campo en contacto con agua residual tratada e insumos agrícolas

Puesto de trabajo	Región anatómica	Equipo de protección personal	Tipo de riesgo en función de la actividad del trabajo
IMSR	Ojos y cara	Anteojos de protección	Riesgo de proyección de líquidos
	Extremidades superiores	Guantes de látex y anticorte	Riesgo por exposición o contacto con ART y corte por el uso de herramientas punzocortantes en el mantenimiento del sistema de riego por goteo
	Tronco	Overol	Riesgo por exposición o contacto con ART y trazas de insumos agrícolas
	Extremidades inferiores	Botas	Riesgo por exposición o contacto con ART
OT	Extremidades inferiores	Botas	Riesgo por exposición o contacto con ART
OTSF	Ojos y cara	Goggles	Riesgo de exposición a vapores o humos de insumos agrícolas
	Aparato respiratorio	Respirador contra gases y vapores	Riesgo de exposición a vapores o humos de insumos agrícolas
	Extremidades superiores	Guantes contra sustancias químicas	Riesgo por exposición o contacto con insumos agrícolas
	Tronco	Overol	Riesgo por exposición o contacto con insumos agrícolas
	Extremidades inferiores	Botas	Riesgo por exposición o contacto con ART
CD	Extremidades superiores	Guantes de látex y anticorte	Riesgo por exposición o contacto con ART y corte por el uso de herramientas punzocortantes
	Tronco	Overol	Riesgo por exposición o contacto con ART y trazas de insumos agrícolas
	Extremidades inferiores	Botas	Riesgo por exposición o contacto con ART

Por lo que respecta a la NOM-018-STPS-2015 (DOF, 2015), sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo, las únicas sustancias químicas que se utilizan son los insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes. En relación a las obligaciones de los trabajadores, todos manifestaron que desconocen que es el sistema armonizado de identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas, las hojas de datos de seguridad (HDS) y la señalización, además comentaron que nunca se les ha capacitado o adiestrado.

Referente a la NOM-019-STPS-2011 (DOF, 2011), constitución, integración, organización, y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene, los trabajadores del campo desconocen que es una comisión de seguridad e higiene y no cumplen con lo dispuesto en las obligaciones del trabajador como el de tener representación en una comisión, proponer medidas para prevenir accidentes y enfermedades de trabajo, recibir capacitación o adiestramiento por parte de sus patrones en materia de seguridad y salud en el trabajo, entre otros. En vista de lo anterior, deja en evidencia que los patrones no cumplen con lo que los obliga esta norma por lo que existe una presunción de que no hay una comisión de seguridad e higiene constituida.

En la tabla 16, se muestran los resultados de las obligaciones del trabajador y del patrón de las normas específicas (condiciones de seguridad para actividades agrícolas).

**Tabla 16.** Resultados de las obligaciones del trabajador y del patrón de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de condiciones de seguridad para actividades agrícolas

<b>Normas específicas</b>
<b>NOM-003-STPS-1999</b>
<b>Obligaciones del trabajador ocupacionalmente expuesto:</b> No cuentan con capacitación para la interpretación de la etiqueta u hoja de seguridad de los insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes y no usan equipo de seguridad personal adecuado.
<b>Obligaciones del patrón:</b> No capacitan a los trabajadores del campo en cuanto la interpretación de la etiqueta u hoja de seguridad de los insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes; no informan sobre los riesgos a la salud por el manejo de los diferentes insumos; no proporcionan el equipo de protección adecuado al personal ocupacionalmente expuesto y; no tienen en los centros de trabajo señalamientos de seguridad e higiene.
<b>NOM-007-STPS-2000</b>
<b>Obligaciones del trabajador:</b> No usan equipo de protección personal, no se encuentran capacitados o adiestrados en seguridad; no le informan sus patrones sobre las condiciones peligrosas en sus áreas de trabajo; no verifican que sus herramientas se encuentren en condiciones óptimas; no se someten a exámenes médicos debido a que el patrón no los requiere para estas prácticas.
<b>Obligaciones del patrón:</b> No les informan a los trabajadores del campo sobre los riesgos que están expuestos de acuerdo a su función; no les imparten pláticas para realizar operaciones seguras prevenir riesgos de trabajo en uso y mantenimiento de maquinaria, equipo y herramienta, el correcto uso y mantenimiento del equipo de protección personal y atención a emergencias; no proporcionan capacitación o adiestramiento en maquinaria y equipo agrícolas y primeros auxilios y; no les dicen cuanto son los límites máximos de peso para la carga manual.

En relación con la NOM-003-STPS-1999 (DOF, 1999), actividades agrícolas-uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes-condiciones de seguridad e higiene. No se aplican las condiciones de seguridad e higiene para prevenir los riesgos a los que están expuestos los trabajadores del campo para el manejo de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes. El trabajador más expuesto a estos insumos es el OTSF y existen riesgos de problemas de salud por la falta de equipo de protección personal y por carecer de capacitación para el manejo de los mismos.

Con respecto a las obligaciones del patrón de esta ley, a través de los trabajadores del campo se pudo constatar lo siguiente: Los patrones no han capacitado a ningún trabajador del campo en cuanto a la interpretación de las instrucciones de la etiqueta u hoja de seguridad de los insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición o fertilizantes, asimismo, sobre los riesgos a la salud o ambiente; no proporcionan jabón y agua limpia para lavarse las manos y bañarse al trabajador ocupacionalmente expuesto a los insumos de la presente norma y equipo de protección personal adecuado y; no existen en los centros de trabajo señales para promover las condiciones de seguridad e higiene.

En cuanto las obligaciones del trabajador, el OTSF manifestó que no se le ha capacitado sobre las condiciones de seguridad e higiene para el manejo de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes, ni lo han capacitado en la interpretación de las instrucciones u hojas de seguridad de los insumos que maneja, sin embargo, manifestó que puede interpretar las etiquetas que traen los recipientes. El OTF, argumentó que prácticamente el solo se encarga de la aplicación de los insumos, en cuanto el almacenamiento, transporte del almacén al tractor, así como el llenado del tanque de los insumos, se encarga el mayordomo.

Al cuestionar al OTSF sobre el equipo de protección personal, argumentó que el no necesitaba ya que va a dentro de la cabina cerrada y que solo usa guantes (Figura 17) y una mascarilla cuyas características descritas coinciden las de contra polvo, sin embargo, ese día no la llevaba consigo. En cuanto los otros trabajadores del campo (IMSR, OT y CD) comentaron que ellos no manejan los insumos agrícolas de la presente norma. En relación

al grupo 2, solamente se encontraron trabajando CD. A pesar de no estar en contacto directo con este tipo de insumos, una CD, manifestó que el herbicida que utilizan en la flor estaticite, le genera problemas a su salud de flujo nasal, picazón en los brazos y las manos al realizar el corte de la cosecha.

En la figura 19, se observa a tres cortadores/deshierbadores realizando su trabajo y al fondo (aproximadamente a 40 m) se encuentra al tractor fumigador aplicando insumos fitosanitarios o plaguicidas, por lo que se puede constatar que esta actividad se lleva a cabo sin importar que haya gente trabajando, por lo que deja en evidencia de que existen condiciones inseguras con riesgos potenciales de generar problemas de salud a los trabajadores del campo y esto se agrava con la falta de equipo de protección personal.



**Figura 19.** Trabajadores del campo expuestos a insumos fitosanitarios o plaguicidas.

Finalmente, la NOM-007-STPS-2000 (DOF, 2001), actividades agrícolas, instalaciones, maquinaria, equipo, y herramienta-condiciones de seguridad, del mismo modo que las normas anteriores, tampoco se cumplieron con las obligaciones de los trabajadores del campo y del trabajador. En lo que concierne a las obligaciones de los trabajadores: desconocen cuáles son las instrucciones del uso del equipo de protección personal y que equipo se tiene que utilizar para el desempeño de sus funciones; los patrones no les proporcionan capacitación o adiestramiento de pláticas de seguridad; no le informan a sus patrones las condiciones peligrosas en sus áreas de trabajo; no verifican que sus herramientas se encuentren en condiciones óptimas; no se someten a exámenes médicos debido a que el patrón no los requiere para estas prácticas.

A través de información recabada por los trabajadores del campo, se pudo corroborar que sus patrones no cumplen con algunas de sus obligaciones siguientes: no les informan a los trabajadores sobre los riesgos que están expuestos de acuerdo a su función; no les imparten pláticas sobre cómo realizar operaciones seguras para prevenir riesgos de trabajo en uso y mantenimiento de maquinaria, equipo y herramienta, uso y mantenimiento del equipo de protección personal y para la atención a emergencias; no cuentan con capacitación o adiestramiento en maquinaria y equipo agrícolas; ningún trabajador del campo está capacitado en primeros auxilios y; los trabajadores del campo no los han capacitado o adiestrado para llevar a cabo un procedimiento seguro para la carga manual, como se especificó anteriormente (Tablas 9 y 10), como por ejemplo, el IMSR comentó que los rollos de las cintas de riego por goteo son muy pesadas y más aún después del uso por el ART que lleva. Por otra parte, el OT y el OTSF comentaron que cuando realizan mecánica a los tractores las piezas del motor son muy pesadas y usan palancas de madera para quitar y ayuda de otros trabajadores.

En cuanto las condiciones de seguridad que exige esta norma, solamente se verificaron para los tractores y herramientas. Mediante la observación e información recabada por los operadores se revisaron las condiciones de seguridad de los tractores. Ambos tractores contaban con espejo retrovisor, un camión no contaba con luces y tenían estructura circundante para protección del operador. Para las condiciones de seguridad de las herramientas son diferentes de acuerdo a la actividad. Los CD utilizan las tijeras para el corte de la cosecha y para el deshierbe una herramienta especial (Figura 18). El IMSR, utiliza diferentes herramientas, sin embargo, para cortar las cintas de riego utiliza un cuchillo de comedor por lo que contraviene las condiciones de seguridad y genera una condición insegura para el trabajador (Figura 20).



**Figura 20.** Herramientas del instalador del sistema de riego.

#### **4.5 Conclusiones**

Los trabajadores del campo del valle agrícola de Maneadero no tienen un trabajo digno o decente, se encuentran en situación de vulnerabilidad y son víctimas de explotación. Se encontraron niños, niñas y adolescentes trabajando, a pesar de que está prohibido por la Ley Federal del Trabajo y Ley General de los Derechos de Niñas, Niños y Adolescentes por tratarse de una actividad peligrosa e insalubre por el riego con ART. Los trabajadores del campo no cuentan con seguridad social y un contrato que acredite la relación obrero-patronal. Las normas de seguridad, organización y específicas no se cumplen. Los centros de trabajo carecen de señalamientos, baños, lugares para aseo personal, vestidores, áreas delimitadas, regaderas para descontaminación, entre otros. Los trabajadores del campo carecen de capacitación por parte de los patrones, desconocen las normas de trabajo, reglamentos, las normas en materia de seguridad, organización y específicas. Los trabajadores del campo se encuentran trabajando en condiciones peligrosas y sin equipo de protección personal lo que ha ocasionado accidentes de trabajo y enfermedades por el contacto directo con ART e insumos agrícolas.

## CAPÍTULO 5

### Conclusiones

El ART de la PTARN generalmente cumple con la normatividad mexicana, excepto que en algunas ocasiones se rebasaron las concentraciones de los contaminantes patógenos.

De acuerdo a estándares de la FAO el ART de la PTARN es salino, la  $CE_s$  y SDT se encuentra por arriba de las concentraciones recomendadas. Asimismo, el ART se encuentra enriquecida en  $Mg^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $PO_4^{-3}$  y K. Las altas concentraciones de SS, SDT, Mn y contaminantes patógenos son los causantes de la obturación o taponamiento del sistema del riego por goteo.

La parcela 97, tiene un suelo con una textura predominada por limos y arenas, donde la profundidad comprendida de 0-60 cm predomina la clasificación franco-limoso y para las profundidades de 60-120 franco-arenoso.

Hubo una disminución de salinidad en el suelo, principalmente por el lavado del  $Cl^-$  y  $Na^+$  en los perfiles. Las concentraciones del  $Ca^{2+}$  en el extracto de saturación de suelo aumentaron hasta seis veces en algunos perfiles debido a la adición de yeso y al poder de floculación del  $Ca^{2+}$ . En cuanto los metales traza en el extracto de saturación de suelo en la profundidad superficial, aumentaron las concentraciones del Al (5 veces en el sitio 2; 9 veces en el sitio 5 y; 3 veces en el sitio 6), Fe (1.5 veces en el sitio 2; 6 veces en el sitio 5 y; 2 veces en el sitio 6) por arriba del rango de concentración de la superficie en el suelo en el mundo y el Zn aumentó alrededor de 2 veces en el sitio 6 pero por debajo del rango de referencia.

En relación a la seguridad y medio ambiente de los trabajadores, los trabajadores del campo no tienen un trabajo digno o decente y se encuentran en situación de vulnerabilidad y son víctimas de explotación. Se encontraron niños y adolescentes trabajando a pesar de estar prohibido. Las leyes en materia de actividades agrícolas y las normas de seguridad, organización y específicas no se cumplen. Todos los trabajadores del campo trabajan en un insalubre y sin equipo de protección personal. Algunos trabajadores del campo han tenido

accidentes y también han tenido problemas de salud por el contacto directo con ART e insumos agrícolas.

### **Recomendaciones**

- La CESPE deberá garantizar cumplir con lo establecido en la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- Utilizar tratamiento UV antes de la descarga del efluente de la PTARN al reservorio como medida de seguridad para protección de contaminantes patógenos y parasitarios.
- Los ejidatarios deberán continuar monitoreando permanentemente la calidad del ART que reciben.
- Los ejidatarios deben mejorar la calidad el ART mediante la implementación de tratamiento adicionales con la finalidad de cumplir con los estándares de la FAO.
- Los ejidatarios deberán continuar monitoreando permanentemente la calidad del suelo en términos de salinidad y nutrientes.
- Los patrones y los trabajadores deberán cumplir con todos los preceptos que establecen las leyes, normas de seguridad, normas de organización y específicas que apliquen en actividades agrícolas, el manejo del ART y las que les pueda exigir la autoridad correspondiente.
- Los trabajadores del campo deberán usar equipo de protección de acuerdo a su función u actividad de acuerdo a la tabla 15 del capítulo 4.

## Referencias

- Al-Hamaiedeh, H., & Bino, M. (2010). Effect of treated grey water reuse in irrigation on soil and plants. *Desalination*, 256(1-3), 115-119. doi:10.1016/j.desal.2010.02.004
- Angelakis, A. N., and Spyridakis, S. V. (1996). Wastewater management in Minoan times. *In Proc. of the Meeting on Protection and Restoration of Environment*, pp. 28-30.
- Angelakis, A. N., Asano, T., Bahri, A., Jimenez, B. E. and Tchobanoglous, G. (2018). Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. *Environmental Science*, 6, 26. doi: 10.3389/fenvs.2018.00026
- Arellano, G. M. E., Camarena, O. L., Von-Glascoe, C. A., Ruiz, R. B., Zúñiga, V. E., Montaña, S. T. (2013). Daño genotóxico en mujeres y hombres expuestos a plaguicidas en cuatro localidades de Baja California. <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/673/dano.pdf> (acceso en octubre de 2018).
- ARMCANZ-ANZECC (2000). Guidelines for Sewerage Systems – Use or Reclaimed Water: Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand - Australian and New Zealand Environment and Conservation Council – National Health and Medical Research Council.
- ARMCANZ-ANZECC (2000). Guidelines for Sewerage Systems – Use or Reclaimed Water. Canberra, Australia: Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand and the Australian and New Zealand Environment and Conservation Council.
- ARMCANZ, ANZECC and NHMRC (2000). National water quality management strategy. Guidelines for sewerage systems: reclaimed water. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council, Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand, and National Health and Medical Research Council, Canberra, ACT.

- Asano T. (1987). Irrigation with reclaimed municipal wastewater. *Geo Journal*, 15(3),273-282. doi.org/10.1007/BF00213455
- Ayers R. S. & Westcot D. W. (1985). Water quality for agriculture(Vol. 29). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. www.fao.org/3/t0234e/t0234e00.htm (acceso en junio de 2017).
- Ben-Hur, M., Yolcu, G., Uysal, H., Lado, M., and Paz, A. (2009). Soil structure changes: aggregate size and soil texture effects on hydraulic conductivity under different saline and sodic conditions. *Soil Research*, 47(7), 688-696. doi.org/10.1071/SR09009
- Blumenthal, U. J., Mara, D. D., Peasey, A., Ruiz-Palacios, G., & Stott, R. (2000a). Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bulletin of the World Health Organization*, 78(9), 1104-1116. www.scielosp.org/scielo.php?pid=S0042-96862000000900006&script=sci\_arttext\_(acceso en marzo de 2018).
- Blumenthal, U. J., Cifuentes, E., Bennett, S., Quigley, M., & Ruíz-Palacios, G.(2000b). The risk of enteric infections associated with wastewater reuse: the effect of season and degree of storage of wastewater. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 95(2), 131-137. doi.org/10.1016/S0035-9203(01)90136-1
- Blumenthal, U. J., Mara, D. D., Ayres, R. M., Cifuentes, E., Peasey, A., Stott, R., Lee, D. L., & Ruíz-Palacios G.(1996). Evaluation of the WHO nematode egg guidelines for restricted and unrestricted irrigation. *Water Science and Technology*, 1996, 33(10/11): 277–283. doi.org/10.1016/0273-1223(96)00430-1
- Bolong, N., Ismail, A. F., Salim, M. R., & Matsuura, T. (2009). A review of the effects of emerging contaminants in wastewater and options for their removal. *Desalination*, 239(1-3), 229-246. doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.020
- Bradford, G. R., Bair, F. L., Hunsaker, V. (1971). Trace and major element contents of soils saturation extracts. *Soil Sciences* 112: 225-230.

- Cakmak, I., Yazici, A. M. (2010). Magnesium: a forgotten element in crop production. *Better Crops* 94(2), 23–25. [www.kali-gmbh.com/en/pdf-articles/article-201006-better-crops-magnesium.pdf](http://www.kali-gmbh.com/en/pdf-articles/article-201006-better-crops-magnesium.pdf) (acceso en noviembre de 2018).
- California State Board of Health (CSBH) (1918). *Regulations Governing Use of Sewage for Irrigation Purposes*. Sacramento, CA: California State Board of Health.
- Camann, D. E., Graham, P. J., Guentzel, M. N., Harding, H. J., Kimball, K. T., Moore, B. E., Northrop, R. L., Altman, N. L., Harrist, R. B., Holquin, A. H., Masson, R. L., Becker P. C., & Sorber, C.(1986). The Lubbock land treatment system research and demonstration project. Vol. 4. Lubbock Infection Surveillance Study (LISS). North Carolina, United States Environmental Protection Agency, 1986 (project summary USEPA/600/S2-86/027d).
- Camarena, O. L., Von, G. C., Martínez V. C., y Arellano G. E. (2013). Riesgos del trabajo y salud: percepción de mujeres indígenas jornaleras en el noroeste de México. *Salud Colectiva*. 9(2), 247-256. [www.scielosp.org/scielo.php?pid=S1851-82652013000200009&script=sci\\_arttext&tIng=pt](http://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S1851-82652013000200009&script=sci_arttext&tIng=pt) (acceso en octubre de 2018).
- Camarena, O. L., Von, G. C., Arellano, G. E., Zúñiga, V. É., y Martínez, V. C. (2012). Agroquímicos y Mujeres Indígenas Jornaleras en Baja California. Género, Ambiente y Contaminación por Sustancias Químicas. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 67-77. <https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=ELqTQafYMNUC&oi=fnd&pg=PA67&dq=Camarena+O.+L.,+Von,+G.+C.,+Arellano,+G.+E.,+Z%C3%BA%C3%B1iga,+V.+%C3%89.,+y+Mart%C3%ADnez,+V.+C.+%282012%29.+Agroqu%C3%ADmicos+y+Mujeres+Ind%C3%ADgenas+Jornaleras+en+Baja+California.+G%C3%A9nero,+Ambiente+y+Contaminaci%C3%B3n+por+Sustancias+Qu%C3%ADmicas.+Secretar%C3%ADa+de+Medio+Ambiente+y+Recurso&ots=MpZ0NtNZzU&sig=kvBNHm80-EttLMXbppPDeb1QO4s#v=onepage&q&f=false> (acceso en octubre de 2018).
- Carr, R. M., Blumenthal, U. J., & Mara, D. D. (2004). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture: developing realistic guidelines in Scott, C. A., Faruqui, N.

I., and Raschid-Sally (CABI Publishing) Wastewater use in irrigated agriculture: confronting the livelihood and environmental realities. 41-58. London, U.K., (CABI Publishing).

[www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/225/mod\\_label/intro/iwmi\\_4.pdf](http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/225/mod_label/intro/iwmi_4.pdf) (acceso en febrero de 2018).

Chen, W., Lu, S., Pan, N., Wang, Y., and Wu, L. (2015). Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. *Chemosphere*, 119, 654-661. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.035

Cifuentes, E., Blumenthal, U., Palacio, G. R., Bennett, S., Quigley, M., Peasey, A., y Romero-Álvarez, H. (1993). Problemas de salud asociados al riego agrícola con agua residual en México. *Salud Pública de México*, 35(6), 614-619. <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/5708/6275> (acceso en septiembre de 2018).

Cifuentes E. (1985) Impact of wastewater irrigation on intestinal infections in a farming population in Mexico: the Mezquital valley [PhD thesis]. London, University of London.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2018). Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, pp.57-75. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/419291/PNH\\_Reporte\\_Transversalidad\\_Dic18.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/419291/PNH_Reporte_Transversalidad_Dic18.pdf) (acceso en julio de 2018).

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2017). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. [www.gob.mx/conagua](http://www.gob.mx/conagua) (acceso en mayo de 2018).

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2012). Programa Hídrico Regional Visión 2030. Región Hidrológico-Administrativa I Península de Baja California. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

Naturales.<http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/1-sgp-17-12pbc.pdf> (acceso en febrero de 2018).

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México: SEMARNAT.  
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-29.pdf> (acceso en noviembre de 2017).

Contreras, J. D., Meza, R., Siebe, C., Rodríguez-Dozal, S., López-Vidal, Y. A., Castillo-Rojas, G., Amieva R. I., Solano-Gálvez R. G., Mazari-Hiriart M., Silva-Magaña Miguel A., Vázquez-Salvador N., Rosas P. I., Martínez, R. L., Salinas C. E., Riojas-Rodríguez H., Eisenberg J. (2017). Health risk from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: a 25-year update. *Water research*, 123, 834-850. doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.058

Daesslé, L. W., Sánchez, E. C., Camacho-Ibar, V. F., Mendoza-Espinosa, L. G., Carriquiry, J. D., Macías, V. A. and 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. doi.org/10.1007/s10040-004-0353-1

Daesslé, L. W., Pérez-Flores, M. A., Serrano-Ortiz, J., Mendoza-Espinosa, L., Manjarrez, 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. doi.org/10.1007/s12665-013-2737-9

Diario Oficial de la Federación (DOF) (1997). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Diario Oficial de la Federación*. 6 de enero de 1997. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en noviembre de 2016).

Diario Oficial de la Federación (DOF) (1998). Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Diario Oficial de la Federación*. 21 de septiembre de 1998. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en noviembre de 2016).

Diario Oficial de la Federación (DOF) (2002). Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudio, muestreo análisis. Norma Oficial Mexicana. NOM-021-SEMARNAT-2000. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Diario Oficial de la Federación*. 31 de diciembre de 2002. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en febrero de 2017).

Diario Oficial de la Federación (DOF) (2008). Sobre edificios locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo. Norma Oficial Mexicana. NOM-001-STPS-2008. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 24 de noviembre de 2008. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2010), Condiciones de seguridad-prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo. Norma Oficial Mexicana. NOM-002-STPS-2010. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 9 de diciembre de 2010. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2014). Manejo y almacenamiento de materiales- condiciones de seguridad y salud en el centro de trabajo. Norma Oficial Mexicana. NOM-006-STPS-2014. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 11 de septiembre de 2014. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2018). Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos por tuberías. Norma Oficial Mexicana. NOM-026-STPS-2008. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS).

*Diario Oficial de la Federación*. 25 de noviembre de 2018. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2011). Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas-funcionamiento-condiciones de seguridad e higiene. Norma Oficial Mexicana. NOM-020-STPS-2011. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 27 de diciembre de 2011. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2016). Electricidad estática en los centros de trabajo-condiciones de seguridad e higiene. Norma Oficial Mexicana. NOM-022-STPS-2015. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 1 de abril de 2016. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2008). Actividades de soldadura y corte-condiciones de seguridad e higiene. Norma Oficial Mexicana. NOM-027-STPS-2008. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 12 de agosto de 2008. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2002). Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Norma Oficial Mexicana. NOM-011-STPS-2001. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 17 de abril de 2002. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2008), equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Norma Oficial Mexicana. NOM-017-STPS-2008. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 9 de diciembre de 2008. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).

Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015), sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Norma Oficial Mexicana. NOM-018-STPS-2015. Secretaría del Trabajo y Previsión

- Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 9 de octubre de 2015. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 2011). Constitución, integración, organización, y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene. Norma Oficial Mexicana. NOM-019-STPS-2011. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 13 de abril de 2011. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 1999). Actividades agrícolas-uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes-condiciones de seguridad e higiene. Norma Oficial Mexicana. NOM-003-STPS-1999. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 28 de diciembre de 1999. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).
- Diario Oficial de la Federación (DOF, 2001). Actividades agrícolas, instalaciones, maquinaria, equipo, y herramienta-condiciones de seguridad. Norma Oficial Mexicana. NOM-007-STPS-2000. Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS). *Diario Oficial de la Federación*. 9 de marzo de 2001. [www.dof.gob.mx](http://www.dof.gob.mx) (acceso en marzo de 2019).
- Dickin, S. K., Schuster-Wallace C. J., Qadir, M., Pizzacalla, K. (2016). A review of health risks and pathways for exposure to wastewater use in agriculture. *Environ Health Perspective* 124(7) 900–909. [doi.org/10.1289/ehp.1509995](https://doi.org/10.1289/ehp.1509995)
- Environmental Protection Agency (EPA) (2012). Guidelines for Water Reuse 2012. USA: EPA US.
- FAO, Food and Agriculture Organization. (1992) Wastewater treatment and use in agriculture. M.B. Pescod. Irrigation and Drainage Paper 47 Rev. FAO, Rome.
- Gálvez, S. E., Gutiérrez, E., y Picazzo, P. E. (2011). El trabajo decente: Nuevo paradigma para el fortalecimiento de los derechos sociales. *Revista Mexicana de sociología*, 73(1), 73-104. [www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-25032011000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-25032011000100003) (acceso en octubre de 2018).

- Garduño, E., Navarro, A., Ovalle, P., Mata, C. (2011). Caracterización socioeconómica y cultural de las mujeres indígenas migrantes en los valles de Maneadero y San Quintín, Baja California, México. *Boletín de Antropología Universidad de Antioquia* (25: 42), 57-83.
- Gastil, R. G. (1975). Reconnaissance geology of the state of Baja California. Geological Society of America Memoirs, 40, 139-143.
- Gilabert-Alarcón, C., Salgado-Méndez, S., Daesslé, L., Mendoza-Espinosa, L. and Villada-Canela, M. (2018a). Regulatory Challenges for the Use of Reclaimed Water in Mexico: A Case Study in Baja California. *Water*, 10(10) 1432. doi.org/10.3390/w10101432
- Gilabert-Alarcón, C., Daesslé, L. W., Salgado-Méndez, S. O., Pérez-Flores, M.A., Knöller, K., Kretzschmar, T. C. and Stumpp, C. (2018b). Effects of Reclaimed Water Discharge in the Maneadero Coastal Aquifer, Baja California, Mexico. *Applied Geochemistry*. 92, 121-139. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.03.006
- Gloaguen, T. V., Forti C. M., Lucas Y., Montes, C. R., Gonçalves, R. A., Herpin, U., and Melfi, A. J. (2007). Soil solution chemistry of a Brazilian Oxisol irrigated with treated sewage effluent. *Agricultural Water Management*, 88(1.3), 119-131. doi:10.1016/j.agwat.2006.10.018
- Grieve, C. M., Poss, J. A., and Amrhein, C. (2006). Response of *Matthiola Incana* to irrigation with saline wastewaters. *Horticultural Science*, 41(1) 119-123. doi.org/10.21273/HORTSCI.41.1.119
- Grieve, C. M., Poss, J. A., Grattan, S. R., Shouse, P. J., Lieth, J. H., and Zeng, L. (2005). Productivity and mineral nutrition of *Limonium* species irrigated with saline wastewaters. *Horticultural Science*, 40(3) 654-658. doi.org/10.21273/HORTSCI.40.3.654

- Halliwell, D. J., Barlow, K. M., & Nash, D. M. (2001). A review of the effects of wastewater sodium on soil physical properties and their implications for irrigation systems. *Soil Research*. 39(6), 1259-1267. doi.org/10.1071/SR00047
- Kabata-Pendias, A. (2010). Trace elements in soil and plants. CRC Press, Florida.
- Li, Y. K., Zhou, B., Liu, Y. Z., Jiang, Y. G., Pei, Y. T. and Shi, Z. (2013). Preliminary surface topographical characteristics of biofilms attached on drip irrigation emitters using reclaimed water. *Irrigation Science*. 31(4), 557-574. doi.org/10.1071/SR00047
- Kelly, J., Unkovich, M., and Stevens D. (2006). Crop Nutrition Considerations in reclaimed Water Irrigation Systems in Stevens Daryl (CSIRO PUBLISHING), Growing Crops with Reclaimed Wastewater. Collingwood, VIC Australia, pp. 92-105.
- Lucho-Constantino, C. A., Álvarez-Suárez, M., Beltrán-Hernández, R. I. Prieto-García, F., and Poggi-Varaldo, H. M. (2005). A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environment International*, 31(3), 313-323. doi.org/10.1016/j.envint.2004.08.002
- Mara, D. D., & Cairncross, S. (WHO) (1989). Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture (p. 187). Geneva: World Health Organization. 119-120.
- Marina Coast Water District, CA. (2002). Title 4. Recycled Water Chapter 4.28 Recycled Water, Supplement 3-02 to Ordinance 29 § 4, 5, and 6, 1995; and Ordinance 27 § 5, 1994. www.mcwd.org/code\_4\_recycled\_water.html (acceso en octubre de 2018).
- Mendoza-Espinosa, L. G. and Daesslé, L.W. (2018). Consolidating the Use of Reclaimed Water Irrigation and Infiltration in Semi/Arid Agricultural Valley in Mexico: Water Management Experiences and Results. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 8(4), 679-687. doi.org/10.2166/washdev.2018.021
- Mendoza-Espinosa, L.G., Orozco-Borbón, M.V. and Silvana-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 and Technology*, 50(2), 285-291. doi.org/10.2166/wst.2004.0143

Natural Resources Conservation Service Soils (NRCS) (2018). Soil Texture Calculator. May 2018, United States Department of Agriculture. [www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2\\_054167](http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167) (acceso en junio de 2018).

Oliveira, P. C. P. D., Gloaguen, T. V., Gonçalves, R. A. B., Santos, D. L. and Couto, C. F. (2016). Soil Chemistry after Irrigation with treated wastewater in semiarid climate. *Revista Brasileira Ciencia do Solo*. 40. doi.org/10.1590/18069657rbcs20140664

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2016). El uso seguro de las aguas residuales en la agricultura ofrece múltiples beneficios. <http://www.fao.org/news/story/es/item/44983/icode/>(acceso en mayo de 2016).

Organización Mundial de la Salud (WHO) (2016). El uso de aguas residuales. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/es/](http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es/). (acceso en mayo de 2016).

Pettit, R. E. (2004). Organic matter, hummus, humate, humic acid, fulvic acid and humin: their importance in soil fertility and plant health. *CTI Research*, 1-17. [www.harvestgrow.com/.pdf%20web%20site/Humates%20General%20Info.pdf](http://www.harvestgrow.com/.pdf%20web%20site/Humates%20General%20Info.pdf) (acceso en enero de 2019)

Pichu Rengasamy (2006). Soil salinity and sodicity in Stevens Daryl (CSIRO PUBLISHIG), *Growing Crops with Reclaimed Wastewater*. Collingwood, VIC Australia, pp. 131.

Plan Estatal de Desarrollo 2014 - 2019 para Baja California (PEDBC) (2014). Mexicali: Gobierno del Estado de Baja California. <http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/gobierno/ped/ped.jsp> (acceso en noviembre de 2017).

Plan Municipal de Desarrollo 2017-2019 (PMD) (2017). Ensenada: XXII Ayuntamiento de Ensenada. <http://transparencia.ensenada.gob.mx/doc/file10455s229d87.pdf> (acceso en noviembre de 2017).

Periódico Oficial del Estado de Baja California (POBC) (2018). Programa Hídrico del Estado de Baja California. <https://periodicooficial.ebajacalifornia.gob.mx/oficial/mostrarDocto.jsp?nombreArchivo=Periodico-57-CXXV-20181214-SECCI%C3%93N%20I.pdf&sistemaSolicitante=PeriodicoOficial/2018/Diciembre> (acceso en marzo de 2017).

Qian, Y. L, and Mecham, B. (2005). Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agronomy Journal*, 97(3), 717-721. doi:10.2134/agronj2004.0140

Ramírez-Acosta, R.J. y Mendoza-Espinosa, L.G. (2005). Economía del agua en Baja California: reúso de aguas residuales tratadas bajo mecanismos de mercado. Selección Anual del Libro Universitario 2003-2004. Mexicali, México: Departamento de Editorial Universitaria, Universidad Autónoma de Baja California, 221.

Ramón-Zamora, F., Rodríguez-Guevara, N.J., Torres-Rodríguez, D.G. y Yendis-Colina, H.J. 2009. Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. *Agricultura Técnica en México*. 35 (2):211-218. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172009000200008](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172009000200008) (acceso en mayo de 2018).

Rivera, C. 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.

- Rusan, M. J. M., Hinnawi, S., and Rousan, L. (2007). Long term effect of wastewater irrigation of forage crops on soil and plant quality parameters. *Desalination*, 215(1-3), 143-152. doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.032
- Salgado Méndez S. O. (2015). Riego con agua residual tratada en el Valle de Maneadero B.C.: Efecto sobre la salinidad y sodicidad del suelo (Tesis, Ed.) Ensenada, Baja California, México: Colección de tesis Biblioteca central UABC.
- Salgot, M.& Folch, M. (2018). Wastewater treatment and water reuse. *Current Opinion in Environ Science & Health*. 2. 64. doi.org/10.1016/j.coesh.2018.03.005
- Secretaría del trabajo y Previsión Social (STPS) (2017). Protocolo de Inspección en Materia de Seguridad e Higiene y Condiciones Generales de Trabajo y Capacitación y Adiestramiento para Centros de Trabajo para Actividades Agrícolas. [www.gob.mx/stps/documentos/inspeccion-federal-del-trabajo-de-la-stps-protocolos-de-inspeccion](http://www.gob.mx/stps/documentos/inspeccion-federal-del-trabajo-de-la-stps-protocolos-de-inspeccion) (acceso en mayo de 2018).
- Schuch, U. (2005). Effect of reclaimed water and drought on salt-sensitive perennials. *Horticultural Science*. 40(4), 1093-1095. doi.org/10.21273/HORTSCI.40.4.1095B
- Shrivastava, P.& Kumar, R. (2015). Soil salinity: a serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 22(2), 123-131. doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.001
- Shuval, H. I., Wax, Y., Yekutieli, P., and Fattal, B. (1989). Transmission of enteric disease associated with wastewater irrigation: a prospective epidemiological study, *American Journal of Public Health* 79, no. 7 (July 1, 1989): pp. 850-852.
- Sistema-Producto-Flor, Centro Floricultor de Baja California, CESPE, INAFAP. (2010). Reúso de aguas tratadas para el riego de cultivos de flor. Mayo, 2018, de 4 vientos. <http://www.4vientos.net/wp-content/uploads/2014/06/MANEADERO-PROYECTO-AGUA-RESIDUAL-CESPE.pdf> (acceso en octubre de 2016).
- US Salinity Laboratory Staff (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handbook No. 60. Government Printing Office, Washington, DC.

- USDA. (1998). Soil Quality Indicators: pH. USDA Natural Resources Conservation Service. [www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_052208.pdf](http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_052208.pdf) (acceso en abril de 2018).
- Waller-Barrera, C., Mendoza-Espinosa, L.G., Medellín-Azuara, J. y Lund, J.R. (2009) Optimización económico-ingenieril del suministro agrícola y urbano: una aplicación de reúso del agua en Ensenada, Baja California, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, [S.l.], 24(4), 87-103. ISSN 2007-2422. <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/110> (acceso en noviembre de 2018).
- Uyttendaele, M., Jaykus, L. A., Amoha, P., Chiodini, A., Cunliffe, D., Jacxsens, L., Holvoet, K., Korsten, L., Lau, M., McClure, P., Medema, G., Sampers, I. & Roa, P. (2015). Microbial hazards in irrigation water: Standards, norms, and testing to manage use of water in fresh produce primary. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(4), 336-356. doi.org/10.1111/1541-4337.12133
- Wu, L. & Dodge, L. (2005). Special report for the Elvenia J. Slosson Endowment Fund. <http://slosson.ucdavis.edu/files/215300.pdf> (acceso en octubre de 2018).
- Xu, J., Wu, L., Chang, A. C., and Zhang, Y. (2010). Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment. *Journal of hazardous materials*, 183(1-3), 780-786. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.094
- Zúniga-Violante, E., Daesslé, L. W., Camarena-Oijinaga, M. L., Galindo, E. A. G., & García, M. E. A. (2015). Distribución de contaminantes orgánicos e inorgánicos en el Valle agrícola de Maneadero, Baja California, México. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*, 7(1). <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/242/225#.XMH-p2hKjIU> (acceso en agosto de 2018).
- Zúñiga, V. E., Arellano, G. E., Camarena, O. L., Daesslé, H. W., Von-Glascoe, C., Leyva, A. J. C., Ruiz, R. B. (2012). Daño genético y exposición a plaguicidas en trabajadores

agrícolas del Valle de San Quintín, Baja California, México. *Revista de Salud Ambiental*. 12(2), 93-101.  
<http://www.ojs.diffundit.com/index.php/ras/article/view/328/280> (acceso en septiembre de 2018).

## Apéndice 1

<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>																			
Prof. (cm)		Agosto-15							Marzo-16				Marzo-17			Agosto-17			
		0-30	30-60	60-90	90-120	Mean	Min	Max	SD	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	90-120
pH	S1	7.0	7.1	7.3	7.4	7.2	7.0	7.4	0.2	6.0	7.0	7.6	7.6	9.0	9.1	6.1	7.2	7.3	8.1
	S2	6.3	6.7	7.0	7.2	6.8	6.3	7.2	0.4	7.3	7.4	7.1	7.0	7.4	7.7	6.4	6.8	7.4	7.4
	S3	6.6	6.9	7.2	7.2	7.0	6.6	7.2	0.3	6.7	7.0	7.2	6.9	7.2	7.5	6.3	6.7	7.5	7.5
	S4	6.8	7.2	7.4	7.5	7.2	6.8	7.5	0.3	6.4	7.2	7.5	6.8	7.2	7.5	6.2	6.9	7.1	7.4
	S5	7.1	7.3	7.4	7.6	7.3	7.1	7.6	0.2	6.4	6.6	6.6	7.6	7.6	7.7	6.1	6.8	7.1	7.2
	S6	6.2	6.6	7.1	7.2	6.7	6.2	7.2	0.5	6.7	7.1	7.0	7.4	7.5	7.8	6.3	6.9	7.3	7.4
CE <sub>s</sub> (dS/m)	S1	2.7	6.0	5.6	5.9	5.0	2.7	6.0	1.6	8.3	3.7	4.3	1.5	1.0	1.0	8.1	5.3	7.4	2.5
	S2	27.5	22.8	17.8	13.8	20.4	13.8	27.5	5.9	11.5	14.3	30.3	7.3	12.7	28.8	8.5	11.4	9.1	12.3
	S3	5.4	7.8	7.8	15.7	9.2	5.4	15.7	4.5	8.8	10.0	8.5	9.5	12.7	13.5	5.9	6.8	6.0	5.5
	S4	11.2	13.4	13.5	13.9	13.0	11.2	13.9	1.2	4.8	6.3	9.9	8.6	9.8	10.6	17.5	11.2	12.4	10.4
	S5	8.5	14.7	13.6	12.0	12.2	8.5	14.7	2.7	8.2	21.7	33.5	10.6	16.5	17.9	8.2	9.2	10.8	10.7
	S6	14.9	18.0	11.0	10.5	13.6	10.5	18.0	3.5	7.3	11.8	19.9	4.6	14.5	12.0	13.0	11.9	11.5	12.7

<b>CATIONES (mg/L)</b>																			
Prof. (cm)		Agosto-15							Marzo-16				Marzo-17			Agosto-17			
		0-30	30-60	60-90	90-120	Prom	Min	Max	SD	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	90-120
Na <sup>+</sup>	S1	460.3	870	748.2	895.79	845	441	895.8	334	1657	973	1095	441	557.5	465.1	1077	942.7	1047	604.4
	S2	3033	2684	2229	1635.1	2395	1635	3033	604	1079	2526	4250	1137	1463	3427	1303	1617	1399	1654
	S3	839	1176	1172	1766	1238	839	1766	386	1428	1258	1261	1866	1422	1913	827	980	965	1118
	S4	1021	1930	2127	1767.9	1711	1021	2127	483	844	1131	1742	1352	1226	1870	2222	1563	1820	1673
	S5	994.6	1581	1792	1722.7	1523	995	1792	363	1217	2573	2856	1858	2559	2465	1288	1419	1568	1657
	S6	1765	1957	1375	1378.7	1619	1375	1957	291	1089	2084	2642	1421	2083	1967	1754	1722	1671	1641
Ca <sup>2+</sup>	S1	196.7	382.2	335.7	324.03	310	197	382	79	769	214	213	92.3	41.5	53.26	514	232.5	414	85.13
	S2	1799	1562	1231	994.93	1397	995	1799	355	618	838.5	1998	518	551.1	1574	640	614.4	449.1	575.1
	S3	348.4	565.9	501.7	907.37	581	348	907	236	445	661.5	496.9	776	581.7	796	355	1446	970.3	856.2
	S4	730.8	883.8	1056	990.43	915	731	1056	142	309	475.8	529.5	612	589.9	1081	5796	2808	3180	2960
	S5	627	1086	943.7	742.33	850	627	1086	205	723	1636	2785	740	1132	1062	2057	2070	2585	3036
	S6	950.5	1205	793.6	785.53	934	786	1205	196	616	646.1	1353	696	893.7	684.7	3866	3027	3162	3321
Mg <sup>2+</sup>	S1	78.57	175.2	161.8	154.1	142	78.6	175	43	292	78	86	33.7	38.77	8.5	186	73.05	192.3	33.13
	S2	934.5	818	659.8	465.73	719	466	934	203	204	282	681	168	282.8	956.1	211	293.6	236.5	301.6
	S3	147.8	250.8	236	517.19	288	148	517	159	175	309.1	267.7	380	208.7	422.4	117	150.2	144	157.1
	S4	284.6	442.6	521	518.29	442	285	521	111	113	191.5	251.2	209	238.2	492.6	431	275.6	354.2	273.6
	S5	279.6	498.2	490.1	378.76	412	280	498	104	265	834.5	1439	272	516.4	603.7	160	230.1	284.5	315.5
	S6	432.7	591	348.8	359.08	433	349	591	112	211	320.3	680.6	235	419.8	375.8	322	309.3	346.3	336.8
K <sup>+</sup>	S1	16.92	18.27	22.06	14.42	17.9	14.4	22.1	3.2	60.2	6.5	6	15.7	13.11	2.898	56.5	10.16	10.88	9.19
	S2	123.8	38.71	33.16	47.382	60.8	33.2	124	42	37.9	34.5	46	35.2	28.56	54	65	24.7	17.05	23.18
	S3	46.63	15.15	15.98	47.682	31.4	15.2	47.7	18	39.3	16.94	12.37	18.2	45.91	16.31	40.3	17.02	11.46	18.76
	S4	23.44	13.94	16.5	27.957	20.5	13.9	28	6.4	15.1	9.537	12.94	19.3	6.923	23.32	50.9	11.14	12.91	19.22
	S5	30.11	11.15	8.082	9.2233	14.6	8.08	30.1	10	29.9	12.06	11.53	49.8	21.07	12.75	17.3	6.12	8.648	11.03
	S6	36.34	16.97	16.31	18.442	22	16.3	36.3	9.6	30.4	19.84	19.29	42.5	24.49	19.32	43.2	22.61	22.16	17.2

ANIONES (mg/L)																					
		Agosto-15								Marzo-16				Marzo-17				Agosto-17			
Prof. (cm)		0-30	30-60	60-90	90-120	Prom	Min	Max	SD	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	90-120		
Cl <sup>-</sup>	S1	725.9	1781	1652	1747	1476	726	1781	503	3065	798.5	957	95.5	307.1	51.21	2182	1289	2122	580.9		
	S2	1x10 <sup>5</sup>	8883	6654	4443.3	7600	4443	1x10 <sup>5</sup>	2611	1438	4178	13564	1316	2894	12126	2221	2806	2035	2960		
	S3	1012	1848	2099	5128	2522	1012	5128	1798	2128	3459	2985	3523	1974	3676	1345	1446	970.3	856.2		
	S4	2875	4512	4997	5244.8	4407	2875	5245	1066	976	807.9	2409	1814	2114	5567	5796	2808	3180	2779		
	S5	2997	4983	4788	3781.2	4137	2997	4983	925	1281	10090	16084	2740	6154	6583	2057	2070	2585	3036		
	S6	4570	6152	3160	3144.1	4257	3144	6152	1430	1134	3629	9396	2351	5094	4569	3866	3027	3162	3321		
SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	S1	73.42	510	429.3	377.88	348	73.4	510	191	1731	237.5	514.5	100	187.8	85.15	634	364.9	573.7	177.4		
	S2	1484	1473	1748	1694.9	1600	1473	1748	142	444	2383	1680	1668	1334	1698	1560	1926	1698	2043		
	S3	1049	1802	1328	1366.1	1386	1049	1802	311	440	479.1	594.3	1775	1501	1695	549	757.3	1119	1611		
	S4	710.6	1629	1808	1482.4	1408	711	1808	483	280	2343	2308	1700	1338	1623	1458	1529	1873	1787		
	S5	363.9	1319	1594	1560.1	1209	364	1594	577	1718	1332	1025	2087	1725	1454	1124	1939	1994	1955		
	S6	1477	1357	1447	1621.7	1476	1357	1622	110	1640	2507	1607				1472	1719	1773	1596		

(% CT, Cl, CO Y MO)																					
		Agosto-15								Mayo-16				Mayo-17				Agosto-17			
Prof. (cm)		0-30	30-60	60-90	90-120	Prom	Min	Max	SD	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	90-120		
CT	S1	0.95	0.51	0.52	0.39	0.59	0.39	0.95	0.24	1.03	0.51	0.52	0.76	0.54	0.41	0.77	0.57	0.41	0.31		
	S2	1.54	0.81	0.11	0.35	0.70	0.11	1.54	0.63	1.23	0.99	0.57	1.28	0.88	0.59	1.35	0.82	0.44	0.62		
	S3	1.53	0.74	0.35	0.56	0.79	0.35	1.53	0.51	1.05	0.80	0.56	1.41	0.97	0.56	1.16	0.31	0.38	0.44		
	S4	1.03	0.81	0.57	0.35	0.69	0.35	1.03	0.30	0.96	0.84	1.01	1.08	0.86	0.66	1.09	0.81	0.60	0.33		
	S5	1.16	0.65	0.53	0.36	0.68	0.36	1.16	0.35	1.02	0.65	0.51	1.04	0.69	0.45	1.02	0.61	0.56	0.35		
	S6	1.07	0.64	0.29	0.28	0.57	0.28	1.07	0.37	1.04	0.69	0.45	1.07	0.82	0.39	1.10	0.72	0.35	0.47		
Cl	S1	0.61	0.49	0.18	0.20	0.37	0.18	0.61	0.21	0.74	0.34	0.28	0.70	0.25	0.15	0.42	0.19	0.14	0.08		
	S2	1.00	0.57	0.26	0.18	0.45	0.18	1.00	0.37	0.95	0.58	0.32	0.92	0.50	0.31	0.80	0.29	0.12	0.09		
	S3	0.85	0.41	0.25	0.27	0.45	0.25	0.85	0.28	0.73	0.51	0.30	0.71	0.55	0.29	0.75	0.30	0.35	0.20		
	S4	0.74	0.61	0.43	0.22	0.50	0.22	0.74	0.23	0.73	0.58	0.63	0.71	0.43	0.36	0.49	0.42	0.54	0.14		
	S5	0.73	0.46	0.35	0.25	0.44	0.24	73.00	0.21	0.73	0.36	0.36	0.62	0.29	0.26	0.60	0.21	0.22	0.12		
	S6	0.71	0.58	0.29	0.39	49.00	0.29	0.71	0.19	0.92	0.37	0.26	0.65	0.47	0.19	0.52	0.26	0.11	0.11		
CO	S1	0.34	0.02	0.34	0.19	0.22	0.02	0.34	0.15	0.29	0.17	0.24	0.07	0.29	0.27	0.35	0.38	0.27	0.23		
	S2	0.54	0.24	-0.14	0.17	0.20	0.14	0.54	0.28	0.28	0.42	0.25	0.37	0.38	0.28	0.55	0.54	0.31	0.53		
	S3	0.68	0.33	0.10	0.29	0.35	0.10	0.68	0.24	0.32	0.29	0.25	0.71	0.43	0.27	0.41	0.01	0.03	0.24		
	S4	0.29	0.20	0.14	0.13	0.19	0.13	0.29	0.07	0.23	0.27	0.38	0.37	0.43	0.30	0.60	0.39	0.06	0.19		
	S5	0.44	0.20	0.18	0.11	0.23	0.11	0.44	0.14	0.28	0.29	0.15	0.43	0.40	0.19	0.42	0.40	0.35	0.23		
	S6	0.36	0.06	0.00	-0.10	0.08	0.10	0.36	0.20	0.12	0.32	0.19	0.42	0.35	0.20	0.58	0.46	0.24	0.36		
MO	S1	0.59	0.03	0.59	0.32	0.22	0.02	0.34	0.15	0.51	0.29	0.42	0.12	0.50	0.46	0.60	0.65	0.46	0.40		
	S2	0.93	0.42	0.00	0.28	0.20	0.00	0.54	0.28	0.48	0.72	0.42	0.63	0.66	0.48	0.95	0.92	0.54	0.91		
	S3	1.17	0.56	0.17	0.49	0.35	0.10	0.68	0.24	0.55	0.49	0.43	1.22	0.73	0.47	0.71	0.01	0.05	0.41		
	S4	0.50	0.35	0.25	0.22	0.19	0.13	0.29	0.07	0.39	0.46	0.66	0.64	0.74	0.51	1.03	0.67	0.10	0.33		
	S5	0.75	0.34	0.32	0.19	0.23	0.11	0.44	0.14	0.49	0.49	0.26	0.73	0.69	0.33	0.73	0.69	0.59	0.39		
	S6	0.62	0.10	0.00	0.00	0.08	0.00	0.36	0.20	0.20	0.55	0.33	0.73	0.60	0.34	1.00	0.79	0.42	0.61		