



DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DEL SUELO Y EL AGUA EN EL DISTRITO DE RIEGO 014 RÍO COLORADO B. C.

José Rodolfo Namuche Vargas^{1*}; Carlos Fuentes Ruiz¹; Pedro Pacheco Hernández¹; María Dolores Olvera Salgado¹; Juan Carlos Herrera Ponce¹; Jorge Andrés Castillo González¹; Miguel Ángel Bocanegra Morales²

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinación de Riego y Drenaje, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C. P. 62550. México.

rnamuche@tlaloc.imta.mx – 01 7773293600 ext. 106 (*Autor de correspondencia)

²Colaborador Externo.

Resumen

El diagnóstico de la calidad del suelo y el agua en el Distrito de Riego 014 Río Colorado B. C., consistieron en lo siguiente: se tomaron ocho muestras de suelo y dos de agua en los módulos de riego 10, 15, 17 y 18, se enviaron al laboratorio para su respectivo análisis fisicoquímico y se realizó el diagnóstico sobre la salinidad en el suelo y la calidad del agua de riego y drenada. El diagnóstico indicó que los suelos se clasifican como suelos salinos, con cierta tendencia a la alcalinidad y el agua de riego es de leve a moderada, por lo tanto, se deben establecer cultivos que tengan cierta tolerancia a la salinidad y el agua drenada es severa, no apta para el riego. En los módulos muestreados el grado de afectación de los suelos por sales y manto freático somero de una superficie del orden de 18,000 ha. A nivel DR 014, se tiene de 37,285 ha y 13,255 ha con diferentes grados de salinidad y manto freático somero, respectivamente (CONAGUA, 2008). A la fecha se tiene una superficie de 6,000 ha con drenaje subterráneo parcelario. Los rendimientos se han incrementado en un 50% para los cultivos de trigo y algodón (Namuche *et al* 2017).

Los rendimientos se han incrementado en un 50% para los cultivos de trigo y algodón (Namuche, 2017). Por lo tanto, con este seguimiento, se demuestra que los sistemas de drenaje subterráneo parcelario es una tecnología apropiada, sustentable y redituable para la rehabilitación de suelos afectados por sales y de manto freático somero.

Palabras Clave: Suelo salino, Agua drenada, Sales solubles.

Introducción

Desde la incorporación de grandes superficies a la agricultura de riego, los problemas de drenaje deficiente y ensalitramiento en los suelos agrícolas han sido una de las causas principales del decremento en su productividad y aún de su abandono. En México, con una superficie bajo riego de 6.5 millones de hectáreas, se estima que el área afectada por drenaje deficiente y salinidad en diferentes grados sobrepasa el 10% de los suelos bajo riego.

Por lo antes manifestado, es necesario realizar un diagnóstico de la calidad del suelo y el agua en parcelas con drenaje subterráneo parcelario e identificar de zonas con drenaje agrícola y valoración general de su impacto en la producción, a través de un muestreo en el Distrito de Riego 014 Río Colorado, Mexicali, B.C., de esta manera identificar el impacto que ha tenido la instalación de drenaje agrícola, así como la rehabilitación de los suelos en el Distrito de Riego 014 Río Colorado, Mexicali, Baja California. Por lo tanto, con la finalidad de darle seguimiento sustentable sobre la calidad de los suelos y las aguas en dichos sistemas de drenaje instalados.

Materiales y Métodos

Localización de la zona de trabajo

El Distrito de Riego 014 (DR 014) Río Colorado, B.C., tiene una superficie bruta de 327,020 ha y bajo riego de 196,423 ha. La zona de trabajo está enmarcada en los módulos de riego 10, 15, 17 y 18; representando una muestra del distrito en cuanto al área correspondiente que tiene instalada el drenaje subterráneo parcelario (**Figura 1**).

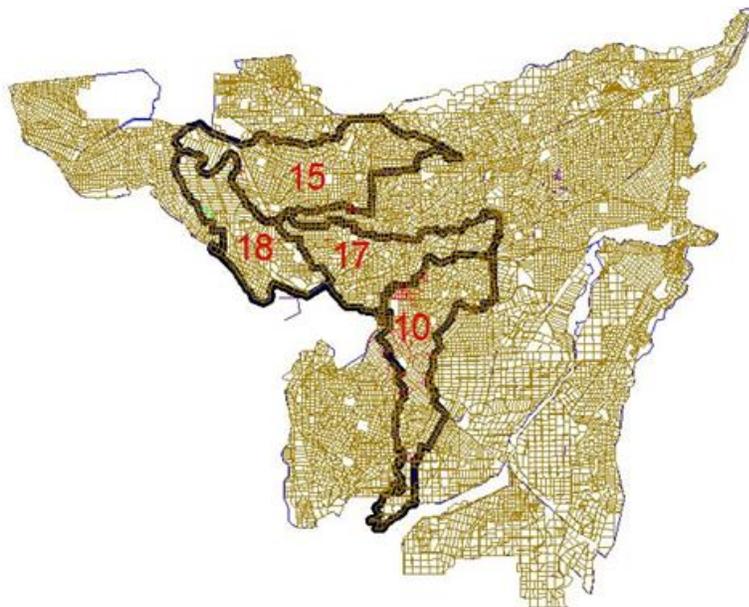


Figura 1. Localización de la zona de trabajo.



Directrices para clasificar suelos por salinidad o sodicidad

La degradación del suelo se define como la pérdida de las condiciones normales en sus propiedades físicas, químicas y biológicas por acción natural o antrópica. La degradación natural, que no es muy grave, se debe a procesos lentos de pérdidas y ganancias debidas al desprendimiento de materiales por acción del agua, el viento o la gravedad. La degradación antrópica que es causada por acción del hombre y sus actividades productivas genera mayores impactos en cortos periodos de tiempo. La erosión, compactación, contaminación, endurecimiento, acidificación, salinización, remoción masal y desertificación, son los principales procesos degradativos del suelo; con base en lo expuesto los suelos se clasifican en: a) suelos normales, b) suelos salinos, c) suelos salino-sódicos y d) suelos sódicos (**Tabla 1**).

Tabla 1. Directrices para evaluar suelos salinos, sódicos o calcáreos.

SUELO	CE (dS/m)	PSI (%)	pH	OBSERVACIONES
Normal	< 4	< 15	6.5-7.5	Buena permeabilidad, aireación y con buena estructura.
Salino	> 4	< 15	7.5-8.5	Se les reconoce por la presencia de costras blancas en su superficie.
Salino-sódico	> 4	> 15	> 8.5	Cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales.
Sódico	< 4	> 15	8.5-10.0	Mala permeabilidad, difícil de trabajar y alta defloculación de sus partículas.

Prácticas culturales

Adicionalmente al drenaje subsuperficial, para la rehabilitación de los suelos afectados por sales se tienen que aplicar alguna combinación de prácticas culturales de acuerdo al grado de salinidad y sodicidad del suelo. Estas prácticas se pueden dividir en:

- Físicas o mecánicas como subsoleo, rastreo cruzado y empareje o nivelación.
- Hidrotécnicas que consisten en la aplicación de láminas de lavado estimadas, por ejemplo, con la fórmula de Volouvyev (1966):

$$L_v = \alpha \text{Log} \left(\frac{CE_i}{CE_o} \right) \quad (1)$$

Dónde: L_v (cm) es la lámina de lavado hasta un metro de profundidad, CE_i es la conductividad eléctrica (dS/m) antes del lavado, CE_o es el valor de conductividad eléctrica, que se espera tenga el suelo después del lavado, y α es un coeficiente que depende del tipo de sales y la textura del suelo (**Tabla 2**).



Tabla 2. Valores de α para diferentes contenidos de cloruros y textura de suelo (De la Peña, S/F).

TEXTURA	CONTENIDO DE CLORUROS EN % CON RESPECTO A ANIONES			
	63 a 40	40 a 20	20 a 10	< 10
Pesada	122	132	142	178
Media	92	102	112	148
Ligera	62	72	82	118

La experiencia muestra que las sales son solubles si se cumple la siguiente relación:

$$\frac{\text{Na}}{(\text{Ca} + \text{Mg})} < 3 \quad (2)$$

c) Biológicas. Consisten en la incorporación de rastrojo, materia orgánica, estiércol animal o abono verde; con la finalidad de mejorar la estructura del suelo y por ende la conductividad hidráulica del mismo, haciendo más eficiente el funcionamiento del sistema de drenaje.

d) Químicas. Consisten en aplicar mejoradores como yeso, ácido sulfúrico, etc., con la finalidad de recuperar suelos sódicos, es decir suelos que tienen un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) mayores del 15 % y una conductividad eléctrica menor de 4 dS/m. Antes de decidir si es necesario aplicar un mejorador se debe corroborar con la relación (9). La cantidad de mejorador químico se estima mediante la fórmula siguiente:

$$D_m = \frac{(\text{PSI}_i - \text{PSI}_f) \text{CIC } P_e h d_a}{100} \quad (3)$$

Dónde: D_m es la dosis de mejorador químico (kg/ha), PSI_i y PSI_f son el porcentaje de sodio intercambiable inicial y final, respectivamente (%). CIC es la capacidad de intercambio catiónico (meq/100 g de suelo), P_e es el peso equivalente del mejorador, h es la profundidad hasta la que se desea rehabilitar el suelo (cm) y d_a es la densidad aparente del mismo (g/cm^3).

e) Drenaje topo. Cuando los suelos tienen un contenido de arcilla mayor de 35% existe la posibilidad de que los drenes topo funcionen como una práctica adicional. Existen algunas pruebas para verificar la posibilidad de construir drenaje topo. Una de ellas consiste en hacer una bola de 20 cm de diámetro con una muestra de suelo obtenida a la profundidad de construcción de los drenes topo (45 a 60 cm) e introducirla en un recipiente con agua. Si durante 3 días la muestra no presenta fisuras o disgregación se puede concluir que el dren topo funcionaría en ese suelo.

Para el diagnóstico de la calidad del agua de riego y drenada con base en las directrices para evaluar las aguas de riego de la University of California Committee of Consultants 1974 (**Tabla 3**).



Tabla 3. Directrices para evaluar las aguas de riego.

Problema potencial	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguna	Leve a Moderada	Severa
Salinidad (afecta agua para el cultivo)²				
CE _{ar} (o)	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
TSS	mg/l	< 450	450 - 2000	> 2000
(Reducción infiltración; evaluar usando a la vez la CE_{ar} y el RAS)³				
RAS = 0 - 3 y CE _{ar} =		> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
= 3-6 =		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
= 6-12 =		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
= 12- 20 =		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
= 20- 40 =		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9
Toxicidad de iones específicos (Afecta cultivos sensibles).				
Sodio (Na)⁴				
Riego por superficie	RAS	< 3	3 - 9	> 9
Riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	
Cloro (Cl)⁴				
Riego por superficie	meq/l	< 4	4.0 -10	> 10
Riego por aspersión	meq/l	< 3	> 3	
Boro (B)⁵				
	mg/l	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Varios, afecta a cultivos sensibles				
Nitrógeno (NO - N) ⁶	mg/l	< 5	5.0 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃) (aspersión foliar únicamente)	meq/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5
Concentraciones máximas de oligoelementos recomendables para riego ⁷				
Hierro (Fe)	mg/l	5.0, no es toxico en suelos con buena aireación, contribuye a la acidez y a la disponibilidad de fosforo y del molibdeno. La aspersión puede causar depósitos blancos en las hojas		
Cobre (Cu)	mg/l	0.20, entre 0.1 y 1.0 es toxico para ciertas plantas en soluciones nutritivas.		
Zinc (Zn)	mg/l	2.0, Toxico para muchas plantas a muy variados niveles de concentración; su toxicidad es reducida en pH >6, en suelos de textura fina y en los orgánicos.		
Manganeso (Mn)	mg/l	0.2, Por lo general, toxico solo en suelos ácidos desde unas cuantas décimas hasta unos pocos mg/l.		
Boro (B)	mg/l			
pH	Amplitud Normal: 6.5-8.4			

1Fuente: University of California Committee of Consultants 1974.

2ECa es la conductividad eléctrica del agua; medida de la salinidad, expresada en decisiémenes por metro a 25°C (mmhos/cm).

Las dos medidas son equivalentes. TSS, es el total de sólidos en solución expresado en miligramos por litro (mg/l).

3RAS es la Relación de Adsorción de Sodio, algunas veces representada como RNA. Para un valor determinado del RAS, la velocidad de infiltración disminuye a medida que aumenta la salinidad. Evalúese el problema potencial de infiltración utilizando el RAS y la ECar. Fuente: Rhoades 1977 y Oster y Schroer 1979.

4La mayoría de los cultivos arbóreos y plantas leñosas son sensibles al sodio y al cloro; en el caso de riego por superficie úsese los valores indicados. La mayor parte de los cultivos anuales no son sensibles; para ellos úsese las tolerancias de salinidad dadas en los cuadros. Para la tolerancia de los frutales al cloro, utilícese el cuadro 3A.6. En el caso de riego por aspersión sobre el follaje, y humedad relativa por debajo del 30%, el sodio y el cloro pueden absorberse por las hojas de cultivos sensibles; sujeto al tipo de cultivo.

5Para las tolerancias al boro, sujeto al tipo de cultivo.

6NO₃-N es el nitrógeno en forma de nitrato, expresado en términos de nitrógeno elemental (en el caso de aguas residuales incluir el NO₃-N y el N-orgánico).

7National Academy of Science (1972) y Pratt (1972)



Desarrollo del trabajo

Se tomaron ocho muestras de suelo y dos de agua, se enviaron al laboratorio para su análisis fisicoquímico respectivo. Con los resultados de laboratorio se realizó el diagnóstico de la salinidad en el suelo con base en los parámetros de conductividad eléctrica (CE), relación de adsorción de sodio (RAS), potencial de hidrogeno (pH) y porcentaje de sodio intercambiable (PSI, %).

Teniendo en cuenta las condiciones específicas de cada zona de proyecto, se elaboró un programa de recuperación de suelos salinos, definiendo las prácticas culturales asociadas al drenaje que deben aplicarse.

Resultados y Discusión

Diagnóstico de la salinidad del suelo

Se determina el diagnóstico de la salinidad del suelo con base en la Tabla 1 y considerando la relación empírica 1, y se manifiesta en la **Tabla 4**, donde se muestra que los suelos se clasifican como suelos salinos, con cierta tendencia a la alcalinidad porque el pH pasa ligeramente el valor de 8, pero la relación empírica clasifica a las sales como solubles.

Tabla 4. Diagnóstico de la salinidad de los suelos muestreados.

Sitio	CE _{ex} (dS/m)	PSI (%)	pH	$\frac{Na}{Ca + Mg} < 3$	Diagnóstico
L-62 Ejido Nuevo León Luis Escobaza García	3.4	1.42	8.3	0.010204	Suelo Normal, Buena permeabilidad, aireación y con buena estructura. Tiende a la alcalinidad, pero la relación empírica nos indica que son sales solubles. Subsolear, aplicar estiércol; antes del riego de pre-siembra.
L-68 Ejido Guerrero Salvador Navarro	22.5	4.65	7.9	0.255814	Suelo salino, pero la relación empírica nos indica que son sales solubles; cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales. Con la lámina de sobre riego se va eliminando las sales solubles. Subsolear, aplicar estiércol; antes del riego de pre-siembra.
L-39 Ejido Cuernavaca Jesús Jiménez	24.6	2.58	8	0.119643	Suelo salino, pero la relación empírica nos indica que son sales solubles; cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales. Con la lámina de sobre riego se va eliminando las sales solubles. Subsolear, aplicar estiércol; antes del riego de pre-siembra.
P-9 Ejido Nuevo León Rogelio Gutiérrez	3.2	2.47	8.1	0.083333	Suelo Normal, Buena permeabilidad, aireación y con buena estructura. Tiende a la alcalinidad, pero la relación empírica (2) nos indica que son sales solubles. Subsolear, aplicar estiércol; antes del riego de pre-siembra.
L-28 Michoacán de Ocampo José Solorio Garcilazo	12.2	1.71	7.8	0.045238	Suelo salino, pero la relación empírica nos indica que son sales solubles; cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales. Con la lámina de sobre riego se va eliminando las sales solubles. Subsolear, aplicar estiércol; antes del riego de pre-siembra.



Sitio	CE _{ex} (dS/m)	PSI (%)	pH	$\frac{Na}{Ca + Mg} < 3$	Diagnóstico
L-134 Ejido Nuevo León Heriberto Montoya Cecilio Medina Gutiérrez	6	1.27	8.1	0	Suelo salino, pero la relación empírica nos indica que son sales solubles; cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales. Con la lámina de sobre riego se va eliminando las sales solubles. Subsolear, aplicar estiércol; antes del riego de pre-siembra.
L-20 Cerro Prieto Francisco Javier Magaña Calderón	2.1	1.59	8.3	0.089286	Suelo salino, pero la relación empírica nos indica que son sales solubles; cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales. Con la lámina de sobre riego se va eliminando las sales solubles. Subsolear, aplicar estiércol; antes del riego de pre-siembra.
P-SN Ejido Morelia 67 y 65 Salvador Madrigal Navarro	9.2	1.52	8	0.027778	Suelo salino, pero la relación empírica nos indica que son sales solubles; cuando estos suelos contienen calcio, se disuelve y reemplaza al sodio intercambiable, el cual es eliminado en forma simultánea con el exceso de sales. Con la lámina de sobre riego se va eliminando las sales solubles. Subsolear, aplicar estiércol; antes del riego de pre-siembra.

Los suelos presentan formación de sales (**Tabla 5**): Halita (NaCl), Dolomita [CaMg(CO₃)₂] y anhidrita (CaSO₄) (**Tabla 5**). La halita es una sal tóxica y es la de menor proporción, pero se compensa con las de dolomita y anhidrita que son sales benéficas para el desarrollo de las plantas. Aunado a esto, la halita es una sal muy soluble (corrobora la relación empírica 1), y con el sistema de drenaje subterráneo parcelario instalados en los predios dichas sales se evacuan rápidamente.

Tabla 5. Formación de sales minerales en el suelo.

Ejido	Profundidad (cm)	Sales Minerales en suelo (mg/L)			Sales Minerales en suelo (kg/ha)		
		Halita (NaCl)	Dolomita [CaMg(CO ₃) ₂]	Anhidrita (CaSO ₄)	Halita (NaCl)	Dolomita [CaMg(CO ₃) ₂]	Anhidrita (CaSO ₄)
L-62 Ej Nuevo León Luis Escobaza García	0-60	222.3	368.2	1,634.4	867.0	1,436.0	6,374.2
L-68 Ejido Guerrero Salvador Navarro	0-60	2,574.0	6,185.8	190.7	10,038.6	24,124.5	743.7
L-39 Ejido Cuernavaca Jesús Jiménez	0-60	783.9	2,485.4	68.1	3,057.2	9,692.9	265.6
P-9 Ejido Nuevo León Rogelio Gutiérrez	0-60	936.0	2,485.4	68.1	3,650.4	9,692.9	265.6
L-28 Michoacán de Ocampo José Solorio Garcilaso	0-60	936.0	902.1	1,239.4	3,650.4	3,518.2	4,833.7
L-134 Ejido Nuevo León Heriberto Montoya Cecilio Medina Gutiérrez	0-60	222.3	368.2	1,634.4	867.0	1436.0	6,374.2
L-20 Cerro Prieto Francisco Javier Magaña Calderón	0-60	58.5	220.9		228.2	861.6	
P-SN Ejido Morelia 67 y 65 Salvador Madrigal Navarro	0-60	117.0	2,209.2		456.3	8,615.9	



Las parcelas muestreadas tienen instalados sistemas de drenaje subterráneo parcelario, muestra que dichos sistemas dan una buena respuesta significativa a los suelos afectados por salinidad en diferentes grados, lo que se necesita es que el productor les dé seguimiento con las prácticas culturales y buen manejo del cultivo en cuanto a fertilidad y labores culturales.

Los resultados muestran que los suelos son salinos y las prácticas recomendadas para las parcelas muestreadas son: subsolar hasta una profundidad de 60 cm, antes de realizar esta labor se debe esparcir estiércol de cualquier ganado, esto beneficia al suelo en su rehabilitación y además mejora su estructura, por otra parte, con base en a los resultados de los análisis de suelo y aplicando la formula de Volouvyev (1966), se determinan las láminas de lavado (**Tabla 6**).

Tabla 6. Láminas de lavado.

RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELO																
	L-62 Ej Nuevo León		L-68 Ej Guerrero		L-39 Ej. Cuernavaca		P-9 Ej Nuevo León		L-28 Mich de O		L-134 Ej Nuevo		L-20 Cerro Prieto		PSN Ej Morelia	
Aniones	(%)	ppm	(%)	ppm	(%)	ppm	(%)	ppm	(%)	ppm	(%)	ppm	(%)	ppm	(%)	ppm
Bicarbonatos (HCO₃⁻)	43.2	4,148.0	10.1	854.0	13.5	1,098.0	38.6	3,904.0	19.6	854.0	56.3	1,342.0	61.8	378.0	51.6	2,135.0
Cloruros (Cl⁻)	56.3	5,396.0	88.3	7,455.0	85.9	6,958.0	52.7	5,325.0	53.9	2,343.0	41.7	994.0	38.2	234.0	42.1	1,740.0
Sulfatos (SO₄⁼)	0.5	48.0	1.6	134.0	0.6	48.0	8.7	874.0	26.5	1,152.0	2.1	49.0	0.0	0.0	6.3	259.0
Textura																
Arena	69		63		64		80		64		63		75		72	
Limo	19		6		1		10		8		19		10		16	
Arcilla	12		31		34		10		28		18		15		12	
Clase textural	Franco Arenoso		Franco Arcillo Arenoso		Franco Arcillo Arenoso		Areno Francoso		Franco Arcillo arenoso		Franco Arenoso		Franco Arenoso		Franco Arenoso	
Lámina de lavado																
CE_i (dS/m)	3.4		22.5		24.6		3.2		12.2		6		2.1		9.2	
CE_o (dS/m)	0		10		12		0		6		4		0.00		4	
α	62		62		62		62		62		62		62		62	
L_v (cm)	0		21.8		19.3		0		19.1		10.9		0		22.4	

Las láminas de lavado oscilan entre 19,1 y 22.4 cm, esto equivale a la aplicación de los riegos de pre-siembra, lo hacen con la finalidad de evacuar las sales solubles a través de los sistemas de drenaje subterráneo (**Figura 2**).



Figura 2. Riego de pre-siembra, se toma como lámina de lavado.

Diagnóstico de la calidad del agua de riego y drenada

El agua de riego es de leve a moderada, por lo tanto, se deben establecer cultivos que tengan cierta tolerancia a salinidad; en cuanto a la restricción por reducción de infiltración no presenta ninguna restricción para el agua de riego y drenada; en cuanto a la toxicidad para el agua de riego es leve a moderada, en cambio para el agua drenada la restricción es severa (**Tabla 7**).

Tabla 7. Diagnóstico de la calidad del agua.

	Salinidad (CE)		Toxicidad de iones		
	Agua de riego	Agua drenada	Restricción	Agua de riego	Agua drenada
	(dS/m)	(dS/m)		(meq/L)	(meq/L)
Restricción	1.28	9.51	Na	3.3	27.2
	Salinidad de leve a moderada, valor entre 0.7-3.0	Salinidad severa, valor mayor 3	Riego de superficie	Valor entre 3 y 9, leve a moderada	Valor mayor de 9, severa.
Parámetros	Reducción de la infiltración		Riego por aspersión	Valor entre 3 y 9, leve a moderada	Valor mayor de 9, severa.
	Agua de riego	Agua drenada	Cloruros	5.2	52
RAS	1.51	4.66	Riego de superficie	Valor entre 4 y 10, leve a moderada	Valor mayor de 10, severa.
CE (dS/m)	1.28	9.51	Riego por aspersión	Valor mayor de 3, leve a moderada	Valor mayor de 3, severa.
Restricción	RAS entre 0-3, CE >0.7, Ninguna	RAS entre 3-6, CE >1.2, Ninguna			

La Tabla 8, muestra que el agua de riego aporta al suelo 0.19305 kg/m^3 , pero el sistema de drenaje extrae 1.595591 kg/m^3 , el incremento se debe a que el suelo tiene cloruro de sodio. La anhidrita al ser una sal sólida y fácil drenaje, razón por la cual también es extraída de las parcelas por los sistemas de drenaje subterráneo. Obsérvese que no se extrae la dolomita y eso benéfico para el suelo y los cultivos.



Tabla 8. Formación de sales en el agua de riego y drenada

Minerales disueltos (mg/L)	Agua de riego (Ar)		Agua drenada (Ad)	
	(mg/L)	(kg/m ³)	(mg/L)	(kg/m ³)
Halita (NaCl)	193.05	0.19305	1592.91	1.59591
Anhidrita (CaSO ₄)	286.02	0.28602	1568.22	1.56822

Conclusiones

Los suelos se clasifican como suelos salinos, con cierta tendencia a la alcalinidad porque el pH pasa ligeramente el valor de 8. Las sales son solubles, por lo que fácilmente son evacuadas con el agua drenada. Esto es factible porque el riego de pre-siembra lo aplican muy pesado, es más que suficiente para establecer que funciona como lámina de lavado y con el drenaje subterráneo parcelario se eliminan dichas sales.

Las calidades de las aguas de riego indican una restricción de leve a moderada, por lo tanto, se deben establecer cultivos que tengan cierta tolerancia a la salinidad; en cuanto a la restricción por reducción de infiltración no presenta ninguna restricción; en cuanto a la toxicidad para el agua de riego es leve a moderada, en cambio para el agua drenada la restricción es severa.

En los módulos muestreados el grado de afectación de los suelos por sales y manto freático somero de una superficie del orden de 18,000 ha. A nivel DR 014, se tiene de 37,285 ha y 13,255 ha con diferentes grados de salinidad y manto freático somero, respectivamente (CONAGUA, 2008). A la fecha se tiene una superficie de 6,000 ha con drenaje subterráneo parcelario. Los rendimientos se han incrementado en un 50% para los cultivos de trigo y algodón.

Por lo tanto, con este seguimiento sobre el diagnóstico de suelos y agua, se demuestra que los sistemas de drenaje subterráneo parcelario son una tecnología apropiada y redituable para la rehabilitación de suelos afectados por sales y de manto freático somero.



Referencias Bibliográficas

CONAGUA. (2008). Plan director del DR014. 371 pp.

De la Peña, I. (1981). Salinidad de los suelos, clasificación, prevención y recuperación. Boletín Técnico No. 10 SARH. México.

IMTA. (1997). Manual para diseño de zonas de riego pequeñas.

Namuche V. J. R. *et al.* (1999). Diseño de sistemas de drenaje subterráneo en el Distrito de Riego 014 Río Colorado, B.C

Namuche V. J. R. *et al.* (2008). Evaluación de sistemas de drenaje en el Distrito de Riego 014. Río Colorado, B.C.

Namuche V. J. R. *et al.*, (2017). Identificación de zonas con drenaje agrícola y valoración general de su impacto en la producción. Informe final. IMTA.

Ritzema, H. P. (1994). Drainage principles and applications. ILRI Publication 16. Second Edition. Wageningen, The Netherlands.

Soil Conservation Service. (1972). Drainage of agricultural lands. Water Information Center.

Volobuyev, V.R. (1960). El Lavado de drenaje de los suelos salinos en "Problemas de la salinización de los suelos y fuentes de agua". Moscú URSS. Traducción inédita del Dr. Manuel Ortega Escobar.