

BALANCE SALINO CUALITATIVO DEL DISTRITO DE RIEGO 014, RÍO COLORADO, 1992

Orozco Riezo Carlos R.¹, López López Angel², Ruíz Carvajal Salvador² y García Saille Gerardo³

RESUMEN

En el Distrito de Riego 014, Río Colorado, México, la elaboración de los balances salinos en sus aguas de riego y drenaje se realiza desde 1974, los resultados indican que existe un balance desfavorable de sales, acumulándose un promedio de 160 mil toneladas mensuales. Además se observa que no se presenta un proceso acelerado de salinización de los suelos. En 1992 se realizó un balance salino cualitativo para determinar el tipo y la cantidad de sales acumuladas en los suelos de dicho distrito. Se monitorearon los cuatro principales puntos de ingreso de agua al distrito y 22 puntos de salidas. En el influente se realizaron aforos diarios en canales y drenes, así como el análisis de aniones y cationes del agua, para el caso de pozos solo se efectuaron una vez al año. En el efluente la toma de muestras fue semanal. Durante 1992 ingresó al distrito un volumen de agua total de 2,473.376 millones de metros cúbicos, con una concentración salina media mensual de alrededor de 1,043 partes por millón (ppm). Los resultados indican que del total de sales que ingresaron, permanecieron un total de 1'886,334 toneladas. Existe correlación entre conductividad eléctrica (CE) y los sólidos disueltos totales (SDT), y a medida que se incrementa la concentración de la solución hay correlación con algunos componentes de la salinidad en lo individual. Lo anterior se observa en el efluente, ya que hay correlación entre conductividad eléctrica con Cl^- ($r = 0.737$), Na^+ ($r = 0.721$), así como SO_4^{2-} ($r = 0.694$). En el balance de sales, se tiene una relación $\text{Na}^+:\text{Ca}^{++}$ de 1.21 por lo que los suelos del Distrito de Riego no son potencialmente sódicos. El comportamiento del movimiento de los iones individuales correspondió con las características de los mismos, el Cl^- y el Na^+ por ser los más solubles se movieron en mayor proporción con el frente de mojado. La sal que menos se movió fue el CaSO_4 , el resto de las sales se mantuvieron relativamente constantes.

Palabras clave: balance salino, distrito de riego 014, Mexicali, salinidad.

ABSTRACT

On the Irrigation District 014, Río Colorado, Mexico, the elaboration of saline balances in its waters for irrigation and drainage has been done since 1974; the results indicate an imbalance of salts, accumulating an average of 160 thousand tons per month. Furthermore, it is observed that there is an accelerated process of salinization of soils. In 1992, a qualitative saline balance was developed to determine the type and quantity of salts accumulated in the soils of the district. The four main points of inflow of water to the district and 22 points of departures were monitored. In the influent were monitoring daily in channels and drains, as well as the analysis of anions and cations in water, in the case of water wells only took place once a year. The effluent sampling was weekly. During 1992 went into the district a volume of water of 2,473.376 million cubic meters (2.01 million acre-feet), with a monthly around half saline concentration of 1,043 parts per million (ppm). The results indicate that the total of salts that entered remained a total of 1'886, 334 tons. There is a correlation between electrical conductivity (CE) and total dissolved solids (TDS), and when the concentration of the solution is increased there is a correlation with some components of salinity in the individual. This is observed in the effluent since there is a correlation between electrical conductivity with Cl^- ($r = 0.737$), Na^+ ($r = 0.721$), as well as SO_4^{2-} ($r = 0.694$). In the balance of salts, is a relationship $\text{Na}^+:\text{Ca}^{++}$ of 1.21 so the soils of the irrigation district are not potentially sodic. The behavior of the individual ions movement corresponded with the characteristics of the same, the Cl^- and Na^+ being the most soluble moved higher with the wet front. Salt it less moved was the CaSO_4 , the rest of the salts remained relatively constant.

Keywords: saline balance, irrigation district 014, Mexicali, salinity.

¹ Universidad Autónoma de Baja California (UABC). Instituto de Ciencias Agrícolas. Tesis de Maestría en Ciencias en Uso y Manejo del Agua de Riego en Zonas Áridas. Octubre 2001; oriezgo@gmail.com.

² Universidad Autónoma de Baja California. Instituto de Ciencias Agrícolas.

³ Comisión Nacional del Agua (CONAGUA); gerardo.garciab@conagua.gob.mx

INTRODUCCION

En las zonas áridas elaborar únicamente balances de agua generalmente es inadecuado para obtener una solución final para el manejo del agua del riego, debido a la interferencia de las sales presentes en la misma ya que las sales solubles generalmente se mueven junto con el agua en el suelo. Además de lo anterior, uno de los procesos naturales que se presentan en la acumulación de sales en los suelos se debe a la relación negativa que existe entre la evaporación y la precipitación. Cuando estas áreas se encuentran bajo riego, los procesos de salinización se ven acelerados debido a los volúmenes y la calidad de agua aplicada; más aún, si no se consideran todos los factores que intervienen en estos procesos al momento de la aplicación de la lámina necesaria de riego para la explotación del cultivo.

El Distrito de Riego 014, Río Colorado, cuenta con una superficie de 328,000 hectáreas de las cuales 207,965 tienen derecho de riego y son abastecidas por 725 pozos profundos de bombeo, mismos que se localizan en la zona noroeste con una extracción anual de 597.434 millones de metros cúbicos, así como, por un volumen anual de al menos 1,850.234 millones de metros cúbicos (1'500,000 acre-pie) de agua de gravedad del río Colorado. Durante el presente estudio ingresaron al Distrito 1,721.529 millones de metros cúbicos (1'395,657.04 acre-pie) por la presa derivadora José María Morelos y Pavón y 154.413 millones de metros cúbicos (125,183.83 acre-pie) por el canal Sánchez Mejorada. El volumen tiene una concentración salina media mensual de alrededor de 1,043 partes por millón (ppm).

El objetivo del presente trabajo es realizar un balance salino cualitativo para determinar el tipo y la cantidad de sales acumuladas en los suelos de dicho distrito, a partir de las fuentes consideradas como influentes y efluentes del mismo. Considerando la hipótesis de que existe una correlación entre conductividad eléctrica, el volumen por unidad de tiempo y los iones específicos.

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el Distrito de Riego 014, Río Colorado, México, en el periodo que comprende de enero a diciembre de 1992. El Consejo Estatal de Población (1992) (CONEPO) (1992) en su descripción geográfica y política indica que el estado de Baja California se localiza en la región noroeste de la República Mexicana, en la parte norte de la península y se ubica geográficamente entre los meridianos 117° 06' y 112° 46' de longitud oeste, y entre los paralelos 28° 00' y 32° 43' de latitud norte.

Localización del Distrito de Riego 014

El Distrito de Riego 014, Río Colorado, se localiza en los estados de Baja California y Sonora; ubicado entre los paralelos 31° 50' y 32° 40' latitud norte y 114° 45' y 115° 40' de longitud oeste del meridiano de Greenwich. Limita al norte con el estado de California de los Estados Unidos de Norteamérica; al sur con el Golfo de California; al este con el estado de Arizona, EUA y la Mesa Arenosa de San Luis Río Colorado, Sonora, y al oeste con las Sierras Cucapah y El Mayor (INEGI, 1990, citado por Ruíz, 1995).

La Secretaría de Fomento Agropecuario (SEFOA) (1998), establece que el Distrito de Riego 014 comprende 1,850 Km de canales revestidos para riego, a través de los cuales se distribuyen los aproximadamente 1,850.234 millones de metros cúbicos de agua que se reciben anualmente por la desembocadura del río Colorado y a través del canal Sánchez Mejorada, y 700 millones de metros cúbicos que se extraen del subsuelo con la explotación de 725 pozos profundos; 1,378 Km de caminos bordean los canales para permitir el tráfico y las obras de mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura. En lo que respecta a la red de drenaje a cielo abierto, el Distrito de Riego está compuesto de 1,600 Km de drenes principales y secundarios.

Clima del Distrito de Riego 014, Río Colorado

La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (1984) define al clima del Distrito de Riego 014, como cálido y muy cálido árido. El clima en la zona es de características extremosas. La temperatura media anual es de 21.7 °C. En el

período caluroso de mayo a octubre es normal registrar temperaturas máximas de 45 °C (julio a agosto). El otro periodo de noviembre a abril tiene clima templado, excepto diciembre y enero que tienden a ser fríos; también es normal registrar temperaturas mínimas de - 2.0 °C. En casos excepcionales se ha llegado a registrar máximas de 52.0 °C y mínimas de - 7.0 °C.

La precipitación media anual es de 74.6 milímetros (mm). Los meses de invierno tienen las probabilidades más altas (60 a 70 %) de que se registren precipitaciones. En promedio se tiene anualmente 11.3 días con precipitación apreciable y 9.7 días con precipitación inapreciable. Los meses de mayo y junio son los más secos.

El promedio anual de evaporación es de 2,350 mm. Las evaporaciones diarias más altas (10.5 mm) se registran en los meses de junio y julio, y las más bajas (2.5 mm) en el mes de diciembre. En el valle de Mexicali la evaporación varía de 1,660 a 2,924 mm en promedio anual.

Métodos utilizados

El Balance Salino (BS) de un área dada, resulta de realizar una comparación diferencial entre las entradas (influentes) y salidas (efluentes) de sales y se puede expresar con la siguiente ecuación:

$$BS = V_{inf} C_{inf} - V_{eff} C_{eff}$$

Dónde:

BS= balance salino;

V_{inf} = volumen del agua del influente;

C_{inf} = concentración del agua del influente;

V_{eff} = volumen del agua del efluente, y

C_{eff} = concentración del agua del efluente.

Influentes; Como entrada de sales al Distrito de Riego se consideraron todas aquellas corrientes de agua que aportan sales al suelo, y los puntos de interés son los siguientes: a) Presa derivadora José María Morelos y Pavón, b) Lindero Sur, c) Mesa Arenosa, y d) Pozos profundos de bombeo.

Efluentes; En este aspecto se consideraron 22 puntos de muestreo que corresponden a todas las corrientes superficiales que fluyen fuera del área del Distrito y son los siguientes: a) Vertiente Norte, se tomó una muestra semanal, y b) Vertiente Sur, se tomó una muestra por semana.

Variables de respuesta y Análisis estadístico

Se determinaron las siguientes variables; CE, pH, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- , y SO_4^{--} . Para analizar los datos obtenidos se realizaron regresiones lineales y cuadráticas, así como pruebas de correlación, para interpretar la relación entre los influentes y efluentes de sales.

RESULTADOS Y DISCUSION

Balance cuantitativo

Durante el año de 1992, el balance cuantitativo (toneladas totales) salino del Distrito de Riego 014, Río Colorado, presentó en el influente un valor de 2'843,786 toneladas y de 957,452 en el efluente, esto indica que, en los suelos del distrito se depositaron 1'886,334 toneladas de sales (Cuadro 1). El volumen de agua que ingreso al mismo tanto de gravedad como de pozos en el periodo analizado, fue de 2,473.376 millones de metros cúbicos de agua y se registró un volumen de 500.603 millones de metros cúbicos en el efluente, la diferencia es de 1,972.773 millones de metros cúbicos (incluye 81.062 millones de metros cúbicos utilizados en la ciudad).

Cuadro 1. Balance salino cuantitativo

SECCION DE CONTROL	TONELADAS DE SALES TRANSPORTADAS						VOLUMEN M ³ X1,000
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	
ENTRADAS							
Generales	233,832	104,451	442,266	555,955	531,736	756,239	2,318,963
Vert. Sur	18,141	8,092	40,800	39,943	51,672	60,659	154,413
Total	251,973	112,543	483,066	595,898	583,408	816,898	2,473,376
SALIDAS							
Vert. Sur	30,150	16,171	108,016	74,614	139,344	120,539	305,667
Vert. Norte	29,619	17,625	108,205	55,532	153,344	104,293	194,936
Total	59,769	33,796	216,221	130,146	292,688	224,832	500,603
BALANCE	192,204	78,747	266,845	465,752	290,720	592,066	1,972,773
Total de Sales Depositadas = 1'886,334 Ton							

El cálculo del balance salino del calcio indica que permanecieron en el Distrito de un total de 192,204 toneladas, lo que representa el 10.19% del total de sales depositadas como producto del agua de riego.

El ion magnesio reportó una cantidad de 78,747 toneladas depositadas, el 4.17% del total.

El comportamiento del sodio es diferente a los dos iones anteriores, ya que salen del Distrito el 44.76% del total del sodio que entra al mismo, con un balance negativo de 266,845 toneladas de sodio, y representa el 14.15% del total. De los cationes es el que aporta una mayor cantidad de sales al Distrito (Cuadro 1).

El bicarbonato arroja un balance de 465,752 toneladas depositadas en el ciclo de enero a diciembre de 1992 siendo el 24.69% del total de sales.

El Cloro presenta un balance de 290,720 ton, que representa el 15.41% del total de sales depositadas en el Distrito.

El sulfato es el compuesto predominante en las aguas de entrada al Distrito de Riego, y presenta un balance de 592,066 toneladas lo que representa el 31.39% del gran total (Cuadro 1).

Conductividad eléctrica

Los valores promedio mensuales de conductividad eléctrica (CE) para las entradas no presentaron mucha variación, se comportaron dentro de un rango de 1.53 a 1.86 dS/m con un promedio de 1.63. En las salidas el comportamiento fue distinto debido a que el rango varía de 2.96 para el mes de diciembre y 4.06 para octubre, mostrando de esta manera el comportamiento de la concentración de sales en el agua en los diferentes meses del año, la media general fue de 3.57 dS/m (Figura 1).

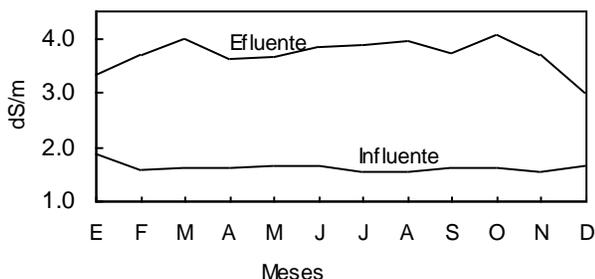


Figura 1. Conductividad eléctrica mensual del influente y del efluente

Es importante mencionar que la conductividad eléctrica presenta mayor asociación con la cantidad de iones en solución y no con los gramos en solución. Se realizó una prueba de correlación de este parámetro con cada uno de los componentes de la salinidad,

tanto en entradas como en salidas. En entradas se tuvo una correlación negativa (-0.25885) entre la CE y el magnesio, así como en el efluente con los bicarbonatos (-0.00809), siendo positiva la correlación con el resto de los iones con valores que oscilan de 0.14270 hasta 0.73748. Es importante no perder de vista que algunas especies neutras no contribuyen con el valor de la Conductividad Eléctrica.

Balance cualitativo (iónico)

Podemos decir que el balance cualitativo (iónico) de aniones y cationes presenta electroneutralidad, ya que la sumatoria de cationes es de 14.02 mEq/L y 14.28 de aniones, la diferencia se debe a que no se consideró al catión potasio en el estudio ya que no afecta significativamente los niveles de salinidad y es un nutriente para las plantas (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición iónica del influente y del efluente del Distrito de Riego 014.

FUENTE	CATIONES					
	mEq/L			Porcentaje del Total		
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
Influente	5.14	3.76	8.58	29.40	21.51	49.09
Efluente	5.96	5.55	18.86	19.62	18.27	62.11
Balance	4.86	3.28	5.88	34.66	23.40	41.94
Efl / Inf	1.16	1.48	2.21			

FUENTE	ANIONES					
	mEq/L			Porcentaje del Total		
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
Influente	3.97	6.73	6.93	22.52	38.17	39.31
Efluente	4.28	16.52	9.35	14.20	54.79	31.01
Balance	3.87	4.16	6.25	27.10	29.13	43.77
Efl / Inf	1.08	2.45	1.35			

El balance de sales expresado en mEq/L indica que en el efluente (salidas) siempre los valores son mayores que en el influente (entradas) (Cuadro 2). El rango de mEq/L en el balance de sales oscila desde 3.28 para el ion magnesio, hasta 6.25 para sulfatos, seguido de 5.88 para el sodio; éste comportamiento se presenta como consecuencia de las reacciones de intercambio entre el calcio que se combina con los sulfatos, precipitando en el transcurso de su recorrido entre el influente y el efluente. Asimismo se establece que la fuerte presencia del sodio le

permite combinarse con los sulfatos y el cloro. Al incrementarse los contenidos de HCO_3^- se incrementa el pH, y al combinarse con Ca^{++} precipita en forma de CaCO_3 dada su baja solubilidad. En la Figuras 2 y 3 se presenta el Índice de Balance Salino (IBS) mensual de cationes y aniones.

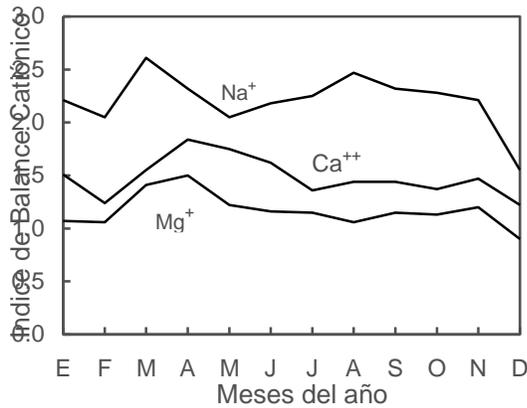


Figura 2. Índices mensuales de balance catiónico.

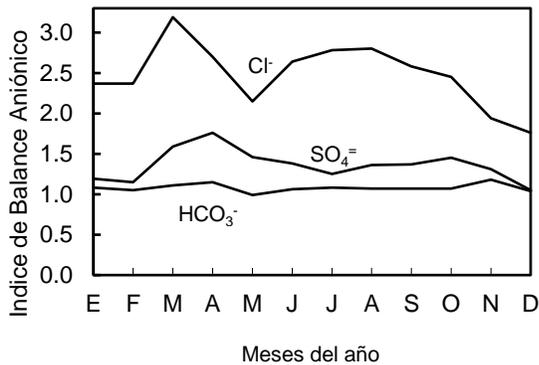


Figura 3. Índices mensuales de balance aniónico.

Calcio. En el balance de cationes (Cuadro 2) se observa que el calcio reporta 4.86 mEq/L, así mismo el sodio presenta un valor de 5.88.

Magnesio. Aunque el ion magnesio se comporta en términos generales similar al calcio, en este caso se presenta un cambio en los valores del influente con respecto del efluente, ya que se tienen 3.76 y 5.55 mEq/L respectivamente, lo cual significa una relación del efluente contra el influente de 1.48. Por consiguiente al igual que en el caso del calcio, la concentración del efluente es mayor que la del influente en un 48%. Por otro lado, el balance tiene un valor de 3.28 que expresa que una parte quedó retenido en el suelo.

Sodio. De los cationes, es el sodio el que presenta un cambio drástico en la concentración del influente con respecto al efluente, los valores son de 8.58 y 18.86 mEq/L respectivamente (Cuadro 2). Así mismo, la concentración del balance es de 5.88, que es inferior a la presentada en el influente, este comportamiento se debe a que iones de sodio fueron adsorbidos por el complejo de intercambio catiónico y debido a la alta capacidad de hidratación de los iones de sodio. Su comportamiento a través del estudio se observa en la Figura 4.

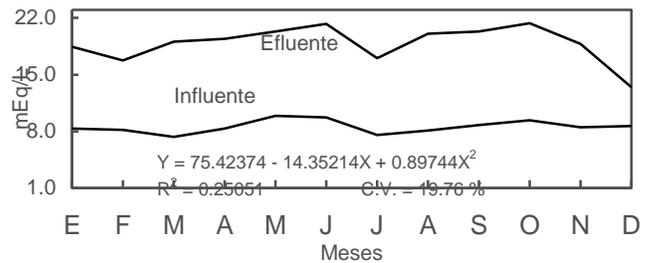


Figura 4. Concentración iónica mensual de sodio.

Bicarbonato. La concentración de bicarbonato realmente no es elevada en comparación con el resto de los iones, en el influente tiene un valor de 3.97 mEq/L y de 4.28 en el efluente. En el balance final, este ion presenta una concentración de 3.87, es decir, menor que en el influente. Una fuente de sodificación de los suelos es precisamente el HCO_3^- ya que al combinarse con el Na^+ se forma 2NaHCO_3 y por pérdida de CO_2 se propicia la formación de Na_2CO_3 .

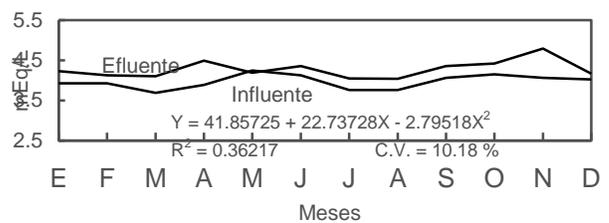


Figura 5. Concentración iónica mensual de bicarbonato.

Algo favorable es que las concentraciones en el balance tanto del calcio como de magnesio son del mismo orden que el bicarbonato, por tal razón éste reacciona con el calcio en primera instancia.

El que los valores del influente sean similares a los del efluente, también indica que no existe formación de Na_2CO_3 , fuente de sodificación de los suelos, lo que explica de alguna forma que los suelos del valle de Mexicali no son potencialmente sódicos.

Cloruros. Los cloruros se encuentran en mayor concentración respecto de los bicarbonatos, tienen un valor de 6.73 mEq/L en el influente y se incrementa en el efluente en 2.45 veces hasta llegar a 16.52.

Sulfatos. La concentración de los sulfatos en el influente fue de 6.93 mEq/L incrementándose hasta 9.35 en el efluente, esto representa un 35% de incremento en la concentración del efluente con respecto del influente (relación efluente:influyente de 1.35). El sulfato reaccionó principalmente con el sodio, calcio y magnesio.

Relaciones iónicas

Es de suma importancia establecer el comportamiento de las relaciones iónicas, dado que estas indican las relaciones existentes entre los diferentes componentes de la salinidad, y ello permite definir cuál será su comportamiento y riesgos de salinidad de los suelos del Distrito de Riego.

Relación Calcio:Magnesio. La relación que presenta el calcio con respecto al magnesio es de 1.37 en el influente y de 1.08 en el efluente (Cuadro 3). De acuerdo a Ayers y Westcot (1985), cuando esta relación es mayor que la unidad, tiende a disminuir los efectos potenciales del sodio, el balance reporta un valor de 1.48 lo cual es favorable para los suelos del Distrito de Riego 014.

Cuadro 3. Relaciones iónicas del influente y del efluente.

FUENTE	RELACIONES IONICAS			
	Ca ⁺⁺ :Mg ⁺	RAS	Cl ⁻ :SO ₄ ⁼	Na ⁺ :Ca ⁺⁺
Influente	1.37	4.07	0.98	1.68
Efluente	1.08	7.86	1.77	3.16
Balance	1.48	2.90	0.67	1.21

Relación de Adsorción de Sodio (RAS). Uno de los parámetros utilizados para medir el riesgo de sodicidad del suelo es la RAS. Determinar la RAS del agua de riego es importante, en la

solución del suelo puede incrementarse desde 2 hasta 10 veces su valor de acuerdo a Ayers y Westcot (1985). Los valores de la RAS son de 4.04 en el influente, 7.86 en el efluente (Cuadro 3), y favorablemente decrece su valor en el balance final con 2.90, este último valor no es lo suficientemente alto para que represente un riesgo de sodicidad, debido principalmente a la presencia de Ca^{++} en relación con el Na^{++} , lo cual indica que los suelos del valle de Mexicali no son potencialmente sódicos. Por otro lado, que el valor de la RAS en el efluente sea mayor que en el del influente indica que en el suelo no se presentó un proceso de acumulación relativa de sodio intercambiable Figura 6.

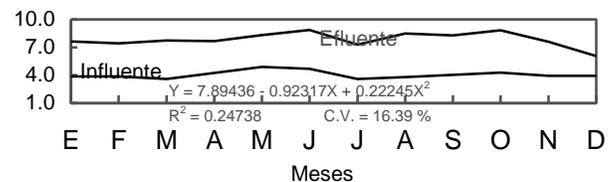


Figura 6. Relación de adsorción de sodio mensual

Al incrementarse la RAS en el agua de riego se aumenta la concentración de sodio, se ha demostrado a través de diferentes estudios que al aplicarse esta agua en el suelo se disminuye la conductividad hidráulica (K_i) del mismo. La RAS afecta de manera negativa las propiedades físico-químicas del suelo, especialmente en aquellos en donde su composición mecánica es compuesta principalmente de arcilla.

Relación Cloruros:Sulfatos. El rango de fluctuación de la relación cloruros:sulfatos fluctúa de 0.98 para el influente y 1.77 en el efluente (Cuadro 3). Por otra parte, se ha demostrado que cuando esta relación es menor que la unidad se presenta una acumulación de sulfato de sodio en la solución del suelo, este compuesto además de ser una sal tóxica para las plantas representa un riesgo de sodificación si se acumula en el suelo, de acuerdo a Cervantes (1983).

Relación Sodio:Calcio. El comportamiento del sodio con relación al calcio siempre es mayor a la unidad, esto indica que el influente tiene una relación de 1.68 y en el efluente casi se duplica

presentando un valor de 3.17 (Cuadro 3). Se observa también que la relación en el balance anual es de 1.21, lo cual indica que la presencia de sodio es mayor que el calcio en un 21%, sin embargo, debemos recordar que, debido a la naturaleza de sus valencias, 1 mEq/L de Ca^{++} sustituye a 2 mEq/L de Na^+ .

De acuerdo a lo anterior el Distrito de Riego 014 no tiene suelos potencialmente sódicos, para que esta condición se presente es necesario que la relación sodio:calcio sea mayor que 4.0 y una concentración total mayor de 40 g/L según Kovda (1946), citado por González y Arroyo (1993).

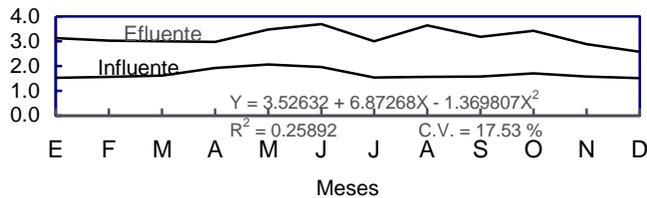


Figura 7. Relación iónica mensual sodio:calcio

Sales hipotéticas. El comportamiento de las sales hipotéticas indica que en el balance no se formó cloruro de magnesio (Cuadro 4), teniendo el valor mayor para el cloruro de sodio con 4.16, siguiendo el bicarbonato de calcio con 3.61, posteriormente los sulfatos de magnesio con 3.28, de sodio con 1.72 y finalmente de calcio con 1.25 mEq/L. El comportamiento de las sales hipotéticas se presenta en la Figura 8.

Cuadro 4. Sales hipotéticas del influente y del efluente

FUENTE	SALES HIPOTÉTICAS (mEq/L)					
	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	MgSO ₄	CaSO ₄	CaHCO ₃
Influente	6.65	1.84	0.00	3.74	1.30	3.78
Efluente	16.49	2.29	0.00	5.55	1.55	4.26
Balance	4.16	1.72	0.00	3.28	1.25	3.61

Cloruro de Sodio. El valor de sales hipotéticas del cloruro de sodio (NaCl) para el influente es de 6.65 mEq/L (Cuadro 4), lo que representa un 38.42% del total. En lo que respecta al efluente, su valor es de 16.49 mEq/L y representa un 54.71% respecto del total de salidas.

Como se observa en los valores anteriores, porcentualmente la presencia del NaCl es mayor que las otras sales hasta con más del 50% para las salidas. Lo anterior indica que, aunque está entrando una gran cantidad de sodio al Distrito, al combinarse con el cloro y formar cloruro de sodio debido a su alta solubilidad se mueve en las aguas del efluente fuera del distrito.

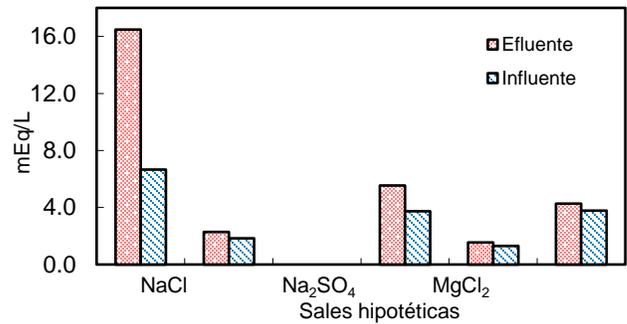


Figura 8. Comportamiento anual de sales hipotéticas

Sulfato de Sodio. El sulfato de sodio (Na₂SO₄) presenta un valor de 1.84 mEq/L en el influente, y es tan solo el 10.63% del total de sales en las entradas, En el efluente se incrementa su valor hasta 2.29 mEq/L con lo que representa un 7.60% del total en salidas.

Cloruro de Magnesio. La presencia de cloruro de magnesio (MgCl₂) es nula en lo que respecta a sales hipotéticas, lo anterior se debe a que la totalidad de cloruros presentes reaccionan con el sodio ya que la presencia de sodio es mayor que la de cloruros.

De cualquier forma es importante mencionar que la presencia de cloruro de magnesio es común en suelos y aguas salinas (no es el caso de las aguas del DR 014). La solubilidad de esta sal es muy elevada con 353 g/L y excepcionalmente tóxica, siendo una de las sales más perjudiciales para las plantas.

Sulfato de Magnesio. El sulfato de magnesio (MgSO₄) presenta 3.74 mEq/L en el influente, ocupando con ello un tercer lugar con 21.61% con respecto del total de sales hipotéticas presentes (Cuadro 4). En el efluente es el segundo después del cloruro de sodio, con 5.55 mEq/L y porcentualmente presenta valores de 18.41. El que se incremente esta sal en las salidas del distrito, se debe a la gran solubilidad de la misma

(262 g/L), así mismo, es una sal tóxica para las plantas.

Sulfato de Calcio. En el influente se tienen 1.30 mEq/L de sulfato de calcio (CaSO_4) lo que representa el 7.51% del total del influente. En el efluente se incrementa a 1.55 mEq/L y representa un 5.14% del total de salidas. En ambos casos, es la sal con los menores valores y por consecuencia la de menor presencia.

Bicarbonato de Calcio. El CaHCO_3 es el segundo en importancia en el influente con 3.78 mEq/L, lo que significa un 21.83% del total de entradas. En el efluente tiene un valor de 4.26 que es el 14.14% del total de dichas salidas, en este caso pasa del segundo al tercer sitio al ser desplazado de la segunda posición por el sulfato de magnesio.

Conductividad eléctrica y componentes de la salinidad

Al efectuar pruebas de correlación de la conductividad eléctrica (CE) versus iones, tanto del influente como del efluente, se determinó que no existe correlación entre ellos. Lo anterior tiene explicación que aunque los iones presentes en el agua son los responsables de la conductancia de la solución, no todos participan igual. De tal suerte que al incrementarse la concentración iónica del agua se incrementa la conductancia, pero no necesariamente en la misma proporción, si se incrementa al doble la concentración no se puede esperar que en el valor de la CE también se duplique. Así pues, la determinación de la conductancia no se puede esperar como una simple relación con los iones individuales.

No obstante lo anterior, se determinó que sí hay correlación con los sólidos disueltos totales. y a medida que se incrementa la concentración de la solución hay correlación con algunos componentes de la salinidad en lo individual. Lo anterior se observa en el efluente, ya que hay correlación entre conductividad eléctrica con Cl^- ($r = 0.737$), Na^+ ($r = 0.721$), así como SO_4^{2-} ($r = 0.694$).

CONCLUSIONES

El balance salino indica que del total de sales que ingresaron durante el año de 1992 al Distrito

de Riego 014, se acumularon en él, un total de 1'886,334 toneladas.

Debido a que en el balance anual de sales se tiene una relación $\text{Na}^+:\text{Ca}^{++}$ de 1.21, se puede considerar que los suelos del Distrito de Riego 014 no son potencialmente sódicos. Para que se presenten condiciones de sodicidad, ésta relación debe ser igual o mayor de 4.0.

El comportamiento del movimiento de los iones individuales corresponde con las características de los mismos, ya que el Cl^- y el Na^+ por ser los más solubles son los que se movieron en mayor proporción con el frente de mojado. Las sales que menos se movieron fueron las de CaSO_4^{2-} . El resto de las sales se mantuvieron relativamente constantes.

Existe correlación entre conductividad eléctrica y los sólidos disueltos totales, y a medida que se incrementa la concentración de la solución hay correlación con algunos componentes de la salinidad en lo individual. Lo anterior se observa en el efluente, ya que hay correlación entre conductividad eléctrica con Cl^- ($r = 0.737$), Na^+ ($r = 0.721$), así como SO_4^{2-} ($r = 0.694$).

BIBLIOGRAFIA

- Ayers, R. S. and D. W. Westcott, 1985. Water Quality for Agriculture. FAO. Irrigation and Drainage. paper 29, rev. 1, FAO, Rome. 174 p.
- Cervantes, R. M., 1983. La Lixiviación de sales en suelos salinos y salinos-sódicos del valle de Mexicali, durante un proceso de lavado. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Chapingo. México.
- CONEPO (Consejo Estatal de Población). Gobierno del Estado de Baja California, Secretaría General de Gobierno, 1992. Baja California y sus Municipios.
- González, Z. R. y Arroyo, G. J. F., 1993. Recuperación de un suelos salino-sódico bajo condiciones de drenaje parcelario. Tesis de Licenciatura del Instituto de Investigaciones en Agricultura y Ganadería. Universidad Autónoma de Baja California. México.
- Kovda, V. A. 1973. Problems of Combating Salinization of Irrigated Soils. Moscow.
- Richards, L. A. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A. Handbook

No. 60. Washington, D.C.

Ruíz, C. J. 1995. Aprovechamiento de Agua Residual Tratada para Riego de Trigo (*Triticum vulgare L.*) en el valle de Mexicali, B. C.). Tesis de Maestría en Uso y Manejo del Agua de Riego en Zonas Áridas. Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California. México.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 1984. Centro de Investigaciones Agrícolas de Noroeste. Campo Agrícola Experimental Valle de Mexicali, B. C. 1984. Plan de Investigación Agrícola para el Distrito de Riego 014, Río Colorado, (Problemática, diagnóstico y propuesta de investigación).

Secretaría de Fomento Agropecuario, del Estado de Baja California (SEFOA). 1998. Síntesis Monográfica del Valle de Mexicali.

Soleno, B. L. 1972. Estudio General sobre el Aprovechamiento de las Aguas del Río Colorado, en el Valle de Mexicali, Baja California y San Luis, R. C., Sonora. Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Agricultura Hermanos Escobar. Ciudad Juárez, Chihuahua.