

Consultado en:
[http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/biblioteca/Estudios/Agricolas/DOCUMENTO SALINIDAD.pdf](http://www.oeidrus-bc.gob.mx/oeidrus_bca/biblioteca/Estudios/Agricolas/DOCUMENTO%20SALINIDAD.pdf)
Fecha de consulta: 14/12/2011

SECRETARIA DE FOMENTO AGROPECUARIO
Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural Sustentable

ESTUDIO BIBLIOGRÁFICO SOBRE LA SALINIDAD DEL VALLE DE MEXICALTI



Publicación Agosto de 2009



CONTENIDO

PRESENTACIÓN.....	2
INTRODUCCIÓN	5
INCREMENTO DE LA SALINIDAD.....	7
CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO QUE SE RECIBE DEL RÍO COLORADO.....	7
SALINIDAD DE LOS SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI	8
CALIDAD DEL SUELO DEL DISTRITO DE RIEGO 014	9
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI, POR SU SALINIDAD Y POR MÓDULO DE RIEGO.....	9
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS POR SU SALINIDAD	10
PLANO DE SALINIDAD DEL SUELO DEL VALLE DE MEXICALI, RESULTADO DE ESTUDIO 2004 DE CONAGUA.....	11
EVOLUCIÓN DE LA SALINIDAD DE LOS SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI.....	12
EFFECTO DE LAS SALES SOLUBLES SOBRE LOS CULTIVOS.....	16
MEDIDAS DE CONTROL DE LA SALINIDAD.....	19
TIPOS DE SUELOS SALINOS	21
CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS	25
CONCLUSIONES	25
GLOSARIO	26





PRESENTACIÓN

SALINIDAD DE LAS AGUAS QUE RECIBE MÉXICO DEL RÍO COLORADO EN EL VALLE DE MEXICALI, B.C.

Durante los primeros años de aplicación del Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales de 1944, México recibió del Río Colorado aguas de buena calidad con valores de salinidad que no sobrepasaban las 900 p.p.m., sin embargo, a finales de 1961 se observó un incremento en la salinidad de dichas aguas debido a que Estados Unidos, a fin de controlar y reducir el nivel de las aguas freáticas, perforó y puso en operación numerosos pozos en el Valle de Wellton-Mohawk, contaminando con sus descargas las aguas que llegaban a territorio mexicano.

Después de años de negociaciones, el 30 de agosto de 1973 los gobiernos de México y Estados Unidos firmaron el Acta 242 de la CILA intitulada, “Solución permanente y definitiva al problema internacional de la Salinidad del Río Colorado”, en la cual se establece que las aguas recibidas por México en el Lindero Internacional Norte (LIN), aguas arriba de la presa Morelos “tengan una salinidad media anual que no sobrepase en más de 121 p.p.m. \pm 30 p.p.m., normas de México (115 p.p.m. \pm 30 p.p.m. normas de Estados Unidos), a la salinidad media anual de las aguas del Río Colorado que lleguen a la Presa Imperial”, y para el caso de las aguas entregadas por el Canal Sánchez Mejorada en el Lindero Internacional Sur (LIS), el Acta establece que se entregará un volumen de agua “con una salinidad substancialmente igual a la de las aguas habitualmente entregadas ahí”. Asimismo, contempla la extensión del Dren de desvío del Wellton-Mohawk hasta la Ciénega de Santa Clara.

La salinidad avanza de manera intermitente en la mayoría de los distritos de riego de México. La superficie afectada –en diferente grado– por este problema es de 600 mil hectáreas, de las cuales 300 mil presentan rendimientos deficientes o están abandonadas, lo que implica una disminución significativa en la economía de los agricultores.





Ante el avance de este fenómeno –a un ritmo de diez mil hectáreas por año– la mejor alternativa técnica y económica para recuperar suelo es el drenaje parcelario.

El costo calculado para aplicar este sistema es de entre siete mil y 12 mil pesos por hectárea (ha), que resulta inferior a la inversión que se requiere para abrir al cultivo una hectárea bajo riego y su correspondiente infraestructura hidráulica, evaluada en 70 mil pesos por ha.

El origen del problema de suelos salinos se encuentra en una baja eficiencia de conducción y aplicación del agua de riego, considerándose que la red hidráulica actual requiere de un mayor cuidado en su conservación y terminar con la infraestructura originalmente planeada, para evitar pérdidas por filtraciones en canales que influyen en el incremento de los niveles freáticos.

En México el drenaje agrícola se inicia en forma paralela con la construcción de los primeros distritos de riego, considerándose como una práctica requerida por los suelos y los cultivos para satisfacer, en primera instancia, la eliminación de los excesos de agua aplicados en el riego.

El drenaje a cielo abierto no es suficiente para controlar los excesos de agua y la salinidad, requiriéndose el uso de sistemas más eficientes como el drenaje parcelario, con la finalidad de rescatar las superficies afectadas por salinidad o manto freático elevado.

No obstante que en la actualidad se tiene una densidad de cobertura de 900 ha/km de dren a cielo abierto, la información estadística obtenida sobre el problema de la salinidad, indica que hay 290 mil ha de suelos fuertemente afectadas, con rendimientos mínimos o terrenos abandonados.

El programa de drenaje parcelario es una alternativa de inversión altamente redituable, ya que permite reincorporar terrenos afectados a la producción agrícola a bajo costo. Hoy en día registra avances significativos en la recuperación de suelos afectados por salinidad o manto freático elevado.





Las experiencias obtenidas en las zonas donde se instaló el drenaje parcelario, reportan importantes avances en la recuperación de suelos afectados por salinidad, con un sustancial aumento en los rendimientos.





INTRODUCCIÓN

El río Colorado, en sus 2,300 kilómetros de recorrido transporta un volumen anual promedio de 18,248.4 millones de metros cúbicos de agua, acarreando en solución alrededor de nueve millones de toneladas de sales. El manejo y control del agua a lo largo del cauce del río, se inicia con la construcción de grandes presas de almacenamiento, derivándolas para la irrigación y otros usos. Es así como se encontró la solución al problema de las grandes avenidas y su aprovechamiento en la agricultura de los EUA, reciclando al cauce del río, aguas con una mayor concentración de sales que tenían como destino las zonas bajas, en donde se encuentran los Valles Imperial y Mexicali.

Los grandes almacenamientos de agua sobre el cauce del río Colorado, modificaron el ciclo hidrológico existente durante milenios. Esto se manifestó con mayor rigor en las partes bajas de su cuenca, reduciéndose el volumen de agua escurrido y aumentando la concentración de sales.

La calidad del agua de las diferentes fuentes, se relaciona con los compuestos orgánicos e inorgánicos que se encuentran en la misma, ya sea desde el punto de vista cuantitativo o cualitativo; en este caso, las variables que afectan la calidad del agua para su uso en la agricultura, industria y doméstico son las que se encuentran relacionadas con el tipo y cantidad de sales solubles.

Desde el inicio de las actividades agrícolas en el Distrito de Riego 014 Río Colorado, la concentración de sales solubles en sus fuentes de abastecimiento ha presentado un incremento constante; esto ha sido ampliamente documentado a través de los estudios realizados por investigadores de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Colegio de la Frontera Norte; en resumen se puede establecer que el agua del Río Colorado que se recibe por la Presa Morelos pasó de una concentración de 660 ppm a principios de los años cincuentas a una concentración de 980 ppm en la actualidad, que representa un incremento promedio anual de 6.4 ppm; el agua que se extrae del acuífero de una concentración de 750 ppm al inicio de la explotación del acuífero en 1957 paso a un promedio actual de 1800 ppm, con un incremento anual promedio de 20.6 ppm.





En el caso del agua que se recibe por el canal Sánchez Mejorada, Lindero Internacional Sur, la concentración de sales solubles ha sido regulada para mantener una concentración promedio de 1,250 ppm, que fue la concentración de sales solubles que se presentaba en esta agua en la época en que fue firmada el acta 242; agosto 30 de 1973.

El documento mencionado fue signado por los Estados Unidos de América y México a raíz de los problemas de salinización causados por verter las aguas fósiles altamente salinas provenientes del acuífero del valle del Wellton Mohawk en el lecho del Río Colorado, aguas arriba de la Presa Morelos a principios de la década de los sesenta, lo que ocasionó que las concentraciones de sales solubles en las aguas recibidas por México fueran de hasta 3,500 ppm; estas aguas fueron contabilizadas como parte de las aguas asignadas en el Tratado y fueron las causantes directas del problema de la salinización del Valle de Mexicali.





INCREMENTO DE LA SALINIDAD

A principios de 1961, el gobierno federal estadounidense aprobó la construcción de obras de riego y drenaje en el valle de Wallton Mohawk en el estado de Arizona, para eliminar la salinidad y aumentar su productividad. La salinidad había aminorado en el valle mencionado, por capilaridad, y provenía de una salmuera geológica profunda.

Se encomendó la ejecución de las obras necesarias al *Bureau of Reclamation*, después de haber aprobado la inversión requerida. Al efecto; se perforaron pozos profundos para bombearlas, abatir así las sales y conducir las por gravedad en canales revestidos que descargan en el cauce del río Gila tributario del Colorado, lo que contaminó con el suministro de agua de riego al valle de Mexicali a partir del 10 de febrero de 1961.

Para agosto de ese año las aguas salinas alcanzaban un gasto considerable, que coincidió con el suministro de agua de riego al valle de Mexicali durante el verano.

La contaminación principió a preverse en los muestreos de las aguas del río, y se detectó cuando se advirtieron daños en las plantas en nacimiento, como las de alfalfa.

La concentración de sales alcanzó cerca de 3 000 partes por millón y sus efectos se hicieron notar en el agua potable domiciliaria.

Al cerciorarse del problema la Secretaría de Recursos Hidráulicos, se integró el Comité de Defensa del valle de Mexicali, formado por diversas organizaciones.

CALIDAD DEL AGUA DE RIEGO QUE SE RECIBE DEL RÍO COLORADO

La calidad del agua de riego que se recibe del Río Colorado, se caracteriza por una concentración de sales que alcanza en promedio las 1000 ppm, donde predominan sales fácilmente solubles (NaCl, MgCl₂ y CaCl₂); esto significa que por cada metro cúbico de agua



que se aplica en el suelo durante el riego, también se incorpora en promedio un kilogramo de sal, la cual tendrá que desplazarse fuera del perfil del suelo, de lo contrario provocará un rápido ensalitramiento y con ello también, una reducción progresiva en la capacidad productiva de los suelos.

Por otra parte, la salinidad del agua extraída del acuífero del valle de Mexicali, se ha incrementado a través del tiempo a una velocidad promedio de 21.8 ppm por año (López, 1991), ya que a inicios de la explotación formal del acuífero a finales de los años 50's la concentración promedio de sólidos disueltos totales fue 1,096ppm, mientras que en 1988 fue de 1,685ppm, con un incremento total de 589 ppm. Esto refleja un proceso de mineralización del acuífero que deteriora la calidad del agua extraída del subsuelo.

SALINIDAD DE LOS SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI

Aunque existen muchos parámetros para medir la salinidad del suelo, los más utilizados son los relacionados con mediciones indirectas de la cantidad de sales solubles presentes, el más común es que relaciona la Conductividad Eléctrica (CE) expresada como deciSiemens/m (dS/m) con una cantidad específica de sales ($1.0 \text{ dS/m} = 0.64 \text{ g de sal} = 640 \text{ ppm}$) y esta clasificación a su vez, se relaciona con el efecto negativo que tienen las sales solubles sobre las plantas. El otro parámetro considerado para clasificar los suelos por su salinidad es el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y cuyos efectos se manifiestan sobre los suelos e indirectamente sobre las plantas. Con la Conductividad Eléctrica y el Porcentaje de Sodio Intercambiable, los suelos se clasifican en seis clases; los suelos de primera clase son aquellos donde los cultivos pueden expresar todo su potencial productivo, a partir de los suelos de segunda clase, en los cultivos se manifiesta una pérdida en los rendimientos; aunque existen cultivos que toleran niveles altos de salinidad, las clases 4ta, 5ta y 6ta corresponden a suelos no aptos para la agricultura.





CALIDAD DEL SUELO DEL DISTRITO DE RIEGO 014

La calidad del suelo en el distrito de riego 014 desempeña un papel fundamental en distintos rubros tal como los rendimientos y los precios de arrendamiento de tierras. El suelo ha sido clasificado en seis tipos de calidad, en orden descendente del primero al sexto de calidad del suelo. A continuación se muestra que la tierra cerca del río (Nordeste), las zonas norte y central del Distrito tienen la mayor proporción de primera y de segunda calidad de los suelos (Esto se refleja en la Tabla No. 1).

La peor calidad del suelo parece estar situado en el noreste Valle de Mexicali, cerca de la ciudad de Mexicali. Los módulos 1, 3, 4, 5,6, 9,9 bis, y 11 tienen el privilegio con cerca del 90% del suelo de primera y de segunda calidad. En la gama media son los módulos 2, 7,8, 10, 12, 14 y 16.; y los módulos 3, 15, 17 y 22 tienen suelos más pobres.

CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS POR DEL VALLE DE MEXICALI, POR SU SALINIDAD Y POR MODULO DE RIEGO.

TABLA 1

Module	Land Area (ha)	Land w/ water use rights (ha)	Classification of Soil Quality by Module												
			1 ^{ra}	%	2 ^{da}	%	3 ^{ra}	%	4 ^a	%	5 ^a	%	6 ^a	%	% total
1	12,582	11,160	8,617	68.49	2,900	23.05	705	5.60	230	1.83	70.00	0.56	80	0.48	100
2	6,986	6,719	1,396	19.99	3,880	52.67	845	12.09	630	9.02	130.00	1.86	305	4.37	100
3	13,550	9,818	6,600	48.71	2,835	20.92	1,645	12.14	895	6.60	240.00	1.77	1,335	9.85	100
4	16,423	13,600	7,913	48.18	6,625	40.34	1,065	6.48	290	1.77	70.00	0.43	460	2.80	100
5	9,771	9,916	6,221	63.87	2,790	28.55	445	4.55	70	0.72	35.00	0.36	210	2.16	100
6	7,113	6,357	5,103	71.74	1,450	20.38	285	4.01	225	3.18	30.00	0.42	20	0.28	100
7	13,699	13,038	8,294	60.54	3,690	26.94	1,385	10.11	220	1.61	0.00	0.00	110	0.80	100
8	11,522	10,509	8,452	73.35	1,185	10.28	1,220	10.59	350	3.04	125.00	1.08	190	1.66	100
9-a	8,796	9,492	7,096	80.87	975	11.09	535	6.08	60	0.68	130.00	1.48	0	0.00	100
9-b	10,961	10,168	9,146	83.44	1,865	15.19	60	0.55	0	0.00	0.00	0.00	90	0.82	100
10	14,918	13,156	5,418	36.32	5,130	34.39	1,620	10.86	985	6.60	690.00	4.83	1,075	7.21	100
11	9,938	9,334	5,413	54.47	3,825	38.49	410	4.13	85	0.86	125.00	1.26	80	0.81	100
12	12,205	9,554	6,685	54.77	2,575	21.10	2,080	17.04	500	4.10	70.00	0.57	295	2.42	100
14	10,750	8,817	5,700	53.02	3,175	29.53	1,490	13.86	235	2.19	70.00	0.65	80	0.74	100
15	15,941	12,804	4,421	27.74	5,465	34.28	5,055	31.71	590	3.70	160.00	1.00	250	1.57	100
16	17,157	11,925	8,897	51.86	5,280	30.68	1,830	10.67	400	2.33	250.00	1.46	520	3.03	100
17	11,842	9,193	1,922	16.23	5,440	45.94	1,130	9.54	435	3.67	130.00	1.10	2,785	23.52	100
18	11,378	7,852	1,308	11.49	4,420	38.85	3,865	33.97	1,030	9.05	480.00	4.22	275	2.42	100
19	11,330	8,023	480	4.23	2,585	22.82	6,690	59.05	740	6.53	95.00	0.84	740	6.53	100
20	8,953	5,026	1,898	21.20	3,415	38.14	2,665	29.77	540	6.03	435.00	4.86	0	0.00	100
21	7,017	6,836	2,602	37.08	1,700	24.23	1,485	21.16	100	1.43	615.00	8.76	515	7.34	100
22	7,168	4,916	1,093	15.25	2,725	38.02	2,820	39.34	0	0.00	150.00	2.09	380	5.30	100
Total I.D.	250,000	208,215	114,675	45.87	73,510	29.40	39,330	15.73	8,610	3.44	4,100.00	1.64	9,775	3.91	100

Strata is within the range of 30-80cm. Source: CNA D.R. 014.





CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS POR SU SALINIDAD CUADRO 2

Variable	Primera	Segunda	Tercera	Cuarta	Quinta	Sexta
C.E.	≤ 4	4 a 8	8 a 12	12 a 20	20 a 30	≥ 30
PSI	≤ 15	15 a 20	20 a 30	30 a 40	40 a 50	≥ 50

C.E: Conductividad Eléctrica.
PSI: Porcentaje de Sodio Intercambiable.

CLASES DE SALINIDAD POR CNA (FAO)

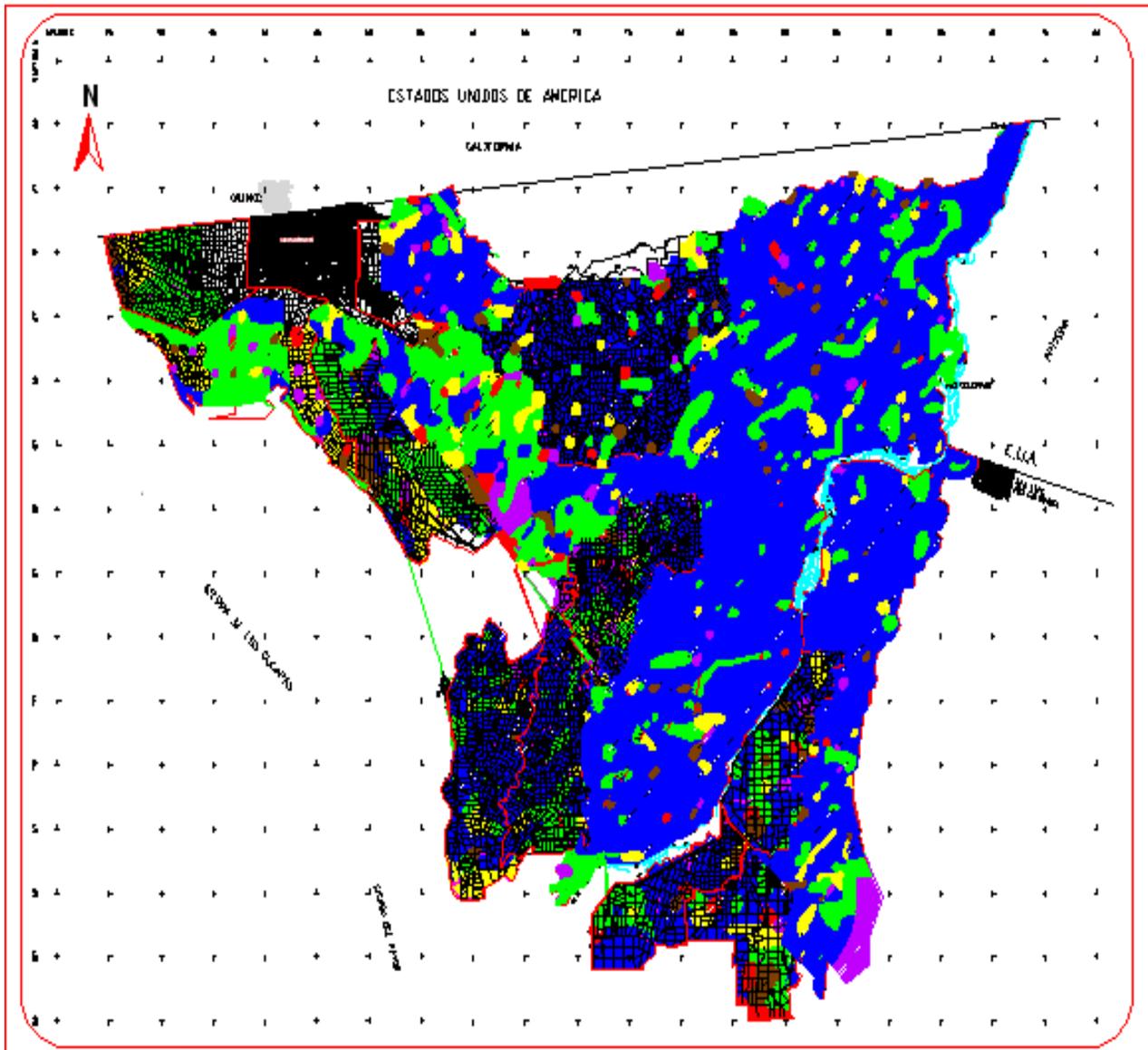
CLASE	CLAVE COLOR	SUPERFICIE	
		HAS	%
PRIMERA		147,625.00	59.05
SEGUNDA		59,220.00	23.69
TERCERA		22,475.00	8.99
CUARTA		8,420.00	3.37
QUINTA		4,990.00	2.00
SEXTA		7,270.00	2.91
TOTAL		250,000.00	100.00

NOTA: RELACIONAR LOS COLORES CON EL MAPA QUE A CONTINUACIÓN SE PRESENTA.





PLANO DE SALINIDAD DEL SUELO DEL VALLE DE MEXICALI, RESULTADO DE ESTUDIO 2004 DE CONAGUA.

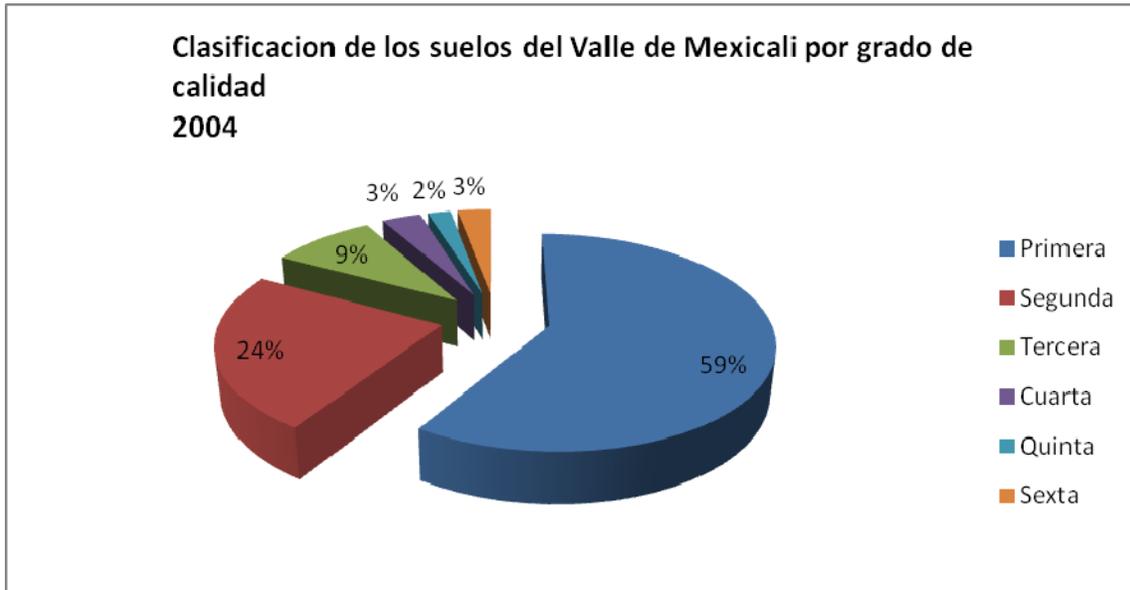


Fuente: Comisión Nacional del Agua.





El 83 % de los suelos del Valle de Mexicali están en el rango de primera y segunda calidad, como lo muestra la siguiente grafica.



Cuadro 3. Se presenta la evolución de la salinidad en los suelos del valle de Mexicali. Estos estudios deben tomarse con reserva ya que no se pueden comparar entre sí, debido a que se utilizaron criterios de clasificación diferentes para cada estudio, pero si muestran el problema del ensalitramiento de los suelos.

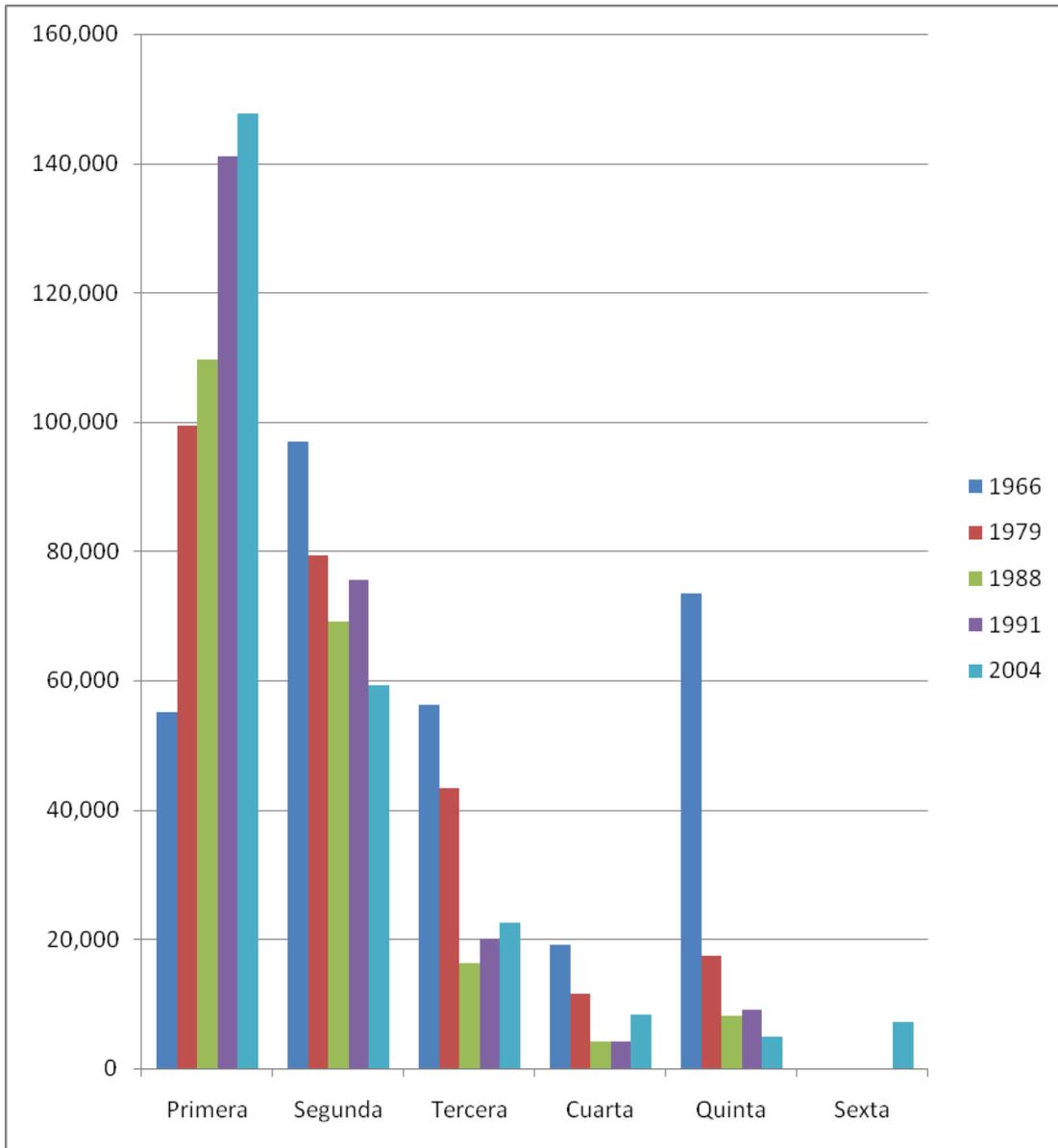
EVOLUCION DE LA SALINIDAD DE LOS SUELOS DEL VALLE DE MEXICALI.

CLASE ¹	1966	1979	1988	1991	2004
	SUPERFICIE (%) (hectáreas)				
Primera	55,052	99,499	109,672	141,120	147,625
Segunda	96,985	79,264	69,070	75,512	59,220
Tercera	56,145	43,320	16,203	20,163	22,475
Cuarta	19,060	11,465	4,109	4,149	8,420
Quinta	73,445	17,452	8,126	9,056	4,990
Sexta	NA	NA	NA	NA	7,270
TOTAL	300,656	250,000	207,180	250,000	250,000





Evolución de la salinidad de los suelos del valle de Mexicali.





A partir de la segunda clase se tienen efectos negativos sobre la producción de los cultivos, en particular los más sensibles.

En el último estudio de salinidad de suelos realizado por la Comisión Nacional del Agua en 2004, reporta que los niveles de acumulación de sales están asociados a la distribución de mantos freáticos poco profundos, por lo que en la parte noreste del valle predominan los suelos sin problemas de mantos freáticos y por lo tanto los que menos sales han acumulado; por lo que la mayor proporción de suelos de primera clase (con una CE inferior a los 4 dS/m) se encuentran en esta zona y alcanzan una superficie de 147,625 hectáreas (Cuadro 3); los suelos de segunda (CE de 4 a 8 dS/m) con una superficie de 59,220 hectáreas; de tercera clase (CE de 8 -12 dS/m) se tienen 22,475 hectáreas; las clases 4ta, 5ta y 6ta alcanzan una superficie de poco mas de 20,000 hectáreas; por lo que el problema de salinidad de suelos en el valle de Mexicali alcanza las 43,155 hectáreas (17.26%), aunque en condiciones severas de salinidad son 20,680 ha (8.27%), asociadas directamente a mantos freáticos poco profundos.

Se considera que a partir de la segunda clase agrícola por salinidad, ya se presentan problemas de leves a fuertes de desarrollo y bajos rendimientos de los cultivos que se siembran en esos suelos, por lo que es necesario realizar alguna medida que permita controlar o combatir el problema de la salinidad y que en un mediano plazo permita recuperar y conservar la capacidad productiva de esos suelos con una superficie del orden de las 36,835 hectáreas, que representa el 17 por ciento de los suelos del valle de Mexicali.

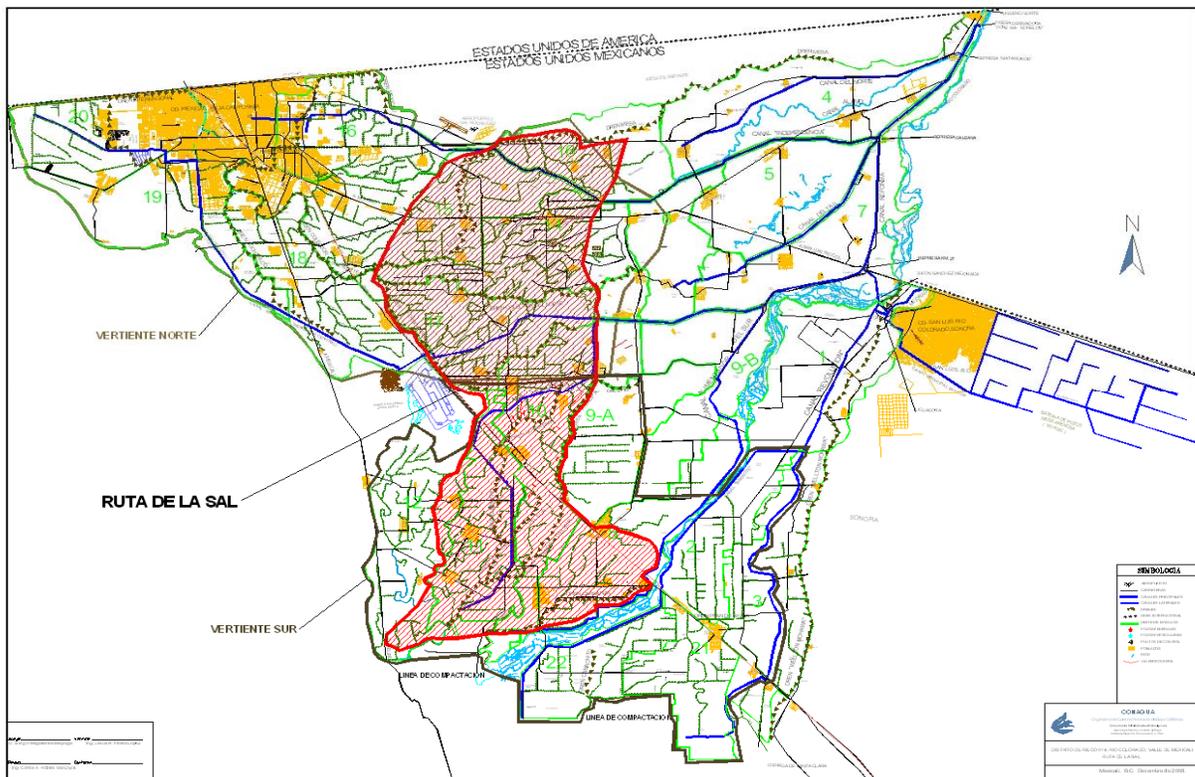
Cuando se abren nuevas áreas a la agricultura de riego, como en el caso del Valle de Mexicali, es necesario establecer condiciones que permitan un adecuado balance salino; esto se obtiene mediante la construcción de una sistema de drenaje a través del cual sea posible sacar de las tierras agrícolas, las sales que se han acumulado en los suelos como parte del proceso de formación y las que entran con el agua de riego. La única manera de evitar el ensalitramiento de los suelos, es que el sistema de drenaje funcione de manera eficiente y para el caso del Valle de Mexicali, que permita conducir las aguas de drenaje agrícola fuera de la zona de riego, en este caso hasta la desembocadura del río.





Ya se ha mencionado que un elemento importante en los sistemas de producción en suelos bajo riego es el drenaje, ya sea natural o inducido; un adecuado drenaje en los suelos, permitirá eliminar los excedentes de agua de riego, con lo que a su vez podrán eliminarse las sales disueltas en el agua. Para el valle de Mexicali, B. C., se cuenta con una dotación de agua de riego de 11,700 m³/ha/año, lo que significa, que anualmente ingresaran 11.7 toneladas de sales/hectárea/año, que necesariamente tendrán que ser extraídas a través del sistema de drenaje, de lo contrario el resultado será la salinización de las tierras agrícolas.

La zona del Valle de Mexicali, presenta una franja de salinidad que afecta a los predios que se encuentran dentro de la llamada “Ruta de la Sal”, requiriendo el establecimiento de cultivos más resistentes a la misma.





EFFECTO DE LAS SALES SOLUBLES SOBRE LOS CULTIVOS

De acuerdo a los estudios que se han realizado sobre el efecto de las sales sobre las plantas, se ha observado que en la medida que se incrementa la salinidad en el suelo, disminuyen los rendimientos, aunque el impacto que tienen las sales sobre las plantas es diferente y depende de la edad de las plantas, del método de riego, de siembra y especialmente de la especie de que se trate. En el Cuadro 4, se incluyen algunas especies y los niveles de salinidad que afectan el rendimiento.

En el Cuadro 5, se incluyen la mayoría de las plantas que se cultivan en el valle de Mexicali, sobre esta clasificación es importante señalar, que ésta corresponde al comportamiento general de estas especies; sin embargo, en algunas plantas se han realizado mejoras genéticas que los hacen más tolerantes, específicamente en algunas gramíneas como trigo y sorgo, así como en algunas especies hortícolas, tomate principalmente. Por lo anterior, es importante identificar las características de salinidad de suelos y establecer los cultivos que mejor se adapten a cada condición de acuerdo a su tolerancia a la salinidad.

Cuadro 4. Tolerancia y Rendimiento Potencial de los Cultivos a la Salinidad del Agua de Riego (ECw) y Salinidad del Suelo (ECe)

RENDIMIENTO POTENCIAL

	100%		90%		75%		50%		0%	
									"maximum" ³	
	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w						
FRUTALES										
Palma datilera (<i>Phoenix dactylifera</i>)	4	2.7	6.8	4.5	11	7.3	18	12	32	21
Toronja (<i>Citrus paradisi</i>) ¹¹	1.8	1.2	2.4	1.6	3.4	2.2	4.9	3.3	8	5.4
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8	5.3
Durazno (<i>Prunus persica</i>)	1.7	1.1	2.2	1.5	2.9	1.9	4.1	2.7	6.5	4.3
Chabacano (<i>Prunus armeniaca</i>) ¹¹	1.6	1.1	2	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
Uva (<i>Vitis sp.</i>) ¹¹	1.5	1	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Almendra (<i>Prunus dulcis</i>) ¹¹	1.5	1	2	1.4	2.8	1.9	4.1	2.8	6.8	4.5
Ciruela (<i>Prunus domestica</i>) ¹¹	1.5	1	2.1	1.4	2.9	1.9	4.3	2.9	7.1	4.7
Zarzamora (<i>Rubus sp.</i>)	1.5	1	2	1.3	2.6	1.8	3.8	2.5	6	4
Fresa (<i>Fragaria sp.</i>)	1	0.7	1.3	0.9	1.8	1.2	2.5	1.7	4	2.7





Cuadro 5. Tolerancia y Rendimiento Potencial de los Cultivos a la Salinidad del Agua de Riego (ECw) y Salinidad del Suelo (ECe)

RENDIMIENTO POTENCIAL

	100%		90%		75%		50%		0%	
									"maximum" ³	
	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w						
Cultivos Extensivos										
Cebada (<i>Hordeum vulgare</i>) ⁴	8	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
Algodonero (<i>Gossypium hirsutum</i>)	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
Remolacha Azucarera (<i>Beta vulgaris</i>) ⁵	7	4.7	8.7	5.8	11	7.5	15	10	24	16
Sorgo (<i>Sorghum bicolor</i>)	6.8	4.5	7.4	5	8.4	5.6	9.9	6.7	13	8.7
Trigo (<i>Triticum aestivum</i>) ^{4, 6}	6	4	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
Trigo Duro (<i>Triticum turgidum</i>)	5.7	3.8	7.6	5	10	6.9	15	10	24	16
Soya (<i>Glycine max</i>)	5	3.3	5.5	3.7	6.3	4.2	7.5	5	10	6.7
Chicharo (<i>Vigna unguiculata</i>)	4.9	3.3	5.7	3.8	7	4.7	9.1	6	13	8.8
Cacahuate (<i>Arachis hypogaea</i>)	3.2	2.1	3.5	2.4	4.1	2.7	4.9	3.3	6.6	4.4
Maíz (<i>Zea mays</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Linaza (<i>Linum usitatissimum</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Haba (<i>Vicia faba</i>)	1.5	1.1	2.6	1.8	4.2	2	6.8	4.5	12	8
Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1	0.7	1.5	1	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
HORTALIZAS										
Calabaza (zucchini) (<i>Cucurbita pepo melopepo</i>)	4.7	3.1	5.8	3.8	7.4	4.9	10	6.7	15	10
Betabel (<i>Beta vulgaris</i>) ⁵	4	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
Calabaza (Escalopa) (<i>Cucurbita pepo melopepo</i>)	3.2	2.1	3.8	2.6	4.8	3.2	6.3	4.2	9.4	6.3
Brócoli (<i>Brassica oleracea botrytis</i>)	2.8	1.9	3.9	2.6	5.5	3.7	8.2	5.5	14	9.1
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	2.5	1.7	3.5	2.3	5	3.4	7.6	5	13	8.4
Pepino (<i>Cucumis sativus</i>)	2.5	1.7	3.3	2.2	4.4	2.9	6.3	4.2	10	6.8
Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)	2	1.3	3.3	2.2	5.3	3.5	8.6	5.7	15	10
Apio (<i>Apium graveolens</i>)	1.8	1.2	3.4	2.3	5.8	3.9	9.9	6.6	18	12
Col (<i>Brassica oleracea</i>)	1.8	1.2	2.8	1.9	4.4	2.9	7	4.6	12	8.1
Patata (<i>Solanum tuberosum</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7





	100%		90%		75%		50%		0%	
	EC _e	EC _w	“maximum”3							
									EC _e	EC _w
Maíz dulce (<i>Zea mays</i>)	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
Camote (<i>Ipomoea batatas</i>)	1.5	1	2.4	1.6	3.8	2.5	6	4	11	7.1
Pimiento (<i>Capsicum annum</i>)	1.5	1	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>)	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9	6
Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)	1.2	0.8	2	1.3	3.1	2.1	5	3.4	8.9	5.9
Cebolla (<i>Allium cepa</i>)	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5
Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	1	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3	8.1	5.4
Frijol Ejotero (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	1	0.7	1.5	1	2.3	1.5	3.6	2.4	6.3	4.2
Rapini (<i>Brassica rapa</i>)	0.9	0.6	2	1.3	3.7	2.5	6.5	4.3	12	8
Forrajes y Pastos										
Bermuda (<i>Cynodon dactylon</i>)7	6.9	4.6	8.5	5.6	11	7.2	15	9.8	23	15
Cebada Forrajera (<i>Hordeum vulgare</i>)4	6	4	7.4	4.9	9.5	6.4	13	8.7	20	13
Ryegrass, perenne (<i>Lolium perenne</i>)	5.6	3.7	6.9	4.6	8.9	5.9	12	8.1	19	13
Trébol pata de pajar (<i>Lotus corniculatus tenuifolium</i>)	5	3.3	6	4	7.5	5	10	6.7	15	10
Festuca (<i>Festuca elatior</i>)	3.9	2.6	5.5	3.6	7.8	5.2	12	7.8	20	13
Sudan (<i>Sorghum sudanense</i>)	2.8	1.9	5.1	3.4	8.6	5.7	14	9.6	26	17
Sesbania (<i>Sesbania exaltata</i>)	2.3	1.5	3.7	2.5	5.9	3.9	9.4	6.3	17	11
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>)	2	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16	10
Maíz forrajero (<i>Zea mays</i>)	1.8	1.2	3.2	2.1	5.2	3.5	8.6	5.7	15	10
Trébol berseem (<i>Trifolium alexandrinum</i>)	1.5	1	3.2	2.2	5.9	3.9	10	6.8	19	13
Cola de Zorra (<i>Alopecurus pratensis</i>)	1.5	1	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9
Trébol rojo (<i>Trifolium pratense</i>)	1.5	1	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Trébol ladino (<i>Trifolium repens</i>)	1.5	1	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6
Trébol fresa (<i>Trifolium fragiferum</i>)	1.5	1	2.3	1.6	3.6	2.4	5.7	3.8	9.8	6.6





MEDIDAS DE CONTROL DE LA SALINIDAD

Cualquier suelo con problemas de ensalitramiento, sin importar su grado de afectación, siempre que exista agua, puede ser recuperado, ya que actualmente se cuenta con la metodología apropiada para en un momento dado dejarlo en condiciones viables para desarrollar plantas y producir cosechas.

El factor limitante para lograr la recuperación es el económico, ya que puede resultar más barato comprar otro terreno agrícola en otro lugar, destinar el suelo a otros usos, o bien, cambiar el tipo de explotación a que ha sido sometido ese suelo.

Cuando se desea combatir los problemas de ensalitramiento, se deben tomar acciones de dos tipos:

- 1.- Combatir las causas.
- 2.- Combatir los efectos.

Siempre se deben atacar primero las causas y después los efectos, pues el hecho de eliminar las causas permitirá después atacar los efectos sin que se vuelva a presentar el fenómeno de resalinización.

Existen varias medidas de control de la salinidad, sin embargo, las más comunes son las siguientes:

- Drenaje subsuperficial; de acuerdo a los datos obtenidos por la CNA, tanto de la distribución de mantos freáticos someros, como de la superficie que presenta problemas por acumulación de sales, indican que una de las acciones que se requieren para reducir el nivel de salinidad, es la rehabilitación del sistema de drenaje del Distrito de Riego, dado que presenta serios problemas de conservación. Debe tenerse presente que si no salen en la misma cantidad sales que entran con el agua de riego, el resultado será el ensalitramiento de los suelos.





- Nivelación de suelos; aunque se han realizado esfuerzos importantes para mejorar las condiciones de nivelación de las tierras agrícolas del valle, es necesario mantener y fortalecer esta práctica, ya que esto evita la formación de zonas de encharcamiento o de riego deficiente, que conducen a la aparición de manchas o zonas de acumulación de sales que afectan el desarrollo de los cultivos, en especial cuando el método de riego es de gravedad.
- Método de riego; en suelos de climas áridos, como los del valle de Mexicali, el método de riego es importante, debe recordarse que la principal fuente de sales es el agua de riego y la uniformidad en su distribución puede ser un factor importante en el desarrollo de los cultivos.
- Uso de mejoradores de suelos; los suelos de climas áridos se caracterizan no solo por la posibilidad de salinización, sino porque la reacción del suelo tiende a ser alcalina, reacción que por un lado, afecta la solubilidad de las sales y por el otro, la eficiencia con la que los cultivos pueden obtener los nutrientes del suelo y como consecuencia la respuesta puede manifestarse en una reducción en los rendimientos; por lo que es necesario mejorar estas condiciones mediante la adición de compuestos que propicien la acidificación del suelo y mejoren su estructura, ya sea con productos ácidos (H_2SO_4), compuestos de calcio ($CaSO_4$) o fertilizantes con efecto residual ácido $\{(NH_4)_2SO_4\}$. Así mismo, debe impulsarse la utilización de herramientas como el análisis de suelos, tanto en la parte de salinidad, reacción del suelo y de fertilidad.

El método de siembra, método de riego y la utilización de cultivos tolerantes a las sales, son herramientas que pueden utilizarse en suelos con problemas de salinidad o en aquellos que se encuentran en proceso de recuperación, aquí lo importante es evaluar la rentabilidad de los cultivos.





TIPOS DE SUELOS SALINOS

En función de las cantidades de sales y sodio se ha realizado una clasificación basada en los siguientes criterios (de acuerdo a la página Web de Alejandro Malpartida): (i) suelos salinos, que tienen una conductividad mayor a 4mmhos/cm en su extracto acuoso y además un porcentaje de iones de Na menor al 15 respecto del total de iones o bases de intercambio; (ii) suelos sódico-salinos, es decir los que se caracterizan por una conductividad del extracto mayor a 4mmhos/cm y un porcentaje de iones de Na intercambiable mayor a 15 del total de iones de intercambio y; (iii) suelos sódicos, cuando la conductividad del extracto es menor a 4mmhos/cm pero el porcentaje de Na es mayor a 15 en el total de iones de intercambio.

A los suelos con característica de sódicos también se les suele llamar alcalinos. En este post abundaremos sobre esta sencilla clasificación, así como en otras algo más precisas. También se incluirán algunas recomendaciones para su rehabilitación. Se trata de nuevo de una contribución orientada para principiantes y jóvenes estudiantes, partiendo de información previa ya colgada de la Web, cuyos enlaces se detallan en cada caso, con vistas a ampliar los contenidos aquí suministrados.

Según la clasificación de suelos salinos y sódicos de Richards, se consideran salinos los suelos cuya conductividad eléctrica (del extracto de saturación) sea mayor de 4 mS/cm y sódicos en caso contrario siempre que el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) sea mayor de 15.

En función de las sales presentes en un suelo podemos realizar una primera clasificación, muy básica, que consistiría en categorizar este tipo de suelos en:

- Salinos
- Salino-Sódicos
- Sódicos no salinos





Suelo salino: También conocido como “álcali blanco”. Son aquellos cuya conductividad eléctrica en el extracto saturado es mayor de 4 mmhos/cm a 25° C., con un porcentaje de sodio de cambio inferior al 15% y un p.H generalmente menor de 8,5.

La concentración de sales puede llegar en estos suelos incluso al 1% de su peso. Su formación se debe generalmente a falta de drenaje y elevado porcentaje de evaporación, lo cual origina la mencionada acumulación de sales. Principalmente contienen cloruros, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos de sodio y calcio, magnesio y potasio, y también pueden proceder de las sales contenidas en aguas que han atravesado capas geológicas ricas en ellas.



Para su mejora es indispensable dotar al suelo de un buen drenaje y lavarlo, así como aportar azufre, que independientemente de rebajar el pH favorecerá la formación de sulfato sódico, sal soluble y por tanto lavable. También en estos suelos será interesante incorporar materia orgánica, pues ella, integrada en el suelo, mejorará la estructura, aumentará la capacidad de cambio catiónico e incidirá en la oxidación (microbiológica) del azufre, transformándolo en sulfato, cuestión ésta de máxima importancia.



Suelo salino-sódico: Tienen una conductividad del extracto saturado superior a 4 mhos/cm. a 25° C., con un porcentaje de sodio de cambio superior al 15%. Estos suelos suelen originarse por un proceso de salinización y acumulación de sodio en ellos, si el contenido en sales es elevado, el pH raramente es superior a 8,5.

Los suelos salino sódicos son similares a los salinos y presentan problemas similares hasta que se elimina el exceso de sales y de sodio de cambio en la zona donde se desarrollan las raíces del cultivo; para esto, el lavado hay que efectuarlo con mucha precaución, ya que si las sales solubles son lixiviadas pueden originar un cambio de las propiedades del suelo convirtiéndolo en alcalino. Cuando este suelo contiene yeso, al lavarlo, el calcio sustituye al sodio de cambio creando la zona antes mencionada apta para el cultivo.





Suelo sódico no salino: En estos suelos la conductividad del extracto saturado es menor de 4mmhos/cm. a 25° C., el sodio de cambio supera el 15% y el pH es superior a 8,5, debido a una presencia predominante en ellos de carbonato sódico (que puede originar pH de hasta 10).

Entre sus sales se provoca una dispersión de la materia orgánica, dando lugar a una apariencia oscura, por lo que se denomina también a este tipo de suelos “álcali negro”. Cuando se une a estos rasgos una ausencia de caliza y debido a la presencia de Hidrogeniones de cambio en la zona superficial (donde también el pH es alto), se denominan “suelos álcali degradados”.

Este tipo de suelos padece una destrucción de su estructura, y por tanto al disminuir su porosidad, utilizar el lavado para su corrección no es muy aconsejable, debido a la mencionada deficiencia de su drenaje. La recuperación, por tanto, tiene que ser abordada mediante la eliminación de sodio de cambio (rebajar el pH) aplicando yeso, entre otros productos, que reaccionarían con el carbonato sódico, formando carbonato cálcico y sulfato sódico (álcali blanco).

Es necesario implantar cultivos, a ser posible de regadío y resistentes a las sales, así como la incorporación de enmiendas orgánicas.

Alejandro Malpartida también expone otra clasificación basada en 5 clases, a partir de la conductividad eléctrica del extracto acuoso que exponemos a continuación:

- A - Suelos no salinos los que tengan menos de 2 mmhos/cm de conductividad y ningún efecto sobre el crecimiento de las plantas. Grado de salinidad bajo.
- B - Suelos no salinos que tienen entre 2 y 4 mmhos/cm de conductividad y leve efecto sobre el crecimiento de las plantas. Grado de salinidad leve.
- C - Suelos salinos cuando tienen entre 4 y 8 mmhos/cm de conductividad, con disminución en el rendimiento de cultivos. Grado de salinidad alto.
- D - Suelos salinos que tienen entre 8 y 16 mmhos/cm de conductividad, en este caso son pocos los cultivos que soportan estas condiciones. Grado de salinidad muy alto.
- E - Suelos que tienen más de 16 mmhos/cm de salinidad, las restricciones para cultivos es más grande que la del anterior. Grado de salinidad extremadamente alto.



CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS

Parámetros	Clases de Suelos			
	Salino	Normal	Sódico	Salino-Sódico
pH	< 8.5	< 8.5	> 8.5	> 8.5
C.E. (dS/m)	> 4	< 4	< 4	> 4
P.S.I. (%)	< 15	< 15	>15	>15
P.S.I. Porcentaje de Na intercambiable				

CLASIFICACIÓN DE LA SALINIDAD DE LOS SUELOS, DE ACUERDO A LA RESPUESTA DE LOS CULTIVOS.

Tipo de Suelo	Salinidad	C.E. (dS/m)	Efectos
Normales	Muy ligera	0-2	Casi nulos
	Ligera	2-4	Puede afectar a cultivos sensibles
Salinos	Media	4-8	La mayoría de los cultivos son afectados
	Fuerte	8-16	Solo pueden prosperar cultivos tolerantes
	Muy Fuerte	> 16	Solo se desarrollan cultivos muy tolerantes

CONCLUSIONES

La salinidad avanza de manera intermitente en la mayoría de los distritos de riego de México. La superficie afectada –en diferente grado– por este problema es de 600 mil hectáreas, de las cuales 300 mil presentan rendimientos deficientes o están abandonadas, lo que implica una disminución significativa en la economía de los agricultores.

El origen del problema de suelos salinos se encuentra en una baja eficiencia de conducción y aplicación del agua de riego, considerándose que la red hidráulica actual requiere de un mayor cuidado en su conservación y terminar con la infraestructura originalmente planeada, para evitar pérdidas por filtraciones en canales que influyen en el incremento de los niveles freáticos.





GLOSARIO

Conductividad Eléctrica (CEs): La conductividad eléctrica ha sido el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad. Se basa en la velocidad con que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, la cual es proporcional a la concentración de sales en solución. Hasta hace unos años se expresaba en mmhos/cm, hoy día las medidas se expresan en dS/m (dS=deciSiemens), siendo ambas medidas equivalentes (1 mmhos/cm = 1 dS/m). Por tanto la CEs refleja la concentración de sales solubles en la disolución.

Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), que se calcula según la ecuación, el PSI expresa el porcentaje de Na^+ respecto a los demás cationes adsorbidos. Se considera que un suelo puede sufrir problemas de sindicación y dispersión de la arcilla cuando el $\text{PSI} > 15\%$.

Potencial de Hidrogeno (pH), es una medida de la concentración de hidrógeno expresado en términos logarítmicos. Los valores del pH se reducen a medida que la concentración de los iones de hidrógeno incrementan, variando entre un rango de 0 a 14. Los valores por debajo 7.0 son ácidos, valores superiores a 7.0 son alcalinos y/o básicos, mientras que los que rondan 7.0 son denominados neutrales. Por cada unidad de cambio en pH hay un cambio 10 veces en magnitud en la acidez o alcalinidad (por ejemplo: un pH 6.0 es diez veces más ácido que uno de pH 7.0, mientras que un pH 5.0 es 100 veces más ácido que el de 7.0).

Dicho de otro modo, La acidez de un suelo depende pues de la concentración de hidrogeniones $[\text{H}^+]$ en la solución de las aguas y se caracteriza por el valor del pH., que se define como el logaritmo negativo de base 10 de la concentración de H^+ : $\text{pH.} = -\log_{10} [\text{H}^+]$. Es un elemento de diagnóstico de suma importancia, siendo el efecto de una serie de causas y a su vez causa de muchos problemas agronómicos.





FUENTE: BSc (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey) 19
MBA (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey) 1998
MSc (University of California, Davis) 2003.
Economic-Engineering Analysis of Water Management for
Restoring the Colorado River Delta
CILA
Comisión Nacional del Agua, Baja California
*Border Oasis: Water and the Political Ecology of the Colorado
River Delta, 1940-1975, Evan R. Ward, Tucson,
Arizona, University of Arizona Press, 2003, 208 pp.*
Lawrence Douglas Taylor Hansen
<http://edafologia.ugr.es/Conta/tema12/medida.htm>
http://www.gatfertilizados.com/salinidad_cultivos.pdf
<http://weblogs.madrimasd.org/universo/archive/2007/04/02/62776.aspx>

BIBLIOGRAFIA

- Axler,R, Paulson, P. Vaux P. Sollberger y D. Baepler.1988. “Fish aid-the Lake Mead fertilization project”. Lake and Reservoir Management, 4(2):213-220.
- Evans, T. y L. Paulson. 1983. “The influence of Lake Powell on the suspended sediment-phosphorus dynamics of the Colorado River inflow to Lake Mead”, pp. 57-68 en V.D. Adams y V.A. Lamarra (eds.), Aquatic Resources Management of the Colorado River Ecosystem, Ann Arbor Science.
- Oyarzábal y Young.1978. “International external diseconomies: the Colorado River salinity problem in Mexico”, Natural Resources Journal, 18:77-88.
- Paulson, L.1983. “Use of hydroelectric dams to control evaporation and salinity in the Colorado River System”, pp. 439-456 en V.D. Adams y V.A. Lamarra (eds.), Aquatic Resources Management of the Colorado River Ecosystems, Ann Arbor

