

Los aprovechamientos hidroagrícolas en las playas del desierto chihuahuense: influencia de las concentraciones salinas sobre la calidad de los recursos hidroedafológicos. Aplicación al estudio del área de riego de la Comarca Lagunera, México

*González-Barrios J. L., Valles V.,
Servat E. y Plenecassagne A.*

Introducción

La Comarca Lagunera es una región árida endorreica, formada por planicies cuya altitud varía entre 1000 y 1200 m. Se sitúa entre las dos principales cadenas montañosas del norte de México (Figura 128). En esta región, los principales problemas son la obtención de un volumen de agua suficiente para regar 150 mil hectáreas de tierras, así como el control de la calidad del agua bajo las condiciones climáticas de fuerte evaporación (cerca de 2600 mm/año^{-1} contra 260 mm de precipitación promedio anual). Los volúmenes de riego actuales para la producción agrícola, por ejemplo forrajes, exceden ampliamente (hasta en 100%) las necesidades hídricas de las plantas y representan una importante cantidad de agua que redistribuye las sales del suelo. Además, la cantidad de sales de ciertas aguas de riego plantea el problema de salinización secundaria, cuya intensidad y naturaleza es diferente según la calidad del agua, el tipo de suelo y los aprovechamientos hidroedafológicos que se hacen.

Después de una presentación breve de los materiales y métodos utilizados en este estudio, se abordarán los principales resultados obtenidos, mismos que ponen en evidencia la influencia de las concentraciones salinas sobre la calidad de los recursos agua y suelo.

Materiales y métodos

Varias exploraciones de campo permitieron identificar dos situaciones hidroagrícolas representativas del área de riego de la Comarca Lagunera (González-Barrios, 1994; González-Barrios y Loyer, 1995). La caracterización fisicoquímica de las aguas y de los suelos fue realizada a partir de diferentes análisis de laboratorio (conductividad eléctrica, pH, iones disueltos en el extracto de pasta saturada, difracción con rayos X, granulometría, contenido de material calcáreo y de yeso, capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica).

Paralelamente, con la ayuda del modelo termodinámico *Aqua* (Valles y De Cockborne, 1992), se simuló numéricamente la evolución geoquímica de las aguas, lo que permite prever la dirección y la intensidad de los cambios geoquímicos, tomando en cuenta las condiciones de evaporación. El estudio de los suelos sometidos a riego durante 20 o 40 años, permitió comparar la evolución observada en el campo y simulada con el modelo.

Resultados y discusiones

En el área de riego de la Comarca Lagunera, el agua utilizada para fines agrícolas proviene de varias fuentes; sin embargo, la producción de cultivos forrajeros con aguas de origen subterráneo es la más frecuente. Para la producción de alfalfa, maíz, pasto ballico, avena o sorgo, se observa un fuerte consumo en agua y un intenso uso del suelo a lo largo de todo el año.

Dos situaciones hidroagrícolas representativas fueron elegidas para este estudio.

- La primera, llamada Vergelito, está localizada en la planicie aluvial noreste (municipio de Francisco I. Madero, Coahuila).
- La segunda, llamada Comienzo, se sitúa en la planicie aluvial central (municipio de Gómez Palacio, Durango).

El riego intensivo para la producción de forrajes se remonta a la década de 1950, para los suelos de Comienzo y a la década de 1970, para los suelos de Vergelito.

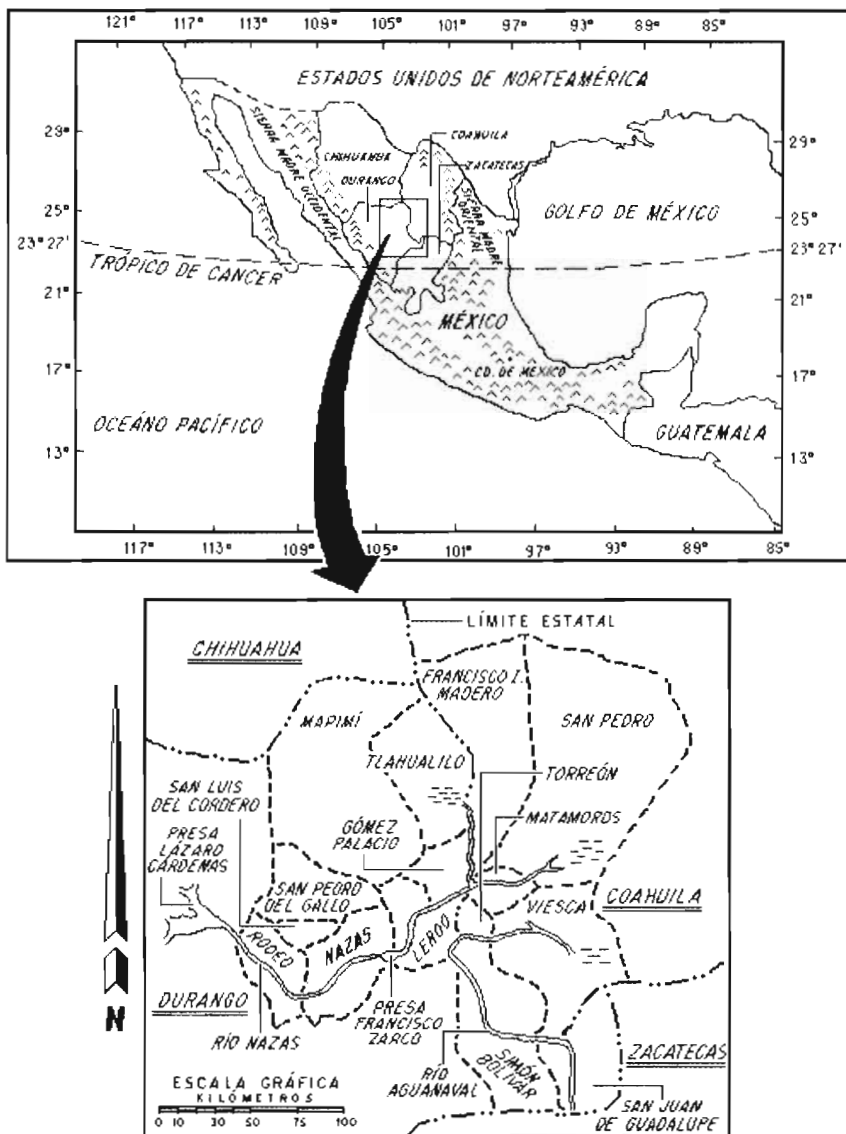


Figura 128. Localización de la zona de estudio.

Características de los suelos antes de ser irrigados

Tabla 66

Características fisicoquímicas del extracto de pasta saturada del suelo de Vergelito (capa arable), en estado natural antes de 20 años de riego*

Prof. cm	CE DS m ⁻¹	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺ mmol ⁺	Cl ⁻ L ⁻¹	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻
0 90	0.45	8.6	1.45	0.1	0.8	0.4	1.7	0.55	1.7	0	0

Tabla 67

Características de la fase mineral del suelo de Vergelito (capa arable), en estado natural 20 años antes del riego*

Prof. cm	Arena	Limo %	Arcilla	CEC	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol ⁺	Na ⁺ kg ⁻¹	K ⁺	Calcáreo	Yeso %	M.O.
0 90	35	20	44	30	10.8	0.75	0.9	1.1	4.6	6.0	1.4

Tabla 68

Características fisicoquímicas del extracto de pasta saturada del suelo de Comienzo (capa arable), en estado natural antes de 40 años de riego*

Prof. cm	CE dS m ⁻¹	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺ mmol ⁺	Cl ⁻ L ⁻¹	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ²⁻
0 90	2.9	8.4	7.8	1.55	8.8	1.4	3.6	8.55	1.9	0.15	7.4

Tabla 69

Características de la fase mineral del suelo de Comienzo (capa arable), en estado natural antes de 40 años de riego*

Prof. cm	Arena	Limo %	Arcilla	CEC	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol ⁺	Na ⁺ kg ⁻¹	Calcáreo	K ⁺	Yeso %	M.O.
0 90	26	31	42	32.3	12.9	1.1	0.9	11	2.5	6.9	2.2

*Granulometría, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, riqueza en sales precipitadas y contenido de materia orgánica.

Los suelos de esos dos sitios pertenecen a los depósitos de aluviones finos formados por la decantación en los fondos bajos o depresiones. Son suelos arcillosos jóvenes, que presentan características fisicoquímicas distintivas:

- El suelo de Vergelito (Tabla 66 y Tabla 67) es un suelo gris-oscuro calcáreo, arcilloso, cuyos minerales arcillosos que pertenecen al grupo de las Esmectitas dominan sobre el grupo de Illitas y Kaolinitas; es un suelo no salino de facies bicarbonato-cloruro cálcica, con un complejo de intercambio calcimagnésico.
- El suelo de Comienzo (Tabla 68 y Tabla 69) es un suelo gris-claro calcáreo, arcilloso, donde los minerales arcillosos del tipo Illita y Kaolinita predominan sobre las Esmectitas, es no salino, de facies sulfato cálcica, con un complejo de intercambio igualmente calcimagnésico.

Aparte de su textura fina que hace a veces difícil el laboreo, sobre todo cuando están húmedos, esos suelos no plantean problema alguno para su uso agrícola pues su capacidad de retención de agua es adecuada. Además, la calidad de esos suelos antes del manejo es satisfactoria aunque debe modificarse probablemente al paso del tiempo bajo la acción de las aguas de riego que se utilizan.

Características de aguas de irrigación

Las aguas de riego utilizadas para los dos suelos son de origen subterráneo, bombeadas desde un acuífero profundo situado en aluviones de distinta naturaleza. Esas aguas difieren entre sí respecto a sus contenidos de sales y sus facies químicas (Tabla 70).

- Las aguas de Vergelito son ricas en sales y tienen una conductividad eléctrica de 1,5 dS.m⁻¹, y presentan una facies sulfato sódica¹.
- Las aguas de Comienzo son aún más ricas en sales con una conductividad eléctrica de 5,6 dS.m⁻¹ y tienen una facies cloruro sódica².

La salinidad de esas aguas, como la de la mayoría de las aguas subterráneas, de la Comarca Lagunera, parece aumentar desde hace una veintena de años, fenómeno ligado, por una parte, a la sobreexplotación de las reservas situadas en promedio a 80 m de profundidad y, por otra parte, a los periodos de sequía climática. Esta mineralización de las aguas evoluciona a una velocidad aun no bien conocida: hasta 4% por año en algunos casos estudiados por González-Barrios (1994).

¹ Sea 1 500S.cm⁻¹

² Sea 5 600S.cm⁻¹

Tabla 70
Características fisicoquímicas actuales de las aguas de riego de Vergelito y Comienzo.

	CE dS m ⁻¹	CD g L ⁻¹	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺ mmol	Cl ⁻ L ⁻¹	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ²⁻
Vergelito	1,5	1,1	8,2	1,1	0,15	12,70	0	2,3	4,2	4,2	0	0
Comienzo	5,6	3,65	7,6	8,15	0,55	41,3	1,0	45,4	6,4	1,6	0	0

El uso de esas aguas plantea un riesgo de salinización secundaria de los suelos. Por ejemplo, una lámina de riego anual para producir alfalfa (2,8 m de agua en promedio), actualmente representa un aporte de 30.8 y de 102.2 t ha⁻¹, respectivamente, incluyendo todas las especies de sales, para los suelos de Vergelito y de Comienzo. La evolución de esta salinización y sus efectos a largo plazo pueden ser previstas con la ayuda de simulaciones numéricas.

Evolución simulada de las aguas y consecuencias sobre los suelos y la vegetación

Bajo condiciones de fuerte evaporación, el modelo *Aqua* permite simular a partir del pH y de los principales iones detectados, la evolución química de las aguas (Eaton, 1950; Droubi, 1976; Valles *et al.*, 1991): distribución y formas libres y complejas de los elementos (molalidad, actividad). El

comportamiento de las aguas de riego, en ausencia de la fase sólida intercambiable (suelo), se presenta en la Figura 129 y en la Figura 130 que muestran, por una parte, las aguas de Vergelito caracterizadas por un aumento de la alcalinidad (Alk) a medida que se concentran por evaporación, y por otra parte, las aguas de Comienzo cuya alcalinidad se estabiliza a partir de un límite de concentración (log Fc = 1).

En las últimas fases del proceso de evaporación, después de la precipitación de la calcita y del yeso, esos tipos de agua darán origen a minerales solubles de naturaleza química diferente:

Minerales alcalinos formados por carbonatos y bicarbonatos de sodio: trona (Na₂CO₃·NaHCO₂·2H₂O), natron (Na₂CO₂·10H₂O), nahcolita (NaHCO₂), thermonatrita (Na₂CO₂·H₂O), para las aguas de Vergelito.

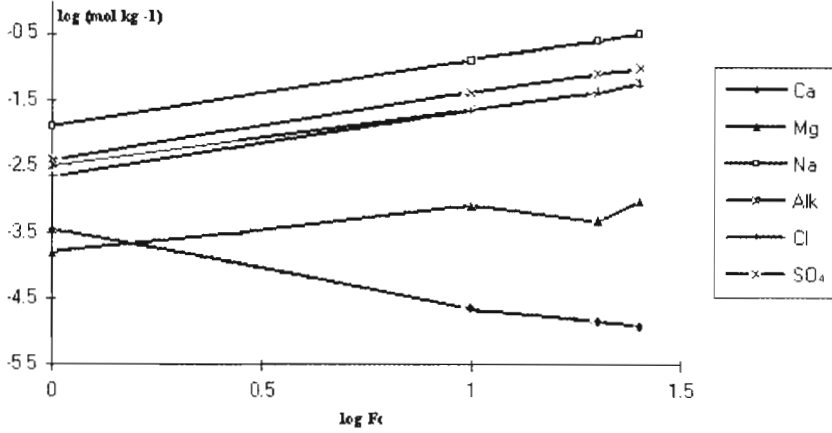


Figura 129. Comportamiento hidroquímico simulado de las aguas de Vergelito.

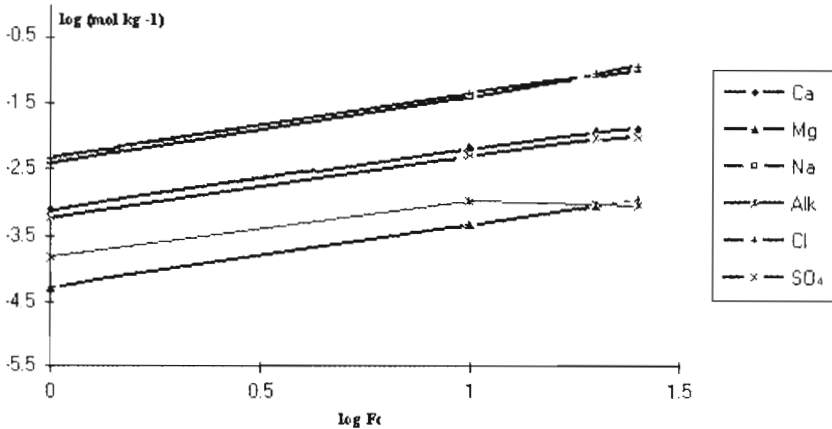


Figura 130. Comportamiento hidroquímico simulado de las aguas de Comienzo.

- Minerales neutros formados por cloruros de sodio y de magnesio: halita (NaCl), cloromagnesita (MgCl₂), para las aguas de Comienzo.

Las consecuencias sobre el suelo serán diferentes según el tipo de agua usada.

- En el caso de Vergelito, bajo ciertas condiciones (ausencia de material

calcáreo, presencia de un manto freático próximo de la superficie, etc.), el agua podrá provocar una salinización alcalina acompañada de degradación de la estructura del suelo por efecto de una dispersión de las arcillas (proceso de alcalización).

- En el caso de Comienzo, el agua de riego podrá provocar una salinización neutra

muy fuerte, así como una sodización avanzada en el complejo de intercambio del suelo.

Sin embargo, los suelos contienen material calcáreo y yeso que intervienen con el complejo de intercambio y que tienen un efecto tampón sobre los cambios geoquímicos. Además, el régimen hídrico de esos suelos de desierto es semejante a un sistema abierto a profundidad, ya que en ausencia de un manto freático, las sales pueden migrar como en un medio bien drenado.

Las consecuencias en las plantas serán: dificultad para absorber los elementos nutritivos y el agua bajo condiciones hipertónicas, en relación con el medio intracelular; dificultad para la respiración de las raíces debido a condiciones de asfixia (caso de Vergelito); y una fuerte toxicidad de los iones presentes en fuertes concentraciones.

Se puede constatar que las consecuencias de esa evolución son muy perjudiciales al desarrollo vegetal, lo que concretamente se traduce en una pérdida del potencial productivo de los suelos.

Después de varias décadas de riego se puede comparar la evolución de las características edafológicas observadas en los dos casos estudiados, a las características previstas por el modelo.

Evoluciones observadas en las características fisicoquímicas del suelo después de un largo periodo de irrigación

La Tabla 71 y Tabla 72 presentan las características fisicoquímicas de la capa arable de los suelos, después de 20 o 40 años de riego.

El suelo de Vergelito, después de una veintena de años de riego, y trabajado de manera no sistemática (laboreo de superficie, fertilización y control fitosanitario, regado en surco o en melgas de inmersión), presenta los siguientes cambios: la salinidad global (conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada) aumenta casi 12 veces; el pH disminuye hasta alcanzar un valor en equilibrio geoquímico con la calcita (8,4); la facies salina de la solución pasa de bicarbonato-cloruro cálcica a sulfato sódica, idéntica a la del agua de riego; las sales precipitadas en superficie son principalmente sulfatos de sodio (mirabilita, tenardita); la capacidad de intercambio catiónico permanece en el mismo orden de grandeza; el complejo de intercambio se enriquece en sodio intercambiable cuyo porcentaje aumenta casi 13 veces, de 3 a 38%; el contenido de material calcáreo y de yeso disminuyen 35 y 26%, respectivamente.

Tabla 71

Características fisicoquímicas del extracto de la pasta saturada del suelo de Vergelito (capa arable), después de 20 años de riego*

Prof. cm	CE dS m ⁻¹	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺ mmol ⁺	Cl ⁻ L ⁻¹	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻
0 a 90	5.3	8.4	8.05	0.1	33.8	0.6	7.3	19.35	2.8	0	0

Tabla 72

Características fisicoquímicas de la fase mineral del suelo de Vergelito (capa arable), después de 20 años de riego*

Prof. (cm)	Arenal	Limo %	Arcilla	CEC	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol ⁺	Na ⁺ kg ⁻¹	K ⁺	Calcáreo	Yeso %	M.O.
0 a 90	41	16	42	29.5	5.3	0.55	11.2	0.7	3	4.4	2.1

*Granulometría, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, riqueza en sales precipitadas y contenido en materia orgánica.

El suelo de Comienzo, (Tabla 73 y Tabla 74) después de 40 años de riego a través de los cuales se realizaron manejos similares a los de Vergelito, aunque de manera más sistemática y con mayor tecnicidad (micro-nivelación del terreno) e intensidad (subsoleo a 90 cm de profundidad, aplicación hasta 120 t ha⁻¹ de estiércol de bovino), muestra los siguientes cambios: la salinidad global aumenta casi dos veces, pero se mantiene en valores convenientes; el pH disminuye muy ligeramente a valores del medio neutro; la facies salina de la solución pasa de sulfato cálcica a cloruro sódica-cálcica, en relación con la facies del agua de riego; las sales precipitadas en la superficie son formadas esencialmente por cloruros de sodio (halita); la textura muestra un muy ligero cambio que se traduce en una granulometría más

equilibrada entre las diferentes fracciones; la capacidad de intercambio del suelo disminuye también muy ligeramente; el complejo de intercambio se enriquece en sodio intercambiable, cuyo porcentaje aumenta casi nueve veces, de 2.7 a 23.3%; el contenido de material calcáreo y de yeso no muestran grandes cambios.

Las características observadas muestran las transformaciones fisicoquímicas provocadas por el uso agrícola de las aguas y del suelo. Desde el punto de vista físico, el suelo de Comienzo presenta ciertos cambios debido a los trabajos realizados sistemáticamente (especialmente subsoleo profundo y uso de grandes cantidades de materia orgánica). El suelo de Vergelito no muestra cambios físicos evidentes, sin embargo, desde el punto de vista geoquímico,

Tabla 73
Características fisicoquímicas del extracto de la pasta saturada del suelo de Comienzo (capa arable), después de 40 años de riego*

Prof. cm	CE dS m ⁻¹	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺ mmol ^l -	Cl ⁻ L ⁻¹	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻
0-90	4.9	8.1	9.2	1.6	19.8	5.8	25.7	6.85	7.9	0	0

Tabla 74
Características fisicoquímicas de la fase mineral del suelo de Comienzo (capa arable), después de 40 años de riego*

Prof. cm	Arena	Limo %	Arcilla	CEC	Ca ²⁺	Mg ²⁺ cmol ^l	Na ⁺ kg ⁻¹	K ⁺	Calcáreo	Yeso %	M.O.
0-90	39	31	29	30	6.4	2.1	7.0	5.3	10	7.4	2.6

*Granulometría, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, riqueza en sales precipitadas y contenido en materia orgánica.

es el que presenta las transformaciones más importantes con una mayor salinización, un cambio en su facies química y una sodización de su complejo de intercambio (Figura 131 y Figura 132).

Estos resultados ponen en evidencia dos funcionamientos diferentes en los cuales los trabajos de laboreo y, sobre todo, la naturaleza del suelo y del agua, juegan un papel importante. La sensibilidad a la salinización es menos importante en el suelo de Comienzo, donde la acumulación salina y la adsorción del sodio parece alcanzar un límite similar a un equilibrio entre suelo y agua, situado actualmente en una conductividad eléctrica (CE) próxima a 5dS.m⁻¹, valor también próximo de la CE del agua de riego usada (5.6dS m⁻¹). Este comportamiento ha sido ya observado por González-Barrios (1994) en otros suelos de la región

que presentan las características: textura franca, buena estructura y permeabilidad, riqueza en material calcáreo; y las situaciones topográficas (bien drenadas) que favorecen el drenaje del suelo y que permiten exportar el exceso de sales solubles fuera de la capa arable. Por el contrario, en el caso de Vergelito, la acumulación salina y la sodización del complejo de intercambio son más importantes que las esperadas bajo las condiciones de equilibrio suelo-agua. En consecuencia, no es recomendable regar este suelo con sus aguas subterráneas, pero si no hay otra opción, será necesario el uso de acondicionadores adecuados que permitan volver a equilibrar (mejoradores ricos en calcio, por ejemplo) la relación entre el calcio y el sodio en solución, así como exportar (mediante drenaje) el exceso de sales fuera del perfil de laboreo del suelo.

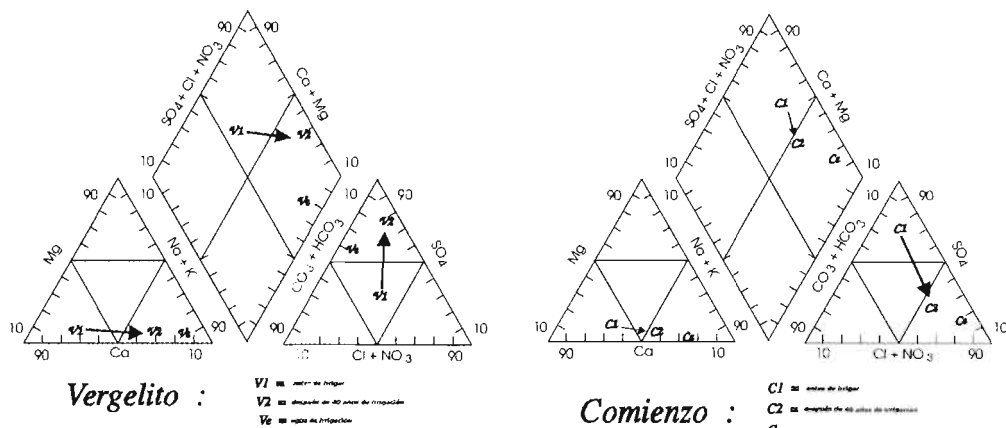


Figura 131. Evolución observada en las facies de la salinidad del suelo.

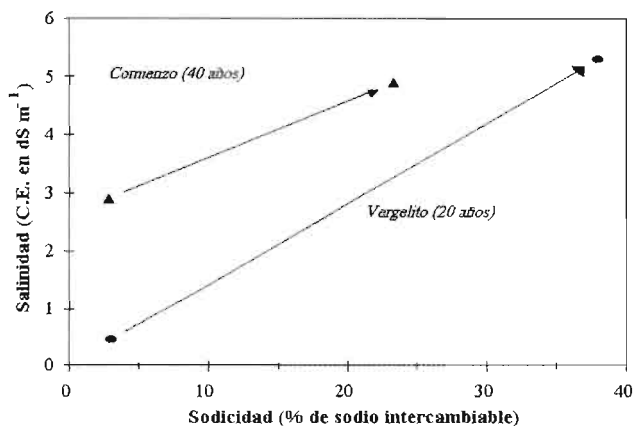


Figura 132. Evolución observada en la salinidad y la sodicidad del suelo.

Los cambios observados en Vergelito (salinización neutra) son diferentes a los previstos en la simulación numérica (salinización alcalina) debido a la importancia que tienen los fenómenos de intercambio catiónico (tipo de arcilla, coeficiente de selectividad, tiempo de contacto suelo-solución en el transcurso de las fases de

hidratación-secado, dinámica de los cationes intercambiables), así como por el poder tampón del medio geoquímico (riqueza en material calcáreo, contenido de calcita y de yeso disueltos en cada fase de hidratación, etcétera).

A pesar de los cambios provocados en los suelos, la producción vegetal ha

continuado en ellos, pero con rendimientos agrícolas menores a los potenciales de la región, especialmente en Vergelito, lo cual denota una disminución evidente de la capacidad productiva del suelo.

Conclusiones

Es evidente que el uso agrícola de aguas salinas modifica las características de los suelos irrigados. Los dos casos estudiados en la Comarca Lagunera muestran que la sensibilidad a la salinización secundaria es importante cuando el suelo, antes del riego, es poco salino, tiene una fracción fina, en la que predominan las arcillas de tipo Esmectita y que los trabajos del suelo no contribuyen a exportar el exceso de sales fuera del perfil de laboreo. Así, el suelo de Vergelito es más sensible a ese proceso de salinización secundaria, que el suelo de Comienzo, aún si el agua de riego es casi cuatro veces menos salina.

El procedimiento de comparar las situaciones iniciales y finales, tanto simuladas como observadas, permite poner en evidencia la dirección y la intensidad de los cambios potenciales y reales al término de varias décadas de riego. Esa comparación muestra cuán importante es tomar en cuenta la naturaleza del suelo y también los diferentes trabajos realizados en él, para prever con precisión la evolución geoquímica del sistema agua-suelo.

En la perspectiva de utilizar la modelación como herramienta precisa para el manejo y la toma de decisiones, es necesario tomar en cuenta todos los aspectos hidrológicos y edafológicos que explican la diferencia entre lo observado y lo simulado.

Finalmente, sería interesante continuar el estudio evolutivo de esos suelos y tratar de restaurar, con trabajos de manejo adecuados, su potencial productivo y su calidad.

Las
playas
del
desierto
chihuahuense
(parte mexicana)

Editores

Olivier Grünberger
Víctor Manuel Reyes-Gómez
Jean-Louis Janeau



Primera edición, 2004

D.R. © 2004

Instituto de Ecología, A.C.

Km 2.5 carretera antigua a Coatepec No. 351

Congregación El Haya, C.P. 91070

Xalapa, Ver., México

e Institut de Recherche pour le Développement

Calle Cicerón No. 609

Col. Los Morales, C.P. 11530

México, D.F., México

ISBN 970-709-048-0

Impreso en México - *Printed in Mexico*

Título: Las playas del desierto chihuahuense (parte mexicana). Influencia de las sales en ambiente árido y semiárido

Editores: Olivier Grünberger, Víctor Manuel Reyes-Gómez y Jean-Louis Janeau

Coordinación editorial: LDG. Liliana Sánchez Vallejos

Diseño: Iván Flores Hernández y Fernando Rodríguez Hipólito

Revisión de estilo: Aída Pozos Villanueva

Traducción de textos en francés: Annie Soubic de Carrillo

Ilustraciones y fotografías de interiores: Jean-Louis Janeau

Fotografía de la portada: fotografía compuesta, imagen superior tipo LANSAT-TM (1996), imagen inferior Jean-Louis Janeau.

Forma sugerida para citar este libro: Grünberger O., V. M. Reyes-Gómez y J.-L. Janeau (eds). *Las playas del desierto chihuahuense (parte mexicana). Influencia de las sales en ambiente árido y semiárido*. 2004. IRD-INECOL, Xalapa, Veracruz, México, pp. 360.

D.R. © Ninguna parte de esta publicación, incluyendo el diseño de la cubierta, puede ser reproducida, traducida, almacenada o transmitida de forma alguna ni por ningún medio, ya sea electrónico, químico, mecánico, óptico, de grabación o de fotocopia, sin permiso previo del editor. Párrafos pequeños o figuras aisladas pueden reproducirse, dentro de lo estipulado en la Ley Federal del Derecho de Autor y el Convenio de Berna, o previa autorización por escrito de la editorial.

Las
playas
del
desierto
chihuahuense

(parte mexicana)

Influencia de las sales en ambientes
árido y semiárido

Editores

Olivier Grünberger
Víctor Manuel Reyes-Gómez
Jean-Louis Janeau

Instituto de Ecología, A.C.

Xalapa, Veracruz, México

Institut de Recherche pour le Développement

Paris, Francia

2004