

Potencial de salinización secundaria del agua de riego agrícola de 63 pozos en la Comarca Lagunera

Secondary salinization potential of agricultural irrigation water from 63 wells in the Lagunera Region

José Luis González-Barrios^{1*}, Gerardo Delgado Ramírez¹, Juan Estrada Avalos¹, Cristo Omar Puente Valenzuela¹, Guillermo González Cervantes¹.

¹ Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera. km 6.5 Margen Derecho Canal Sacramento, Zona Industrial 4ª Etapa, C.P. 35140, Gómez Palacio, Durango, México.

*Autor para correspondencia: gonzalez.barrios@inifap.gob.mx

RESUMEN

La Comarca Lagunera es una de las regiones más afectadas por la salinización del suelo en México, un problema exacerbado por la expansión agrícola y el uso de técnicas de riego inadecuadas, especialmente con aguas ricas en sales. Este estudio evaluó el potencial de salinización secundaria de 63 fuentes de agua subterránea utilizadas para riego agrícola en 23 predios de la región. Se tomaron muestras de agua de cada pozo, empleadas mayormente para el riego de cultivos forrajeros. La carga total disuelta se determinó mediante análisis de iones solubles, vinculándola con la conductividad eléctrica (CE) y el pH. Los valores de CE oscilaron entre 0.34 y 6.99 dS/m, indicando una variabilidad entre aguas poco salinas y fuertemente salinas, con contenidos de sales entre 0.3 y 4.8 g/L. El pH fluctuó entre 8.9 y 7, sugiriendo un gradiente de alcalino a neutro conforme aumenta la concentración salina. Considerando dos niveles de eficiencia en la aplicación del riego, la velocidad potencial de degradación del suelo por salinización secundaria varió entre 0.8 y 149 toneladas de sal por hectárea y por ciclo de cultivo. Este trabajo aporta al diagnóstico del estado de los suelos en la Comarca Lagunera afectados por la salinidad, evaluando el riesgo de salinización secundaria de las aguas de riego estudiadas.

Palabras clave: Calidad agua de riego, riesgo salinización.

ABSTRACT

The Comarca Lagunera is one of the regions most affected by soil salinization in Mexico, a problem exacerbated by agricultural expansion and the use of inadequate irrigation techniques, especially with water rich in salts. This study evaluated the potential for secondary salinization of 63 groundwater sources used for agricultural irrigation across 23 farms in the region. Water samples were taken from each well, primarily used for irrigating forage crops. The total dissolved load was determined through soluble ion analysis, correlating it with electrical conductivity (EC) and pH. EC values ranged from 0.34 to 6.99 dS/m, indicating variability between slightly saline and strongly saline waters, with salt contents ranging from 0.3 to 4.8 g/L. The pH fluctuated between 8.9 and 7, suggesting a gradient from alkaline to neutral as salt concentration increased. Considering two levels of irrigation application efficiency, the potential rate of soil degradation due to secondary salinization varied between 0.8 and 149 tons of salt per hectare per crop cycle. This work contributes to the diagnosis of soil conditions in the Comarca Lagunera affected by salinity, assessing the risk of secondary salinization of the irrigation water used.

Keywords: Irrigation water quality, salinization risk.

INTRODUCCIÓN

El uso de aguas de mala calidad para el riego es uno de los principales factores que contribuyen a la salinización secundaria del suelo, lo que reduce la productividad agrícola y degrada este recurso natural esencial (FAO, 2023). Actualmente, más de mil millones de hectáreas de suelo están afectadas por la salinidad y la sodicidad, y otros 2,600 millones de hectáreas están en riesgo de salinización en todo el mundo. El informe pionero de la FAO (2022) destaca los enormes desafíos que se deben enfrentar a corto plazo para restaurar suelos agrícolas degradados por la salinización secundaria. Este informe, resultado de la colaboración de más de 300 expertos en salinidad de suelos de 55 países, ofrece un análisis global y regional, además de presentar estrategias de adaptación y mitigación frente al grave problema. En México, algunas regiones se ven afectadas por la salinidad del suelo debido tanto a factores geohidrológicos como climáticos. Las zonas áridas y semiáridas del norte del país, por ejemplo, experimentan altas temperaturas y tasas de evaporación elevadas, condiciones que favorecen la acumulación de sales en el suelo. La Comarca Lagunera, ubicada en los estados de Coahuila y Durango, es una de las regiones más afectadas por la salinización del suelo en México. La expansión agrícola y el uso de técnicas de riego inadecuadas han intensificado este problema, especialmente cuando se emplean aguas con alta concentración de sales. Además, la falta de un sistema de drenaje eficiente provoca la acumulación de sales en la zona radicular de las plantas, afectando la producción agrícola. El presente trabajo tiene como objetivo contribuir a la iniciativa de la FAO en el Día Mundial del Suelo de 2024, para desarrollar un diagnóstico sobre el estado de los suelos afectados por la salinidad a nivel regional, nacional y global. En particular, se enfoca en valorar el potencial de salinización secundaria en 63 fuentes de agua de riego agrícola en la Comarca Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para cumplir con el objetivo de este estudio, se recabaron datos de 63 pozos de agua subterránea destinada al riego agrícola en 23 localidades o predios productivos de la Comarca Lagunera. De cada pozo se tomaron muestras de agua empleada principalmente para el riego de cultivos forrajeros.

Las muestras de agua fueron analizadas en el laboratorio de análisis de agua-suelo-planta del INIFAP CENID-RASPA, ubicado en la ciudad de Gómez Palacio, Durango. Los parámetros analizados en cada muestra fueron: pH, conductividad eléctrica (CE), aniones solubles (CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) y cationes solubles (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+).

La carga total disuelta de cada muestra se determinó a partir de los iones solubles analizados y se relacionó con la conductividad eléctrica, medida en dS/m, y con el pH.

Requerimiento de riego de los cultivos

El requerimiento de riego neto y bruto de los principales cultivos irrigados en los predios se calculó utilizando el método descrito en el Manual 56 de la FAO (Allen *et al.*, 2006) para la estimación de la evapotranspiración de cultivo (ETc), con el apoyo del software "CROPWAT 8.0" (Smith, 1992). Este software fue generado por especialistas de la FAO, lo cual posibilita la automatización de todos los cálculos necesarios para determinar ETc utilizando el método Penman-Monteith (Vozhehova *et al.*, 2018), siendo considerado por la FAO como el método estándar para calcular la evapotranspiración de referencia (ETo) (Sabino y de Souza, 2023), dado que se ajusta tanto a regiones áridas como templadas y tropicales (Allen *et al.*, 2006; Ortiz y Chile, 2020). La precipitación efectiva (Pe) se determinó mediante el método propuesto por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA), el cual está integrado en el software "CROPWAT 8.0" (FAO, 2024). El requerimiento de riego bruto se calculó considerando dos niveles de eficiencia de aplicación del riego (50% y 90%), los cuales son los más comunes en la práctica agrícola local, dependiendo del nivel de tecnología empleada. El acopio y tratamiento de los datos se realizó utilizando una base de datos en formato Excel, que incluye toda la información analítica y de campo recopilada para el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ubicación de los pozos de agua subterránea muestreados

La Tabla 1 presenta las 23 localidades o predios de la Comarca Lagunera donde se encuentran los pozos de agua subterránea analizados; detallando la



ubicación municipal y estatal, el número de pozos muestreados y los principales cultivos que se producen en cada sitio. En total, se analizaron 63 pozos destinados al riego de seis cultivos: maíz, alfalfa, sorgo, algodón, avena y trigo; en siete

municipios de la Comarca Lagunera. De estos municipios, cuatro pertenecen al estado de Durango (Nazas, Tlahualilo, Gómez Palacio y Simón Bolívar) y tres al estado de Coahuila (Francisco I. Madero, San Pedro y Matamoros).

Tabla 1. Localidades o predios con pozos de agua subterránea analizada

Sitio	Localidad	Ubicación municipal y estatal	Pozos muestreados	Cultivo principal
1	Grex de la Laguna	Fco I. Madero, Coah	2	Maíz Forrajero
2	Udaya I	Fco I. Madero, Coah	3	Alfalfa y sorgo forrajero
3	Udaya II	San Pedro, Coah	3	Alfalfa
4	La Esperanza	Fco I. Madero, Coah	4	Alfalfa y sorgo forrajero
5	El Compas	Gómez Palacio, Dgo	4	Alfalfa y sorgo forrajero
6	Castilla	San Pedro, Coah	2	Alfalfa y algodón
7	La curva	Nazas, Dgo	1	Maíz forrajero
8	Algodonera Santa María	Fco I. Madero, Coah	3	Algodón
9	Urquizo	San Pedro, Coah	2	Alfalfa y maíz forrajero
10	Solima	Matamoros Coah	3	Alfalfa y maíz forrajero
11	Las Lilas	Fco I. Madero, Coah	3	Maíz y sorgo forrajero
12	Guadalupe	Fco I. Madero, Coah	2	Sorgo forrajero
13	Baracaldo	Matamoros Coah	2	Sorgo forrajero
14	El Pilar	Tlahualilo, Dgo	3	Sorgo forrajero
15	San Agustín	Tlahualilo, Dgo	4	Sorgo forrajero
16	La Esperanza	Simon Bolivar, Dgo	3	Alfalfa y Sorgo forrajero
17	Agrícola Don Francisco	San Pedro, Coah	1	Maíz y sorgo forrajero
18	La Esperanza	Tlahualilo, Dgo	4	Sorgo
19	Establo Santa Prisca	Fco I. Madero, Coah	2	Algodón
20	Grupo Murua (el tres)	Gómez Palacio, Dgo	1	Maíz forrajero
21	El Dorado	Fco I. Madero, Coah	3	Sorgo y Avena
22	Nuevo Leon	Fco I. Madero, Coah	3	Alfalfa
23	Inagro Jimenez	Gómez Palacio, Dgo	5	Trigo
TOTAL			63	

La Figura 1 muestra la distribución geográfica de los 63 pozos de agua subterránea ubicados en las 23 localidades o predios. Se observa que estos pozos cubren gran parte de la planicie agrícola de la Comarca Lagunera, incluyendo dos de las principales zonas de abastecimiento hídrico: ejes de los ríos Nazas y Aguanaval.

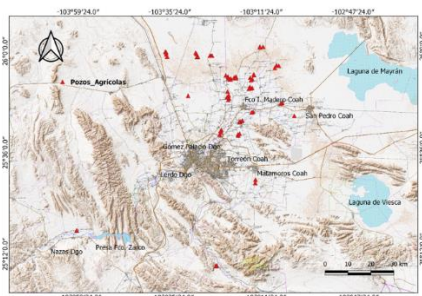


Figura 1. Ubicación geográfica de los 63 pozos de agua subterránea (pozos agrícolas) muestreados.

Características de las aguas subterráneas analizadas.

La Figura 2 muestra el contenido y tipo de sales predominantes en las aguas de riego analizadas. La conductividad eléctrica (CE) de estas aguas varía entre 0.34 y 6.99 dS/m, lo que representa un espectro que va de ligeramente salino a fuertemente salino, con un contenido de sales que oscila entre 0.3 y 4.8 gramos por litro (g/L), según la carga química disuelta.

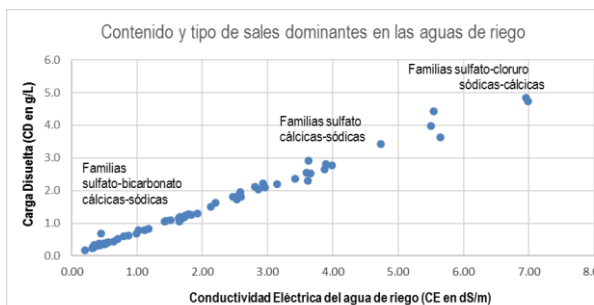


Figura 2. Contenido y tipo de sales dominantes en las aguas de riego analizadas.

El tipo de sales predominantes está relacionado con la conductividad eléctrica y con los iones específicos en solución. En las aguas menos salinas (CE menor a 2 dS/m), predominan las familias sulfato-bicarbonato cálcicas-sódicas; en las aguas de salinidad moderada a fuerte (CE entre 3 y 5 dS/m), prevalecen las familias sulfato cálcicas-sódicas; y en las aguas más salinas (CE de 5 a 7 dS/m), dominan las familias sulfato-cloruro sódicas-cálcicas. Estas variaciones hidro-geoquímicas reflejan la naturaleza del material geológico en contacto con las aguas subterráneas y los acuíferos de la planicie aluvial regional.

La Figura 3 presenta el pH de las aguas de riego analizadas. Se observa que el pH oscila entre 8.9 y 7, lo que indica un rango de valores entre alcalinos y neutros. Las aguas con menor concentración de sales presentan una mayor diversidad en su composición iónica, con una tendencia más alcalina. En contraste, las aguas más salinas tienden a tener una composición iónica menos diversa y se aproximan a un pH neutro, con valores inferiores a 8.4.

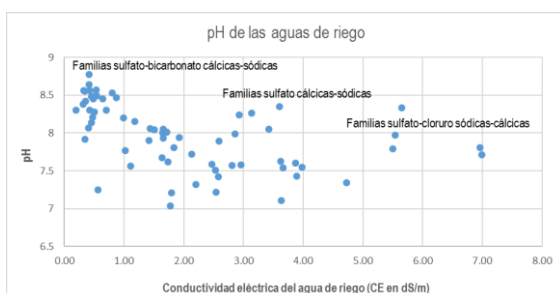


Figura 3. pH y tipo de sales dominantes en las aguas de riego analizadas.

Estos resultados sugieren una evolución en la composición química de las aguas subterráneas, que va de alcalina a neutra cuando aumenta la concentración de sales. Esta tendencia hidro-

geoquímica coincide con los hallazgos de González-Barrios en 1992.

Impacto potencial del uso de las aguas subterráneas en los suelos irrigados.

Una vez extraídas, las aguas subterráneas se utilizan para el cultivo principalmente de forrajes a través de diversos sistemas de riego: por gravedad a baja presión, utilizando válvulas alfalferas, o sifones en áreas de inundación; y sistemas de riego presurizado, como cintillas, aspersores o pivotes centrales, entre otros.

El riego por gravedad a baja presión es el sistema más común, aplicando láminas de 15 cm de altura que auxilian el desarrollo del cultivo a lo largo de su ciclo hasta alcanzar la madurez o el momento óptimo para la cosecha. Cada lámina de riego convencional de 15 cm equivale a un volumen efectivo de 1500 metros cúbicos de agua por hectárea. A continuación, se analiza lo que representa este volumen de agua en términos del contenido de sales aportadas al suelo agrícola.

La Figura 4 muestra el contenido de sales aportado por las aguas de riego analizadas cuando se aplica una lámina convencional de riego de 15 cm de altura. Se observa que el contenido de sales varía entre 38.5 y 727 kilogramos, dependiendo de la conductividad eléctrica (CE) del agua. Aunque estas cantidades de sales pueden parecer moderadas, cuando se calcula el requerimiento total de riego para completar el ciclo de un cultivo, la perspectiva cambia.

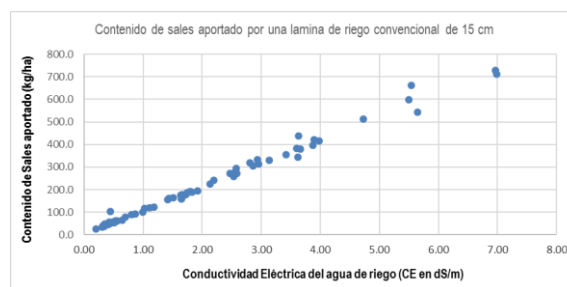


Figura 4. Contenido de sales aportado por una lámina de riego convencional de 15 cm de altura.

Requerimiento de riego de los cultivos.

Los cultivos en las distintas localidades tienen requerimientos de riego variables, según la estación del año (ciclos: primavera, verano, otoño-invierno) y

el sistema de riego empleado (gravedad por melgas o surcos; riego por presión con cintilla; aspersión con pivote o regadores, entre otros). Existen cultivos con alto, medio y bajo requerimiento hídrico, lo que impacta en el volumen total de agua necesario para satisfacer las necesidades de cada cultivo.

Es importante destacar que, en la región estudiada, la eficiencia de aplicación del riego oscila entre el 50% y el 90%. Delgado-Ramírez *et al.*, (2013) determinaron eficiencias globales de riego de 41% a 78% en sistemas de riego tipo válvula alfalfa. Así mismo, Ramos-Cruz *et al.*, (2018) estimaron eficiencias de aplicación de 51% y 72% en riego por gravedad en un módulo del distrito de riego 17 (DR 017). No obstante, Ángeles *et al.*, 2011 reportaron eficiencias de uniformidad del 91% en el sistema de

riego por goteo. Los primeros dos trabajos se realizaron en la misma área de estudio y el último en regiones agroclimáticas similares.

La Tabla 2 presenta el requerimiento de riego neto (RR_n) y bruto (RR_b) para los principales cultivos, considerando eficiencias de aplicación del 50% y 90%. Estos requerimientos se calcularon utilizando el método descrito en el Manual 56 de la FAO (FAO, 2006) para estimar la evapotranspiración del cultivo (ET_c), y con el apoyo del software CROPWAT 8.0. La precipitación efectiva (Pe) se calculó mediante el método de la USDA, también integrado en el software.

Tabla 2. Requerimiento de riego neto (RR_n) y bruto (RR_b) de cultivos establecidos en los ciclos: primavera, verano y otoño-invierno en la zona de estudio.

Cultivo	Ciclo	Fecha de Siembra	Ciclo Vegetativo (días)	Pe (cm)	RR _n (cm)	RR _b ¹ (cm)	RR _b ² (cm)
Maíz Forrajero	Primavera	15 - Mar	122	0.0	55.0	110.0	61.1
Sorgo Forrajero			122		52.7	105.4	58.6
Algodón			140		75.7	151.4	84.1
Alfalfa*			28		64.4	128.8	71.6
Maíz Forrajero	Verano	10 - Jul	115	7.2	37.3	74.6	41.4
Alfalfa**		15 - Sep	30	5.0	59.1	118.2	65.7
Avena Forrajera	Otoño-Invierno	10 - Nov	120	0.5	28.7	57.4	31.9
Trigo Forrajero			120	0.5	28.7	57.4	31.9
Alfalfa***			40	3.2	30.3	60.6	33.7

RR_b¹ = Requerimiento de riego con 50% de eficiencia de riego; RR_b² = Requerimiento de riego con 90% de eficiencia de riego.

* Para calcular el requerimiento de riego del cultivo de alfalfa se consideraron 4 cortes (cada corte con una duración de 28 días) durante el ciclo de primavera (marzo – junio).

** Para calcular el requerimiento de riego del cultivo de alfalfa se consideraron 3 cortes (cada corte con una duración de 30 días) durante el ciclo de verano (julio – septiembre).

*** Para calcular el requerimiento de riego del cultivo de alfalfa se consideraron 3 cortes (cada corte con una duración de 40 días) durante el ciclo de otoño-invierno (octubre – febrero).

La Tabla 2 permite ver fácilmente los cultivos que tienen un alto requerimiento de riego para completar su ciclo de vida (alfalfa que suma un requerimiento neto anual equivalente de 153.8 cm para los ciclos primavera, verano y otoño-invierno) respecto a los cultivos con bajos requerimientos de riego neto como la avena forrajera y el trigo forrajero, ambos con 28.7 cm.

Degradación potencial del suelo por salinización secundaria.

Considerando el requerimiento de riego neto de cada cultivo y las dos eficiencias de aplicación (50% y 90%), se puede estimar el riesgo y la velocidad potencial de degradación del suelo debido a la

salinización secundaria provocada por las aguas subterráneas.

Las Figuras 5 y 6 muestran la velocidad potencial de degradación del suelo en función del requerimiento de riego y la eficiencia de aplicación del agua (50% y 90%). Esta velocidad se expresa en toneladas de sal por hectárea por ciclo de cultivo (ton sal/ha/ciclo). Cabe mencionar que la eficiencia de aplicación del riego de 50% es la más común en los predios de la región.



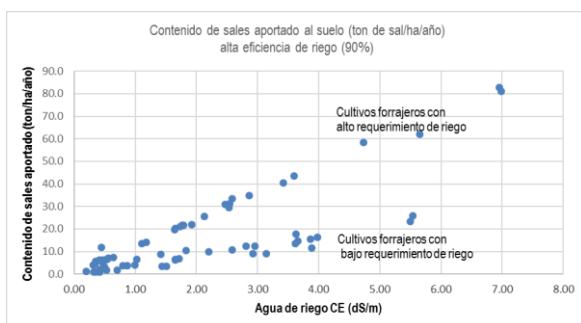


Figura 5. Contenido de sales aportado al suelo con una alta eficiencia de aplicación en el riego (90%). Velocidad potencial de degradación del suelo.

Se observa que la velocidad de degradación varía entre 0.8 y 82.9 toneladas de sal por hectárea por ciclo, cuando la eficiencia de riego es del 90%, y entre 1.5 y 149 toneladas cuando la eficiencia es del 50%. Esto indica que la degradación potencial del suelo depende de varios factores, incluyendo el tipo de agua de riego, el cultivo, el requerimiento hídrico, la eficiencia de riego y las características del suelo. Los valores extremos de esta velocidad van desde 0.8 hasta 149 toneladas de sal por hectárea y por ciclo.

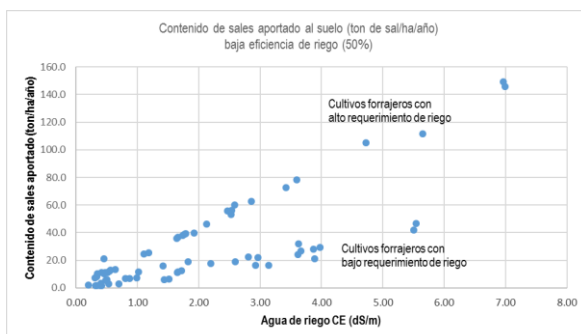


Figura 6. Contenido de sales aportado al suelo con una baja eficiencia de aplicación en el riego (50%). Velocidad potencial de degradación del suelo.

Estos resultados subrayan la necesidad de implementar medidas para proteger los suelos agrícolas cuando la velocidad de degradación potencial supera la capacidad del suelo para transferir las sales fuera de la capa arable o de la zona de raíces amenazada por la salinización secundaria.

Es fundamental identificar y proteger los suelos que aún no presentan acumulación excesiva de sales por

el agua de riego y que tienen una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m, sin problemas de infiltración o de baja permeabilidad (Richards, 1982; FAO, 1987). Asimismo, es crucial monitorear periódicamente el potencial de degradación de las aguas de riego, especialmente cuando provienen de fuentes subterráneas ricas en minerales y también de fuentes grises o residuales.

CONCLUSIONES

Este trabajo permite caracterizar las aguas subterráneas de 63 pozos destinados al riego agrícola y medir su potencial de degradación del suelo en términos de velocidad de salinización secundaria. Los pozos de agua subterránea abarcan gran parte de la planicie de la Comarca Lagunera, por lo que pueden considerarse representativos del agua de riego utilizada en esta importante región agrícola.

La conductividad eléctrica (CE) de las aguas de riego analizadas oscila entre 0.34 y 6.99 dS/m, lo que indica una variabilidad que va de aguas poco salinas a fuertemente salinas, con un contenido de 0.3 a 4.8 gramos de sales por litro (g/L) según su carga química disuelta. El pH de estas aguas se encuentra entre 8.9 y 7, lo que sugiere un dominio alcalino que transita al dominio neutro a medida que aumenta el contenido de sales.

Cada riego de auxilio convencional de 15 cm de altura representa un volumen de 1500 metros cúbicos por hectárea, aportando un contenido de sales que varía entre 38.5 y 727 kilogramos, dependiendo del valor de conductividad eléctrica del agua de riego. Sin embargo, al considerar el requerimiento total de agua del cultivo para completar su ciclo de producción, tanto el volumen de agua como el contenido total de sales aumentan considerablemente, especialmente al tomar en cuenta la eficiencia de aplicación del riego. Así, con dos niveles de eficiencia —uno alto (90%) y otro bajo (50%)— la velocidad potencial de degradación del suelo por salinización secundaria será de 0.8 a 149 toneladas de sal por hectárea y por ciclo del cultivo.

Para proteger el suelo de la degradación inducida por el uso de agua de riego salina, es esencial tomar medidas adecuadas cuando la velocidad de degradación potencial supere la capacidad del suelo para transferir estas sales fuera de la capa arable o de la zona radicular, que en los cultivos forrajeros generalmente se sitúa de 30 a 60 cm de profundidad.

También es importante salvaguardar los suelos que no presentan acumulación excesiva de sales y que mantienen una conductividad eléctrica inferior a 4 dS/m, sin problemas de infiltración. Para lograrlo, es fundamental evaluar periódicamente el potencial de degradación de las aguas de riego, especialmente si provienen de fuentes ricas en minerales, o de aguas grises o residuales. En este contexto, sería muy útil establecer la relación entre el estado actual del suelo y las características del agua de riego utilizada.

Este trabajo contribuye a la encomienda de la FAO para el Día Mundial del Suelo de 2024, ayudando a construir un diagnóstico sobre el estado de los suelos regionales afectados por salinidad, a través del estudio del potencial de salinización secundaria de las aguas de riego agrícola en la Comarca Lagunera.

LITERATURA CITADA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO Riego y Drenaje Manual 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). <https://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- Ángeles, H. J. M., Hernández, M. R., Casillas, G. J. A., Herrera, P. J. C., y Fragoza, D. F. (2011). Evaluación hidráulica de sistemas de riego apoyados por el proyecto estratégico de tecnificación del riego. Memorias del XVI Congreso Nacional de Irrigación, Culiacán, Sinaloa, México.
- Delgado-Ramírez, G., Estrada-Ávalos, J., Trucíos-Caciano, R., Rivera-González, M., y Catalán-Valencia, E. A. (2013). Metodología para la evaluación de la eficiencia global del riego en sistemas tipo válvulas alfalfa: Caso Región Lagunera. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, XII(1), 3–6. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2012.06.009>
- FAO (1987). La calidad del agua en la agricultura. Estudio de Riego y drenaje No. 29. Roma Italia. 173 pp.
- FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y Drenaje 56. Roma, Italia 322 pp. <https://www.fao.org/4/x0490s/x0490s00.htm> consultado el 12 octubre 2024
- FAO (2022). Halt soil salinization, boost soil productivity – Proceedings of the Global Symposium on Salt-affected Soils. 20–22 October 2021. Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cb9565> en consultado el 10 octubre 2024
- FAO (2023). Global Soil Partnership (GSP). Special announcement No. 46, October 2023. <http://www.fao.org/global-soil-partnership/en/> consultado el 20 octubre 2023
- FAO (2024). Manual CROPWAT 8.0, para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo ya sean existentes o nuevos. <https://es.scribd.com/doc/61197379/Cropwat-8-0-manual-en-espanol> consultado el 10 octubre 2024
- González-Barrios, J.L. (1992). Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride Mexicaine: exemple dans la "Comarca Lagunera". Thèse Doctorat Université de Montpellier II. France 316 pp.
- Ortiz, R. S. y Chile A., M. (2020). Métodos de cálculo para estimar la evapotranspiración de referencia para el Valle de Tumbaco. Siembra, 7(1), 070–079. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1450>
- Ramos-Cruz, C. M., Estrada-Ávalos, J., Delgado-Ramírez, G., Miguel-Valle, E., y Domínguez Alemán, D. (2018). Estimación de la eficiencia de riego superficial parcelario en un módulo del distrito 017 Región Lagunera. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas, 17(2), 21–30. <https://doi.org/10.5154/r.rchsza.2018.04.011>
- Richards, L.A. (editor). 1982. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de America. Departamento de Agricultura der lo Estados Unidos de America. Editorial Limusa México. 172 pp.
- Sabino, M., & de Souza, A. P. (2023). Global Sensitivity of Penman–Monteith Reference Evapotranspiration to Climatic Variables in Mato Grosso, Brazil. Earth, 4(3), 714–727. <https://doi.org/10.3390/earth4030038>
- Smith, M. (1992). CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management (No. 46). Food & Agriculture.Org. <https://books.google.it/books?id=p9tB2ht47N>



AC&pg=PP1&source=kp_read_button&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false consultado el 10 junio 2023

Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Y. O., Kokovikhin, S. V., Lykhovyd, P. V., Biliaieva, I. M., Drobitko, A. V., & Nesterchuk, V. V. (2018).

Assessment of the CROPWAT 8.0 software reliability for evapotranspiration and crop water requirements calculations. *Journal of Water and Land Development*, 39(1), 147–152. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0070>.