



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



Artículo: COMEII-19008

Mazatlán, Sin., del 18 al 20

de septiembre de 2019

RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LAVADOS EN SUELOS FUERTEMENTE AFECTADOS POR SALES

Félix Alberto LLerena Villalpando^{1*}

¹Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5, Carretera México Texcoco, C.P. 56230, Texcoco, Edo. de México, México.

f.allerenav@gmail.com - cel 5513488574 (*Autor de correspondencia)

Resumen

Las técnicas que se están utilizando actualmente en los Distritos de Riego del país para la aplicación de láminas de lavado en procesos de recuperación de suelos fuertemente afectados por sales, no son las más eficientes. Dados los altos costos de recuperación y los grandes volúmenes de agua que se requieren en estos procesos para el lavado de sales, resalta la necesidad imperante de optimizar las metodologías que se utilizan para realizar la aplicación de agua para lavados a los suelos afectados y lograr un más eficiente aprovechamiento tanto del agua que se requiere como de los recursos que se asignen. La finalidad de dichos lavados es transportar los excesos de sales fuera del perfil del suelo en donde se desarrollan los cultivos y de la propia parcela. Por lo anterior, en éste trabajo se proponen algunas recomendaciones sobre los tres temas fundamentales relacionados con el manejo del agua para el lavado de las sales en un proceso de recuperación de suelos ensalitrados, que son: **Cómo** aplicar las láminas de lavado, **Cuánto** aplicar de lámina de lavado (total y parcial) y **Cuándo y cada** cuando hacerlo, que tienen la finalidad de informar y orientar a técnico y usuarios de riego sobre alternativas probadas para aplicar con buena eficiencia láminas de lavado. Además, se proponen otras estrategias no convencionales para el lavado parcial de excesos de sales en suelos fuertemente afectados, que son el uso de aguas salinas y el lavado superficial por escurrimiento en suelos con textura muy arcillosa y con pendiente.

Palabras claves: Lámina total de lavado, láminas pasivas y activas de lavado, eficiencias general y pasiva de lavado, láminas parciales de lavado, intervalos de lavado.



Introducción

El agua es el componente indispensable y básico de los procesos de recuperación o mejoramiento de suelos con problemas de ensalitramiento, por ser el medio más efectivo para transportar o mover los excesos de sales tanto fuera del perfil de suelo en donde se desarrollan los cultivos como de la propia parcela, aplicaciones de agua que se conocen como láminas de lavado.

Las técnicas que se están utilizando actualmente en algunos Distritos de Riego del país para la aplicación de las láminas de lavado en los procesos de recuperación de suelos fuertemente afectados por sales, no son ni las más convenientes ni las más eficientes, ya que se han venido usando ciertas prácticas convencionales por desconocimiento de otras alternativas con las que se pueden obtener mejores resultados (LLerena, 1997).

Dados los altos costos de recuperación, los largos tiempos que involucran los lavados y los grandes volúmenes de agua que se requieren en los procesos para el lavado de los excesos de sales en suelos fuertemente afectados por ensalitramiento, resalta la necesidad imperante de optimizar las metodologías que se utilizan para realizar la aplicación de agua para lavado de las sales en exceso y lograr un mejor y más eficiente aprovechamiento tanto del agua como de los recursos que se asignen.

Por lo anterior, en éste trabajo se dan algunas recomendaciones sobre el manejo del agua para el lavado de sales en un proceso de recuperación, que tienen la finalidad de orientar a técnicos y usuarios de riego sobre alternativas ya probadas para aplicar con buena eficiencia láminas de lavado a suelos fuertemente afectados por sales (LLerena, 1997) así como reducir los costos y tiempos de recuperación. Además, se proponen otras estrategias no convencionales para el lavado parcial de los excesos de sales en suelos muy fuertemente afectados.

Materiales y Métodos

Los principales conceptos relacionados con el uso y manejo del agua para el lavado de las sales o sodio en un proceso de recuperación de suelos ensalitrados, son los tres siguientes:

- a. **Cómo** aplicar las láminas de lavado.
- b. **Cuanto** aplicar de lámina de lavado (total y parcial o su fraccionamiento)
- c. **Cuando y cada** cuando hacerlo.

Como aplicar las láminas de lavado.

El cómo se refiere al método de riego o a la forma en que se introduce y se hace la aplicación del agua dentro de la parcela para llevar a cabo los lavados de los excesos de sales en el suelo, método que debe cumplir tres principales propósitos para lograr una buena eficiencia de lavado que son:



- a. Que el agua se distribuya lo más uniforme posible sobre la mayor parte de la superficie de la parcela afectada, para que puedan eliminarse de manera más homogénea y eficiente las sales que están en exceso dentro del suelo.
- b. Que permita aplicar láminas altas de lavado para alcanzar rápidamente las condiciones de humedad en el suelo requeridas para que se dé el flujo vertical del agua por gravedad, que solo sucede cuando se rebasa el contenido de humedad a capacidad de campo.
- c. Que propicie un adecuado flujo vertical del agua con sales.

Cuanto aplicar de lámina de lavado (total y parcial o su fraccionamiento)

El cuanto total se refiere al valor total de la lámina de lavado que se tiene que aplicar a un suelo afectado por sales durante todo un proceso de recuperación, valor que se fracciona o subdivide en láminas parciales.

Existen diferentes fórmulas para estimar la lámina total de lavado, pero en base a experiencias obtenidas en varios estudios y procesos de recuperación realizados en el Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, Sonora durante la década de los años 1970's, se recomienda utilizar la fórmula empírica de Volobuyev (LLerena, 1997).

Esta fórmula toma en cuenta los aspectos básicos que debe contemplar cualquier fórmula de este tipo, que son el nivel inicial de salinidad del suelo, la salinidad deseada a alcanzar y el espesor de suelo a lavar, pero además considera la textura del suelo por ser un factor que influye de manera determinante en el valor de la lámina total de lavado, así como la solubilidad del tipo de sales presentes.

Dicha fórmula para un metro de espesor del suelo, es la siguiente (Aceves, 2011).

$$LTL = \alpha \log (CE_i / CE_f) \quad (1)$$

En donde:

- LTL = Lámina total de agua para lavar un metro de profundidad de suelo (cm).
- CE_i = Contenido inicial de sales expresado en dS/m.
- CE_f = Contenido final deseado de sales expresado en dS/m.
- log = Logaritmo decimal
- α = Coeficiente adimensional cuyo valor depende de la textura del suelo y del contenido expresado en % de cloruros solubles presentes en el suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores del coeficiente α de la fórmula de Volobuyev.

TEXTURA	CONTENIDO DE CLORUROS (%)			
	40 – 60	20 – 40	10 – 20	<10
Pesada	1.22	1.32	1.42	1.78
Media	0.92	1.02	1.12	1.48
Ligera	0.62	0.72	0.82	1.18

Fuente: Aceves, 2011



Dicha cantidad total de agua que se requiere aplicar está compuesta a su vez por dos láminas, la primera se denomina Lámina pasiva de lavado o Déficit de humedad que es equivalente a una lámina de riego y la Lámina activa o real de lavado o sobreriego, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$LTL = LPL + LAL \quad (2)$$

En donde:

- LTL = Lámina total de lavado (cm)
- LPL = Lámina pasiva de lavado, Déficit de humedad o “LR” (cm)
- LAL = Lámina activa o real de lavado (cm)

La LPL y la LAL se explican a continuación (LLerena, 2019):

- a. **Lámina pasiva de lavado (LPL, déficit de humedad o “LR”)**. Su objetivo es crear condiciones de contenidos de humedad a capacidad de campo en un cierto espesor de suelo, por lo que ésta agua no participa en el lavado de las sales ya que se queda almacenada o retenida. Se calcula igual que la lámina convencional de riego con la fórmula:

$$LPL = (cc - Ps) Da * Prof/100 \quad (3)$$

En donde:

- LPL = Lámina pasiva de lavado o “LR” requerida para alcanzar el nivel de humedad de capacidad de campo en un cierto espesor de suelo, en cm.
 - cc = Capacidad de campo, en %.
 - Ps = Contenido de humedad del suelo en %, tomando el valor de pmp.
 - Da = Densidad aparente del suelo, en gr/cm³.
 - Prof = Profundidad del suelo en cm.
- b. **Lámina activa o real de lavado (LAL)**. Es la lámina complementaria o adicional de agua que se requiere aplicar al suelo para superar el nivel de contenido de humedad a capacidad de campo, con la finalidad de propiciar el lavado o desplazamiento de las sales disueltas hacia estratos inferiores por efecto de la gravedad, que es la parte de la lámina total que realmente actúa y lleva a cabo el lavado de sales.

Finalmente, la lámina total de lavado que se calcula debe fraccionarse en láminas parciales, tema en el que también existe desconocimiento del cómo hacerlo de la manera más conveniente que a su vez define el cuándo hacerlo, que son dos de los temas principales del presente trabajo.



Cuando y cada cuando hacerlo

Generalmente los intervalos de los lavados que se han manejado en los procesos de recuperación de suelos afectados por sales en los Distritos de Riego, se han definido en base a que la segunda aplicación de las láminas parciales de lavado y las posteriores se realizan cuando se alcanza el contenido de humedad en el suelo que se conoce como “dar punto” o “dar piso”, es decir, cuando la humedad del suelo permite el paso de maquinaria agrícola.

Esta condición de humedad depende tanto de la textura del suelo como del tamaño de la lámina parcial previa de agua aplicada, ya que entre menos arcilloso sea un suelo y menor sea la lámina, más rápido “dará punto” y por lo tanto el intervalo de las láminas de lavado es más corto.

Otras estrategias no convencionales

Se mencionarán otras dos estrategias especiales y no convencionales que en algunos pocos casos pueden también utilizarse para coadyuvar a recuperar parcialmente suelos muy fuertemente afectados, que son el uso de aguas salinas y el lavado superficial por escurrimiento en suelos con textura altamente arcillosa y con pendiente.

Resultados y discusión

Se utilizarán los resultados y algunos de los datos obtenidos en diferentes estudios realizados en el Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, Sonora.

Como aplicar los lavados.

Los métodos de riego más recomendables para aplicar los lavados de suelos con problemas de sales que cubren los propósitos fundamentales para lograr una adecuada eficiencia de aplicación, son los de gravedad por inundación total y dentro de ellos, el que permite distribuir más eficientemente el agua sobre la superficie del suelo y aplicar las mayores láminas de lavado es el de curvas a nivel, que es el que recomienda el autor para los procesos de recuperación suelos afectados por sales (LLerena, 1997), aunque si el suelo está muy bien nivelado pueden utilizarse melgas rectas.

En ambos métodos se recomienda lo siguiente (LLerena, 1997):

- Que el desnivel entre los bordos contiguos sea preferentemente de entre 1 y 3 cm y en el caso de curvas a nivel en una parcela con cierta pendiente un máximo de 5 cm.
- Que la altura de los bordos sea lo mayor posible de 20 a 35 cm para que se tenga un tirante máximo del agua dentro de las melgas de 15 a 25 cm.
- Que el área interior de cada melga o bolsa no rebase 0.75 de ha.



Cuanto total de lámina de lavado.

Se utilizarán los datos obtenidos en un estudio realizado en 1977 en el Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, Sonora, para evaluar diferentes tamaños de fraccionamientos de una lámina total de lavado (Llerena et al, 1977), el cual se desarrolló en una parcela abandonada por sales que tenía una salinidad inicial promedio de 85 dS/m que se determinó reducirla a 5 dS/m.

Por lo tanto, la lámina total de lavado calculada con la fórmula de Volobúyev para una textura arcillosa y un contenido de cloruros de 50%, resultó de 150.1 cm para un metro de espesor de suelo.

Cuantos parciales de lavado o fraccionamiento de la lámina total de lavado

En el estudio mencionado se evaluaron 5 tratamientos o diferentes tamaños de Láminas activas o reales de lavado (LAL), definidas en múltiplos de 3 en 3 cm que fueron 3, 6, 9, 12 y 15, a las cuáles se les adicionó al valor de Lámina pasiva de lavado (LPL).

Tomando en cuenta que los valores correspondientes de los suelos de la parcela de estudio fueron 30 de cc de campo, 15 de pmp y 1.1 gr/cm^3 de D_a , el valor de la Lámina pasiva de lavado (LPL) o Déficit de humedad o LR calculada para una profundidad de 30 cm resultó igual a 5.2 cm.

Por lo tanto, los 5 tratamientos correspondientes a 5 cuantos parciales o fraccionamientos de la lámina total de lavado y por lo tanto diferentes láminas activas o reales de lavado parciales evaluadas (LAL_i), fueron (Llerena et al, 1977):

- Tratamiento A = $LPL + LAL_A = 5.2 + 3 = 8.2 \text{ cm}$
- Tratamiento B = $LPL + LAL_B = 5.2 + 6 = 11.2 \text{ cm}$
- Tratamiento C = $LPL + LAL_C = 5.2 + 9 = 14.2 \text{ cm}$
- Tratamiento D = $LPL + LAL_D = 5.2 + 12 = 17.2 \text{ cm}$
- Tratamiento E = $LPL + LAL_E = 5.2 + 15 = 20.2 \text{ cm}$

Durante todo el proceso de recuperación que se terminó cuando se alcanzó un valor cercano de CE en el suelo de 5 dS/m, se realizaron tanto muestreos compuestos de los suelos antes y después de la aplicación de cada lámina de lavado y para cada tratamiento, como los análisis físicos y químicos correspondientes de cada muestra.

Con los resultados de los análisis realizados (Llerena et al, 1977), se elaboraron tres cuadros con los valores obtenidos de varios factores para alcanzar tres diferentes niveles de salinidad en un metro de espesor de suelo, que fueron 5, 10 y 20 dS/m de CE y son los siguientes:

- a. Valor final promedio de C. E. en dS/m.
- b. LPL, lámina pasiva de lavado en cm.
- c. LAL, lámina activa de lavado en cm.

- d. LTL, lámina total de lavado requerida para lograr el abatimiento en cm.
- e. La eficiencia total de lavado para cada caso en porcentaje.
- f. La eficiencia parcial de lavado para cada caso en porcentaje.
- g. El número de aplicaciones realizadas.
- h. El tiempo requerido para lograrlo en días.

Estos cuadros se presentan a continuación.

Cuadro 2. Resultados de la aplicación de diferentes fraccionamientos de la lámina total de lavado utilizada para disminuir de 85 a 5 dS/m la CE del suelo (reducción de 80).

FACTORES EVALUADOS	TRATAMIENTOS					MEDIA 85 a 5
	A	B	C	D	E	
Valor final promedio de C. E.	5.34	4.59	5.29	3.5	4.03	4.55
LPL = Lámina pasiva de lavado (cm)	67.5	57.7	56.5	51.5	46.3	55.8
LAL = Lámina activa de lavado (cm)	39.0	66.0	99.0	120.0	135.0	91.8
LTL = Lámina total de lavado (cm)	107	124	156	172	181	147.6
Eficiencia total de lavado=80/LTL	70%	61%	48%	44%	41%	51%
Eficiencia parcial de lavado=80/LAL	192%	114%	76%	63%	56%	111%
No. de aplicaciones realizadas	13	11	11	10	9	10.8
Tiempo requerido (días)	183	143	143	129	115	125.8

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 3. Resultados de la aplicación de diferentes fraccionamientos de la lámina total de lavado utilizadas para disminuir de 85 a 10 dS/m la CE del suelo (reducción de 75).

FACTORES EVALUADOS	TRATAMIENTOS					MEDIA 85 a 10	MEDIA 85 a 5
	A	B	C	D	E		
Valor final promedio de C. E.	8.72	10.8	8.95	11.7	10.4	10.32	4.55
LPL = Lámina pasiva de lavado (cm)	54.5	47.6	41.9	42	35.2	46.5	55.8
LAL = Lámina activa de lavado (cm)	30.0	54.0	72.0	96.0	105.0	71.4	91.8
LTL = Lámina total de lavado (cm)	84.5	102	114	138	140	115.7	147.6
Eficiencia total de lavado=75/LTL	83%	69%	61%	51%	50%	66%	51%
Eficiencia parcial de lavado=75/LAL	233%	130%	97%	73%	67%	133%	111%
No. de aplicaciones realizadas	10	9	8	8	7	8.4	10.8
Tiempo requerido (días)	129	115	94	94	64	99.2	125.8

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 4. Resultados de la aplicación de diferentes fraccionamientos de la lámina total de lavado utilizadas para disminuir de 85 a 20 dS/m la CE del suelo (reducción de 65).

FACTORES EVALUADOS	TRATAMIENTOS					MEDIA 85 a 20	MEDIA 85 a 10	MEDIA 85 a 5
	A	B	C	D	E			
Valor final promedio de C. E.	18.8	17.3	20.1	16.4	18.9	18.71	10.32	4.55
LPL = Lámina pasiva de lavado (cm)	37.7	36.7	30.9	30.9	30.9	34.05	46.5	55.8
LAL = Lámina activa de lavado (cm)	21	42	54	72	90	55.8	71.4	91.8
LTL = Lámina total de lavado (cm)	58.7	78.7	84.9	103	121	89.2	115.7	147.6
Eficiencia total de lavado=65/LTL	104%	80%	71%	62%	51%	69%	66%	51%
Eficiencia parcial de lavado=65/LAL	333%	167%	130%	97%	78%	182%	133%	111%
No. de aplicaciones realizadas	7	7	6	6	6	6.4	8.4	10.8
Tiempo requerido (días)	64	64	53	53	53	57.4	99.2	125.8

Fuente: Elaboración propia

Al analizar estos cuadros se detecta lo siguiente (Llerena, 2019):



- a. Fórmula de Volobuyev.** En el Cuadro 2 se observa que la lámina promedio total de lavado que se utilizó para reducir de 85 a 5 dS/m fue de 147.6 cm, que representa un valor muy cercano al de 150.1 cm obtenido con la fórmula de Volobuyev (98.3%), lo que ratifica que es una muy buena fórmula.
- b. Eficiencia total o general de lavado.** La eficiencia se obtuvo calculando la relación que existe entre la lámina total de lavado aplicada y el rango o valor de la CE de sales desplazadas expresados en dS/m; por ejemplo, el rango de 85 a 5 es de 80, el de 85 a 10 es 75 y el de 85 a 20 es 65. El tratamiento A que corresponde a la lámina más pequeña fue el más eficiente de todos en el proceso de lavado, puesto que se utilizó una lámina total menor para llegar al nivel de salinidad deseado que en los casos de los otros tratamientos con láminas parciales más grandes. Por ejemplo, para alcanzar una CE de 5 dS/m con el tratamiento A la eficiencia total fue de 70% y con el E de 44% (Cuadro 2), la eficiencia total para alcanzar 10 dS/m con el tratamiento A fue de 85% y con el E de 53% (Cuadro 3) y la eficiencia total para alcanzar 20 dS/m con el tratamiento A fue de 105% y con el E de 54% (Cuadro 4). Esto se puede explicar tomando en cuenta lo siguiente:
- ⇒ A menor valor de la lámina total de lavado hay una menor carga hidráulica y por lo tanto un flujo vertical más lento del agua a través del suelo, lo que ocasiona que el agua aplicada con las láminas pequeñas tenga un mayor tiempo de contacto con las sales y consecuentemente se solubilice una mayor cantidad de sales por unidad de volumen. Con las láminas más grandes, el agua se desplaza más rápidamente a través del perfil del suelo y hay menor tiempo de contacto y por lo tanto menor solubilización y lavado de sales.
 - ⇒ A que con las láminas menores los intervalos entre lavados se acortan, lo que reduce un poco las pérdidas de agua por evaporación e incrementa la eficiencia de lavado si se toma en cuenta únicamente una aplicación, ya que esto no sucede en todo el proceso debido a que este se alarga.
- c. Eficiencia parcial o activa de lavado.** Se obtuvo calculando la relación que existe entre la lámina activa de lavado y los tres rangos o valores de la CE de sales lavadas expresados en dS/m. Aunque no es una eficiencia real, se decidió analizarla para respaldar lo mencionado en los dos párrafos anteriores. El tratamiento A que corresponde a la lámina más pequeña, fue mucho más eficiente que los demás en todos en el proceso de lavado, puesto que se utilizó una lámina activa menor para llegar al nivel de salinidad deseado que en los casos de los otros tratamientos con láminas parciales más grandes. Esto es para alcanzar una CE de 5 dS/m con el tratamiento A la eficiencia parcial o activa fue de 192% y con el E de 56% (Cuadro 2), la eficiencia parcial o activa para alcanzar 10 dS/m con el tratamiento A fue de 233% y con el E de 67% (Cuadro 3) y la eficiencia parcial o activa para alcanzar 20 dS/m con el tratamiento A fue de 333% y con el E de 78% (Cuadro 4). Este comportamiento ya se explicó en el punto anterior.

d. Comportamiento de la eficiencia total o general de lavado a través de todo el proceso. En el estudio se observó que la eficiencia de lavado no sigue la misma tendencia durante todo el proceso, ya que a medida que la salinidad en el suelo va disminuyendo la eficiencia total o general en todos los tratamientos se va reduciendo exponencialmente, puesto que se va requiriendo una mayor lámina de lavado para lixiviar una misma cantidad de sales. Esto se confirma con varios ejemplos numéricos obtenidos con la fórmula de Volobuyev para diferentes valores de CE_i y CE_f de un suelo de textura arcillosa y con un contenido de cloruros de 50%, los cuáles se presentan en el cuadro siguiente.

Cuadro 5. Láminas totales de lavado obtenidas con la fórmula de Volobuyev que se requieren para abatir niveles de salinidad a diferentes valores de CE_i y CE_f.

CE _i (dS/m)	CE _f (dS/m)	LTL		Eficiencia de lavado
		(cm)	%	
85	5	150	100	53.3%
85	30	55	37	99.7%
30	5	94	63	26.3%
	Suma	150	100	
85	20	76	51	84.8%
20	5	73	49	20.4%
	Suma	150	100	
85	10	113	75	66.1%
10	5	36	25	13.6%
	Suma	150	100	

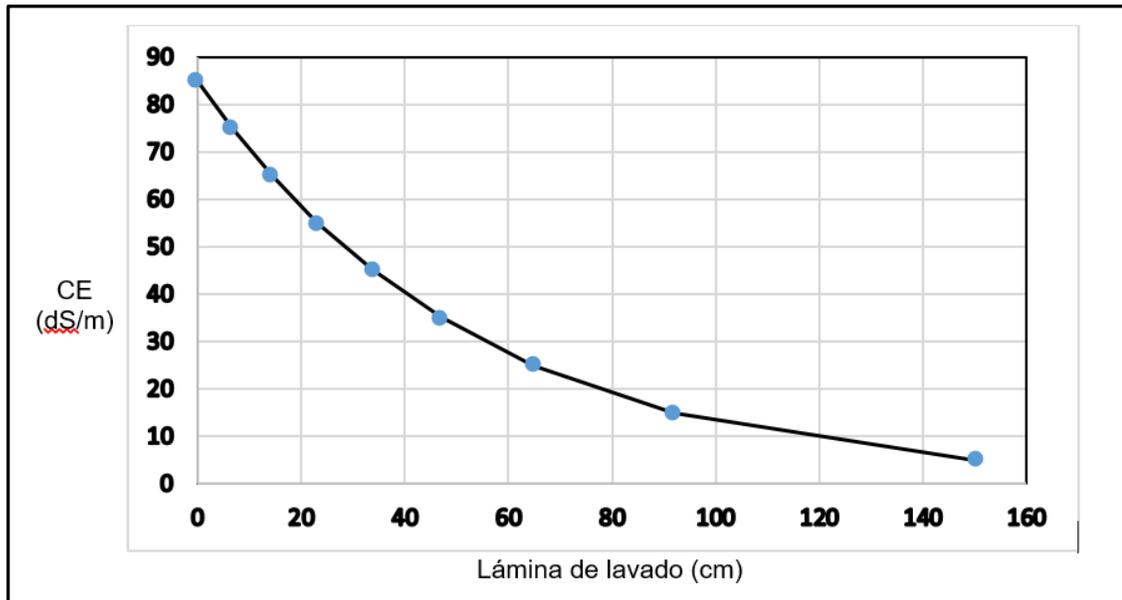
Fuente: Elaboración propia

En este cuadro se resalta lo siguiente:

- Para abatir un nivel de salinidad de 85 a 5 dS/m que es un diferencial de 55 dS/m, se requiere de una lámina total de lavado de 150 cm.
- Para abatir un nivel de salinidad de 85 a 30 dS/m que es un diferencial de 55 dS/m, se requiere del 37% de la lámina total de lavado y para abatir de 30 a 5 dS/m que es un diferencial de 25 dS/m se requiere del 63% de la lámina total de lavado, presentándose una eficiencia para el primer caso del 99.7% y en el segundo de 26.3%.
- Para abatir un nivel de salinidad de 85 a 20 dS/m que es un diferencial de 65 dS/m, se requiere del 51% de la lámina total de lavado y para abatir de 20 a 5 dS/m que es un diferencial de 15 dS/m se requiere del 49% de la lámina total de lavado, presentándose una eficiencia para el primer caso del 84.8% y en el segundo de 20.4%.
- Para abatir un nivel de salinidad de 85 a 10 dS/m que es un diferencial de 75 dS/m, se requiere del 75% de la lámina total de lavado y para abatir de 10 a 5 dS/m que es un diferencial de 5 dS/m se requiere del 25% de la lámina total de lavado, presentándose una eficiencia para el primer caso del 66.1% y en el segundo de 13.6%.

Así, es casi cuatro veces más eficiente disminuir de 85 a 30 dS/m que de 30 a 5 dS/m, un poco más de cuatro veces de 85 a 20 que de 20 a 5 dS/m y casi cinco veces de 85 a 10 dS/m que de 10 a 5 dS/m.

Por lo anterior, es claro que la eficiencia de lavado se reduce a medida que avanza un proceso de recuperación, lo que se confirma en la gráfica siguiente elaborada con cálculos realizados con la fórmula de Volobuyev para diferentes abatimientos de CE en un suelo de textura arcillosa y un contenido de cloruros de 50%.



Gráfica 1. Láminas de lavado calculadas con la fórmula de Volobuyev requeridas para abatir niveles de salinidad de un suelo afectado por sales.

- e. **Comportamiento de la eficiencia promedio de lavado obtenida con la primera y segunda lámina de lavado.** Se elaboró el siguiente cuadro de las eficiencias de lavado promedio obtenidas con las dos primeras aplicaciones de láminas de lavado.

Cuadro 6. Eficiencias de lavado promedio obtenidas con las dos primeras aplicaciones de láminas de lavado utilizadas en cada tratamiento.

NO. DE APLICACIÓN O LÁMINA	TRATAMIENTO					MEDIA	DIFERENCIA ENTRE TRAT. A Y TRATAM. E
	A	B	C	D	E		
Primera	205%	200%	190%	181%	180%	191%	25%
Segunda	125%	90%	79%	63%	50%	82%	75%

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 6 se observa que para todos los tratamientos la primera lámina de lavado aplicada es 2.3 veces más eficiente en promedio que la segunda. Además, en la primera aplicación la diferencia entre las eficiencias de los tratamiento A y del E es de 25% que se dispara a 75% en la segunda aplicación y es cuando las láminas pequeñas empieza a tener mayor eficiencia que las grandes.



Esta poca diferencia en las eficiencias de la primera aplicación se puede deber a dos condiciones:

- La primera se debe a que al inicio del proceso es cuando existen mayor cantidad de sales sea cual sea el valor de la CE, lo que facilita y propicia una mayor solubilización de sales y su lavado.
 - La segunda es que el suelo está recién preparado físicamente por lo que es cuando presenta mejores condiciones de permeabilidad, lo que facilita el flujo del agua y el lavado de sales, ya que posteriormente en los lavados siguientes el suelo se reacomoda y se va compactando, modificándose negativamente las condiciones físicas de permeabilidad creadas inicialmente para el flujo interno de agua en el suelo.
- f. **Número de aplicaciones.** Entre menor sea la lámina de lavado se requiere un mayor número de aplicaciones de agua, lo que ocasiona mayores costos ocasionados por el pago a regadores.
- g. **Tiempo requerido.** El tiempo que se requiere para llevar a cabo todo un proceso de recuperación de suelos fuertemente afectados, depende principalmente del tamaño de cada lámina parcial de lavado, del grado de salinidad, del tipo textural y de la metodología utilizada para los lavados. En el trabajo realizado como es lógico, entre menor fue la lámina de lavado se requirió de un mayor número de aplicaciones y por lo tanto de un mayor tiempo para alcanzar cualquier nivel de salinidad. En el estudio fluctuó entre 183 días para el tratamiento A y 83 para el E (Cuadro 2), aunque en la práctica existen casos que pueden llegar a más de tres años. Además, a medida que avanza el proceso y hay menos sales se incrementa exponencialmente el tiempo requerido para desplazar una misma cantidad de sales. Por ejemplo, para bajar de 85 dS/m a 20 dS/m se necesita menos de la mitad de tiempo del requerido que para llegar hasta 5 (Cuadros 2 y 4).
- h. **Eficiencias durante todo el proceso de lavado.** Se detectaron dos tipos de eficiencia de lavado a través de todo el proceso, la primera es la que existe al inicio del proceso de recuperación relacionada con la primera lámina de lavado y la segunda es definida por el tamaño de la lámina parcial de lavado, de acuerdo a lo siguiente.
- **Inicio del proceso de lavado.** Siempre es mayor la eficiencia de la primera lámina de lavado para todos los casos comparada con la eficiencia de las posteriores sea cual sea el nivel inicial de salinidad (Cuadro 6). Por lo tanto, se recomienda en general que la primera aplicación de agua para lavado sea la mayor cantidad posible (de 25 a 40 cm), además de que es más conveniente económicamente, puesto que se hacen menos aplicaciones en general y se reduce el tiempo total del proceso de recuperación.
 - **Tamaño de la lámina parcial de lavado.** Siempre es mayor la eficiencia de lavado para todos los casos a menor tamaño sea la lámina parcial de lavado, aunque implica un mayor costo y más tiempo para el proceso. Por lo tanto, se



recomienda en general que la segunda y las siguientes aplicaciones deben hacerse con la mínima cantidad que sea posible efectuar en condiciones prácticas, dependiendo de los tiempos de entrega que se definan en el Distrito de Riego, especialmente cuando el costo del agua sea caro o existan limitantes para su disponibilidad. En caso de que el agua sea barata o que haya mucha disponibilidad, podrán hacerse con la máxima cantidad posible.

- i. **Definición del valor de salinidad a alcanzar.** Al analizar el comportamiento de la eficiencia de lavado durante todo un proceso de recuperación y asociar esta información con el tiempo que se requiere para alcanzar valores bajos de salinidad, surgió la inquietud de definir la conveniencia técnica y económica de qué nivel de salinidad se debe alcanzar. Se concluyó que es preferible fijar metas menos estrictas y combinarlas con otras alternativas más eficientes, rápidas y económicas como es la introducción de un cultivo para complementar, acelerar y eficientar el proceso de recuperación (Llerena et al, 1974), por lo que se recomienda que cuando durante el proceso de recuperación se alcancen valores de CE entre 20 y 30 dS/m, se suspendan los lavados y se prepare nuevamente el suelo para introducir el cultivo.

Cuando (intervalos) y como aplicar las láminas de lavados parciales.

Considerando los resultados obtenidos en el estudio mencionado de que a menor tamaño de lámina de lavado mayor eficiencia, como recomendación los intervalos de aplicación de la segunda lámina parcial de lavado y las posteriores deberán ser lo más corto posible. Dichos intervalos en los Distritos de Riego están sujetos a la programación que se tenga para la entrega de agua de riego al usuario en su parcela, que depende de su ubicación, de su distancia a canales de distribución y a dicha programación, por lo que existe un tiempo mínimo para poder recibirla nuevamente.

Estrategias especiales

En los Distritos de Riego del país existe una baja actividad en los procesos de recuperación de suelos que presentan problemas de salinidad debido a limitantes existentes, entre las cuales destacan costosos y largos procesos de recuperación, limitados apoyos oficiales para realizarlos, falta de créditos y una baja disponibilidad de agua para el lavado de suelos ensalitrados, entre otros.

Por ello, a continuación se comparten algunas experiencias prácticas desarrolladas en el Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, Sonora, para subsanar parcialmente algunas de estas limitantes.

Estrategia especial hidrotécnica de uso de aguas salinas para lavado

Una alternativa que se ha utilizado en varios países para la recuperación parcial de suelos afectados por sales y subsanar la limitante de escasez de agua, es utilizar aguas salinas.



Esta alternativa fue probada en un trabajo que realizaron en el Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, Sonora (Llerena et al, 1977), aprovechando que algunos drenes de la red general de drenaje conducen ciertos volúmenes de agua con medianos y altos contenidos de sales, las cuáles se consideran de deshecho y drenan al mar, pero que sin embargo cuando se utilizan bajo ciertas condiciones, ofrecen algunas ventajas para iniciar el lavado de suelos afectados por sales.

Sin embargo, esta alternativa poco convencional solo se podrá utilizar en los casos que cumplan las siguientes condicionantes:

- a. Que se tenga una cierta disponibilidad de aguas salinas (de desecho u otras).
- b. Que se pueda obtener el permiso correspondiente para disponer de ellas.
- c. Que la parcela a recuperar y lavar esté cercana a la fuente de abastecimiento de las aguas salinas y sea factible conducir el agua a dicha parcela.
- d. Que el costo de su aprovechamiento (bombeo y conducción), no sea igual o mayor a la de utilizar agua de riego de buena calidad.
- e. Que la concentración del agua salina del dren sea cuando menos de 5 a 10 veces mayor que la concentración de sales de los suelos que se pretenden lavar.
- f. Suspende el proceso cuando la CE del suelo tenga un valor de 3 a 4 veces menor a la CE del agua salina y continuarlo con el uso de aguas de buena calidad.

Las ventajas que tiene esta alternativa son:

- a. Pueden aprovecharse algunos volúmenes de agua que se consideran de deshecho, lo que por un lado permite aumentar la superficie factible de recuperarse y por otro ahorrar agua de buena calidad.
- b. Se propicia una mayor movilidad al agua por efecto de la gravedad acelerando los procesos de recuperación, ya que las sales presentes en el agua salina saturan el complejo de intercambio del suelo, propiciando su floculación y facilitando la penetración del agua y la velocidad de infiltración.

Estrategia especial hidrotécnica de lavado superficial por escurrimiento en suelos con textura muy arcillosa fuertemente afectados

Esta alternativa también poco usual que fue probada en el Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, Sonora, se puede aplicar como un paso inicial para coadyuvar al proceso de recuperación, pero solamente en suelos muy fuertemente afectados en donde se presenten grandes costras o afloraciones salinas, muy arcillosos y con pendiente.

Consiste en realizar un único lavado superficial por escurrimiento en bordos a nivel o melgas rectas que tengan pendiente sin llevar a cabo ninguna preparación física previa del suelo, aplicando gastos muy altos de agua a las melgas para que el agua avance rápidamente para inundarlas en el menor tiempo posible. La finalidad es solubilizar la mayor cantidad posible de sales precipitadas que están sobre la superficie y reducir la infiltración, para inmediatamente desalojar o drenar superficialmente el agua almacenada con sales en solución hacia canales construidos para ello y después hacia los drenes u



algún otro reservorio el agua. Después de éste único lavado superficial, se deberá proseguir con las prácticas físicas requeridas y las estrategias hidrotécnicas ya mencionadas.

Seguimiento

Independientemente que existen metodologías definidas para recuperar suelos con problemas de salinidad o sodicidad, en la práctica es muy importante llevar a cabo un seguimiento continuo y detallado del avance de cada proceso de recuperación, ya que la gran cantidad de factores que participan y especialmente el suelo, puede propiciar resultados diferentes a los esperados. Además, la respuesta y avances que se tengan en cada proceso se van a ir definiendo principalmente por las plantas que vayan apareciendo así como por la apariencia del suelo, por ser los más útiles y principales indicadores de los resultados, lo que permitirá ir haciendo adecuaciones puntuales a través de todo el proceso de recuperación.

Conclusiones y recomendaciones

En base a lo comentado en los párrafos anteriores y a diferentes experiencias obtenidas en procesos de recuperación realizados de suelos fuertemente afectados por sales en el Distrito de Riego 041 del Río Yaqui, Sonora, a continuación se dan algunas recomendaciones prácticas a seguir para realizar la aplicación de las prácticas hidrotécnicas en los procesos de recuperación.

- a. **Método de riego.** Por inundación total en curvas a nivel.
- b. **Cuanto total a aplicar.** Calcularlo con la fórmula de Volobuyev.
- c. **Cuanto parcial en la primera lámina de lavado.** En general se recomienda que la primera aplicación de agua para lavado sea la mayor cantidad posible (de 25 a 40 cm).
- d. **Cuanto parcial en las siguientes láminas de lavado.** En general deben hacerse con la mínima cantidad que sea posible efectuar en condiciones prácticas especialmente cuando el costo del agua sea caro o existan limitantes de disponibilidad. Para tener un criterio de que decisión tomar sobre la magnitud del tamaño de las láminas parciales de lavado a aplicar, se recomienda realizar un análisis beneficio costo donde se involucren la disponibilidad y precio del agua en la región, las condiciones particulares de la parcela y las necesidades de tiempo del usuario.
- e. **Cuanto gasto aplicar.** Se recomienda que en todas las aplicaciones y especialmente en la primera, se utilicen gastos diferenciales, uno mayor al inicio para que el agua avance rápido por la melga y pueda cubrir toda su área en el menor tiempo posible y un segundo gasto mucho menor que depende del tipo de suelo y la lámina a aplicar, con la finalidad de que el agua se infiltre más lentamente y esté más tiempo diluyendo las sales.
- f. **Cuándo aplicar las láminas parciales de lavado.** Los intervalos entre las aplicaciones de las láminas de lavado deberán hacerse lo más corto posible que las condiciones prácticas lo permitan, buscando reducir tanto las pérdidas por de



agua por evaporación directa del suelo como la cantidad de agua requerida para reponer la humedad faltante para llegar a cc y drenar el agua con sales hacia estratos inferiores.

- g. Cuándo interrumpir el proceso de lavado.** Se recomienda que cuando durante el proceso de recuperación se alcancen valores de CE entre 20 y 30 dS/m, se deberán suspender los lavados y preparar nuevamente el suelo para introducir un cultivo para complementar y eficientar el proceso de recuperación.
- h. Uso de aguas salinas para realizar procesos parciales de recuperación.** Se recomienda utilizar aguas salinas cuando se tenga disponibilidad de ellas, para realizar procesos parciales de recuperación de suelos fuertemente afectados por sales.
- i. Lavado superficial por escurrimiento.** Se recomienda que en aquellos suelos fuertemente afectados por sales, altamente arcillosos y con pendiente, se realice un lavado superficial por escurrimiento y después seguir con el procedimiento convencional.
- j. Seguimiento.** Se recomienda llevar a cabo un seguimiento continuo y detallado del avance de cada proceso de recuperación, con la finalidad de ir haciendo adecuaciones puntuales a través de todo el proceso de recuperación.

Referencias Bibliográficas

- Aceves Navarro Everardo (2011). El ensalitramiento de los suelos bajo riego. Biblioteca Básica de Agricultura. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México
- LLerena V., F. A. y De la Peña I. (1974). "El trigo como complemento en la recuperación de suelos afectados por sales". VII Congreso Nacional de la ciencia del suelo, SMCS, Gto., Gto., México (También publicado en el Memorándum Técnico no. 364 de la Dirección General de Distritos de Riego, (SARH), 1977.).
- LLerena V., F. A., Tánori R., V. y De la Peña I. (1976). "Uso del agua proveniente de los drenes en la recuperación de suelos afectados por sales, en el Distrito de Riego no. 41, Río Yaqui, Son.". IX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, SMCS, Durango, Dgo., México.
- LLerena V., F. A, Tánori R., V. y De la Peña E., I. (1977). "Evaluación de diferentes láminas de lavado en la recuperación de suelos con sales". X Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, SMCS, México, D.F. (También publicado en el Memorándum Técnico no. 365 de la Dirección General de Distritos de Riego, (SARH), 1977.)
- LLerena V., F. A. (1997). "Algunas recomendaciones para realizar estudios y/o procesos de recuperación de suelos bajo riego afectados por sales." Memorias del VII Congreso Nacional de Irrigación, ANEI, Hermosillo, Son., México.
- LLerena V., F. A. (2019). "Apuntes de la clase de salinidad agrícola". Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma Chapingo, México.