

LA IMPORTANCIA DE LA TEXTURA DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS BAJO RIEGO EN EL PROCESO DEL ENSALITRAMIENTO INDIRECTO Y EN LA REHABILITACIÓN DE SUELOS SALINIZADOS O SODIFICADOS

Félix Alberto LLerena Villalpando¹

¹Departamento de Irrigación. Universidad Autónoma de Chapingo.
Km. 32.5 Carr. México-Texcoco, C.P. 56230, Chapingo, Texcoco, México.

f.allerenav@gmail.com - 5513488574

Resumen

La producción agroalimentaria es uno de los principales retos que tiene la humanidad, ya que se prevé que su demanda mundial se incrementará de manera importante para el año 2050. La agricultura de riego representa el 20% del total de la superficie cultivada en todo el mundo y aporta el 40% de la producción mundial de alimentos. Entre los principales problemas que se presentan en los Distritos de Riego del país, destacan los de salinidad y drenaje principalmente en los grandes Distritos por gravedad del noroeste y noreste del país. El papel del suelo agrícola en estas áreas es fundamental para que la agricultura pueda tener éxito, ya que es el medio en donde la gran mayoría de los cultivos se desarrollan y obtienen el agua, el aire y los nutrientes que requieren. La propiedad física más importante de un suelo agrícola es su textura, y especialmente el tipo y la cantidad de arcilla que contiene, ya que interviene e influye de manera significativa y definitiva en casi todas las propiedades físicas y químicas del suelo y en las relaciones agua-suelo. Además, también participa en el tipo de proceso de ensalitramiento indirecto, secundario o por abajo, que es el que más frecuentemente se presenta en las áreas bajo riego a nivel mundial, debido a que a mayor contenido de arcillas la capilaridad es más intensa. También es determinante en los procesos de sodificación de los suelos bajo riego, en el grado de dificultad de los procesos para su combate o recuperación, define el tipo e intensidad de las prácticas físicas al interior de los suelos, así como las cantidades de la lámina total y de la sub-lámina pasiva de lavado, la eficiencia del lavado, los requerimientos de mejoradores químicos cuando hay problemas reales de sodificación del suelo, los tiempos totales del proceso de recuperación y las necesidades de drenaje parcelario.

Palabras claves: Distritos de Riego por gravedad, textura, salinización indirecta, sodificación, lámina y sub-lámina de lavado, drenaje parcelario, recuperación.

Introducción

La producción agroalimentaria es uno de los principales retos que tiene la humanidad, ya que se prevé que su demanda mundial se incrementará de manera importante para el año 2050. Este aumento, aunado a una creciente utilización de los recursos naturales, ejercerá una competencia y presión sin precedentes en muchos sistemas de producción agroalimentaria de todo el planeta; sistemas que se consideran en “peligro”, por lo que se requiere que se les dé una atención especial, así como aplicar, en su caso, medidas preventivas y correctivas específicas para poder afrontar la crítica situación que se prevé para el futuro (FAO, 2009).

La agricultura de riego representa el 20% del total de la superficie cultivada en todo el mundo y aporta el 40% de la producción mundial de alimentos (²FAO, 2022), en donde los principales problemas que se presentan en las áreas bajo riego, destacan los de drenaje o niveles freáticos someros, los de salinización o excesos de sales y en menor grado los de sodificación o defloculación de los suelos por excesos de sodio intercambiable (LLerena, 2020).

En México, de 1999 a la fecha, no se ha dado la atención que requieren dichos problemas que se presentan principalmente en los grandes Distritos de Riego del noroeste y noreste del país, ya que, por diferentes razones económicas y políticas, no se han llevado a cabo programas intensivos de recuperación y rehabilitación de suelos. Por lo anterior, se estima que en la actualidad los Distritos de Riego presentan problemas de drenaje y ensalitramiento en diferentes grados en una superficie que fluctúa entre el 10 y el 20%, con todas las consecuencias que sobre la productividad de estas áreas trae consigo (LLerena, 2020).

En este trabajo se destaca la importancia que tiene la textura de los suelos agrícolas bajo riego por su gran influencia en varias propiedades físicas y químicas de los suelos y en las relaciones agua-suelo, así como en el proceso indirecto de ensalitramiento y en los procesos de recuperación o combate de suelos salinizados de los grandes Distritos de Riego por Gravedad del país, especialmente de los ubicados colindantes a las costas.

Materiales y Métodos

El suelo agrícola

El suelo juega un papel fundamental para que la agricultura pueda tener éxito, ya que es el medio ecológico en donde se desarrollan la gran mayoría de los cultivos, pues además de dar soporte físico a las raíces del cultivo, almacena agua y nutrientes que requieren y es el entorno gaseoso adecuado para los sistemas radiculares, cultivos que nos proveerán alimento a humanos y animales.

Sus componentes son tres, las partículas sólidas minerales, la solución del suelo y la atmósfera del suelo, estos últimos en los espacios vacíos del suelo. En el caso de los suelos bajo riego, el componente orgánico no se toma en cuenta debido a que sus contenidos son muy bajos en general.

Componentes físicos sólidos minerales o composición mineralógica del suelo

Los componentes sólidos del suelo provienen de la descomposición física de diferentes minerales, los cuáles se clasifican y denominan en tres tipos con base a su tamaño, que son las arcillas (R), los limos (L) y las arenas (A). El contenido de cada una de estas tres partículas sólidas en el suelo se expresa en porcentaje, y los valores de los tres deben sumar 100%, que en su conjunto determinan la textura y específicamente los tipos o grupos texturales de suelos.

Las arcillas que son los componentes físicos sólidos más importantes del suelo, están constituidas por tetraedros de sílice y octaedros de aluminio en diferentes proporciones, existiendo principalmente dos tipos de arcillas, las que tienen una proporción o relación 1:1 que tienen una capa de silicatos y otra capa de aluminatos y las 2:1 que están compuestas por dos de silicatos y una de aluminatos. Con base en estos dos tipos de estructuras, se han formado a su vez varios grupos de arcillas, siendo los principales los de la caolinita, illita, montmorillonita y vermiculita.

Las capas de silicatos (tetraedros de SiO_4^-), son las que les otorgan a las arcillas las cargas negativas libres que forman parte sustancial del complejo de intercambio catiónico de los suelos (CIC).

La textura del suelo

La propiedad física más importante de un suelo agrícola es su textura, y el número de combinaciones que se pueden dar con los tres componentes sólidos del suelo mencionados y que sumen 100%. son 5,149, por lo que, para facilitar su uso e interpretación, el USDA los agrupó únicamente en 12 distintas clases de acuerdo con el sistema de clasificación llamado Triángulo de Texturas (USDA, 2017).

Desafortunadamente, la gran mayoría de las personas y de los técnicos no le dan la importancia que tiene la textura de los suelos, ya que ni siquiera utilizan el triángulo de texturas y en general se limitan a clasificar los suelos como arcillosos, francos y arenosos o pesados, medios y ligeros respectivamente (LLerena, 2020)

Sin embargo, para un estudio detallado de la problemática del ensalitramiento de suelos y especialmente de la sodificación, ni siquiera la información que proporciona el triángulo de texturas es suficiente, ya que se requiere de un conocimiento más preciso y detallado sobre los valores de los porcentajes de cada uno de los tres componentes, especialmente el tipo y la cantidad de arcilla que contiene, debido a que interviene e influye de manera significativa y definitiva en casi todas las demás propiedades físicas y químicas del suelo y en las relaciones agua-suelo, de acuerdo con lo siguiente (LLerena, 2020):

Principales propiedades físicas del suelo definidas por la textura (LLerena, 2020).

- a. **La porosidad.** Entre mayor sea el contenido de arcillas en un suelo, son mayores los espacios vacíos y por lo tanto, el valor del porcentaje de porosidad en relación al volumen total del suelo. En los suelos arcillosos su valor es de 50 a 65%, en los francos de 45 a 55% y en los arenosos es de 30 a 45%.
- b. **El tipo de poros presentes.** A mayor contenido de arcillas en un suelo es menor el tamaño de los poros existentes, debido a que predominan los microporos (que es en donde se retiene el agua), con relación a los macroporos (que es en donde fluye el agua y el aire).
- c. **El tipo de estructura.** La estructura del suelo se define por la forma y el modo de cómo se agrupan o disponen las partículas individuales de arena, limo y arcilla que componen un suelo, formando agregados de mayor tamaño, en donde a mayor contenido de arcillas mayor facilidad de agregación.
- d. **La densidad aparente (Da).** Depende del peso de todas las partículas sólidas que están contenidas en un volumen total de suelo, por lo que entre mayor sea el contenido de arcillas, mayor porosidad y menor peso y por lo tanto, menor Da. El valor de la Da de los suelos bajo riego, puede variar entre 1.0 g/cm³ en suelos muy arcillosos y bien estructurados, hasta alrededor de 1.5 g/cm³ en suelos migajón arcillo arenosos.
- e. **La superficie específica.** Es el área superficial externa total de las partículas sólidas contenidas en una cantidad unitaria de masa o de volumen de suelo, y a menor tamaño de las partículas mayor superficie específica en conjunto. Se relaciona directamente con la propiedad de retención de humedad del suelo, debido a que la superficie específica funciona como área de contacto en donde se manifiesta la propiedad de adhesión de las moléculas de agua. A mayor contenido de arcillas, mayor área específica y mayor retención de humedad. Para ejemplificarlo, se calculará el área específica de dos volúmenes iguales de suelo de 1,000 cm³, incluyendo los poros, que se presentan en el Cuadro 1. Uno que contiene únicamente partículas de arcillas y otro sólo de limos, pero estableciendo dos supuestos totalmente irreales para simplificar los cálculos, que son que todas las partículas son cúbicas y que todas las partículas son iguales.

Cuadro 1. Cálculo de la superficie específica de dos tipos de suelos.

TIPO	VTS (cm ³)	% P	VS (cm ³)	Lado de 1 partíc. (mm)	Vol. de 1 partíc. (mm ³)	No. de partíc.	AE de 1 partíc. (mm ²)	AE TOTAL (m ²)
Arcillas	1,000	60	400	0.001	1 x 10 ⁻⁹	4 x 10 ¹⁴	6 x 10 ⁻⁶	2,400
Limos	1,000	40	600	0.01	1 x 10 ⁻⁶	6 x 10 ¹¹	6 x 10 ⁻⁴	360

Fuente: LLerena, 2020.

Principales propiedades químicas del suelo definidas por la textura (LLerena, 2020).

- a. **El porcentaje total de sales que contiene un suelo.** Para determinar la concentración de sales en solución de determina el valor de Conductividad Eléctrica (CE) que se obtiene de un extracto de saturación de un suelo. Sin embargo, es un dato incompleto e insuficiente cuando se utiliza como base en un proceso de recuperación de suelos, debido a que, para un mismo valor de CE, suelos con diferentes texturas contienen distintas cantidades totales de sales. Es decir, la cantidad de solución extraída de un suelo a saturación varía fuertemente para cada tipo de textura de suelo, ya que depende de su porosidad. Por tanto, para un mismo valor de CE en iguales volúmenes de suelo, pero con diferentes texturas, un suelo arcilloso tiene mayor porosidad y un mayor volumen de agua a saturación, por lo que consecuentemente tiene un mayor contenido total y real de sales o peso y lo contrario en el caso de suelos arenosos.

Cuadro 2. Ejemplo de cálculo del porcentaje o concentración total de sales en un suelo.

Tipo de suelo	CE (dS/m)	Sales disueltas (mgr/lit)	% humedad a saturación o gr agua/100 gr suelo	Cantidad total de sales (mgr de sales en 100 gr suelo)	Cantidad total de sales (gr de sales en 100 gr suelo)	% sales
Arcilloso	10	6,400	70	448	0.448	0.448%
Franco	10	6,400	50	320	0.320	0.320%
Arenoso	10	6,400	30	192	0.192	0.192%

Fuente: LLerena, 2020

- b. **La capacidad de intercambio de cationes.** La gran mayoría de las arcillas existentes en un suelo presentan cargas negativas libres originadas por diferentes causas, las cuáles, de manera natural, se equilibran y contrarrestan con cationes provenientes de la solución del suelo, que pasan de ser solubles a intercambiables adsorbidos y viceversa, no pudiendo un catión ocupar las dos posiciones al mismo tiempo. Las arcillas presentes, sus cargas negativas libres y los cationes intercambiables, son los que conforman el complejo de intercambio de un suelo. A mayor contenido de arcillas, mayor CIC.

Cuadro 3. Valores de CIC de diferentes tipos de arcillas y texturas de suelo

Tipo de arcilla	Estructura cristalina	CIC (meq/100 gr)	Textura del suelo	CIC (meq/100 gr)
Vermiculita	2:1	100 – 160	Arcilloso	> 30
Montmorillonita	2:1	70 - 140	Franco arcilloso	15 - 30
Ilita	2:1	10 – 50	Franco	5 - 15
Clorita	2:2	10 – 40	Franco Arenoso	5 - 10
Caolinita	1:1	3 – 15	Arena	1 - 5

Fuente: Adaptado por LLerena, 2020.

Relaciones agua-suelo definidas por la textura (LLerena, 2020).

La porosidad y la superficie específica de un suelo que dependen a su vez de su textura, determinan lo siguiente.

- a. **La capacidad de retención de humedad.** Es la cantidad de agua que puede almacenar o retener en los microporos de un suelo en contra de la fuerza de gravedad, lo que sucede debido a la atracción que existe entre las moléculas del agua y el suelo conocidas como fuerzas de tensión de humedad. En este proceso de retención de humedad de los suelos participan dos propiedades del agua, que son la adhesión y la cohesión y dos del suelo definidas por su textura, que son la superficie específica total de las partículas y la cantidad de microporos presentes. A mayor contenido de arcillas, mayor retención de humedad.
- b. **Las constantes de humedad.** Las tres constantes expresadas en valores de contenido de humedad del suelo, son saturación (S), capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). Se establecieron para limitar los tipos de agua existentes en el suelo desde el punto de vista de su disponibilidad para los cultivos y de acuerdo con las fuerzas de retención que están actuando. Varían de manera importante para cada tipo de textura del suelo de acuerdo a su capacidad de retención de humedad, como se mencionó en el punto anterior, por lo que a mayor contenido de arcilla mayores valores de las constantes de humedad.

Cuadro 4. Porcentajes estimados de las constantes de humedad para diferentes texturas de suelo.

TEXTURA	Porcentaje de humedad (Ps)		
	Saturación (S)	Capacidad de campo (CC)	Punto de marchitamiento permanente (PMP)
Arenosa	10 – 30	5 – 15	3 – 8
Franco arenosa	20 – 40	10 – 20	5 – 10
Franco arenosa-limosa	28 – 44	14 – 22	7 – 11
Franco	32 – 60	16 – 30	8 – 15
Franco arcillosa	40 – 72	20 – 36	10 – 18
Arcillosa	60 – 140	30 – 70	15 – 35

Fuente: Adaptado por LLerena, 2020.

- c. **Las clases de agua del suelo con base en su disponibilidad para las plantas.** En 1912 se establecieron tres clases o categorías de agua en el suelo limitadas por las constantes de humedad, las cuales fueron definidas con base a su posibilidad de ser aprovechadas por los cultivos y que son: (Briggs y Shantz, 1912).
 - **Agua higroscópica retenida no aprovechable.** Es la parte del agua almacenada en los microporos del suelo que no puede ser aprovechada por



las plantas, debido a que las fuerzas de tensión con las que está retenida son mayores a las que pueden desarrollar las plantas para extraerla. Esta agua se encuentra muy fuertemente retenida muy por abajo del límite de humedad de pmp, con tensiones de 15 hasta 10,000 atmósferas como referencia.

- **Agua capilar retenida disponible o aprovechable.** Es aquella parte del agua que se retiene en los microporos capilares del suelo en contra de la gravedad y que puede ser aprovechada por las plantas. Esta agua se encuentra entre los límites de humedad de CC y PMP, con tensiones de 0.3 hasta 15 atmósferas como referencia.
- **Agua gravitacional o no aprovechable.** Es la parte del agua que se aplica al suelo y se drena del primer estrato de suelo hacia los inferiores por acción de la fuerza de gravedad, lo que sucede principalmente en los macroporos del suelo. Dicha agua no es aprovechable para las plantas, y es la que se encuentra entre los límites de humedad a saturación y capacidad de campo, con valores de tensiones de referencia de 0 hasta 0.3 de atmósferas.

Así, a mayor contenido de arcillas mayor retención de humedad y por lo tanto, mayor cantidad de cada una de las clases de agua del suelo.

- d. Los valores de las láminas de riego y de lavado.** Primeramente, se comentará sobre la diferencia que existe entre una lámina de riego y una parcial de lavado basada en el objetivo que tiene cada una de ellas. La finalidad de una lámina de riego, es que se almacene agua en un cierto espesor de suelo para que los cultivos la vayan extrayendo según sean sus requerimientos, por lo que su cálculo se hace basado en llevar el nivel de humedad del espesor de suelo considerado solamente a capacidad de campo (CC). En cambio, la finalidad de una lámina de lavado es propiciar en el suelo el movimiento descendente del agua con sales en solución por efecto de la gravedad, para poder lavar y eliminar los excesos de solutos o sodio presentes en un cierto espesor de suelo, lo que solamente puede suceder cuando la lámina que se aplique permita que el nivel de humedad de dicho espesor rebase el nivel de humedad de CC y se encuentre entre ésta y saturación. Por lo tanto, una lámina parcial de lavado siempre será mayor que una de riego y a mayor contenido de arcillas, mayor valor de las láminas de riego o lavado.
- e. Los valores de los componentes de una lámina de lavado.** Con base en las explicaciones anteriores, se puede deducir que una lámina de lavado está compuesta por dos partes: una primera, que se denomina sub-lámina inactiva o pasiva de lavado o “LR” y una segunda, que es la sub-lámina activa de lavado o Déficit de humedad o “sobreriego”, las cuáles se explican a continuación (LLerena, 2020):
 - **Sub-lámina inactiva o pasiva de lavado o “LR”.** Es una sub-lámina equivalente a una lámina de riego (“LR”), cuyo objetivo es aplicar una cierta cantidad de agua para llevar al nivel de humedad de CC en un cierto espesor de suelo, agua que se queda almacenada o retenida en el suelo, por lo no participa en el lavado de las sales y se vuelve inactiva o pasiva.



- **Sub-lámina activa o real de lavado.** Es una sub-lámina complementaria de agua o adicional a la sub-lámina pasiva de lavado, que se tiene que aplicar a un suelo para superar o rebasar el nivel de humedad a CC, con la finalidad de propiciar el lavado de las sales en solución hacia estratos inferiores por efecto de la gravedad, por lo que es la parte activa de la lámina de lavado que realmente actúa y lava las sales.

Así y tomando en cuenta que una lámina total de lavado se fracciona y se divide en varias aplicaciones, cada lámina parcial de lavado se compone por las dos partes mencionadas (LLerena, 2020):

$$LPL = SLIL + SLAL \dots\dots\dots (1)$$

En donde:

- ✓ **LPL** = Lámina parcial de lavado (cm)
- ✓ **SLIL** = Sub-lámina inactiva o pasiva de lavado o Déficit de humedad o “LR” (cm). A mayor contenido de arcillas mayor valor de la SLIL.
- ✓ **SLAL** = Sub-lámina activa o real de lavado o “sobreriego” (cm)

f. **Los principales tipos de movimiento del agua en el suelo.** La textura, combinada con la estructura de un suelo, definen la cantidad y tipo de espacios vacíos que contiene, los que a su vez definen la cantidad que puede retener y determinan la facilidad que tiene el agua para que se mueva o circule a través del suelo, por lo que con relación al movimiento del agua en el suelo, la textura influye en lo siguiente:

- En el grado o valor de la infiltración e infiltración básica, que son movimientos descendentes del agua de riego por efecto de la gravedad.
- En el valor de la conductividad hidráulica, que es la velocidad con la que se mueve el agua freática, ya sea de manera lateral o descendente, en donde también participa la estratificación del suelo.
- En la tasa e intensidad de la capilaridad del agua freática somera que es un movimiento ascendente, en donde también participa la estratificación del suelo.

Por lo anterior, la textura, estructura y estratificación de un suelo determinan su permeabilidad y drenaje natural.

Proceso de ensalitramiento indirecto influido por la textura (LLerena, 2020)

El tipo de proceso de ensalitramiento que más frecuentemente se presenta en las áreas bajo riego a nivel mundial en donde participa el tipo de textura de un suelo y su estratificación, es el indirecto, secundario o por abajo.

Este proceso tiene como causa general, la combinación de un uso y manejo ineficiente del agua de riego que propicia pérdidas de agua por infiltración profunda hacia estratos inferiores, con condiciones no adecuadas de drenaje de los suelos, ya sean naturales o artificiales.

Así, cuando existen dichas pérdidas por infiltración y también un mal drenaje natural o artificial (red general y parcelario) de los suelos, se provoca que con el tiempo se eleven los niveles freáticos hasta cerca de la superficie del suelo e inclusive que afloren, lo que favorece que el agua freática que contiene sales en solución ascienda por capilaridad a la superficie, en donde solamente se evapora el agua y, por tanto, permanezcan la mayoría de las sales, las cuáles, paulatinamente pueden acumularse hasta ensalitrar el suelo.

Por lo tanto, la propiedad de capilaridad del agua y la altura que puedan ascender los niveles freáticos, están influenciadas por la textura del suelo.

Resultados y Discusión

La textura como un factor determinante en los procesos de ensalitramiento indirecto de los suelos bajo riego (LLerena, 2020)

En este tipo de procesos de salinización indirecta, la textura del suelo es determinante, debido a que a mayor contenido de arcillas, la capilaridad es más intensa y el agua proveniente de los mantos freáticos someros con sales en solución, puede alcanzar mayores cantidades y alturas de ascenso.

La textura como un factor determinante en los procesos de sodificación de los suelos bajo riego (LLerena, 2020)

En un estudio de suelos ensalitrados, es muy importante conocer el porcentaje que el sodio intercambiable representa en el complejo de intercambio, debido a las repercusiones que solo en algunos casos se pueden ocasionar cuando su valor rebasa ciertos límites y se alteren las proporciones que existían en relación con los otros cationes adsorbidos.

Esto puede suceder cuando las aguas de riego o en las freáticas que ascienden por capilaridad presentan altos contenidos de sodio soluble, lo que, consecuentemente, incrementa su concentración en el complejo de intercambio, pudiendo alcanzar niveles excesivos que no permiten que todas las cargas negativas de las arcillas se contrarresten y queden algunas libres, que es cuando aumentan las posibilidades de generar un real problema de sodificación de un suelo (Figura 1.).

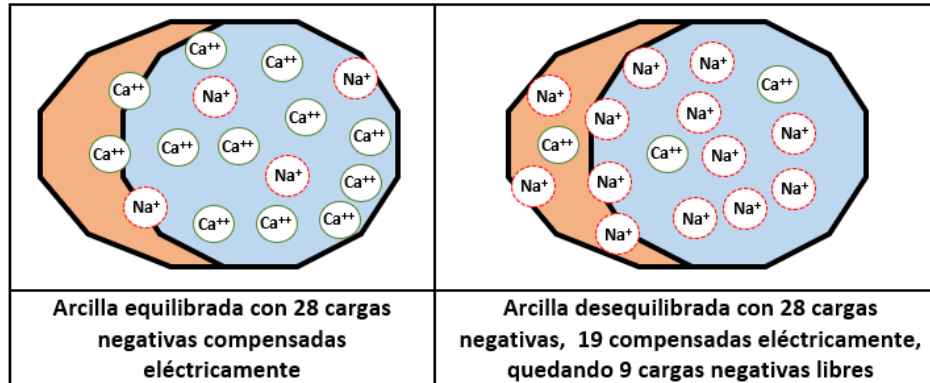


Figura 1. Arcilla equilibrada eléctricamente y arcilla desequilibrada.

Fuente: LLerena, 2020

Cuando quedan cargas libres negativas sin compensar, se altera y se rompe el equilibrio natural que existía en el complejo de intercambio, propiciando una repulsión entre las arcillas y una separación y dispersión de ellas y por tanto, una desagregación o pérdida de la estructura del suelo conocida como defloculación, lo que combinado con la posibilidad de que las partículas de arcilla dispersas se lixivien y ocupen y tapen algunos microporos, se favorezca una cierta compactación del suelo que puede afectar la germinación y el crecimiento del sistema radicular de los cultivos, el intercambio gaseoso entre la atmósfera y el suelo y que se incrementen los problemas de ensalitramiento indirecto (LLerena, 2020).

En el Manual 60, los autores proponen que un valor mayor al 15% de sodio intercambiable define y clasifica a un suelo como sódico, ya que consideran que es el límite crítico a partir del cual se altera el equilibrio existente en el complejo de intercambio y se presente un cambio brusco en las propiedades de éste, pudiendo afectar desfavorablemente su productividad. Sin embargo, los mismos autores consideraron que el valor de 15% era un límite tentativo y arbitrario de separación entre los suelos no sódicos y los sódicos, debido a que no contaban con la suficiente experiencia o datos que justificara un cambio a este límite (Manual 60, 1954).

Por tanto, se debe ser muy cuidadoso con el uso del límite de 15 de PSI de un suelo, ya que para que realmente se presenten problemas reales de sodicidad o sodificación que no dependen únicamente del PSI, ya que solamente bajo ciertas condiciones texturales se presenta una real sodificación del suelo, de acuerdo a lo siguiente (LLerena, 2020).

- a. La cantidad y el tipo de arcillas son determinantes, ya que a mayor contenido de arcillas y especialmente las del tipo 2:1, se incrementa la capacidad de intercambio de cationes y más riesgo de sodificación real del suelo.
- b. La cantidad de arenas presentes si es de mediana a alta, puede encubrir los efectos y consecuencias que se presentan cuando hay una verdadera sodificación del suelo.

Esto es, aunque un suelo con una baja CIC por tener bajo contenido de arcillas y alto de arenas, puede presentar valores de PSI mucho mayores a 15, y aunque suceda defloculación en los agregados y una cierta compactación del suelo, la presencia de las arenas minimiza, contrarresta y encubre los efectos y consecuencias que se presentan cuando hay una verdadera sodificación. En cambio, un suelo con altos contenidos de arcilla, una elevada capacidad de intercambio de cationes y bajos contenidos de arena, puede presentar síntomas reales de sodicidad con valores menores de 15% de sodio intercambiable (LLerena, 2020).

La textura como un factor determinante en los procesos de combate o recuperación de los suelos bajo riego (LLerena, 2020)

- a. Determina la gravedad y el grado de dificultad que pueden tener los procesos de mejoramiento o recuperación de los suelos afectados por salinización, sodificación o ambas, ya que a mayor contenido de arcillas mayor gravedad y grado de dificultad del proceso.
- b. **Define el tipo e intensidad de las prácticas físicas al interior de los suelos.** Las principales prácticas o labores de preparación al interior de los suelos afectados, son rastreo, barbecho, cinceleo, subsoleo y drenaje topo. Se realizan para mejorar las condiciones internas principalmente estructurales y de porosidad de los suelos, rompiendo, fraccionando y reacomodando sus agregados para crear condiciones favorables de permeabilidad en el suelo.

Su finalidad es facilitar durante un proceso de recuperación de suelos afectados, primero la percolación del agua, después la solubilización de las sales en exceso y finalmente su movimiento interno vertical del agua ya con sales en solución hacia estratos inferiores y fuera de la parcela.

Por lo tanto, el tipo e intensidad de las labores que se requiere efectuar para cada caso lo determina el tipo textural que presenta el suelo, el perfil o estratificación existente y el nivel de salinidad; siendo los dos primeros factores los que definen el comportamiento que puede tener el movimiento de agua dentro del suelo.

Así, entre más contenido de arcilla más lenta será tanto la infiltración del agua como su movimiento interno dentro del suelo, por lo que para favorecer el lavado y la eliminación de los excesos de sales, se recomienda realizar labores de preparación del suelo cuyo tipo e intensidad será mayor a medida que el suelo sea más arcilloso.

- c. **Las cantidades o valores de la lámina total y de la sub-lámina pasiva de lavado.** Existen diferentes fórmulas para estimar una lámina total de lavado, recomendando utilizar la fórmula empírica de Volobuyev, debido a que además de incluir los conceptos básicos que debe contener cualquier fórmula de este tipo, que son el nivel inicial de salinidad del suelo a recuperar, la salinidad que se desea alcanzar y el espesor de suelo a lavar, también hace participar a la textura del

suelo y a la solubilidad del tipo de sales presentes, que son factores determinantes en el valor de la lámina total de lavado (LLerena, 2020).

En el caso de la textura, es claro técnicamente que se requiere más agua para lavar la misma cantidad de sales en un suelo arcilloso que en uno franco, debido a que tiene mayor porosidad y se necesita una mayor sub-lámina pasiva de lavado y contiene un mayor porcentaje total de sales.

- d. **La eficiencia del lavado.** Se refiere de manera general, a la cantidad de sales que lava o desplaza una cierta lámina o unidad de volumen de agua. Como ya se mencionó, un suelo arcilloso tiene mayor porosidad, mayor contenido total de sales y una menor permeabilidad que un suelo franco, por lo que se dificulta más el lavado y desplazamiento de las sales, requiriendo mayor cantidad de agua para desplazar una misma cantidad de sales que en un suelo franco.
- e. **Los requerimientos de mejoradores químicos cuando hay problemas reales de sodificación del suelo.** La rehabilitación de un suelo con problemas reales de sodificación, sólo se realiza cuando la textura del suelo es arcillosa, su CIC es alta y tiene bajos contenidos de arenas y sales, por lo que dichos requerimientos de mejorador químico dependen del contenido y tipo de arcillas que tiene el suelo sodificado. Esto es, en un suelo con bajos contenidos de arcilla o altos de arena entre otros factores, no requiere de la aplicación del mejorador aunque el valor del PSI sea mayor a 15.
- f. **Los tiempos totales del proceso de recuperación.** Cuando un suelo es arcilloso con bajos contenidos de arena, de baja permeabilidad y mayores porcentajes totales de sales, propicia que se requiera una mayor lámina de lavado que en un suelo franco, y por lo tanto de un mayor número de aplicaciones de láminas parciales de lavado, lo que implica un mayor tiempo total del proceso de recuperación.
- g. **Las necesidades de drenaje parcelario.** La baja permeabilidad que tiene un suelo arcilloso con bajos contenidos de arena, ocasiona que su drenaje natural sea muy pobre, por lo que para abatir los niveles freáticos someros en su caso y facilitar la lixiviación de las sales en exceso, se requiere crear condiciones internas de drenaje artificial parcelario con separaciones mucho más cortas que en un suelo franco.
- h. **Los costos totales del proceso de recuperación.** Con lo anteriormente mencionado, es evidente que la recuperación de un suelo arcilloso es más costosa que la de un suelo arenoso.

Conclusiones

1. La textura es un factor determinante en los procesos de ensalitramiento indirecto de los suelos bajo riego, debido a que a mayor contenido de arcillas, la capilaridad es más intensa y el agua proveniente de los mantos freáticos someros con sales en solución puede alcanzar mayores cantidades y alturas de ascenso.
2. La cantidad y el tipo de arcillas presentes en un suelo así como el de arenas, son determinantes en los procesos reales de sodificación de los suelos bajo riego, ya que, a mayor contenido de arcillas y menor de arenas, se incrementa la capacidad de intercambio de cationes y existen más riesgo de sodificación real del suelo.
3. La textura es un factor determinante en los procesos de combate o recuperación de los suelos bajo riego, por lo siguiente:
 - Determina la gravedad y el grado de dificultad que pueden tener los procesos de mejoramiento o recuperación de los suelos afectados por salinización, sodificación o ambas, entre más arcilloso el suelo más complicado el proceso.
 - Es un factor que define el tipo e intensidad de las prácticas físicas al interior de los suelos durante un proceso de recuperación, ya que entre más contenido de arcilla, más lenta será tanto la infiltración del agua como su movimiento interno dentro del suelo, por lo que para favorecer el lavado y la eliminación de los excesos de sales, el tipo e intensidad de las labores de preparación del suelo será mayor a medida que el suelo sea más arcilloso.
 - Define las cantidades o valores de la lámina total y de la sub-lámina pasiva de lavado, ya que es claro técnicamente, que se requiere más agua para lavar la misma cantidad de sales en un suelo arcilloso que en uno franco, debido a que se necesita una mayor sub-lámina pasiva de lavado y contiene un mayor porcentaje total de sales.
 - Determina la eficiencia del lavado, ya que un suelo arcilloso tiene mayor contenido total de sales y una menor permeabilidad que un suelo franco, lo que dificulta más el lavado y desplazamiento de las sales, requiriendo mayor cantidad de agua para desplazar una misma cantidad de sales que en un suelo franco.
 - Define los requerimientos de mejoradores químicos cuando hay problemas reales de sodificación del suelo, a mayor CIC mayor cantidad de mejorador químico.
 - Determina los tiempos totales de un proceso de recuperación, ya que contiene mayores porcentajes totales de sales, lo que propicia que se requiera una mayor lámina de lavado que en un suelo franco, un mayor número de aplicaciones de láminas parciales de lavado y un mayor tiempo total del proceso de recuperación.

- Determina las necesidades de drenaje parcelario debido a que un suelo arcilloso, su drenaje natural es muy pobre, por lo que para abatir los niveles freáticos someros en su caso y facilitar la lixiviación de las sales en exceso, se requiere construir drenaje artificial parcelario en el suelo con separaciones mucho más cortas que en un suelo franco.
- Determina los costos totales del proceso de recuperación, ya que entre más arcilloso el suelo el proceso es más costoso.

Referencias Bibliográficas

Briggs L.J. and H.L. Shantz. (1912). The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. USDA Bureau of Plant Industry Bull 230.U.S. Gov. Printing Office, Washington, D.C. Briggs y Shantz.

FAO, 2009. <http://www.fao.org/nr/solaw/pagina-principal-solaw/es/>

FAO, 2022.

<https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture#:~:text=El%20agua%20es%20un%20insumo,alimentos%20en%20todo%20el%20mundo>

LLerena V., F. A. (2020). Los problemas de salinidad de los suelos agrícolas bajo riego. Biblioteca Básica de Agricultura. D-104. Editorial del Colegio de Postgraduados. México, Mex.

Manual 60. (1954). Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline soils. United States Salinity Laboratory. Soil and Water Conservation Research Branch. Agricultural Research Service. Agriculture Handbook No. 60. USDA.

USDA. 2017. Soil Survey Manual. Handbook No.18, Issued 2017, Soil Science Division Staff United States Department of Agriculture, USA.