

Dinámica de la salinidad en los suelos

¹Mata-Fernández I, ¹Rodríguez-Gamiño, ML, ²López-Blanco J, ¹Vela-Correa G.*

¹Universidad Autónoma Metropolitana - Xochimilco. Departamento: El Hombre y su Ambiente. Laboratorio de Edafología. Calzada del Hueso 1100. Colonia Villa Quietud, Delegación Coyoacán. C. P. 04960. Distrito Federal, México. gvela@correo.xoc.uam.mx.

²Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). Periférico Sur 5000. 2do. Piso. Colonia Insurgentes Cuicuilco, Delegación Coyoacán, México, Distrito Federal. C. P. 04530.

*Email: gvela@correo.xoc.uam.mx

RESUMEN

La salinidad y la sodicidad son dos conceptos que tienen que ver con un incremento de sales en el suelo. Ambos procesos limitan la actividad agrícola en grandes extensiones de tierra, causando una disminución de la capacidad productiva de los suelos y una baja en los rendimientos de los cultivos, principalmente en las zonas en las que la evaporación superficial y la absorción de agua por las plantas exceden el nivel de la precipitación. El efecto de las sales en las plantas se presenta cuando son sometidas a altas concentraciones de una sal, lo que puede afectar su capacidad de retención de agua y además de los efectos iónicos que ocasiona a nivel enzimático en los procesos de glicólisis, ciclo de Krebs y fotofosforilación, que son sensibles a las soluciones salinas, y dan como resultado una menor disponibilidad de energía, de nutrientes y del crecimiento de las plantas y germinación de las semillas. Se estima que 831 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por sales. En México la salinización de suelos afecta el 3.2% de su territorio, siendo este proceso una realidad cada vez más evidente, y una de las principales causas de degradación química, fundamentalmente en las zonas áridas y particularmente en los suelos bajo riego, donde la aplicación de fertilizantes y residuos industriales han favorecido la salinidad. También se observa con más frecuencia en las cuencas cerradas que, a través de miles de años, han acumulado paulatinamente sales en los suelos. Por lo anterior, cabe destacar que el conocimiento sobre el origen, dinámica y las consecuencias de la salinidad, abre las puertas a las nuevas generaciones para abordar esta problemática, que impone la necesidad de dar soluciones, y se pueda instrumentar un plan para la posible recuperación o rehabilitación de los suelos afectados por estos procesos.

Palabras clave: Suelos salinos, suelos sódicos, presión osmótica, degradación de suelos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la salinidad de los suelos es un problema que restringe las actividades agrícolas, sin importar si son grandes o pequeñas extensiones de tierra, ya que provoca la disminución de la capacidad productiva de los suelos y rendimiento de los cultivos, afectando la calidad ecológica del medio ambiente, principalmente en zonas donde la evaporación superficial y la absorción de agua por las plantas exceden el nivel de las precipitaciones, lo que origina un movimiento ascendente de las sales disueltas en las aguas subterráneas, desplazándose estas hacia la superficie del suelo, degradando con frecuencia las condiciones estructurales y químicas de los suelos (Hanay et al. 2004; Liang et al. 2005; Smith y Smith 2007).

La salinidad es un ejemplo de degradación de los suelos, que presentan cambios significativos en su comportamiento físico-químico. Es conveniente mencionar, que la distribución de las sales en el suelo es heterogénea, debido a que la salinización es un proceso complejo y variable en el espacio y tiempo a diferentes escalas de observación. Considerando lo anterior, el patrón de la variabilidad del contenido de sales cambia en función de la estación del año, aumentando su concentración en la temporada de estiaje, lo cual, afecta el estado físico de la superficie del suelo

disminuyendo drásticamente la infiltración (Ruiz et al. 2007).

La concentración de sales confiere a los suelos, propiedades con efectos nocivos para los cultivos, donde se distinguen dos situaciones, según sea el catión predominante en el complejo de cambio Ca^{2+} o Na^+ . Si el catión predominante es el Ca^{2+} , y las sales solubles son muy abundantes en el suelo, es probable que el perfil se encuentre muy poco diferenciado, pero su estructura tiende a ser estable, como resultado de la acción floculante del Ca^{2+} , por lo que la alta presión osmótica de la solución del suelo es la responsable de la baja productividad. A estos suelos se les denomina suelos salinos o halomorfo¹, siendo el suelo representativo el Solonchak que son suelos que tienen alta concentración de sales solubles en algún momento del año. Asimismo los Solonchaks, están ampliamente confinados a zonas climáticas áridas y semiáridas y regiones costeras en todos los climas (IUSS 2007).

Sin embargo cuando el Na^+ es el catión dominante se produce la dispersión de las arcillas, lo que lleva a una destrucción de la estructura. Además de que la hidrólisis de las arcillas sódicas, conduce a la alcalinización del perfil, y estas provocan una intensa alteración mineral, reflejándose en un perfil bien diferenciado desde el punto de vista morfológico. A estos suelos se les llama suelos sódicos o en ocasiones alcalinos y su clase representativa es el Solonetz, que son suelos con un horizonte subsuperficial arcilloso denso, fuertemente estructurado, que tiene una proporción elevada de iones Na^+ y/o Mg^{2+} adsorbidos (IUSS 2007).

Se debe considerar que todos los suelos contienen sales y que algunas de éstas se convierten en un problema cuando se concentran en la zona radical de los cultivos. Esto provoca valores muy altos de la presión osmótica en el agua del suelo, con evidentes repercusiones sobre el desarrollo de las plantas (Sánchez et al. 2008). Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo es describir el

proceso de salinidad a partir de su origen, dinámica y consecuencias en los suelos.

Origen de la salinidad en los suelos

La salinización y sodificación de los suelos agrícolas son quizás los problemas más serios que enfrenta la agricultura en nuestros días. La aceleración de estos procesos se debe a la intensificación global de la desertificación², a la aplicación indiscriminada del agua para riego en zonas cercanas al mar y a la introducción masiva de sistemas de riego, sin asegurar que el destino final del drenaje sea el mar. Estos procesos provocan una disminución en el desarrollo y la producción de varios cultivos. Tal el caso de cultivos sensibles como los frutales (aguacate, ciruelo, almendro, peral, y cítricos entre otros), mientras que dentro de los rangos normales de salinidad, la sensibilidad de la planta está determinada sobre todo por la composición de las sales y no por la concentración total de éstas (López-Climent et al. 2008).

Se estima que aproximadamente 831 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por sales, de estas 397 millones lo son por problemas de salinidad y 34 millones por condiciones asociadas a la sodicidad (FAO 2000). En México el proceso de salinización afecta el 3.2% de su territorio, principalmente en los estados de Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz y Zacatecas (SEMARNAT 2009) (Fig. 1), en donde la distribución y extensión de los suelos con problemas de salinidad, es más frecuente en las áreas de riego de las zonas áridas, donde el agua es rica en sales y se agrava debido al manejo no adecuado del suelo y agua, trayendo como consecuencia un deterioro progresivo de los suelos, repercutiendo en una disminución de la productividad y en la calidad de sus cosechas (Bayuelo-Jiménez et al. 2002; Zamudio-González et al. 2004).

² La desertificación es la degradación de las tierras áridas, semiáridas y zonas subhúmedas secas. Causado principalmente por variaciones climáticas y actividades humanas tales como el cultivo, pastoreo excesivo, deforestación y falta de riego. La desertificación no se refiere a la expansión de los desiertos existentes. Sucede porque los ecosistemas de las tierras áridas, que cubren una tercera parte del total de la Tierra, es extremadamente vulnerable a la sobreexplotación y a un uso inapropiado de la tierra (IUSS 2007).

¹ Suelos halomorfo. Son aquellos que presentan abundancia de cloruro sódico, ya sea de origen marino o geológico (IUSS, 2007).

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

cuales suelen poseer sales disueltas en menor o mayor proporción. La existencia de estos mantos freáticos es frecuente en las depresiones y tierras bajas. En las regiones áridas, las sales pueden ascender por capilaridad. El viento, en las zonas, áridas arrastra gran cantidad de partículas en suspensión, tales como, carbonatos, sulfatos y

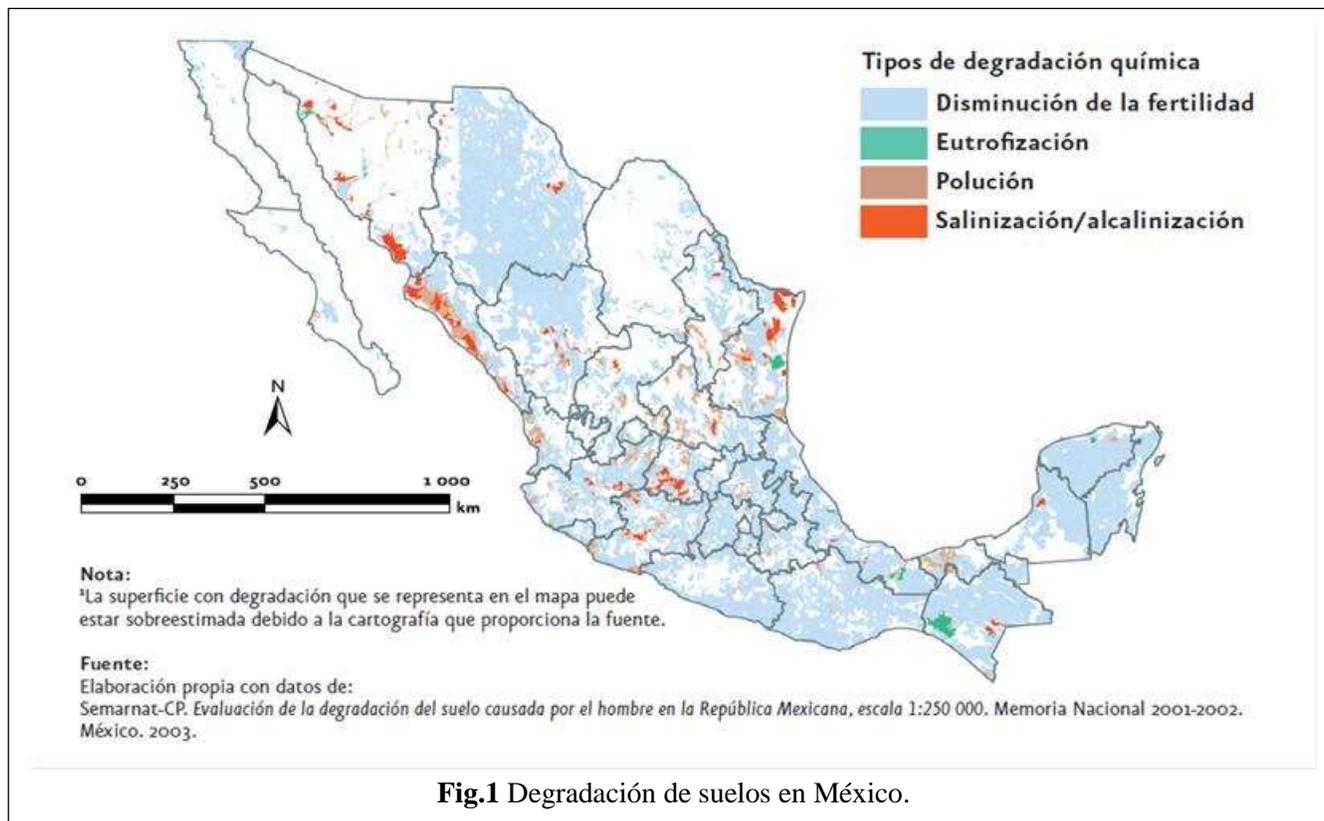


Fig.1 Degradación de suelos en México.

Las sales en términos generales, pueden ser de origen natural o de origen antropogénico. La salinización natural del suelo en México, es un fenómeno asociado a condiciones climáticas de aridez y a la presencia de materiales originales ricos en sales. Las sales se forman naturalmente en los suelos, cuando el material parental se disuelve, aunque en su acumulación excesiva participen otros mecanismos que, en la mayor parte de las veces, están relacionados con el transporte de sustancias con los movimientos del agua, por lo que se pueden acumular en las depresiones y al evaporarse el agua se forman costras salinas. Los suelos normalmente toman las sales de mantos freáticos superficiales, los

cloruros, aplicándose en los suelos. No obstante, las aguas subterráneas empleadas para la irrigación contienen sales solubles como el Sodio, Calcio, Magnesio, Potasio, Sulfatos y Cloruros disueltos de las rocas y minerales. La evapotranspiración del agua de riego, finalmente hacen que se acumulen en los suelos cantidades excesivas de sales, salvo que exista una lixiviación y un drenaje adecuados. Este proceso se denomina salinización por irrigación (Smith y Smith 2007). De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), de las 230 millones de hectáreas que se encuentran bajo irrigación, 45 millones están afectados por la salinidad. Se estima que se pierden al año cerca de

1.5 millones de hectáreas de suelos irrigados, lo cual resulta en una reducción de aproximadamente once mil millones de dólares en la productividad agrícola (Bronwyn et al. 2007).

Las sales de origen antropogénico se deben principalmente a la actividad agrícola y pecuaria, donde el riego ha provocado procesos graves de salinización. Las aguas usadas en el riego sin control alguno, o debido a un descenso del nivel freático, llevando a cabo la intrusión de aguas salinas, así como la movilización de las tierras, la aparición de rocas salinas en el terreno, han provocado la contaminación del suelo y una acumulación de sales en los suelos de las depresiones por la acción de las aguas de escorrentía. Por otra parte, la aplicación de fertilizantes en cantidades excesivas, han llevado a cabo la contaminación de los acuíferos, influyendo después en las aguas de riego. Estas situaciones se dan en zonas áridas, que se encuentran bajo una actividad agrícola muy intensa. También las actividades industriales, han provocado daños en las zonas que se encuentran bajo su influencia, además de la contaminación atmosférica de su cuenca hidrográfica.

Las áreas de suelo afectadas por problemas de sales y sodio están ampliamente distribuidas en el mundo. Sin embargo en México, el problema de la salinidad se presenta fundamentalmente en las zonas áridas, semiáridas con riego y a lo largo de las costas. Donde aproximadamente el 60 % del territorio es considerado como áreas áridas o semiáridas que corresponden al centro y norte del país, ocupado en gran parte el altiplano.

El sistema de clasificación de los suelos, propuesto por la IUSS (2007), denomina a los suelos salinos como Solonchaks y Solonetz que presentan un elevado contenido de sales. Los Solonchak, son suelos salinos, que se presentan en zonas donde se acumula el salitre, tales como lagunas costeras y lechos de lagos, o en las partes bajas de los valles y llanos de las regiones secas del país. Tienen un alto contenido de sales en todo o alguna parte del suelo. La vegetación típica para este tipo de suelos es de pastizales u otras plantas que toleran el exceso de sal, su empleo agrícola se encuentra limitado a cultivos resistentes a la salinidad o donde se ha disminuido la concentración

de salitre por medio del lavado.

Los Solonetz son suelos con altas concentraciones de sales y se caracterizan por tener un subsuelo arcilloso con terrones duros con formas de columnas, debido al alto contenido de sales de sodio. Estos suelos se localizan en zonas donde se acumulan sales, en particular el sodio (Na^+). Su vegetación es muy escasa y cuando existe es de pastizales o matorrales. Generalmente no se utilizan para la agricultura y su recuperación es difícil y costosa (IUSS 2007).

Dinámica de la salinidad en los suelos

La salinidad y la sodicidad, son dos conceptos que se relacionan y tienen que ver con un incremento del contenido de sales en los suelos, que provoca, entre otras cosas, la disminución del rendimiento de los cultivos (SEMARNAT, 2009). Estos procesos en los suelos, se pueden determinar con base en su porcentaje de sodio intercambiable (PSI), midiendo la conductividad eléctrica en el extracto de saturación y evaluando su basicidad mediante su pH.

La salinidad es un proceso de enriquecimiento del suelo con sales más solubles que el sulfato de calcio; por lo general se trata de cloruros y sulfatos de sodio y de magnesio, su conductividad eléctrica en el extracto de saturación es mayor a 4 dSm^{-1} a 25°C con un porcentaje de sodio intercambiable menor de 15 (Richards et al. 1985) (Fig. 2). Estos valores, influyen en la presión osmótica, con evidentes repercusiones sobre la vegetación, interfiriendo en el crecimiento de la mayoría de los cultivos y otras plantas no especializadas. Desde un punto de vista agronómico, la salinidad se expresa en términos de conductividad eléctrica (CE), la cual indica la velocidad con la que la corriente eléctrica atraviesa una solución salina, siendo esta proporcional a la concentración de sales en la solución. La CE se mide en milimhos por centímetro cúbico (mmhos/cm^3) también conocida como decisim (dSm^{-1}) (Basurto et al. 2008).

La salinidad tiene lugar en regiones subhúmedas, áridas y semiáridas, así como en regiones costeras húmedas, donde las depresiones se enriquecen con sales a una rapidez mayor que la de su lixiviación. La acumulación de sales es

preferencial en los suelos con depresiones con un contenido elevado de arcillas y baja permeabilidad, con lixiviación reducida, así como sulfatos y cloruros como sales predominantes.

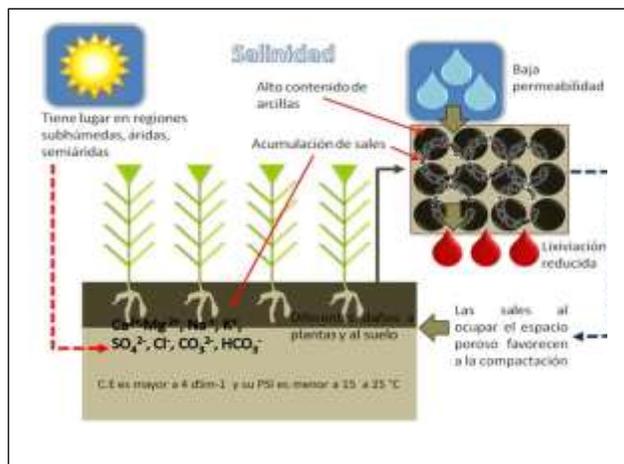


Fig. 2. Suelos enriquecidos con sales, principalmente de sulfatos y cloruros.

A diferencia de la salinidad, la sodicidad en los suelos ocurre cuando el complejo coloidal está ocupado principalmente con sodio (Na^+), provocando una dispersión de los coloides del suelo, que lo hacen mucho menos permeable y se determina, cuando el porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15 y la conductividad del extracto de saturación es menor de 4 dSm^{-1} a 25°C (Richards 1985) (Fig. 3).

Los suelos sódicos tienen un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) mayor a 1.2 este sodio no es dañino para las plantas, pero causa que los suelos de textura fina sean extremadamente impermeables al agua y dificulta la penetración de las raíces. Además los suelos son muy compactos, húmedos y pegajosos; formando columnas de suelo con capas redondeadas. Los efectos de la salinidad y la sodicidad, perjudican principalmente, el desarrollo de la vegetación y el rendimiento de los cultivos. Las sales que mayormente afectan por orden de importancia son el Cloruro de Sodio (NaCl), Sulfato de Calcio (CaSO_4), Bicarbonato de Calcio (CaHCO_3), Cloruro de Magnesio (MgCl_2) y Bicarbonato de Magnesio ($\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$). Las sales se acumulan en el dosel de las plantas, después de

que las hojas mueren y caen al suelo para descomponerse. Las sales que contenían son en ocasiones lavadas por el agua de lluvia o por la de riego, pero en ambos casos, las sales se acumulan en el suelo, las cuales se ven incrementadas fuertemente en las áreas desérticas, donde la tasa anual de evaporación del suelo supera la cantidad de agua proveniente de las precipitaciones (Basurto et al. 2008).

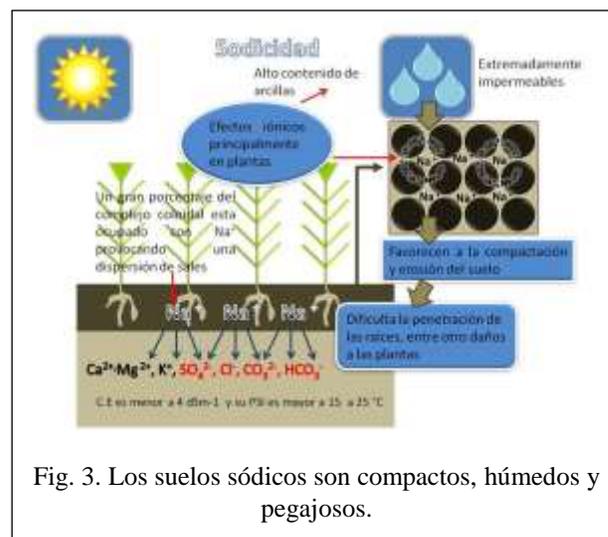


Fig. 3. Los suelos sódicos son compactos, húmedos y pegajosos.

Consecuencias de la salinidad en las plantas.

La salinidad afecta cada aspecto de la fisiología de la planta y su metabolismo. La alta concentración de sales le ocasiona un desequilibrio iónico y estrés osmótico. Un fuerte estrés salino rompe la homeostasis del potencial hídrico y la distribución de iones (Alcaraz-Ariza 2012). Los efectos de las sales en las plantas, se presentan cuando son sometidas a elevadas concentraciones de una sal, lo que afecta la retención del agua, y de los efectos iónicos que esto ocasiona, muy específicamente sobre el citoplasma y las membranas de las células. El estrés salino rompe la homeostasis³ iónica de las plantas al provocar un exceso tóxico de sodio (Na^+) en el citoplasma y una deficiencia de iones como el potasio (K^+). El sodio inhibe muchas enzimas y por

³ La homeostasis es la capacidad del organismo para presentar una situación físico-química característica y constante dentro de ciertos límites, incluso frente a alteraciones o cambios impuestos por el entorno o el medio ambiente.

eso es importante prevenir la entrada del mismo al citoplasma (Alcaraz-Ariza, 2012). Los sistemas enzimáticos de la glicólisis, ciclo de Krebs y la fotofosforilación son especialmente sensibles a las soluciones salinas, y dan como resultado una menor disponibilidad de energía, adquisición de nutrientes y una disminución del crecimiento de la planta y germinación de la semilla (Fig. 4).

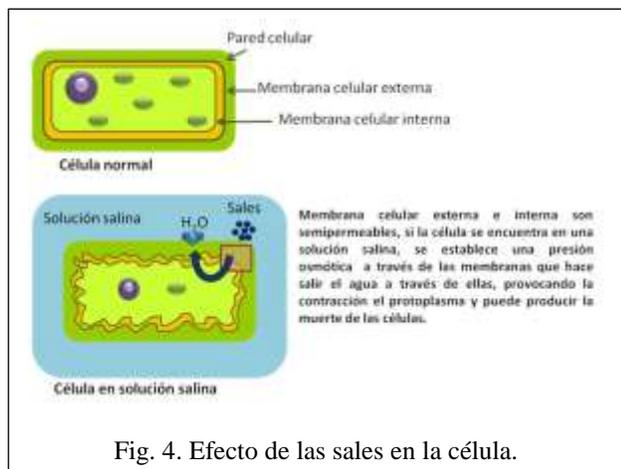


Fig. 4. Efecto de las sales en la célula.

El efecto osmótico, detectado en suelos salinos, consiste en altas concentraciones de sales que incrementan las fuerzas potenciales que retienen al agua en la solución del suelo y hacen más difíciles la extracción del agua por las raíces de la plantas. Estas sales se acumulan en la zona radical ocasionando las pérdidas en la producción debido a la disminución del crecimiento, su efecto varía con los estados fenológicos de los cultivos, siendo más notable en las primeras etapas del crecimiento ya que al reducir el potencial hídrico de la solución del suelo, disminuye la disponibilidad de agua, y crea un desequilibrio nutritivo dada la elevada concentración de elementos (Na^+ , Cl^-) que pueden interferir con la nutrición mineral y el metabolismo celular (Fig. 5) (Segovia 1987; Leidi y Pardo 2002). Por lo anterior, no es posible evaluar el riesgo ocasionado por el alto contenido de sales solubles en los suelos y agua de riego sin considerar la susceptibilidad de los cultivos a las sales.

La presencia de algunos iones en la solución del suelo a determinadas concentraciones provoca efectos tóxicos, como el calcio, magnesio, cloruros y sulfatos de sodio, siendo para las plantas los

principales iones citotóxicos el sodio, los cloruros y sulfatos (Chinnusamy *et al.*, 2005). Por otra parte, esta toxicidad de las sales, inducen alteraciones en el metabolismo de las plantas, ocasionando la acumulación de productos tóxicos, afectando su balance energético, ya que al aumentar la presión osmótica de la solución, sufren una adaptación osmótica sus células para poder absorber agua, llevando a cabo un mayor consumo de energía produciendo un menor crecimiento en su altura (Aiazzi *et al.*, 2005).

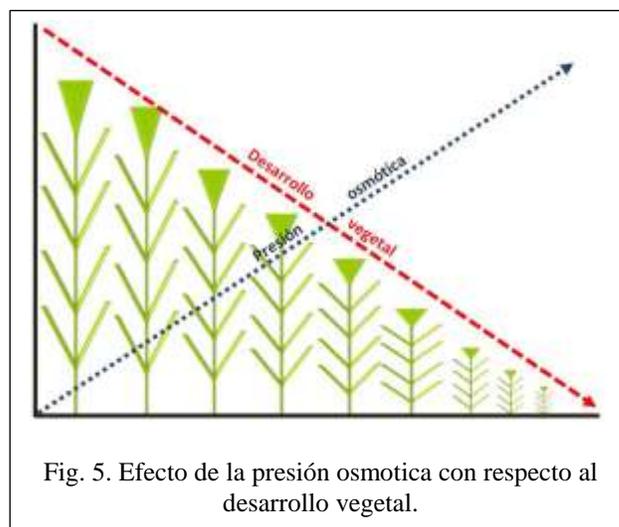


Fig. 5. Efecto de la presión osmótica con respecto al desarrollo vegetal.

Existe otra teoría de la división y el crecimiento celular, que indica que se produce un engrosamiento prematuro de las paredes celulares limitando el crecimiento de forma irreversible. De igual forma se ve afectada la nutrición, debido a que un aumento en el pH dificulta la disponibilidad de los nutrientes y las interacciones provocada por exceso de elementos, tales como, el calcio, sodio, potasio, cloruros, nitratos y fosfatos. La presencia de ciertos iones puede provocar toxicidad debido a la acumulación que se produce en semillas, tallos y las hojas. La tolerancia salina es una habilidad relativa de las plantas para producir rendimientos satisfactorios o sostenerse en suelos salinos. La concentración total de iones en el agua del suelo, generalmente tiene más influencia afectando las plantas que en la composición precisa de la solución (Leidi y Pardo 2002; Basurto *et al.* 2008).

Con el establecimiento de las plantas en los

suelos, la tierra afectada por sal puede usarse en forma sustentable, utilizando plantas tolerantes a la salinidad y al riego de pozos con agua salada. Existe una clasificación generalizada que agrupa las plantas en halófitas y no halófitas. Las primeras refieren a aquellas plantas que poseen mecanismos de resistencia a la salinidad, aunque su grado de tolerancia es muy variable, ejemplos de estas son los mangles, donde se encuentran varias especies del género *Atriplex* y algunos pastos como del género *Chloris*. La mayor parte de las plantas cultivadas, se consideran como no halófitas, siendo más tolerantes a sales la mayoría de este grupo e integra a cereales la cebada (*Hordeum vulgare*), el sorgo (*Sorghum bicolor*), y el mijo (*Pennisetum americanum*).

Más de un ciento de especies se han clasificado, incluyendo zacates, arbustos y una variedad de árboles; muchos pueden emplearse para la alimentación humana y animal, maderable, combustible, abonos verdes para el suelo, para el procesamiento de productos industriales como papel, fibras, resinas, químicos, biogas, alcohol, ornamentales, medicinales y muchos otros más. Existen aproximadamente 1,300 especies que soportan suelos salinos, donde resaltan varias ornamentales que soportan conductividades eléctricas de 56 dS/m^{-1} dentro de la clasificación biológica de las familias: *Acantaceas*, *Aizoaceas*, *Amaranthaceas*, *Apiaceas*, *Asteraceas*, *Batidaceas*, *Caryophyllaceas*, *Casuarinaceas*, *Chenopodiaceas*, *Convolvulaceas*, *Myoporaceas*, *Myrtaceas*, *Nyctaginaceas*, *Plumbaginaceas*, *Tamaricaceae*, *Zygophyllaceas*.

Actualmente en México se utilizan principalmente hortalizas tolerantes a sales como, la espinaca (*Spinacea oleracea*), coliflor (*Brassica oleracea*), betabel (*Beta vulgaris*), acelga (*Beta vulgaris* var. *cicla*), calabaza (*Cucurbita* spp), romerito (*Saueda torreyana*) rábano (*Raphanus sativus*), entre otras y forrajes como: pastos forrajeros como el zacate Rhodes (*Chloris gayana*), pasto salado (*Puccinellia airoides*), cresta de gallo (*Sporobolus airoides*), agropiro (*Agropyron cristatum*), grama o zacate bermuda (*Cynodon dactylon*) entre otros, que son fáciles de cultivar y con gran adaptabilidad a ambientes salinos. La tolerancia a la salinidad varía a lo largo de las

distintas fases de desarrollo de la planta. La respuesta de los cultivos y las plantas a la salinidad está condicionada por diferentes mecanismos tales como:

a) Exclusión de sales. Las sales son excluidas a través de su sistema radicular, en muchas especies el Na^+ es retenido en la parte superior del sistema radicular y en la parte inferior de los tallos, indicando un cambio de K^+ por Na^+ por las células de la estela de la raíz o en los haces vasculares en ramas y pecíolos. Este proceso también involucra el secuestro de sales por tejidos especializados por ejemplo la eliminación de la sal de las células del xilema en la parte superior de las raíces, el tallo y los pecíolos. Así se tiene que al disminuir la permeabilidad selectiva de la membrana a los iones sodio y cloruro. La permeabilidad diferencial de la célula vegetal depende de un balance (normalmente alrededor de 10:1) entre cationes monovalentes como el K^+ y Na^+ y divalentes, principalmente Ca^{2+} . El ión Ca^{2+} , por tanto, puede actuar como un agente protector de la membrana, garantizando su impermeabilidad a elevadas concentraciones exteriores de NaCl (50 mM o más). Bajo estas condiciones habría una adsorción preferencial de ión Ca^{2+} sobre la membrana modificando sus propiedades y disminuyendo la permeabilidad para los cationes monovalentes y otros iones. De esta forma, al menos teóricamente podría mantener el balance iónico normal en presencia de concentraciones moderadamente altas de electrolitos, siempre que en el medio radical exista suficiente Ca^{2+} .

b) Excreción de sales. En este mecanismo la planta adsorbe la sal, la reexporta a sus raíces por el flujo de savia, de forma que se excrete de nuevo al suelo. La excreción de la sal a través de glándulas, solo se da en halófitas, estas plantas tienen glándulas salinas en la superficie de las hojas y los iones son transportados a esas glándulas, donde la sal se cristaliza y no es demasiado dañina.

c) Suculencia. Este mecanismo consiste en incrementar el volumen de almacenamiento por medio de estructuras desarrolladas que presentan vacuolas grandes llenas de agua permitiendo diluir o bajar la concentración de sales en el interior de éstas mediante la inducción de la suculencia, aumentando así la relación contenido de agua/superficie en

distintos órganos de la planta. La succulencia constituye una respuesta adaptativa que contribuye a incrementar la capacidad para retener sales en las vacuolas, facilitando así el ajuste osmótico, al tiempo que el citoplasma es protegido del efecto tóxico de las sales, controlando de esta forma la concentración de sales en el citosol y manteniendo un alto ratio K/Na en las células (Glenn 1999).

d) Ajuste osmótico. Es un mecanismo que incrementa la producción intracelular de sustancias solubles que disminuyen el potencial hídrico intercelular y facilita la entrada de agua. El ajuste osmótico es un mecanismo adaptativo que puede contribuir a los mecanismos de tolerancia a la sequía en las plantas como resultado de acumulación neta de solutos en las células en respuesta al decremento en el potencial hídrico o exceso de sales en el ambiente. La respuesta al estrés salino mediante la disminución del potencial hídrico producto a la capacidad de ajuste osmótico es un carácter de tipo aditivo y de fácil herencia por lo que se puede introducir sin complicaciones en programas de mejoramiento para la obtención de materiales tolerantes a estrés salino e hídrico (Moinuddin y Khanna 2004; López 2008).

Recuperación de suelos salinos

La conservación de los suelos, así como su recuperación cuando están afectados por sales, son de gran importancia para la producción agrícola, y su atención está relacionada con las causas del ensalitramiento de los mismos. Algunos investigadores han estudiado estos aspectos utilizando métodos físicos, biológicos, hidrotécnicos y químicos.

Una de las prácticas, más frecuentes para eliminar las sales del suelo es el lavado. Antes de proceder al lavado de un suelo, es necesario conocer la composición y la concentración de sales, esta práctica consiste en originar un flujo descendente de agua a través del perfil del suelo para arrastrar las sales, estos lavados se realizan tanto de manera vertical como horizontal a medida que agua se infiltra en profundidad. Los periodos de lavado de los suelos salinos y sódicos deben ser frecuentes, los suelos salinos sólo requieren lavado sin aplicación de mejoradores químicos. Sin embargo, los suelos

sódicos se necesitan agua que contengan fuertes cantidades de calcio.

En la práctica, regularmente los métodos de mayor uso son los químicos, como es la aplicación de azufre ya sea en forma elemental o como sulfatos (H_2SO_4), este aumenta la producción de materia seca y el contenido de diferentes elementos en varias partes de la planta. El azufre disminuye el pH del suelo, lo que trae como consecuencia la liberación de Fe^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} y Cu^{2+} ya que son cationes que a pH elevado no se encuentran disponibles para la planta. Otro método químico empleado comúnmente es la aplicación de yeso agrícola o sulfato de calcio dihidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), este mejora la estructura del suelo, ya que el calcio es un ion necesario para que se produzca la floculación de las arcillas, es decir para enlazar las partículas individuales del suelo y formar agregados más grandes. También mejora el drenaje y aumenta las reservas de agua útil en el suelo. Además ayuda a disminuir e incluso prevenir la formación de costras en la superficie del suelo. Por otra parte al proporcionar calcio intercambiable, este se constituye en el mejor mecanismo para ligar la materia orgánica así como los polímeros solubles en agua a las arcillas.

Sin embargo estos métodos aplicados en amplias extensiones resultan costosos, tanto por las cantidades de material que se utilizan, como por la aplicación de los mismos, ya que en algunos casos se requiere de equipo especializado. Actualmente se emplea el uso de algunos cultivos forrajeros en el mejoramiento de suelos salinos y sódicos, debido a la capacidad de prosperar bajo condiciones de alta salinidad y de extraer sodio del suelo, los cuales representan una alternativa económica y sustentable, ya que además de reducir la salinidad, pueden ser aprovechados como cultivos de amplia cobertura en grandes extensiones de suelos, disminución la erosión y la producción del forraje para el ganado (Ruiz et al. 2007).

CONCLUSIONES

El proceso de salinidad es una realidad cada vez más evidente, siendo una de las principales causas de degradación química, ya que se presenta fundamentalmente en las zonas áridas, con riego y a lo largo de la costa. Los lugares donde se observa

con más frecuencia son las cuencas cerradas que, a través de miles de años, han acumulado paulatinamente sales en los suelos. Del mismo modo la utilización de fertilizantes y residuos industriales favorecen la salinidad.

Los elevadas concentraciones de sales en los suelos, favorecen la degradación del mismo, al incrementar la compactación y disminuir la porosidad y permeabilidad.

La salinización es un proceso de enriquecimiento del suelo con sales, que influyen en la presión osmótica con evidentes repercusiones sobre la vegetación, interfiriendo en el crecimiento óptimo de los cultivos y otras plantas.

El conocimiento del origen, dinámica y las consecuencias de la salinidad, nos abre las puertas a nuevas generaciones para abordar esta problemática que impone la necesidad de dar soluciones, para que en base a ello, se puedan instrumentar planes, para la posible recuperación o rehabilitación de los suelos salinos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aiazzi MT, Carpane P, Deza C. 2005. Efecto de la salinidad, sobre el crecimiento de plantas de *Atriplex cordobensis* Gandoger et Stuckert originadas de semillas de distintas procedencias. Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas. Multequina.14: 39-46.
- Alcaraz-Ariza. 2012. Salinidad y vegetación. Geobotánica Tema 18. Universidad de Murcia España (<http://www.um.es/docencia/geobotanica/ficheros/tema18.pdf>), (versión de 11 de marzo de 2012).
- Basurto SM, Núñez BA, Pérez-Leal RR, Hernández-Rodríguez OA. 2008 Fisiología del estrés ambiental en plantas. Aventuras de pensamiento. Ed. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. 45:1-5
- Bayuelo-Jiménez JS, Debouck DG, Lynch JP. 2002. Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. Crop Science 42: 2184-2192
- Bronwyn JB, Vera-Estrella R, Balderas E, Pantoja O. 2007. Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas. Biotecnología 14:263-272.
- Cornejo OE. 2002. Factores ambientales que originan el estrés. Ecofisiología y química del estrés en plantas. Ed. Departamento de Agricultura. UAAAN. México. pp: 1-7
- Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu JK. 2005. Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Science 45: 437-448.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2000. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. FAO. Land and Plant Nutrition Management. Rome, Italy.
- Glenn EP, Brown JJ, Blumwald E. 1999. Salt tolerance and crop potential of halophytes. Crit. Rev. Plant Sci. 18:227-255.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas) 2014. Desertificación. http://www.cinu.org.mx/temas/des_sost/desert.htm. Centro de Información México, Cuba y República Dominicana. (Consultado 9/mayo/2014).
- Hanay A, Büyüksönmez F, Kiziloglu FM, Canbolat MI. 2004. Reclamation of Saline-Sodic Soils with Gypsum and MSW Compost, Compost Science & Utilization. 12 (2): 175-179.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Leidi OE, Pardo JM. 2002. Tolerancia de los cultivos al estrés salino: Qué hay de nuevo. Revista de Investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias. Número II. <http://www.fcagr.unr.edu.ar/Investigacion/revista/rev2/5.htm>
- Liang Y, Nikolic M, Peng Y, Chen W, Jiang Y. 2005. El abono orgánico estimula la actividad biológica y el crecimiento de la cebada en materia de suelo a la salinización secundaria. Biol. Suelo. Biochem. 37: 1185-1195.
- López-Climent MF, Arbona V, Pérez-Clemente RM, Gómez-Cadenas A. 2008. Relationship between salt tolerance and photosynthetic machinery performance in citrus. Environmental and Experimental Botany Vol. 62(2): 176-184.
- López RD. 2008. Salinity tolerance based on ion uptake. Proceeding workshop on adaptation of plants to crops stresses. Biochemical Sciences in agriculture 6: 123-129.
- Moinuddin J, Khanna-Chopra R. 2004. Osmotic adjustment in Chickpea in relation to seed yield and yield parameters. Crop Sci. 44: 449-455.

- Richards LA. 1985. Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos. Ed. LIMUSA/ Personal de Laboratorio de Salinidad de los Estado Unidos de América, México.
- Ruiz CE, Aldaco-Nuncio RA, Montemayor TA, Fortis HM, Olague RJ, Villagómez-Gamboa JC. 2007. Aprovechamiento y mejoramiento de un suelo salino mediante el cultivo de pastos forrajeros. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, México. Técnica Pecuaria en México 45 (1):19-24
- Sánchez BEE, Ortega EM, González HV, Camacho EM, Kohashi SJ. 2008. Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) cv. Alpha, inducidos por diversas soluciones salinas. Interciencia 33(9):1-9.
- Segovia A. 1987. Efectos del potencial osmótico y la concentración de P en el agua de riego sobre el crecimiento de la caña de azúcar. Caña de azúcar Vol. 05(1): 5-16
- SEMARNAT. (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2009. El Medio Ambiente en México: En Resumen 2009. México. Gobierno Federal. (www.semarnat.gob.mx) pp. 20-23
- Smith TM, Smith RL. 2007. Ecología. Ed. Pearson-Addison Wesley. Madrid España. 776 p.
- Zamudio-González B, López-Pérez L, Alcántara-González G, González-Eguiarte DR, Ruiz-Corral JA, Castellanos JZ. 2004. Delimitación de áreas salinas en el distrito de riego de Caborca, Sonora, México. TERRA Latinoamericana, Vol. 22(1): 91-97. Enero-marzo.