

De sucesión y restauración ecológica: dinámica vegetal bajo diferentes grados de salinidad

Succession and ecological restoration: plant dynamics under different salinity levels

Elizabeth Chávez-García

Universidad Nacional Autónoma de México, México

elizabethchavezg@filos.unam.mx

 <https://orcid.org/0000-0002-2151-9405>

Recepción: 23 de agosto de 2023

Aprobación: 24 de abril de 2024



RESUMEN

Las propiedades del suelo determinan los recursos para el crecimiento de diferentes especies vegetales; estas propiedades cambian con el tiempo y como resultado se puede desencadenar un proceso de sucesión ecológica. En sitios con suelos salinos y donde ocurren cambios en los niveles de salinidad en el tiempo y en el espacio, las distintas concentraciones de sal ofrecen diferentes oportunidades de colonización y desarrollo para la vegetación; sin embargo, la información sobre el proceso de sucesión ecológica en comunidades de halófitas es escasa. Con esta información resulta factible identificar relaciones planta-suelo y contribuir al entendimiento de la sucesión vegetal, de los procesos de degradación y de la ecología de la restauración en suelos salinos.

PALABRAS CLAVE: plantas halófitas, desertificación, restauración ecológica, exlago de Texcoco, sucesión progresiva y regresiva.

ABSTRACT

Soil properties determine the resources for the growth of different plant species; these properties change over time and as a result a process of ecological succession can be triggered. In sites with saline soils and where changes in salinity levels occur over time and space, different salt concentrations offer different opportunities for colonization and development of vegetation; however, information on the process of ecological succession in halophyte communities is scarce. With this information, it could be possible to identify plant-soil relationships and contribute to the understanding of plant succession, degradation processes, and restoration ecology in saline soils.

KEYWORDS: halophytic plants, desertification, ecological restoration, former Lake of Texcoco, progressive and regressive succession.

INTRODUCCIÓN

La acumulación de sal en los suelos provoca la pérdida de importantes tierras productivas en México y en todo el mundo. Este problema es grave sobre todo en zonas áridas y semiáridas donde la lluvia es insuficiente para lavar las sales y alejarlas de la zona de crecimiento de las raíces. Como resultado, los suelos tienden a presentar valores de salinidad y alcalinidad altos. Sin embargo, en otros climas y condiciones de relieve se generan problemas de salinización de los suelos, en especial en las zonas costeras y en cuencas cerradas (Brady y Weil, 2002).

Las altas concentraciones de sal en los suelos pueden dificultar el desarrollo de la vegetación; sin embargo, ofrecen diferentes oportunidades para el crecimiento vegetal de acuerdo con sus adaptaciones ecológicas (Taiz y Zeiger, 2006; Schulze *et al.*, 2019). Lo anterior se refleja en cambios en la dominancia de las especies vegetales por su tolerancia a las sales. Sin embargo, poco se sabe sobre la sucesión vegetal en zonas áridas y con suelos salinos, pues la mayoría de los estudios se han realizado en regiones templadas o tropicales (Fernández-Buces, 2006; Chapin *et al.*, 2022).

1. ECOSISTEMAS CAMBIANTES

Los ecosistemas están en constante cambio como respuesta a fluctuaciones pasadas y al entorno actual. En consecuencia, existen transformaciones o adaptaciones de formas complejas y, por tanto, el comportamiento de un ecosistema podría no ser predecible. Los ecosistemas son resistentes a aquellas fluctuaciones a las que los

organismos están bien adaptados, como los ciclos de luz y temperatura y a los cambios estacionales. Sin embargo, cuando los cambios ambientales superan la capacidad de un ecosistema para mantener sus propiedades y funciones, es probable que se desencadene un proceso denominado sucesión, causante de nuevas propiedades y funciones (Fernández-Buces, 2006; Sabattini y Sabattini, 2018; Zhao *et al.*, 2022).

El disturbio se ha descrito como un evento relativamente discreto en el tiempo y el espacio que altera la composición, estructura y funcionamiento de un ecosistema o comunidad y provoca cambios en la disponibilidad de recursos o el entorno físico. Se trata de eventos frecuentes, aunque a diferentes escalas y a veces no tan fáciles de percibir (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015; Chapin *et al.*, 2022). Algunos ejemplos de disturbios naturales y antrópicos son los incendios forestales, las erupciones volcánicas, la sequía o el cambio de uso del suelo. El disturbio es clave, ya que aunque la historia del sitio y el entorno abiótico (p. ej. clima y topografía) explican la mayoría de los patrones regionales y globales de los ecosistemas, el régimen de alteración lo hace a través de muchos de los patrones locales de variabilidad espacial con repercusiones a largo plazo (Chang y Turner, 2019; Chapin *et al.*, 2022).

Los cambios que un disturbio provoque dependerán de la sensibilidad del ecosistema y del tipo, frecuencia e intensidad (Aguilar-Garavito y Ramírez, 2015; Chapin *et al.*, 2022). En este sentido, las características y la abundancia de organismos que sobreviven a la alteración influirán fuertemente en la composición, estructura y funcionamiento del ecosistema, en vista de que serán estas especies las que crecerán y se reproducirán en el nuevo ambiente. Por ejemplo, la trayectoria que siga la sucesión reflejaría el tamaño del grupo de especies que sobrevivió, las interacciones bióticas entre éstas (p. ej. competencia o mutualismo), la distancia desde la fuente de propágulos o los rasgos funcionales relacionados con la dispersión (Chang y Turner, 2019; Chapin *et al.*, 2022).

Esto indica que las tasas de cambio en los ecosistemas están impulsadas no solo por el disturbio, sino también por los mecanismos que median la dinámica del ecosistema después de éste (Chang y Turner, 2019). Comprender los patrones y las tasas de sucesión es fundamental para determinar si la recuperación del ambiente sigue una trayectoria particular después del disturbio, aunado a que el entendimiento de los mecanismos que ocurren durante la sucesión es indispensable para comprender las respuestas al cambio climático, a la fragmentación del hábitat y a la restauración ecológica. Sin embargo, existen pocas oportunidades para comparar experimentalmente las tasas de recuperación *in situ* y en comunidades a gran escala (Chang y Turner, 2019).

2. LOS SUELOS SALINOS Y LA SUCESIÓN VEGETAL

De forma natural todos los suelos presentan una cierta cantidad de sales (conductividad eléctrica <4 dS/m; pH <8 ; sodio intercambiable $<15\%$), principalmente cloruros y sulfatos de calcio, magnesio, potasio y sodio. Sin embargo, cuando éstas se encuentran en exceso limitan el crecimiento de la vegetación, lo cual repercute en la calidad del suelo y en la salud de los ecosistemas. En condiciones naturales las sales se originan por intemperismo de las rocas, por lo que la salinización puede ser un proceso lento que abarque cientos a millones de años. Sin embargo, actividades como la agricultura o el cambio de uso de suelo han provocado la expansión y aceleración de la salinización a causa de actividades como el riego con agua residual, el abuso de agroquímicos y la sobreexplotación de mantos freáticos (Brady y Weil, 2002).

Los suelos afectados por sales se clasifican en a) salinos con >4 dS/m, pH <8 y sodio intercambiable $<15\%$; b) sódicos con <4 dS/m, pH >8 y sodio intercambiable $>15\%$; c) salino-sódicos con >4 dS/m, pH >8 y sodio intercambiable $>15\%$. En su mayoría se concentran en las zonas subtropicales de Medio Oriente, Australia, América y África (figura 1). La extensión global se calcula en 1 128 Mha, siendo el Medio Oriente y Australia las regiones con mayores problemas (Wicke *et al.*, 2011). En México, la superficie nacional afectada por sales asciende a cerca de 1 065 000 ha (SEMARNAT, 2013). Sin embargo, la información oficial no es actual y es posible que la extensión nacional y mundial sea mayor.

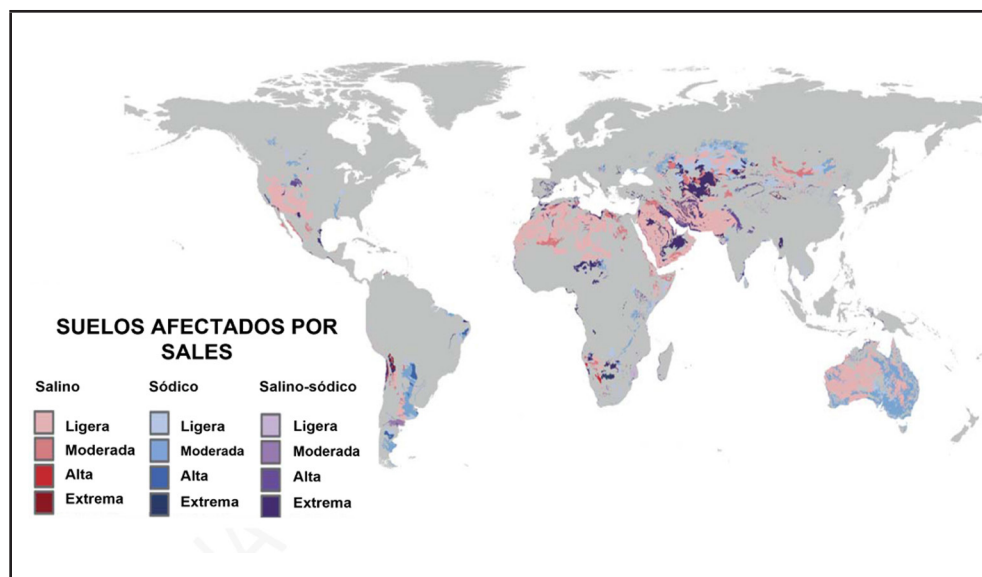


FIGURA 1

Suelos afectados por sales, agrupados por tipo y severidad de la afectación

Fuente: Wicke *et al.*, 2011.

El aumento de la concentración de sales tiene efectos adversos sobre la porosidad, el almacenamiento del agua y la cantidad de materia orgánica del suelo, condiciones que afectan la disponibilidad de aire, agua y nutrientes para la vegetación, lo cual a su vez repercute en el crecimiento, la reproducción y otros procesos fisiológicos y ecológicos al inducir estrés y desequilibrio iónico. Todo en su conjunto cambia la distribución, composición y diversidad de la vegetación en el corto y mediano plazo (Brady y Weil, 2002; Zhao *et al.*, 2022).

En los sistemas con suelos salinos existe por lo general una alta variabilidad espacial y temporal en la distribución de la sal. Esta salinización y desalinización se considera como un disturbio recurrente en el sistema, dado que solo especies tolerantes a la salinidad se establecerán y crecerán. La incidencia irregular de este disturbio ocasionaría cambios significativos en la dinámica de la vegetación, los cuales serían analizados bajo la óptica de la sucesión. Además, puede haber intercambios continuos entre procesos sucesionales progresivos (prospectivos) y regresivos (retrospectivos) (Fernández-Buces, 2006; Schulze *et al.*, 2019).

La sucesión progresiva o prospectiva se presenta cuando un sitio es colonizado de forma gradual por especies poco tolerantes a la salinidad conforme se reduce la concentración de sales en el suelo. Esto conduce a tener estadios más complejos, con más especies, mayor biomasa y mayor productividad. Por el contrario, la sucesión regresiva o retrospectiva ocurre, en este caso específico, cuando se pierden especies poco tolerantes a la salinidad y cambia la comunidad (entrada de plantas halófitas) conforme se saliniza el suelo, es decir, hay regresiones en las tendencias de desarrollo de la sucesión (Fernández-Buces, 2006; Schulze *et al.*, 2019).

3. TEXCOCO COMO EJEMPLO DE SUCESIÓN

El exlago de Texcoco es parte de la cuenca del Valle de México y se localiza en el Estado de México (figura 2). Tiene una superficie aproximada de 14 500 ha y la mayoría de los suelos son extremadamente salinos-sódicos (>100 dS/m, pH entre 8 y 10, sodio intercambiable $>30\%$). La principal fuente de salinidad proviene del acuífero subsuperficial (aproximadamente a 30 cm de profundidad), de donde las sales (NaCl y Na_2CO_3) ascienden por capilaridad y precipitan formando costras en la superficie del suelo (Fernández-Buces *et al.*, 2006; Cruickshank, 2007).

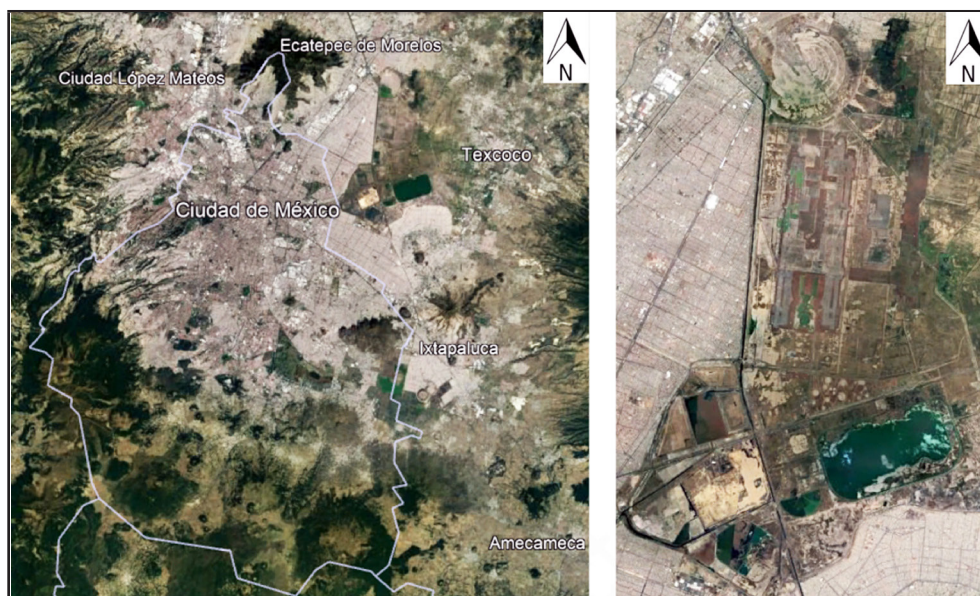


FIGURA 2

a) Localización del exlago de Texcoco y b) Polígono correspondiente al exlago

Fuente: imágenes tomadas de Google Earth (julio de 2023).

Respecto a la comunidad vegetal, existen zonas sin vegetación y zonas con pastizales. En las zonas con vegetación predominan las plantas herbáceas en una comunidad de halófitas, representadas sobre todo por *Distichlis spicata*, una especie extremadamente tolerante a la salinidad (SRH, 1971; Cruickshank, 2007; Chávez-García, 2022). En este sitio, Fernández-Buces *et al.* (2006) han descrito la existencia de un proceso de sucesión ecológica asociado a la colonización de sitios sin vegetación debido a la modificación de la salinidad del suelo que se describe a continuación.

En los suelos desnudos incursionan unas cuantas especies pioneras como *D. spicata* y *Suaeda torreyana*, ambas con capacidad de soportar valores extremos de salinidad (>70 dS/m, sodio intercambiable $>80\%$) (figura 3). Estas especies, al mismo tiempo que toleran la salinidad extrema del sitio, son capaces de reducir la concentración de sales del suelo en la zona aledaña a las raíces. Lo anterior es posible gracias a procesos que encapsulan o excretan las sales y mediante el aporte de materia orgánica al suelo que mejora las condiciones del sitio y permite el establecimiento de otras especies.



FIGURA 3

Suaeda torreyana rodeada de costras de sal en suelos del exlago de Texcoco

Fuente: fotografía tomada por E. Chávez-García (enero de 2011).

Conforme la salinidad se reduce (40-70 dS/m, sodio intercambiable >50-80%), especies como *Suaeda torreyana* dejan de mostrar un desempeño óptimo (disminución en el número de individuos y en la talla de los organismos) y empiezan a reducir su presencia en el sistema permitiendo o facilitando el establecimiento de otras asociaciones de plantas herbáceas con especies como *Chenopodium album*, *Bidens odorata* y *Simpisia amplexicaulis*. Cuando los niveles de sales son inferiores a los 40 dS/m y el sodio intercambiable es < 45%, esta segunda etapa es remplazada por otra asociación de herbáceas como *Sonchus oleraceus*, *Taraxacum officinale* y otras hierbas halófitas (*Brassica campestris*, *Buteloua simples*, *Conyza sophiifolia*, *Eragrostis obtusiflora*, *Haplopappus venetus*, *Sesuvium portulacastrum* y *Gnaphalium conoideum*). La fisonomía de la comunidad vuelve a cambiar en el último estadio de la comunidad (<25 dS/m, sodio intercambiable <10%), conformado principalmente por las herbáceas *Hordeum jubatum* y *Taraxacum officinale* (Fernández-Buces *et al.*, 2006).

Estas asociaciones se considerarían etapas de un proceso de sucesión en comunidades afectadas por sales, en donde una etapa es prácticamente reemplazada por la siguiente al decrecer la salinidad (con excepción de *D. spicata*, presente en un amplio gradiente de concentración de sales). Sin embargo, aunque la salinidad del suelo juega un papel fundamental en la determinación de la cobertura vegetal, otras propiedades del suelo como la profundidad a la fuente de sales, el pH o la textura también lo son en este sitio, lo cual es lógico, ya que todas están relacionadas con el movimiento de las sales en el suelo y se ve afectado el desarrollo de las especies en función de su tolerancia (Fernández-Buces *et al.*, 2006).

Se han descrito procesos sucesionales en zonas con suelos afectados por sales de otras regiones del mundo, en particular en zonas costeras (Zhang *et al.*, 2007; Bai *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2022). Sin embargo, las concentraciones de sales suelen ser bajas (<10 dS/m, pH <9, sodio intercambiable <30%) comparadas con las del exlago de Texcoco, por lo que la dinámica de la comunidad de halófitas del exlago se considera única para estudiar cuestiones de desarrollo ecosistémico y de restauración ecológica en suelos altamente salinos dentro de cuencas cerradas.

4. ¿Y ESTO CÓMO INFLUYE EN LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS SALINOS?

La salinidad es una de las más graves amenazas para las actividades agrícolas y el ambiente. En consecuencia, la recuperación de suelos afectados por sales es primordial no solo para mantener la productividad de cultivos de importancia económica y alimenticia, sino también para evitar problemas de desertificación, de contaminación ambiental y de salud pública alrededor del mundo (Brady y Weil, 2002).

Entre los métodos de recuperación de suelos salinos, una práctica común es la introducción de plantas halófitas. Esto ha mostrado tener ventajas como la disminución de la erosión, el aporte de materia orgánica y nutrientes y el incremento de la porosidad y de la retención de humedad en el suelo (Cruickshank, 2007; Jesús *et al.*, 2015). En razón de que la cantidad de sales resulta extrema para muchas especies halófitas, en algunos proyectos de recuperación se ha optado por usar especies exóticas. Es decir, intencionalmente se introducen especies ajenas a los sitios de trabajo cuando la vegetación nativa ya no es capaz de crecer por la alta degradación del suelo. Un ejemplo es el proyecto Plan Lago de Texcoco, que comenzó en los años setenta del siglo pasado en el exlago de Texcoco. En este sitio se llevaron a cabo diversos intentos por establecer cortinas rompevientos y cubiertas vegetales que protegieran al suelo contra la erosión del viento. Sin embargo, las condiciones de extrema salinidad limitaron las opciones de especies nativas que se desarrollaron con éxito. Por ende, en algunos sitios se optó por plantar especies exóticas de géneros como *Tamarix*, *Kochia* y *Casuarina* (SRH, 1971; Cruickshank, 2007).

Conforme avanzan los procesos de desalinización, la proporción de plantas exóticas y nativas se modifica debido a que, como se mencionó, la concentración de sales, incluso en cantidades bajas, es un factor de estrés que determina la dinámica vegetal en tiempos y espacios relativamente cortos (Chávez-García, 2019). Asimismo, se ha observado que la simple disminución de la salinidad, por efecto del uso de métodos físicos y químicos de recuperación del suelo, facilita la llegada de vegetación nueva y abre la entrada a especies exóticas que pudieran

comportarse como invasoras (Tejada *et al.*, 2006; Córdova *et al.*, 2011; Chávez-García, 2019). Lo anterior implica reconocer y monitorear a este tipo de especies, si se considera que desplazarían a especies clave dentro del proceso de sucesión natural (Martínez, 1996).

Otra cuestión relevante es la identificación de especies nativas potenciales para la desalinización de los suelos. Esta estrategia resulta ser muy eficiente y de bajo costo comparada con el uso de mejoradores químicos que pretenden disminuir el pH y la cantidad de sales del suelo (Jesus *et al.*, 2015). Al respecto, varias halófitas, incluidos pastos, arbustos y árboles son capaces de eliminar la sal mediante la excreción o acumulación en sus tejidos. Además, las raíces pueden aumentar la disolución de la calcita del suelo (CaCO_3), lo cual libera calcio que hace posible reemplazar al sodio y de esta manera sacarlo del sistema (Brady y Weil, 2002). Estos métodos de desalinización del suelo se facilitarían al seleccionar plantas de acuerdo con las condiciones del sitio, emplear aportes de fertilizantes y agua para mejorar el crecimiento vegetal y cosechar las plantas con regularidad. Al respecto, ciertas halófitas han probado ser adecuadas como cultivos de hortalizas, forrajes y semillas oleaginosas (en el caso de suelos para uso agrícola); por consiguiente, podrían utilizarse para la alimentación animal y humana en zonas propensas a la salinidad (Jesus *et al.*, 2015).

PROSPECTIVA

La sucesión ecológica es la base de la teoría ecológica y de la restauración de zonas degradadas, puesto que la sucesión comprende conceptos y procesos ecológicos en los cuales se basa la restauración. La restauración, por su parte, es el manejo de los ecosistemas con base en cierta capacidad predictiva para llegar a un hábitat con características y funciones deseadas (Martínez, 1996; Sabattini y Sabattini, 2018). En este sentido, entender la naturaleza del cambio en la estructura y composición de la vegetación es un indicador útil para planificar y dirigir acciones de restauración y para frenar la degradación de los ecosistemas.

No obstante, la mayoría de los estudios sobre el tema han sido desarrollados en sistemas templados, siendo escasa la literatura respecto a otros sitios como las zonas áridas y en especial las áreas afectadas por salinidad. Sin embargo, estos lugares se consideran como laboratorios *in situ*, ya que el disturbio por salinidad o cambio en la concentración de sales ocurre en espacios y tiempos muy cortos. Es decir, existiría una dinámica de cambio mucho mayor que en otras zonas que requieren miles de años para que una comunidad sea reemplazada por otra (Chang y Turner, 2019; Schulze *et al.*, 2019; Chapin *et al.*, 2022).

Comprender los mecanismos de reemplazo vegetal de los suelos salinos ayuda a prevenir la degradación de estos sitios, ya que las halófitas son altamente sensibles a los cambios en las propiedades del suelo y del ambiente (Fernández-Buces, 2006; Taiz y Zeiger, 2006; Wang *et al.*, 2023). Es decir, las plantas sirven para conocer variables edáficas como el pH y la salinidad, ya sea por observación directa en campo o mediante sensores remotos (Fernández-Buces, 2006). Asimismo, la formación de asociaciones vegetales también podría predecirse a partir de las variables del suelo. Esto implica que los tipos de comunidades vegetales se usen como un indicador del grado de degradación o de recuperación del sitio (Zhao *et al.*, 2017). De esta manera, el cambio de asociaciones vegetales contribuye a planificar y dirigir acciones de remediación. Esto es de suma importancia dado el grado de alteración que los ecosistemas terrestres están sufriendo y la elevada salinización de los suelos en México y en el resto del mundo.

En el caso de los suelos afectados por sales, el pH, la cantidad de sales y la disponibilidad de nitrógeno son algunas de las principales variables que definen la calidad del suelo y, por ende, la distribución y reemplazo de las asociaciones de plantas sobre estos (Fernández-Buces, 2006; Bai *et al.*, 2015; Zhao *et al.*, 2022). Sin embargo, no son las únicas variables del sistema que van a definir la distribución y reemplazo de la vegetación. Si se observa a detalle, otros factores abióticos afectan la distribución de las plantas y sus procesos ecológicos relacionados con el suelo. Por ejemplo, la posición en el relieve, la geología, la precipitación, la evaporación y la intervención humana alteran la disponibilidad de agua para el crecimiento vegetal y dictan el movimiento de la sal en los suelos (Zhao *et al.*, 2017; Chávez-García, 2019).

Además, el análisis de una o pocas variables de relevancia para la sucesión es una representación simplificada del ambiente. Para comprender mejor cómo se produce el reemplazo de una etapa por otra, es necesario analizar el efecto en conjunto de los diversos factores que constituyen el sistema y combinar la manipulación experimental con el seguimiento a largo plazo *in situ*. El uso de métodos que admitan conjuntar diversas variables al mismo tiempo garantizará elegir los mejores indicadores ambientales (Fernández-Buces, 2006).

Las técnicas y análisis de datos han mejorado la comprensión de la sucesión y han brindado perspectivas novedosas sobre la dinámica de la vegetación mediante análisis moleculares, medición de sus rasgos funcionales y aplicación de modelos nulos (Vilchis, 2000; Chang y Turner, 2019). Este escenario proporciona una visión única de los mecanismos que impulsan los patrones de sucesión, lo cual permitiría que la teoría de la sucesión se utilice en cuestiones prácticas como la conservación y la restauración ecológica (Chang y Turner, 2019).

CONCLUSIONES

La sucesión ecológica es el marco teórico que sustenta muchos aspectos de la ecología y en especial de la restauración ecológica (Sabattini y Sabattini, 2018). Sin embargo, aún faltan sitios y procesos por entender. Estos estudios son necesarios porque brindan información sobre la estructura de los ecosistemas y las comunidades (p. ej. interacciones bióticas) en diferentes etapas y escalas (espaciales y temporales) de la sucesión.

Comprender cómo difieren los patrones de sucesión a lo largo de un gradiente de perturbación proporciona claves importantes sobre cómo los disturbios influyen en las trayectorias de los ecosistemas y sus tasas de recuperación. Un ejemplo de ello son los ambientes áridos donde la salinidad del suelo exige mecanismos de adaptación especializados. Bajo estas condiciones, la sucesión vegetal es más evidente que en regiones templadas o tropicales, ya que en apariencia el proceso sucesional ocurre en tiempos y espacios cortos, tal como en el exlago de Texcoco. En este sitio, el efecto de la salinidad en el suelo se infiere a través del desempeño de la vegetación, el cual se ve reflejado como cambios en la dominancia de cada especie (Fernández-Buces, 2006).

Considerando un posible aumento de la aridez y de la salinización de los suelos asociado a las fluctuaciones del clima y a la actividad humana, el reemplazo vegetal será cada vez más frecuente. Por lo tanto, los estudios de sucesión en suelos salinos ayudan a comprender cómo responden estos ecosistemas al cambio global y humano, aunque es probable que las futuras trayectorias de sucesión difieran de las que predominan en la actualidad debido a que las actividades humanas afectan fuertemente tanto el entorno posterior al disturbio como la disponibilidad de propágulos y la entrada de especies potencialmente invasoras.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a los revisores anónimos, quienes con su trabajo y dedicación contribuyeron a enriquecer este documento.

REFERENCIAS

- Aguilar-Garavito, M., y Ramírez, W. (2015). *El monitoreo del suelo en los procesos de restauración ecológica: indicadores, cuantificadores y métodos*. Bogotá D. C.: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Bai, Z., Gao, Y., Xing, F., Sun, S., Jiao, D., Wei, X., & Mu, C. (2015). Responses of two contrasting saline-alkaline grassland communities to nitrogen addition during early secondary succession. *Journal of Vegetation Science*, 26, 686-696. <https://doi.org/10.1111/jvs.12282>
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2002). *The nature and properties of soils*. New Jersey: Prentice Hall.

- Chang, C. C., & Turner, B. L. (2019). Ecological succession in a changing world. *Journal of Ecology*, 107, 503-509. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13132>
- Chapin, F. S., Matson, P. A., & Vitousek, P. M. (2022). *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. New York: Springer.
- Chávez-García, E. (2022). *Distichlis spicata*: una planta para la sal del suelo. Desde el Herbario CICY, 14, 206-211. https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/Desde_Herbario/2022/2022-09-29-Chavez-Elizabeth_Distichlis_spicata.pdf
- Chávez-García, E. (2019). *Rehabilitación de suelos salino-sódicos para el establecimiento de una cobertura vegetal en el ex Lago de Texcoco* (tesis de doctorado). Ciudad de México: UNAM.
- Córdova, S., Neaman, A., González, I., Ginocchio, R., & Fine, P. (2011). The effect of lime and compost amendments on the potential for the revegetation of metal-polluted, acidic soils. *Geoderma*, 166, 135-144. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.07.022>
- Cruickshank, G. (2007). *Proyecto lago de Texcoco: rescate hidroecológico*. Ciudad de México: CONAGUA-SEMARNAT.
- Fernández-Buces, N. (2006). *Variabilidad espacial de la salinidad y su efecto en la vegetación en el ex Lago de Texcoco: implicaciones para su monitoreo por percepción remota* (tesis de doctorado). UNAM. <https://tesiunam.dgb.unam.mx/>
- Jesus, J. M., Danko, A. S., Fiúza, A., & Borges, M.-T. (2015). Phytoremediation of salt-affected soils: a review of processes, applicability, and the impact of climate change. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 6511-6525. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4205-4>
- Li, J., Chen, H., Guo, K., Li, W., Feng, X., & Liu, X. (2021). Changes in soil properties induced by pioneer vegetation patches in coastal ecosystem. *Catena*, 204, 105393. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105393>
- Martínez, E. (1996). La restauración ecológica. *Ciencias*, 43, 56-61.
- Sabattini, J. A., & Sabattini, R. A. (2018). Sucesión vegetal y restauración ecológica. *Revista Científica Agropecuaria*, 22(1-2), 31-53.
- Schulze, E.-D., Beck, E., Buchmann, N., Clemens, S., Müller-Hohenstein, K., & Scherer-Lorenzen, M. (2019). *Plant Ecology*. Germany: Springer.
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012*. México: SEMARNAT.
- SRH (Secretaría de Recursos Hidráulicos). (1971). *Estudio Agrológico Especial del ex Lago de Texcoco, Estado de México*. Serie de estudios No. 2. México: Dirección General de Irrigación y Control de Ríos.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología vegetal*. Castellón de la Plana: Universitat Jaume.
- Tejada, M., Garcia, C., Gonzalez, J. L., & Hernandez, M. T. (2006). Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, 1413-1421. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2005.10.017>
- Vilchis, O. M. (2000). Modelos nulos en interacciones biológicas, una propuesta: depredación en *Chirostoma riojai*-zooplankton. *CIENCIA ergo-sum*, 7(2). <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7596>
- Wang, S., Wang, X., & Cao, W. (2023). Fertile island soils promote the restoration of shrub patches in burned areas in arid saline land. *Fire*, 6(341). <https://doi.org/10.3390/fire6090341>
- Wicke, B., Smeets, E., Dornburg, V., Vashev, B., Gaiser, T., Turkenburg, W., & Faaij, A. (2011). The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. *Environmental Science*, 4, 2669-2681.

- Zhang, G., Wang, R., & Song, B. (2007). Plant community succession in modern Yellow River Delta, China. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 8(8), 540-548.
- Zhao, X., Zhu, H., Dong, K., & Li, D. (2017). Plant community and succession in lowland grasslands under saline-alkali conditions with grazing exclusion. *Journal Agronomy*, 109(4), 2428-2437. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.12.0734>
- Zhao, Y., Wang, G., Zhao, M., Wang, M., Liu, B., & Jiang, M. (2022). How soil salinization and alkalinization drive vegetation change in salt-affected inland wetlands. *Plant Soil*, 480: 571-581. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05600-4>



Disponible en: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/21780>

Cómo citar el artículo:

Chávez-García, E. (2025). De sucesión y restauración ecológica: dinámica vegetal bajo diferentes grados de salinidad. *CIENCIA ergo-sum*, 32. <https://doi.org/10.30878/ces.v32n0a29>

DOI: <https://doi.org/10.30878/ces.v32n0a29>



Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Declaración de autoría (CRediT):

Elizabeth Chávez-García: conceptualización, investigación, visualización, redacción-revisión y edición.