Influencia de la materia orgánica y de las arcillas en la estabilidad estructural del suelo en el Bosque del Centinela, Municipio de Zapopan, Estado de Jalisco

Influence of organic matter and clays on soil structural stability in the Centinela Forest, municipality of Zapopan, Jalisco

Martín Vargas Inclán[a], Guadalupe Quezada Chico[b], Raúl Acevedo Rosas[c] y Jonathan Eduardo Velázquez González[d]

Resumen / *Abstract*

El estudio aborda la influencia de la materia orgánica y el contenido de arcilla en la estabilidad estructural del suelo en el Bosque del Centinela, ubicado en Zapopan, Jalisco. Se recolectaron muestras de suelo de diferentes áreas del bosque, considerando zonas con alta y baja cobertura vegetal. Se realizaron análisis físicos, químicos y biológicos para evaluar las propiedades del suelo, como textura, densidad aparente, materia orgánica y estabilidad de los agregados. La estabilidad del suelo varía según la cobertura vegetal. Áreas con vegetación arbórea o pastizal muestran mayor estabilidad debido a la cohesión proporcionada por las raíces, mientras que zonas sin vegetación presentan suelos más frágiles y susceptibles a la erosión. El tipo de suelo predominante es el regosol, caracterizado por un bajo contenido de materia orgánica y pobre desarrollo estructural. En menor medida, se encuentra el phaozems, más rico en materia orgánica y con mejor estabilidad. La materia orgánica y las arcillas son fundamentales para la formación y estabilidad de los agregados del suelo. Su ausencia dificulta la cohesión de partículas minerales como arena y limo, aumentando el riesgo de erosión.

Palabras clave: materia orgánica, arcillas, estabilidad.

[a.] El Profesor Vargas Inclán tiene un Grado de Maestría en Desarrollo Local y Territorio. Académico adscrito al Departamento de Geografía y Ordenación Territorial en el Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, CUCSH, Universidad de Guadalajara. Orcid: https://orcid.org/0000-0002-1183-2326 . Correo electrónico: martin.vinclan@academicos.udg.mx

[b.] El Profesor Quezada Chico es Profesor Investigador adscrito al Departamento de Geografía y Ordenación Territorial del Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, CUCSH, de la Universidad de Guadalajara. Orcid: https://orcid.org/0009-0003-9259-4167. Correo electrónico: Guadalupe.quezada@academicos.udg.mx

[c.] El Dr. Acevedo Rosas es biólogo con Doctorado en Ciencias (sistemática). Profesor Investigador con responsabilidad en las materias de biogeografía y fitogeografía en el Departamento de Geografía y Ordenación Territorial en el Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, CUCSH, de la Universidad de Guadalajara. Orcid iD 0000-0002-6911-7915. Correo electrónico: raul.acevedo@academicos.udg.mx

[d.] Estudiante de Geografía Velázquez González, cursa actualmente el séptimo semestre de la licenciatura de Geografía en el Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, CUCSH, de la Universidad de Guadalajara.

This work shows the characteristics and operation of a two-chamber dry composting toilet, as an alternative to the water crisis and with the purpose of mitigating the effects of contamination by excreta and urine in "conventional" toilets. It also considers and gathers aspects that must be taken into account to elaborate it, gathering characteristics that allow having an adequate chamber toilet, considering materials, dimensions and steps that must be followed for an efficient use and good operation, showing the feasibility of its implementation in daily life.

***Key words**: sanitation, compost, organic, toilet, ecological, health, water, microorganisms.*

Introducción

La estabilidad estructural del suelo es un factor determinante para la conservación de los ecosistemas, ya que influye directamente en procesos esenciales como la infiltración de agua, la aireación, la resistencia a la erosión y la productividad biológica. Entre los componentes que más inciden en dicha estabilidad destacan la materia orgánica y las arcillas, cuya interacción favorece la formación de agregados que confieren cohesión y resiliencia al suelo. Sin embargo, la ausencia o el bajo contenido de estos elementos incrementa la fragilidad estructural, lo que hace a los suelos más vulnerables a la degradación.

El Bosque del Centinela, localizado en el municipio de Zapopan, Jalisco, constituye un espacio natural de gran valor ecológico y social, pero enfrenta presiones derivadas de la expansión urbana y del uso intensivo con fines recreativos. En este contexto, comprender la relación entre la materia orgánica, las arcillas y la estabilidad estructural del suelo se vuelve fundamental para diseñar estrategias de conservación y manejo sustentable.

El presente estudio analiza cómo la cobertura vegetal, el contenido de materia orgánica y la proporción de arcillas influyen en la estabilidad de los suelos del Bosque del Centinela. A través de observaciones de campo y análisis fisicoquímicos, se busca aportar evidencia que permita entender la dinámica edáfica del área y resaltar la importancia de mantener una cobertura vegetal adecuada para preservar la integridad del ecosistema.

Levantamiento de información en el área de estudio

La información estuvo relacionada con la recolección de muestras de suelo, con el objetivo de realizar su análisis físico-químico y biológico tanto en campo como en el laboratorio, así como tomar fotografías de diferentes puntos del área de estudio; Esta información fue de gran utilidad para terminar la investigación sobre la influencia que tiene la materia orgánica y el contenido de arcilla en la estabilidad de los agregados del suelo. La intención de conocer los porcentajes tanto de materia orgánica como de arcilla fue para demostrar o rechazar la hipótesis de que la ausencia o la presencia de estos dos componentes son solo una de las causas de que se origine o haya pérdida de cohesión del resto de las partículas minerales (arena y limo) que lo componen.

Para la toma de muestras se hicieron recorridos por el bosque para ubicar puntos con menor y mayor cobertura vegetal; se analizaron 5 puntos de los cuales se recogieron muestras de suelo, tres fueron tomadas de zonas con cobertura y dos de áreas sin vegetación; previamente se hizo una caracterizaron en cada uno de los puntos, se determinó la textura, materia orgánica, densidad y color. Las observaciones y determinaciones que se realizaron en campo arrojaron datos que permitieron pronosticar los resultados que se esperaban al terminar la investigación.

Características físicas del área de estudio

El bosque del Centinela se localiza en la parte norte de la cabecera municipal de Zapopan, Jalisco, es un lugar de recreación y dispersión de la población que habita esta zona de la ciudad de Zapopan, el área que se estudia tiene una superficie de aproximadamente 200 ha; su topografía está compuesta por lomeríos de mediana altura, con pendientes de 2 a 5° de inclinación, suficiente para que el agua de las precipitaciones se mueva libremente sobre la superficie o se infiltre con rapidez.

En todo el polígono, la cobertura vegetal no es homogénea, existen zonas con nula, baja y alta densidad de población; en las áreas con mayor vegetación domina la de tipo arbórea con especies nativas como el encino, el pino y secundaria, también se observan especies inducidas las cuales cubren una zona muy específica, destacando los eucaliptus y las casuarinas. De acuerdo con Girbau y Josa (1989), la medida de la estabilidad de la estructura de un suelo tiene un valor globalizador, donde se reúnen los efectos derivados de la textura (fracción arcilla), composición de la fracción orgánica que deriva de los aportes de la vegetación, complejo de cambio catiónico, así como el historial hídrico reciente de cada suelo.

En las áreas con baja densidad o nula vegetación arbórea, el suelo está cubierto por pastizal y maleza secundaria; mientras que en otros sitios en donde es nula la existencia de cobertura, el suelo presenta mayor fragilidad y vulnerabilidad a la erosión eólica pero principalmente a la hídrica. El crecimiento de hierbas perenes se asocia con un incremento en la estabilidad de agregados, independientemente de que el suelo este húmedo o seco (Reid y Goss, 1981) citado en (Castillo, Navia, Menjivar, 2007)

Según la carta edafológica de San Francisco Tesistán F-13-D-55, escala 1:50,000 del instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1973) los tipos de suelos en el área de estudio son el Phaozems y Regosol. Sin embargo, el suelo dominante es el regosol también llamado residual, el cual se observa en un poco más de la mitad del área del Bosque, con un perfil AC formado por material mineral no consolidado y un horizonte de diagnóstico superficial ócrico pobre en materia orgánica (IIGJ, 2021). Presenta una baja estabilidad de las partículas minerales debido al muy bajo contenido de arcillas en la matriz, al pobre desarrollo de la estructura y el escaso contenido de materia orgánica en todo el perfil; por lo que es aún más susceptible a la erosión.

En segundo lugar es el Phaozems por la superficie que ocupa; es rica en materia orgánica, del griego “Phaios” pardo oscuro, presenta principalmente un perfil AhBC con un horizonte superficial mólico delgado sobre un horizonte B subsuperficial que puede ser Cámbico o Árgico (de acumulación de arcillas) (INEGI, 1973). Se desarrolla en un clima suficientemente húmedo con una estación seca muy marcada, condiciones necesarias para que ocurra la translocación (eluviación e iluviación) de arcillas al horizonte subsuperficial.

En cuanto a los agregados, estos presentan diferentes niveles de estabilidad, desde muy pobre hasta buena, esto se debe principalmente a que en algunas zonas del bosque, gran parte las raíces de la vegetación que cubre el suelo mantienen unidas a las partículas minerales con fuerza suficiente que reduce su desagregación, mientras que en los sitios con nula o poca vegetación es más evidente la baja cohesividad de las partículas. Sin embargo, en las áreas con vegetación principalmente con pastizal, el suelo es más estable, debido a que se observa una mayor agregación de las partículas del suelo, todo se debe principalmente a que el denso sistema radicular del pasto las retiene con bastante fuerza evitando de esta forma su dispersión y posterior remosión por el impacto de las gotas de agua en la temporada de lluvias (Figura 1).

Dado que en otros sitios no se observa este escenario, debido a que la vegetación ha desaparecido por completo, esto sin considerar que la textura del suelo es franco-arenosa, se genera un pobre desarrollo estructural y con ello, un mayor riesgo de que el suelo este expuesto a la erosión y a la pérdida de este de forma definitiva si no se le da un manejo adecuado.

Figura 1. Alta estabilidad del suelo

Fuente: archivo fotográfico de los coautores.

Figura 2. Área sureste del bosque con cobertura vegetal secundaria (pastizal)

Fuente: archivo fotográfico de los coautores.

Metodología

Para realizar la presente investigación, el área del bosque se dividió en tres zonas: una con cubierta vegetal de tipo arbóreo, otra con cubierta vegetal herbácea (pastizal) y la tercera sin cubierta vegetal; con el propósito de observar los aportes de materia orgánica de cada uno de los tipos de vegetación y desarrollo de la estructura. Para conseguir los objetivos se caracterizaron 5 puntos y posteriormente se tomaron las muestras de los primeros 20 cm de profundidad del horizonte superficial del suelo, debido a que este es el más expuesto al impacto de las gotas de lluvia y por lo tanto es el más frágil a la erosión hídrica; durante la recolección de muestras se evaluó en cada punto la textura, el color del suelo, contenido de materia orgánica, la estructura (forma de los agregados, arreglo espacial, tamaño y grado) y la densidad aparente. Posteriormente se llevaron las muestras laboratorio para ser secadas al aire libre. La idea era que una vez secas las muestras se les determinaran el contenido de materia orgánica con el método de Wallkey y Black y la textura con el método de Bouyucos. El siguiente paso era evaluar la estabilidad de la estructura con el método directo de Yoder modificado, el cual se basa en el tamizado en húmedo de los agregados del suelo y que consiste en determinar el porcentaje de agregados estables al agua, al someter muestras de agregados entre 2 y 4 mm de diámetro equivalente, secos al aire, a movimientos ascendentes y descendentes en un agitador mecánico, utilizando un juego de tamices con apertura de malla de 2mm, 1mm, 0,5mm y 0,25mm y finalmente reportar los resultados en porcentaje incluyendo la corrección por arenas; sin embargo no fue posible realizar ninguna de las determinaciones en el laboratorio debido a que aún no hay espacio físico para instalar los aparatos con los que se harían las determinaciones. Por las circunstancias descritas anteriormente, solo se consideraron los resultados obtenidos en campo para valorar la estabilidad de los agregados.

Resultados

En zona ubicada en la parte noreste del área de estudio se tomaron dos muestras y se determinó en ambos sitios algunas propiedades físicas y biológicas (figura 3). En cada uno de los puntos de muestreo se determinó la textura manualmente y resulto ser una clase franco arenosa, en cuanto a la formación de agregados fue pobre y nula, esto significa que el desarrollo de la estructura es débil, por lo que no fue posible apreciar a simple vista ningún tipo o forma y tamaño de agregados; en ambos puntos se observó una similitud en la textura, la estructura, y la densidad aparente.

Figura 3. Toma de muestras de suelo en la zona noreste sin cobertura vegetal

Fuente: archivo fotográfico de los coautores.

También se estimó el contenido de materia orgánica hasta una profundidad de 20 cm el cual fue significativamente bajo, esta propiedad se infirió con el color del suelo que se determinó con las tablas Munsell, la notación fue 10YR 7/4, esta clave indica que el color es marrón muy pálido amarillento. Con la clase textural, la estructura y la estimación de la materia orgánica, también se obtuvo la densidad aparente la cual es considerada alta, en un rango de 1.5 a 1.8, indicando que las partículas minerales se encuentran de moderada a fuertemente compactadas, esta condición reduce la porosidad y afecta negativamente la estructura del suelo. En otras palabras, se trata de un suelo de textura gruesa, no estructurado y pobre en materia orgánica con un bajo grado de desarrollo estructural.

En la zona noreste con cobertura vegetal poco densa, la morfología del relieve es considera relativamente plana, permitiendo la actuación de los procesos pedogenéticos de una forma más dinámica (Figura 4). En esta parte del bosque se estimaron las propiedades físicas, biológicas y químicas del suelo teniendo como resultado una clase de textura franco arcillo arenosa desde la superficie hasta los 10 cm de profundidad, un bajo contenido de materia orgánica, una densidad aparente moderadamente alta y un color claro en seco.

Figura 4. Área noreste con moderada cobertura vegetal nativa (pinos)

Fuente: archivo fotográfico de los coautores.

Figura 5. Zona con moderada cobertura vegetal, con especies inducidas

Fuente: archivo fotográfico de los coautores.

En las zonas del centro y la parte noroeste del bosque las condiciones naturales presentan una marcada diferencia con respecto al área noreste que se encuentra en los límites con el área urbana la cual en el momento de ser caracterizada carecía de cobertura vegetal; mientras que en la parte noreste hacia el centro la vegetación es moderadamente más densa, con presencia de especies arbóreas inducidas de las llamadas exóticas como el eucaliptos y las casuarinas. Sin embargo, también se observa una importante diversidad de arbustos, matorrales y sotobosque bajo la vegetación arbórea. En estos sitios el relieve está dominado por lomeríos de moderada a fuerte inclinación, con valores de pendiente que oscilan entre 2 y 15% aproximadamente, llegando hasta 30% en algunos barrancos o cañadas.

En la zona noreste con vegetación hacia la parte central del bosque como se dijo en el párrafo anterior, el tipo de suelo sigue siendo un regosol el cual presenta un incipiente desarrollo, con un perfil A-C, con una profundidad de 45 cm y una textura franco arenosa en todo su espesor; en este suelo, crece vegetación de bosque inducido de especies exóticas como los eucaliptus y casuarinas con algunos elementos nativos de pinos. Su densidad es baja, con un amplio espacio entre la copa de cada árbol, el cual está ocupado principalmente por herbáceas, tipo gramíneas (Figura 6).

Figura 6. Vegetación herbácea

Fuente: archivo fotográfico de los coautores.

Los resultados obtenidos son solo una forma de explicar la realidad que se observa directamente en campo, con una ligera diferencia con respecto a la precisión que se obtiene con los análisis físico-químicos hechos en el laboratorio. Con los resultados que arrojó la determinación de la textura y el contenido de materia orgánica en campo, es posible deducir que las condiciones naturales de esta zona no favorecen el desarrollado del suelo, debido a que su evolución está estrechamente relacionada con el crecimiento de la vegetación.

La naturaleza y las características del área de estudio ya mencionadas (incipiente cobertura vegetal principalmente de pinos) aporta pocos residuos al suelo con la consecuente escasez de materia orgánica (humus) y la no expresión de los procesos pedogenéticos han dado lugar a suelos pobremente desarrollados en la mayor parte del área, sin embargo, en las áreas sin vegetación la lenta evolución del suelo es más acentuada, esta se manifiesta con la baja formación de arcillas en todo el perfil, tal como se demuestra en su textura que es franco arenosa; la falta de materia orgánica y arcilla no permite la agregación de las demás partículas minerales de arena y limo, dando como resultado la no formación de estructura y por lo tanto una muy débil estabilidad del suelo.

Conclusiones

El suelo del Bosque del Centinela está compuesto por diversos tipos de materiales orgánicos e inorgánicos que influyen en su estabilidad en unas zonas y en otras, y a la inestabilidad por la falta de cobertura vegetal. Los estudios indican que la composición del suelo, incluyendo su contenido de materia orgánica, de arcillas, densidad aparente y pH son determinantes clave en la estabilidad estructural. La materia orgánica, en particular, juega un papel fundamental al mejorar la cohesión y la estructura del suelo, lo que a su vez afecta su capacidad para soportar cargas y resistir la erosión.

Las variaciones en la temperatura y la humedad afectan la descomposición de la materia orgánica y, por ende, la estabilidad del suelo. Durante períodos de alta humedad, la capacidad de retención de agua del suelo puede llevar a una disminución de la estabilidad, especialmente en suelos con alto contenido de arcilla. La cobertura vegetal es vital para la estabilidad del suelo. Las raíces de las plantas ayudan a anclar el suelo y prevenir la erosión. En el Bosque El Centinela, la diversidad de especies arbóreas contribuye a la resiliencia del suelo al proporcionar una estructura más compleja y estable.

El uso intensivo del bosque para actividades recreativas puede llevar a la compactación del suelo y la erosión. Es fundamental implementar medidas de conservación para mitigar estos impactos y mantener la estabilidad del suelo. La expansión urbana en áreas cercanas al bosque puede provocar cambios en el uso del suelo, lo que afecta negativamente la estabilidad estructural. La construcción de infraestructuras puede compactar el suelo y alterar su composición, reduciendo su capacidad para manejar el agua y aumentar el riesgo de deslizamientos.

La estabilidad estructural de los suelos en el Bosque El Centinela es un aspecto crítico que requiere atención y acción. La interacción entre factores naturales y antrópicos determina la salud y la resiliencia del ecosistema. A través de un manejo adecuado y la implementación de estrategias de conservación, es posible proteger y mejorar la estabilidad de estos suelos, asegurando la preservación de este importante recurso ecológico para las futuras generaciones.

Discusión

Los resultados obtenidos en el estudio del Bosque del Centinela demuestran que la materia orgánica y el contenido de arcilla desempeñan roles fundamentales en la estabilidad estructural del suelo. La comparación entre las zonas con y sin cobertura vegetal permite confirmar la hipótesis de que la presencia de materia orgánica y arcillas favorece la cohesión de partículas, mientras que su ausencia incrementa la susceptibilidad a la erosión.

En las zonas con cobertura vegetal densa, particularmente aquellas con pastizales y árboles nativos como pinos y encinos, se observó una mayor estabilidad de los agregados. Esto se debe al aporte constante de materia orgánica de las raíces y la biomasa, así como al soporte físico que brindan los sistemas radiculares al suelo. Estas observaciones coinciden con estudios previos (Reid y Goss, 1981; Castillo et al., 2007), que destacan la relación positiva entre la densidad radicular y la estabilidad de agregados, independientemente de las condiciones de humedad.

Por otro lado, en las áreas sin cobertura vegetal, el suelo presentó características franco-arenosas con baja capacidad de cohesión, debido a la escasez de materia orgánica y arcillas en la matriz. La alta densidad aparente y la compactación de estas zonas limitan la porosidad y afectan negativamente la infiltración de agua, aumentando el riesgo de erosión hídrica y eólica. Este hallazgo resalta la importancia de la vegetación no solo como fuente de materia orgánica, sino también como elemento protector frente a procesos erosivos.

El predominio de suelos regosoles en la región, caracterizados por su bajo contenido de materia orgánica y su incipiente desarrollo estructural, pone de manifiesto la necesidad de estrategias de manejo que favorezcan su evolución. Aunque los phaozems, con mayor contenido de materia orgánica, presentan mejores condiciones estructurales, su distribución limitada sugiere que los esfuerzos de conservación deben enfocarse en las áreas más vulnerables.

La interacción entre factores climáticos y antrópicos, como la expansión urbana y las actividades recreativas en el bosque, exacerba la degradación del suelo. La compactación por el tránsito humano y la remoción de vegetación contribuyen a la pérdida de estabilidad estructural, indicando la urgencia de implementar medidas de mitigación y restauración, como la reforestación con especies nativas y la construcción de barreras naturales contra la erosión.

En conclusión, este estudio subraya que la estabilidad del suelo en el Bosque del Centinela está estrechamente vinculada a la interacción de componentes orgánicos e inorgánicos, así como a la cobertura vegetal y las condiciones de manejo. La integración de prácticas de conservación ambiental y restauración del suelo es esencial para preservar este ecosistema frente a las presiones ambientales y humanas.

Estrategias o recomendaciones para mejorar la estabilidad del suelo

Para garantizar la estabilidad estructural de los suelos en el Bosque El Centinela, se deben considerar varias estrategias:

- Reforestación: Promover la plantación de especies nativas que ayuden a mejorar la estructura del suelo y aumentar su contenido de materia orgánica.

- Manejo de la Erosión: Implementar técnicas de control de erosión, como la construcción de terrazas y la instalación de barreras naturales que ayuden a reducir el escurrimiento del agua.
- Educación y Conciencia: Fomentar la educación ambiental entre los visitantes del bosque para minimizar el impacto de las actividades recreativas y promover prácticas sostenibles.

Referencias bibliográficas

Castillo, F. J. A.; Navia, E. J. F.; Menjivar, F.J.C. (2007). Estimación de la estabilidad estructural de dos suelos al sur de Colombia con diferentes tipos de manejo. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Colombia.

FAO (s/f). Estabilidad de los agregados del suelo: SLAKE TEST. Poster de referencia n. 4-7ª-10b-15ª. https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/GSP/GSDP/Field_exercises/New_Format_ES/P03-Aggregate-stability-ES.pdf

Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (2021). Zapopan: Diagnóstico Municipal. Gobierno del Estado de Jalisco. 9 p. https://iieg.gob.mx/ns/wpcontent/uploads/2021/10/Zapopan-1.pdf

INEGI (1973). Carta de edafología F-13- D- 55

Girbau, J. J. y Josa, R. M. (1989). Estabilidad estructural y erosión en suelos de uso agrícola de la Plana de Vic. Barcelona, España.

https://revistes.ub.edu/index.php/ActaGeologica/article/download/4457/5604/0

Responsabilidades y funciones de los autores del documento

Mtro. Vargas Inclán: elaboración del protocolo de la investigación, trabajo de campo (descripción de los perfiles de suelos) y redacción final de documento.
Mtro. Quezada Chico: planeación de las salidas y trabajo de campo (descripción de perfiles de suelo), consulta y revisión de fuentes bibliográficas.
Dr. Acevedo Rosas: descripción de la vegetación y revisión de la redacción final del documento.
Estudiante Velázquez González: Apoyo de las descripciones de perfiles de suelos y elaboración del mapa base para la ubicación de los puntos que se describieron en campo.