

Propiedades físicas y químicas del suelo en parque urbano irrigado con agua residual tratada

Soil physical and chemical properties in urban park irrigated with treated wastewater

Juan Pedro Flores-Márgez^{1*} , Hugo Luis Rojas-Villalobos¹ , Pedro Osuna-Avila¹ 

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Plutarco Elías Calles núm. 1210, Colonia Foviste Chamizal, CP. 32310. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.

*Autor de correspondencia: juflores@uacj.mx

Nota científica

Recibida: 30 de enero 2025

Aceptada: 04 de julio 2025

RESUMEN. La falta de información sobre las propiedades físicas y químicas del suelo en parques urbanos es una limitante técnica para la toma de decisiones. El objetivo fue analizar las propiedades del suelo, para conocer el impacto del riego con agua residual tratada y actividad recreativa. La densidad aparente varió entre áreas, el 42% de los suelos con textura franco arenoso y 34% textura franca. El pH varió de 6.83 a 8.56, la salinidad entre 1.3 y 14.0 dS m⁻¹, el N fue 1.0 a 157.3 mg kg⁻¹ y predominó en forma de nitratos, mientras que fósforo de 4.7 a 471 mg kg⁻¹, el NTK fue de 377 a 1760 mg kg⁻¹, MO estuvo entre 0.05 y 3.5%, correlación detectada entre el NTK y MO. La variación de las características del suelo es atribuida a la irregular práctica de riego con agua residual y actividades humanas.

Palabras clave: Alcalinidad, granulometría, materia orgánica, nutrientes, salinidad.

ABSTRACT. The lack of information on the physical and chemical properties of the soil in urban parks is a technical limitation for decision making. The objective was to analyze soil properties to measure the impact of irrigation with treated wastewater, and recreational activity. The bulk density varied between areas, 42% of the soils had a sandy loam texture and 34% were loamy. The pH varied from 6.83 to 8.56, and soil salinity was between 1.3 and 14.0 dS m⁻¹, N was from 1.0 to 157.3 mg kg⁻¹ and predominated in the form of N-nitrates, but phosphorus was from 4.7 to 471 mg kg⁻¹, NTK was from 377 to 1760 mg kg⁻¹, the OM content was between 0.05 and 3.5%, and correlation between the NTK and OM was found. Variability among soil parameters was attributed to irregular irrigation practices with wastewater, and human activity.

Keywords: Alkalinity, granulometry, nutrient, organic matter, salinity.

Como citar: Flores-Márgez JP, Rojas-Villalobos HL, Osuna-Avila P (2025) Propiedades físicas y químicas del suelo en parque urbano irrigado con agua residual tratada. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios 12(2): e4494. DOI: 10.19136/era.a12n2.4494.

INTRODUCCIÓN

El desconocimiento de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos en parques urbanos es uno de los problemas comunes que limitan su manejo adecuado tanto a nivel global como en México (Saavedra-Romero *et al.* 2020, Mhuireach *et al.* 2023). Estas áreas verdes recreativas tienen relevancia crucial, ya que se estima que 66% de la población mundial radicará en sitios urbanos para el año 2050 (Lal y Stewart 2017). Existen estudios en parques urbanos donde se han enfocado al riesgo de metales pesados en la salud humana (Amjad *et al.* 2023), así como en el efecto de las ladrilleras dentro de sitios urbanos que pueden influir en los parques y jardines mediante emisiones de materiales contaminantes (Nicado *et al.* 2023). Tanto el agua como los fertilizantes y residuos orgánicos cuando se aplican sin conocimiento técnico, ocasionan problemas de calidad edáfica, baja eficiencia del uso del agua y como consecuencia vegetación raquítica y baja productividad (Salgado y Núñez 2010, Castellanos *et al.* 2000). Por ello, la información de parámetros físicos, químicos y biológicos de un suelo es de suma importancia para estimar dosis de aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos, así como para un uso eficiente del agua, entre otras ventajas productivas y de calidad de alimentos (Havlin *et al.* 1999, Brady y Weil 2017).

Los ecosistemas de parques y jardines urbanos se caracterizan por el efecto antropogénico de la descarga de todo tipo de materiales durante las actividades recreativas que finalmente llegan al suelo como reservorio, lo cual impacta en la calidad del suelo, así las concentraciones de nutrientes en los suelos pueden exceder las tasas de absorción por las plantas, es decir mayor a la demanda nutrimental (Lal y Stewart 2017, Smith *et al.* 2018). Una práctica común es el uso de aguas residuales tratadas para el riego de parques, donde se ha detectado aumentos en el contenido de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo disponible, pero también una mejora en la actividad de microorganismos, pero no se han detectado efectos en la salinidad del suelo y solo ligeros aumentos de alcalinidad (Chen *et al.* 2015, García *et al.* 2020). El uso de aguas residuales tiene efecto en las propiedades físicas del suelo, ya que aumenta la estabilidad de micro agregados en la parte superficial debido al aumento de materia orgánica, así como efectos en las tasas de infiltración y porosidad (Zalacain *et al.* 2019). Los efectos de la aplicación de compostas en los suelos urbanos han sido documentados e indican que altera las propiedades físicas, dinámica de nutrientes y el establecimiento de vegetación. Por ejemplo, Kranz *et al.* (2020), encontraron que reduce la densidad aparente y mejora la infiltración, conductividad hidráulica y capacidad de retención de agua en el suelo lo que se traduce en mejor disponibilidad para las plantas. Por lo que es necesario generar información que sirva de base a quienes toman decisiones en los parques y jardines de los grandes centros urbanos, como el parque “El Chamizal” ubicado en la zona norte de Ciudad Juárez, Chihuahua, el cual colinda con el Río Bravo frontera internacional con la ciudad de El Paso, Texas (López 2023). Este parque ha sido un icono histórico para México, considerado el pulmón principal de la ciudad, sin embargo, no se cuenta con su caracterización edáfica, pero estudios previos en este parque por el Instituto Municipal de Investigación y Planeación (IMIP 2017) han propuesto un plan maestro para mejorar las condiciones e imagen de esta área recreativa, pero no se consideraron detalles de las áreas verdes y condiciones de suelo. Otro Proyecto fue el “Plan Maestro Mega Parque el Chamizal, realizado por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología del Municipio de Juárez, donde se proponen las investigaciones, diagnósticos, metas, objetivos, estrategias, esquemas y demás para lograr recuperar el parque (SEDUE 2022). El vacío de conocimiento que

atiende el presente estudio se centra en la escasa información edáfica existente para parques urbanos en México, lo cual se aporta un diagnóstico que tiene utilidad, aunque local, su aportación es nacional y global, así otras investigaciones pueden referenciar los datos generados y relacionar con el uso recreativo frecuente de los parques que traen como resultado incorporación de materia orgánica, entre otros. Por lo tanto, la falta de información sobre las propiedades del suelo no permite establecer técnicas apropiadas para el manejo del agua y nutrientes, así como de la vegetación. El objetivo del presente estudio fue evaluar propiedades físicas y químicas del suelo urbano en el parque El Chamizal para su caracterización y contribuir con información actualizada que permita mejorar su manejo edáfico mediante recomendaciones a los organismos operadores y a su vez el estudio sirva de ejemplo para otras zonas urbanas del país donde es requerida la mejora de los parques y jardines.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El parque "El Chamizal" se localiza en Ciudad Juárez, Chihuahua, a 31° 45' 26" de Latitud Norte y 106° 27' 31" de Longitud Oeste, altitud promedio de 1 200 msnm, Google earth® (Figura 1). El suelo del parque conforme la clasificación mundial WRB corresponde al grupo Calcisoles (del latín *calx*, *cal*), son suelos con acumulación sustancial de material calcáreo (carbonato cálcico), ricos en bases, que están muy extendidos en ambientes áridos y semiáridos (WRB 2015, INEGI 2017). Estos suelos provienen de depósitos aluviales, coluviales y eólicos de material meteorizado, con un horizonte subsuperficial Cámbico o Árgico, por sus cambios en contenidos de arcilla. De manera más específica, la clasificación del suelo a nivel Serie, se ubica en la *Serie Juárez*, esto de acuerdo con la clasificación de suelos del Distrito de riego del Valle de Juárez realizado en 1969 por la Secretaría de Recursos hidráulicos (CIEPS 1970). Son suelos jóvenes, mixtos (aluvial-eólico) y originados de rocas ígneas, calizas y areniscas; profundos de color café claro a café, de textura pesada y semipesada hasta 90 cm y descansan sobre un lecho arenoso. Presentan una topografía sensiblemente plana, su desagüe superficial es eficiente y su drenaje interno varía de eficiente a deficiente.

Muestreo y análisis fisicoquímico del suelo

Las cuatro áreas principales del parque por su actividad social recreativa (A, B, C y D; Figura 1) fueron muestreadas en ago-sep de 2023; en cada una se tuvieron cinco sitios específicos y tres submuestras por sitio a profundidades de 0 a 30 y 30 a 60 cm. El muestreo de suelo fue en zigzag en cada área con uso de una barrena de acero inoxidable donde se colectó un kilogramo que se colocó en bolsas de plástico con su respectiva etiqueta, las muestras fueron llevadas al laboratorio de Ciencias Ambientales ubicada en el Instituto de Ciencias Biomédicas de la UACJ, para ser secadas a temperatura ambiente, después se procedió a molienda y tamizado con un molino marca Humboldt® tamizadas en criba de 2 mm y almacenadas para su análisis. El contenido de humedad se realizó con el método gravimétrico mediante diferencias de peso húmedo y peso seco (SEMARNAT 2000). La densidad aparente fue con el método del cilindro, al dividir peso seco en estufa entre volumen, mientras que la porosidad o espacio poroso (ϕ) fue con la fórmula:

$\varphi = 1 - (Q_b/Q_s) \cdot 100$, donde Q_b es la densidad aparente y Q_s es la densidad real con valor constante de 2.65 g cm^{-3} (Ortiz-Solorio 2010). El análisis granulométrico se realizó con el método del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos 1962, SEMARNAT 2000). El pH del suelo se analizó con el método de relación suelo:agua, 1:2, y la conductividad eléctrica con una relación 1:5 al utilizar el equipo marca Thermo electron Co. Orion 3 (CP 2007, SEMARNAT 2000). El valor de conductividad se multiplica por cinco para aproximar al valor a pasta de saturación del suelo. El nitrógeno inorgánico (N-NH_4^+ y N-NO_3^-) y el nitrógeno total se obtuvieron con el método Kjeldahl con un equipo Labconco (Labconco Co., Kansas City) y un autonitratizador AA3 (Seal analytical.com) conforme el procedimiento descrito por Bremner (1996) y Aguilar *et al.* (1987). El fósforo inorgánico se analizó mediante el método Olsen sugerido para suelos alcalinos con un espectrofotómetro marca Genesys 20, Thermo Scientific Inc., (Olsen y Sommers 1982, SEMARNAT 2000). El contenido de materia orgánica del suelo fue analizado mediante el método de Walkley y Black (Aguilar *et al.* 1987).



Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo del parque "El Chamizal" en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Análisis Estadístico y Espacial

Al comprobar la normalidad de los datos mediante la técnica de Kolmogorov-Smirnov, se utilizó estadística paramétrica en los análisis mediante el Programa SPSS versión 24.0, así se realizaron cálculos de estadísticos descriptivos, análisis de varianza, prueba de promedios Tukey ($p < 0.05$) y correlación entre las variables estudiadas. El análisis espacial de los datos fue mediante la técnica geoestadística avanzada llamada Kriging Ordinario para estimar la distribución espacial de la textura del suelo (arena, limo y arcilla) en un área determinada (Li *et al.* 2020). Kriging no solo proporciona valores estimados para ubicaciones sin datos, sino que también ofrece una medida de confiabilidad para cada estimación. Esta técnica se basa en la idea de que las propiedades del suelo varían de manera predecible en el espacio, permitiendo modelar dicha variabilidad y predecir

valores en puntos no muestreados. Se seleccionó Kriging Ordinario como método de interpolación debido a su capacidad para manejar datos espaciales con patrones de variabilidad complejos y estructura espacial definida. A diferencia de otros métodos como la ponderación por distancia inversa (IDW) o el vecino natural, Kriging considera tanto la distancia entre puntos como la similitud en sus valores, ya que captura con mayor precisión la distribución espacial de la textura del suelo (Li y Heap 2011). Para modelar la dependencia espacial de la textura del suelo, se utilizó un semivariograma esférico. Esta herramienta describe la correlación entre los valores de textura a diferentes distancias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Propiedades físicas del suelo

El contenido de humedad en los suelos presentó un rango de 22.7%, la densidad aparente estuvo entre 0.84 y 1.71 g cm⁻¹, mientras que la porosidad tuvo un rango de 32.8%. Con respecto a la granulometría de los suelos, la fracción mineral indica que la arcilla tuvo en promedio 11.15%, limo 33.85% y arena el 55% (Tabla 1). Aunque las texturas variaron significativamente entre sitios y profundidades ($p < 0.05$), la clase textural predominante fue franco arenoso. Los sitios B3 y B4 (Figura 1) con mayor densidad aparente mostraron menor contenido de humedad y porosidad, lo cual es evidente en las relaciones de propiedades físicas de los suelos, sin embargo también se debe considerar que el contenido de humedad es altamente variable por las frecuencias de riego y el momento de los muestreos, por ello se enfatiza en las densidades aparentes detectadas en este estudio, donde los sitios D3 y D4 presentaron las menores densidades y mayor porosidad significativamente ($p < 0.05$), con clases texturales franco arenoso y franco limoso en las dos profundidades. Al estar ubicado en la zona fronteriza México-USA, este suelo de la Serie Juárez coincide con el tipo Harkey-Glendale indicado por el Soil Survey de El Paso County (USDA 1971, Ganjegunte *et al.* 2017), clasificado como suelo calcáreo con perfil superficial estratificado con texturas franco-limoso a franco-arenoso con arenas finas en las primeras 12 pulgadas de profundidad y en lo general predomina la textura franca. También lo describen con suelos de alta fertilidad, capacidad de humedad disponible y permeabilidad moderada. La variabilidad de texturas entre áreas y sitios fue mayor en la profundidad 0 a 30 cm.

Las áreas A y B tuvieron las mayores densidades significativamente ($p < 0.05$), mientras que las áreas C y D las menores densidades que se asocian a mayor contenido de arcilla y limo de los suelos, donde las muestras D3, D4 y D2 (1.02 a 1.12 g/cm³) tuvieron las menores densidades aparentes que están relacionadas con texturas arcillosa a franco-arcillosa, mientras que la B3 y B4 con las mayores densidades (1.54 a 1.56 g/cm³) relacionadas a texturas arenosa y franco-arenosa cuya ubicación se muestran en la Figura 1. La variabilidad alta encontrada para todos los parámetros edáficos evaluados en el perfil 0 a 60 cm de los suelos, resulta evidente por tratarse de sitios con influencia recreativa social (SEDUE 2022) donde es común la aportación intensa de líquidos y sólidos que alteran la condición natural edáfica, así como por la naturaleza de formación fluvial que causa irregularidad en superficie y profundidad (CIEPS 1970, USDA 1971). La densidad aparente, la porosidad y la textura del suelo son propiedades físicas altamente relacionadas (Castellanos *et al.* 2000) y que no se alteran con facilidad en corto tiempo, excepto cuando se aplican

materiales orgánicos como estiércol, compostas, o bien reciben actividades de labranza (Salgado y Núñez 2010, Ortiz 2010, Brady y Weil 2017). La ventaja del mapeo realizado con el método Kriging para textura del suelo es que permite la localización por áreas donde se requiere hacer mejoras a las propiedades físicas y químicas del suelo, como en este estudio donde se tienen desde áreas arenosas hasta arcillosas en los perfiles 0 a 30 y 30 a 60 cm. Por ello obtener un mapa exacto de la distribución de arena, limo y arcilla es una gran ventaja, mientras que métodos que únicamente se basan en la distancia, el método Kriging permitió incluir la variabilidad espacial y la correlación entre sitios específicos de muestreo, al mejorar la precisión de la interpolación en áreas donde no se dispone de datos (Gallardo 2006). Además, el método Kriging no solo estima valores, sino que también genera una medida de la incertidumbre asociada a cada estimación, así la información es clave para la toma de decisiones informadas sobre propiedades del suelo (García *et al.* 2020). La elección de Kriging Ordinario con un semivariograma esférico se justifica, ya que Kriging proporciona estimaciones sin sesgo y con la mínima varianza posible, lo que garantiza obtener un mapa preciso de la distribución de la textura del suelo (Figura 2), que fue obtenido mediante los porcentajes de arena, limo y arcilla en los sitios muestreados. A diferencia de métodos que solo consideran la distancia, Kriging incorpora la variabilidad espacial y la correlación entre puntos, mejorando la precisión de la interpolación en áreas sin datos. Además, Kriging no solo estima valores, sino que también proporciona una medida de la incertidumbre asociada a cada estimación, información crucial para la toma de decisiones informadas sobre parámetros del suelo como el caso de nutrientes. En el proceso de interpolación, primero, se modeló la variabilidad de los tamaños de partícula por separado con las 19 muestras del horizonte superior (0 a 30 cm). Posteriormente, se hizo un balance de proporciones para asegurar que la suma de las tres proporciones diera 100% en cualquier punto del mapa. Este procedimiento es mandatorio, ya que la estimación de la variabilidad espacial no toma en cuenta que forma parte de una proporción dentro de tres texturas. Luego, se desarrolló un algoritmo en Python para ArcGIS Pro en el que se calculan las proporciones de los tres mapas de texturas balanceados y se le da una clasificación de acuerdo con el triángulo de textura de suelo (Figura 2).

Se detectó una correlación significativa ($p < 0.05$) entre la densidad aparente y la suma de las partículas más finas del suelo (Figura 3), al mostrar una pendiente negativa, es decir, por cada 1% de disminución en el contenido de las partículas, la densidad se reduce 0.0159, lo cual es inverso cuando la correlación es con el porcentaje de arena (Figura 4) al aumentar la densidad aparente del suelo. Al respecto, Brady y Weil (2017) y Ortiz (2010) describen estas relaciones de propiedades físicas donde indican que en suelos donde predominan partículas arenosas la aireación es buena, alta tasa de drenaje, rápida descomposición de materia orgánica y baja compactación, pero la capacidad de retención de agua es baja, mientras que en suelos donde predomina la arcilla ocurre lo inverso al tener aireación pobre, lenta tasa de drenaje, alta compactación y lenta descomposición de materiales orgánicos. Estas propiedades físicas del suelo han sido ampliamente demostradas y tienen utilidad en la descripción de los suelos, como en este caso del parque urbano “El Chamizal” para el rango de densidad aparente 0.8 a 1.7 g cm⁻³ o bien el espectro del espacio poroso del suelo estudiado entre 35 y 68% (Tabla 1), que al relacionarse con las texturas sirven de base en el manejo del agua y optimización de riegos. Este rango coincide con lo indicado por Castellanos *et al.* (2000) quienes mencionan una amplitud de 1 hasta 1.7 g cm⁻³ en la densidad aparente para grupos texturales desde arcilla hasta arena, respectivamente. También, estos autores relacionan las clases

texturales con la capacidad de retención de humedad en los suelos, así por ejemplo en suelos arenosos es de 1.5 a 2.5 cm de agua por cada 30 cm de profundidad del suelo, mientras que para suelos arcillo limosos a arcilla es de 4.0 a 6.2 cm de agua para el perfil de 0 a 30 cm de profundidad.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de las propiedades físicas y químicas de los suelos urbanos del parque “El Chamizal” en Ciudad Juárez, Chihuahua (n = 57).

Variable	Mín.	Media	Máx.	E.E. ‡	L.I. ‡	L.S. ‡
Humedad (%)	0.91	10.33	23.65	0.77	9.74	10.92
Densidad ap. (g cm ⁻³)	0.845	1.302	1.714	0.025	1.302	1.303
Porosidad (%)	35.3	50.8	68.1	0.95	49.9	51.7
Arena (%)	29.20	55.0	87.92	1.91	51.33	58.67
Limo (%)	5.56	33.85	60.28	1.83	30.49	37.21
Arcilla (%)	4.52	11.15	27.96	0.72	10.64	11.66
pH	6.83	7.88	8.56	0.066	7.87	7.88
C.E. (dS m ⁻¹)	1.306	4.73	14.05	0.524	4.45	5.00
N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	0.089	0.398	1.357	0.05	0.395	0.40
N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	1.039	60.66	157.27	6.46	18.88	102.43
N inorgánico (mg kg ⁻¹)	1.497	61.05	157.6	6.46	19.32	102.79
Fósforo Olsen (mg kg ⁻¹)	4.75	70.05	471.25	18.63	0	416.98
Nitrógeno total (mg kg ⁻¹)	377.9	1080.1	1760.5	84.44	0	8211.6
Materia orgánica (%)	0.051	1.377	3.504	0.156	1.353	1.402
Carbono orgánico (%)	0.029	0.802	2.019	0.09	0.794	0.81

† E.E. Error estándar. L.I. Límite de confianza inferior. L.S. Límite de confianza superior al 95%. ‡ E.E. Standard error. L.I. Lower confidence limits. L.S. Upper confidence limits to 95%.



Figura 2. Mapa de interpolación de texturas del suelo del parque “El Chamizal”, en Ciudad Juárez, Chihuahua.

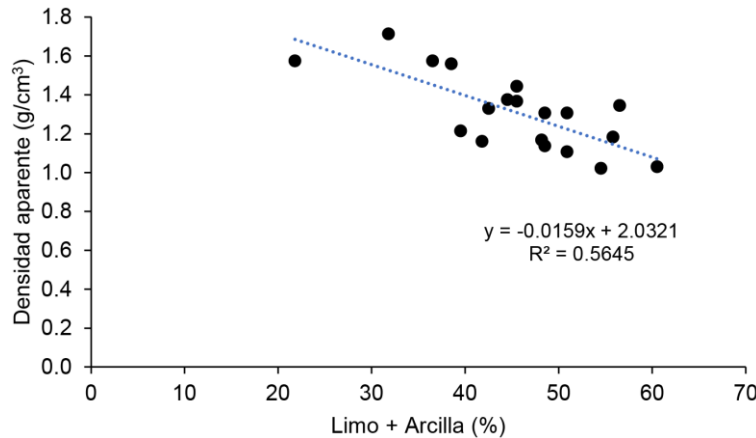


Figura 3. Correlación entre la densidad aparente del suelo y la suma de las partículas más pequeñas (limo + arcilla; < 0.05 mm) en suelos del parque “El Chamizal”.

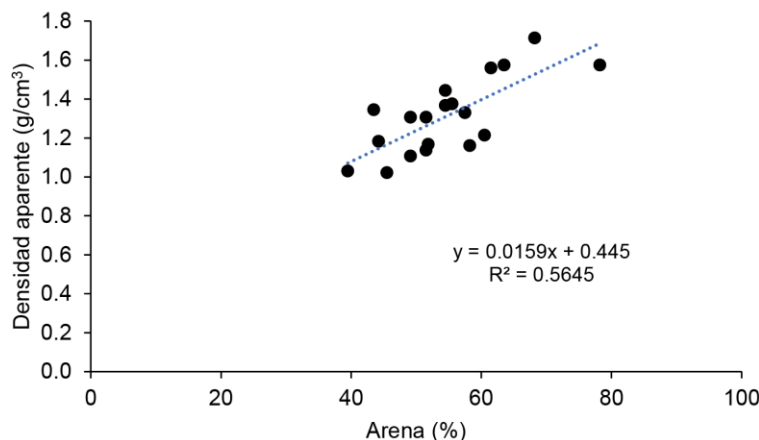


Figura 4. Correlación entre la densidad aparente del suelo y el porcentaje de partículas de arena (0.05 a 2.0 mm) en suelos del parque El Chamizal.

Propiedades Químicas del suelo

Con respecto a las propiedades químicas del suelo, el pH varió entre 6.83 y 8.56, clasificado como neutro a medianamente alcalino, lo que indica que disminuye la disponibilidad de ciertos nutrientes como Mn, Fe, B, Cu y Zn, mientras que P se afecta solo en el rango de 8.0 a 8.5. En promedio, los valores mayores de pH fueron observados en los sectores B, C y D (Figura 2). La conductividad eléctrica varió entre 1.3 y 14.0, mientras que los sólidos disueltos totales estimados fueron entre 679 y 7 115 mg L⁻¹. La variabilidad de los datos fue evidente con respecto a la salinidad de los suelos, la cual estuvo más amplia en la profundidad 30 a 60 cm, principalmente en las áreas A y D. Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre áreas y entre sitios específicos (dentro de cada área) muestreados, pero no entre profundidades. La comparación de promedios entre profundidades, aunque no significativa, indica valores mayores de salinidad para la profundidad 30 a 60 cm con 5.83 dS m⁻¹, mientras en la profundidad superficial fue de 3.63 dS m⁻¹. Las áreas A, D y C mostraron los valores mayores de salinidad significativamente (Figura 1), es decir el área B no tuvo problemas de salinidad. La concentración de N inorgánico (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻) fluctuó entre

1.5 y 158 mg kg⁻¹ (Tabla 1), donde la forma de N como nitrato fue predominante significativamente ($p < 0.05$). Los sitios D y A mostraron los mayores promedios con 63 y 94 mg kg⁻¹. Estas son concentraciones de altas a muy altas conforme la clasificación (SEMARNAT 2000), lo que implicaría exceso de nitratos en suelo y con potencial daño al acuífero por lixiviación. Las concentraciones de N detectadas son equivalentes a 139 y 377 kg N ha⁻¹, es decir suficientes a excesivas para la demanda nutrimental de pastos y arboles del parque “El Chamizal”. En el caso de fósforo, se encontró un rango de 4.7 a 471.2 mg kg⁻¹, equivalente a 20.9 y 2 187 kg ha⁻¹ para fines prácticos estimada con base en la densidad aparente de los suelos para el perfil 0 a 30 cm (Tabla 1). El área C mostró la mayor variación de fósforo en el perfil superficial, mientras que el área B fue más variable en la profundidad 30 a 60 cm (Figura 1). Así como el N, las concentraciones de P se consideran altas para la demanda nutrimental de la vegetación existente en el área estudiada. El contenido de NTK en los suelos varió de 377 a 1 760 mg kg⁻¹ (Tabla 1) para el perfil 0 a 30 cm de suelo. Se encontró alta variabilidad de NTK en cada área de muestreo, las áreas A y B fueron las más variables, quizás debido al manejo y efecto de los visitantes durante eventos de recreación en este parque por la adición de materiales sólidos y líquidos. El contenido de carbono y materia orgánica en los suelos es de importancia, ya que se asocia con la liberación de N y P, entre otros nutrientes como Fe, Mn, Cu y Zn por la acción quelatante, también es fuente de ácidos húmicos y fúlvicos que participan en la fisicoquímica del suelo y la fisiología de las plantas. El rango de C orgánico y materia orgánica observado en estos suelos fue de 0.03 a 2.02% y de 0.05 a 3.5%, respectivamente (Tabla 1). El área A presentó los valores mayores de materia orgánica en los suelos, que corresponden a una clasificación media (Figura 1). Se encontró una correlación significativa ($p < 0.05$, $r^2 = 0.7624$) entre el contenido de NTK y materia orgánica (Figura 5). Se observa que el contenido de NTK aumenta en 462 mg kg⁻¹ por unidad de incremento en materia orgánica, lo cual coincide con Zhu *et al.* (2004) para suelos de parques urbanos donde se analizó el ciclo del nitrógeno, ya que la aplicación de fertilizantes, los riegos, manejo de materiales, entre otros, han alterado los contenidos de materia orgánica. También, efectos significativos han sido reportado por Flores *et al.* (2010) donde el contenido de NTK tiene un rango similar entre 600 y 1600 mg kg⁻¹ y se incrementa en diferentes suelos conforme se aumenta la dosis de biosólidos que son las aportaciones de materia orgánica en zonas semiáridas del norte de México.

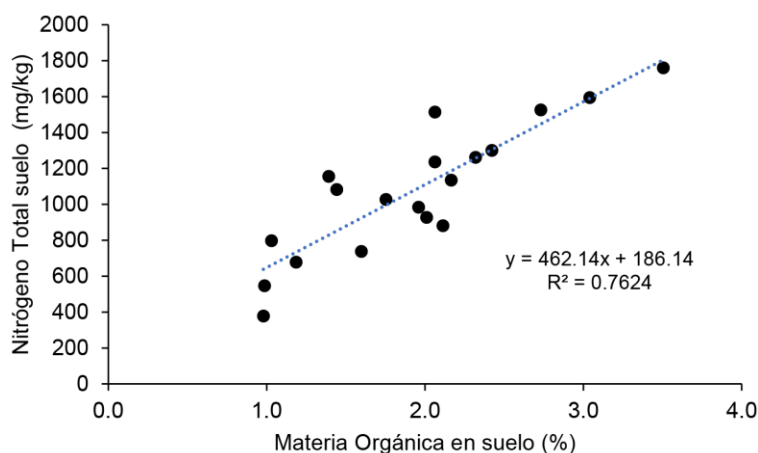


Figura 5. Correlación entre los contenidos de NTK y materia orgánica para el perfil 0 a 30 cm en los suelos del parque El Chamizal.

El pH del suelo tiene relevancia como indicador de la disponibilidad de ciertos nutrientes para las plantas, así en el presente estudio algunos elementos esenciales como Mn, Fe, B, Cu y Zn disminuyen por los valores de alcalinidad, solo en el caso de fósforo se afecta su disponibilidad en el rango de 8.0 a 8.5 (Havlin *et al.* 1999, Brady y Weil 2017). De acuerdo con los primeros estudios edáficos en Ciudad Juárez, Chihuahua (CIEPS 1970), a los suelos de la Serie Juárez que cubre el parque “El Chamizal” se les clasificó como pobres en nitrógeno materia orgánica, medios en fósforo, muy ricos en potasio, calcio y magnesio, con pH entre 7.4 y 8.3, también que la mayoría de los suelos estaban afectados por sales y se recomendaba aplicar sobre riegos y mejoradores del suelo. Un estudio más reciente del área fronteriza México-USA que cubre el parque “El Chamizal” del lado americano (Ganjegunte *et al.* 2017), centrado en salinidad encontraron valores de 1 a 43 dS m⁻¹, atribuido al riego con agua salina, mientras que en el presente estudio se tuvo un rango de 1.3 a 14.0 dS m⁻¹ que es atribuible al riego con agua residual tratada baja en sales solubles, lo cual no afecta el crecimiento del pasto *Cynodon dactylon* L. que prevalece en el área. Por lo tanto, al comparar los resultados actuales de propiedades físicas y químicas del suelo, es posible deducir que en la parte física como la textura y densidad no variaron (Brady y Weil 2017), pero los niveles nutrimentales aumentaron como resultado de las aportaciones de materiales orgánicos como compostas y estiércoles, así como la falta de uniformidad en el riego con aguas residuales que ha tenido el parque en los últimos años. En el caso de nitrógeno y fósforo, las concentraciones muy altas detectadas en este estudio conforme la clasificación reportada por SEMARNAT (2000), causadas por el riego con agua residual tratada, al acumularse en el suelo tiene potencial riesgo de lixiviación al agua profunda. Estos efectos han sido extensamente documentados de que la incorporación de compostas en el suelo puede alterar de manera significativa algunas propiedades físicas y químicas como las nutrimentales (Kranz *et al.* 2020). Estos resultados coinciden con estudios del ciclo del nitrógeno en suelos de parques urbanos (Zhu *et al.* 2003), donde los niveles altos de materia orgánica, nitratos extractables, tasas de desnitrificación, entre otros, han sido afectados por las aplicaciones de fertilizantes, riegos y escorrentía por las lluvias.

Con respecto a recomendaciones que permite generar la presente investigación, en los suelos de los sitios específicos con porcentajes de arena mayores a 60% fueron: A5, A2, B4, D1, C4 y B3 (Figura 2), donde algunos tuvieron más arena en el perfil 0 a 30, mientras que otros en el perfil 30 a 60 cm, significa que requieren mayor frecuencia de riego, o bien aplicar abonos orgánicos para aumentar la retención de humedad. Nutrientes como potasio, azufre, molibdeno, nitrógeno, calcio y magnesio (Havlin *et al.* 1999) no están afectados por el pH de estos suelos, pero los sitios con pH mayores a 8.0 fueron C1, B4, C2, B3 y D3 (Figura 1), los cuales requieren de corrección para aumentar la disponibilidad de algunos nutrimentos. En cuanto a salinidad, los sitios con valores cercanos y mayores a 8.0 dS/m fueron: A4, C1, D2, D4 y A1. Aunque habría que analizar el contenido de sodio intercambiable (% de PSI) para los cálculos de mejoradores de suelo, estos requieren de lavados y aplicación de yeso agrícola (CaSO₄) para reducir el problema de salinidad. Respecto al nitrógeno inorgánico que fue muy bajo a muy alto, los sitios menores a 20 mg N/kg considerado bajo fueron C1, B4, C2 y B5 (Figura 1) estos requieren aplicación de fertilizantes. Los sitios con valores de N mayores a 60 mg kg⁻¹ muy alto fueron C5, A2, C4, B3, B2, D2, A3, A5, A4, en el perfil 0 a 30 cm, mientras que en el perfil profundo fueron: B1, B2, D1, A2, A4 y A3. Aunque existe una suficiencia de N para los pastos y árboles del parque, los excesos de nitratos tienen el riesgo de lixiviación al acuífero. El contenido de fósforo fue de medio a alto, ya que valores mayores

a 11 mg/kg son altos conforme la demanda de plantas cultivadas (SEMARNAT 2000). El 79% de los sitios tuvieron exceso de fósforo, sobresalen con valores mayores a 221 mg kg⁻¹ los sitios B5, C2, C1 y B4 (Figura 1) coinciden con los pH mayores a 8.0 donde el fósforo esta poco disponible, por ello no lo absorben las raíces y se acumula debido a formas insolubles e inhibición por el calcio (Brady y Weil 2017), así mediante un cambio del pH del suelo es posible mejorar la disponibilidad del fósforo para las plantas, esto se logra a través de la aplicación de ácidos. Los sitios con valores mayores a 0.15% de nitrógeno total (NTK) fueron D2, A1, A2 y A5, mientras que aquellos bajos en NTK fueron B3, A4, C1, B5, D1 y C2, los cuales requieren de aplicación de abonos orgánicos como compostas, estiércoles y abonos verdes, entre otros. Así también, el contenido de materia orgánica muy bajo a medio donde los sitios con valores bajos menores a 1.5% en el perfil 0 a 30 cm fueron B3, A4, D1, C1, D3, y D4 (Figura 2), los cuales requieren de aplicación de abonos orgánicos.

Los valores de los parámetros físicos y químicos en los suelos mostraron una variabilidad alta por tratarse de suelo urbano sujeto a actividades sociales recreativas, de tal manera que algunos valores estuvieron en concentraciones extremas. Algunas propiedades como densidad aparente y textura fluctuaron de manera significativa entre áreas, atribuido a la naturaleza de formación fluvial de los suelos, mientras que los cambios en variables químicas fueron atribuidos al manejo con agua residual y actividad humana recreativa. Las recomendaciones son dirigidas a correcciones del pH y aplicación de abonos orgánicos por sectores para mejorar la textura y disponibilidad nutrimental, mientras que otro impacto relevante es la optimización del uso de agua al considerar las proporciones de partículas minerales de los suelos para optimizar riegos. Esta investigación permite aportar información edáfica inédita de grandes parques urbanos en México y tiene utilidad referencial para otros estudios que contribuyan a la ciencia del suelo.

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección de parques y jardines del municipio de Juárez por permitir el acceso para la colecta de muestras de suelo; gracias a los tesisistas participantes del Programa de Biología de la UACJ. Gracias al laboratorio de Ciencias Ambientales de ICB-UACJ por los equipos y materiales. Gracias al Cuerpo Académico Sistemas de Producción Agrícola UACJ-CA-60 por los reactivos químicos y materiales de laboratorio e invernadero y al Cuerpo Académico de Geoinformática Aplicada a Procesos Geoambientales UACJ-CA-94 por el software de análisis geoespacial.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

LITERATURA CITADA

Aguilar A, Etchevers JD, Castellanos JZ (1987) Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. 1a edición. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México. 215p.

- Amjad MK, Nawab J, Khan A, Brusseau ML, Nawaz KS, Ali N, Bahadur S, Khan S, Huang Q (2023) Human health and ecological risks associated with total and bioaccessible concentrations of cadmium and lead in urban park soils. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 110: 61. <https://doi.org/10.1007/s00128-023-03703-x>.
- Bouyoucos GJ (1962) Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54: 646-665.
- Brady NC, Weil RR (2017) *The nature and properties of soils*. 15th ed., Prentice Hall. Upper Saddle River NJ USA 1086p.
- Bremner JM (1996) Nitrogen-Total. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpoor PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (eds) *Methods of soil analysis, Part 3, Chemical methods*. SSSA. Book Series No. 5, Madison, WI SSSA pp. 1085-1121
- Castellanos JZ, Uvalle-Bueno J X Aguilar-Santelises A (2000) *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. 2^a ed. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. México. 225p.
- CIEPS (1970) Estudio de Factibilidad para la rehabilitación del Distrito de Riego (Valle de Juárez, Chihuahua), Secretaría de Recursos hidráulicos, Irrigación y Control de Ríos. CONAGUA número 325. México DF. <https://sigagis.conagua.gob.mx/listado21/listadoAS.pdf>. Fecha de consulta: 30 marzo de 2024.
- Chen W, Lu S, Pan N Wang Y, Wu L (2015) Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. *Chemosphere* 119: 654-661. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.035>.
- CP (2007) *Manual de procedimientos para análisis de suelos y plantas del laboratorio de fertilidad de suelos*. ISP, Programa de Inter calibración de Análisis de Suelos y Plantas. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Colegio de Postgraduados. Montecillos Edo. de México. 38 p.
- Flores, M J P, M Z Poncio A, E Salas G, F Pérez C, AY Corral A y H I Trejo E (2010) Mineralización de nitrógeno de biosólidos estabilizados con cal. *Terra Latinoamericana*. 28: 307-317.
- Ganjugunte GK, JA Clarck, R Sallenave, E Sevostianova, M Serena, G Álvarez, B Leinauer (2017) Soil salinity of an urban park after long-term irrigation with saline ground water. *Agronomy Journal* 109(6): 3011-318. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.06.0369>.
- García López Y, Sánchez Estenoz Y, Orozco Bravo MB, Fernández Vázquez EA (2020) Variabilidad espacial del fósforo asimilable en un suelo ferralsol cultivado con caña de azúcar. *Revista Científica: Agroecosistemas* 8(3): 77-82.
- García CM, JJ Luna O, MA Gallegos R, P Preciado R, MG Cervantes V, U. González S (2020) Impacto de aguas residuales sobre algunas propiedades y acumulación de metales pesados en el suelo. *Terra Latinoamericana* 38: 907-916. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.556>.
- Gallardo A (2006) Geostatística. *Ecosistemas* 15(3): 48-58.
- IMIP (2017) Plan maestro para el parque "El Chamizal". Instituto Municipal de Investigación y Planeación. <https://www.imip.org.mx/imip/node/137>. Fecha de consulta: 17 de abril de 2024.
- Lal R, Stewart BA (2017) *Urban soils*. Advances in soil science. CRC, Press. Boca Raton, FL. 423p.
- Havlin JL, JD Beaton, S L Tisdale, W L Nelson (1999) *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 6th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. USA. 499p.
- INEGI (2017) Superficie por tipo de uso de suelo en México. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. <https://www.inegi.org.mx/temas/suelo/>. Fecha de consulta: 30 marzo de 2024.
- Kranz CN, Richard A McLaughlin, Amy Johnson, Grady Miller, Joshua L Heitman (2020) The effects of compost incorporation on soil physical properties in urban soils – A concise review. *Journal of Environmental Management* 261: 110209. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209>
- López LE (2023) El impacto de El Chamizal en la sociedad juarense. *Ciencia Vital* 1(1): 94-99. <https://doi.org/10.20983/cienciavital.2023.01>

- Li J, Wan H, Shang S (2020) Comparison of interpolation methods for mapping layered soil particle-size fractions and texture in an arid oasis. *Catena* 190: 104514. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104514>.
- Li J, Heap A D (2011) A review of comparative studies of spatial interpolation methods in environmental sciences: Performance and impact factors. *Ecological Informatics* 6(3-4): 228-241. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2010.12.003>
- Mulvaney R L (1996) Nitrogen-inorganic forms. In: Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpoor PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (eds) *Methods of soil analysis. Part 3, Chemical methods*. SSSA Book Series No. 5. Madison, WI. pp. 1123-1184.
- Mhureach G A, Kevin G Van Den Wymelenberg, Gail A Langellotto (2023) Garden soil bacteria transiently colonize gardeners' skin after direct soil contact. *Urban Agriculture & Regional Food Systems* 8(1). <https://doi.org/10.1002/uar2.20035>
- Nelson DW, L E Sommers (1996) Total carbon, organic carbon and organic matter. In Sparks DL, Page AL, Helmke PA, Loeppert RH, Soltanpoor PN, Tabatabai MA, Johnston CT, Sumner ME (eds) *Methods of soil analysis. Part 3, Chemical Methods*. SSSA Book Series No. 5. Madison, WI. pp. 961-1010.
- Nicado LE, AY Corral A, LE Santana C, J Torres P, M Quiñonez M, JP Flores-Margez (2023) Empleo del software Rstudio para la validación analítica Pb en suelo urbano. *CULCYT Cultura Científica y Tecnológica* 20(3): 19-24. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2023.3.2.3>
- Salgado GS, R Núñez E (2010) Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Colegio de Postgraduados. Biblioteca Básica de Agricultura. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 145p.
- SEDUE (2022) Plan Maestro Mega Parque El Chamizal. Análisis Costo-Beneficio Megaparque El Chamizal. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Cd. Juárez Chihuahua. 258p
- SEMARNAT (2000) Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales NOM-021-RECNAT-2000. Norma oficial mexicana. Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos; estudios, muestreo y análisis. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>. Fecha de consulta: 5 de marzo de 2025).
- Olsen SR, LE Sommers (1982) Phosphorus. In: Page AL (ed) *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America. Madison. pp. 403-430.
- Ortiz-Solorio CA (2010) Edafología. 8 ed., Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México, 335 p.
- Saavedra-Romero LL, D Alvarado-Rosales, T Martínez-Trinidad, P Hernández-de la Rosa (2020) Propiedades físicas y químicas del suelo urbano del Bosque San Juan Aragón, Ciudad de México. *Terra Latinoamericana* 38: 529-540. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.644>.
- USDA (1971) Soil survey, El Paso County, Texas. Soil Conservation Service, Washington D.C. 20402. United States Department of Agriculture. EUA. 67p.
- WRB (2015) Base referencial mundial del recurso suelo, 2014, Actualización, 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma, Italia. <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre59.pdf>. Fecha de consulta: 16 de abril de 2024
- Zalacáin D, Bienes R, Sastre MA, Martínez PS, García DA (2019) Influence of reclaimed water irrigation in soil physical properties of urban parks: A case study in Madrid. *Catena* 180: 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.05.012>
- Zhu WX, ND Dillard, N B Grimm (2004) Urban nitrogen biogeochemistry: status and processes in green retention basins. *Biogeochemistry* 71: 177-196. <https://doi.org/10.1007/s10533-004-9683-2>.