

Propiedades Físicas y Químicas de Suelo Urbano: Parque "El Chamizal", Ciudad Juárez, Chihuahua
Soil Physical and Chemical Properties in Urban Soil: "El Chamizal" Park in Ciudad Juárez, Chihuahua

Juan Pedro Flores-Márgez¹† (0000-0003-0379-4128), Hugo Rojas Villalobos¹ (0000-0000-0001-0001), Pedro Osuna Avila¹ (0000-0002-7499-9676)

¹ Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Av. Plutarco Elías Calles núm. 1210, Foviste Chamizal, Ciudad Juárez, Chihuahua, C.P. 32310.

† Autor de correspondencia (Juflores@uacj.mx)

Editor Asociado: Nombre completo, con grado.

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 en el manejo adecuado de los recursos agua, suelo y vegetación, tal como lo presenta el parque "El Chamizal" de Ciudad Juárez, Chihuahua. El objetivo fue identificar las principales áreas para muestreo de suelos y analizar la textura, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, nitrógeno inorgánico, nitrógeno total, fósforo inorgánico y materia orgánica del suelo. Las muestras de suelo fueron a profundidad de 0 a 30 y 30 a 60 cm mediante un método de muestreo en zig-zag por triplicado, el suelo fue secado y tamizado a 2 mm. Los métodos de análisis físicos y químicos se realizaron conforme la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva, correlaciones entre los parámetros evaluados, análisis de varianza de dos vías con efecto anidado de sitio dentro de áreas y profundidad dentro de sitio, y prueba de comparación múltiple de promedios Tukey con el Programa SPSS versión 25.0. La densidad aparente varió significativamente entre áreas de 0.84 a 1.71 g/cm³. El análisis granulométrico de los suelos mostró que el 42% de los suelos fueron con textura franco arenoso y 34% con textura franco. Se encontró una correlación significativa entre la densidad aparente y los porcentajes de partículas de arena, así como de las finas (limo+arcilla). El pH de los suelos varió de 6.83 a 8.56 clasificado como neutro a moderadamente alcalino. Esta variable fue diferente significativamente entre áreas y profundidades de suelo. La salinidad de los suelos estuvo entre 1.3

Cita recomendada:

Apellido-Apellido, N., Apellido-Apellido, N.N., Apellido-Apellido, N. (2022). Título. Terra Latinoamericana, Volumen, eXXXX. <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0>.

Recibido: XX de mes de 202X

Aceptado: XX de mes de 202X

Tipo de contribución (artículo, Nota de investigación, resumen, etc.). Volumen XX, mes de 202X.

y 14.0 dS/m, es decir desde no salinos hasta fuertemente salinos. La concentración de N inorgánico fue de 1.0 a 157.3 mg/kg y predominó en forma de nitratos. Se encontró diferencia significativa entre áreas de muestreo, pero no entre profundidades. La concentración de fósforo fue de 4.7 a 471 mg/kg, el NTK fue de 377 a 1760 mg/kg, el contenido de materia orgánica estuvo entre 0.05 y 3.5% para todos los suelos, con una correlación significativa entre el NTK y la materia orgánica. Los parámetros analizados en este estudio se consideran estratégicos para la toma de criterios en el manejo de los suelos y del agua de riego del parque, ya que las áreas varían considerablemente debido al uso social recreativo, por ello un buen manejo se traducirá en mejoras para la vegetación y paisajes que sean de aprovechamiento social.

Palabras clave: Suelos; Granulometría; Nutrientes; Materia Orgánica.

SUMMARY

The lack of information on the physical and chemical properties of the soil in urban parks is a technical limitation for decision making in the adequate management of water, soil and vegetation resources, as presented by the El Chamizal park in Ciudad Juárez, Chihuahua. The objective was to identify the main areas for soil sampling and analyze the texture, apparent density, pH, electrical conductivity, inorganic nitrogen, total nitrogen, inorganic phosphorus and organic matter of the soil. Soil samples were collected at depths of 0 to 30 and 30 to 60 cm using a zig-zag sampling method in triplicate, the soil was dried and sieved to 2 mm. The physical and chemical analysis methods were carried out in accordance with the official Mexican standard NOM-021-RECNAT-2000. The data were analyzed using descriptive statistics, correlations between the evaluated parameters, two-way analysis of variance with nested effect of site within areas and depth within site, and multiple comparison test of Tukey averages with SPSS version 25.0. The apparent density varied significantly between areas from 0.84 to 1.71 g/cm³. The granulometric analysis of the soils showed that 42% of the soils had a sandy loam texture and 34% had a loam texture. A significant correlation was found between the apparent density and the percentages of sand particles, as well as fine particles (silt+clay). The pH of the soils varied from 6.83 to 8.56, classified as neutral to moderately alkaline. The variable was significantly different between areas and

soil depths. The salinity of the soils was between 1.3 and 14.0 dS/m, that is, from non-saline to strongly saline. The concentration of inorganic N was from 1.0 to 157.3 mg/kg and predominated in the form of nitrates. A significant difference was found between sampling areas, but not between depths. The phosphorus concentration was from 4.7 to 471 mg/kg, the NTK was from 377 to 1760 mg/kg, the organic matter content was between 0.05 and 3.5% for all soils, with a significant correlation between the NTK and the matter. organic. The parameters analyzed in this study are considered strategic for making criteria in the management of soils and irrigation water in the park, since the areas vary considerably due to social recreational use, therefore good management will translate into improvements for vegetation and landscapes that are for social use.

Index words: Soils; Granulometry; Nutrients; Organic material.

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 et al., 2020; Mhuireach et al., 2023). Estas áreas verdes recreativas tendrán relevancia crucial, ya que se estima que 66% de la población mundial radicará en sitios urbanos en 2050 (Lal & Stewart, 2017). Cuando el agua como los fertilizantes y/o residuos orgánicos se aplican sin conocimiento técnico, se ocasionan problemas de calidad edáfica, baja eficiencia del uso del agua y como consecuencia vegetación raquítica y baja productividad (Salgado & Núñez, 2010). Por ello, la información de parámetros físicos, químicos y biológicos de un suelo son 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 (Brady & 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, por ejemplo, las concentraciones de nutrientes como el nitrógeno puede exceder las tasas de absorción por las plantas (Smith et al., 2018; Lal & Stewart, 2017). Una práctica común en ciertas ciudades 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, mejora actividad de microorganismos, pero no efectos en la salinidad del suelo y solo ligeros aumentos de alcalinidad (Chen et al., 2015). También 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 tasas de infiltración y porosidad (Salacain et al., 2019). Los efectos de la aplicación de compostas en los suelos urbanos han sido documentados ampliamente al demostrar que altera las propiedades físicas, dinámica de nutrientes y el establecimiento de vegetación (Kranz et al., 2020), por ejemplo, se encontró que reduce la densidad aparente y mejorar la infiltración, conductividad hidráulica y capacidad de retención de agua en el suelo lo que se traduce en mejor disponibilidad para las plantas.

Así, la necesidad de generar información que sirva de base a quienes toman decisiones en los parques y jardines de los grandes centros urbanos, tales como el parque "El Chamizal" que se encuentra ubicado en la zona norte de Ciudad Juárez, Chihuahua, colinda con el Río Bravo frontera internacional con la ciudad de El Paso, Texas. Este parque ha sido un icono histórico para México, tiene una superficie de 124 ha 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; Martínez, 2022; Sánchez, 2020). Recientemente, se planteó implementar un plan de manejo en el parque de manera interinstitucional para determinar la situación actual de las áreas verdes, pero sin resultados (Villalpando, 2022). La problemática actual se centra en que el uso recreativo frecuente del parque trae como resultado contaminación por basura sólida y líquida, deterioro de los jardines y árboles, las podas de pastos no se incorporan al suelo lo que reduce la incorporación de materia orgánica, escasa a nula aplicación de abonos orgánicos como compostas y estiércoles, sin embargo, se riega con agua residual tratada. 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" relevantes para su caracterización y así, 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.

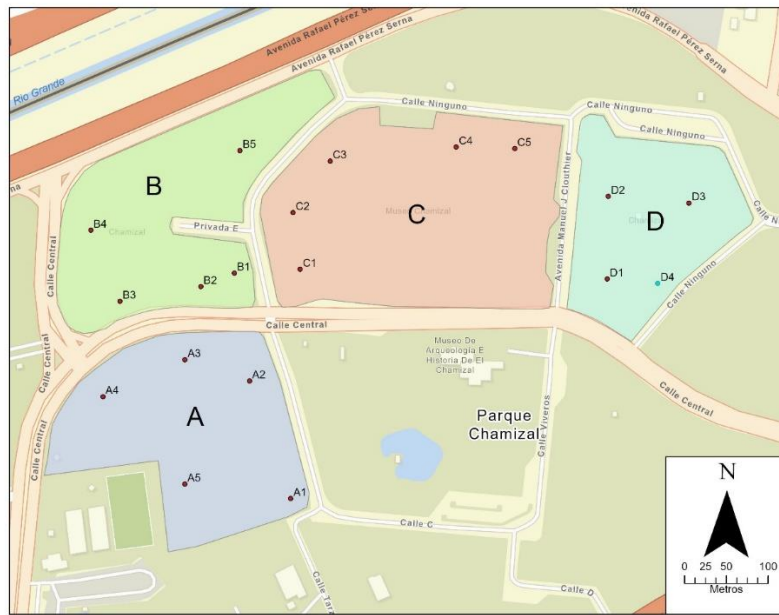


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo del parque "El Chamizal" en Ciudad Juárez, Chihuahua.

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: $\phi = 1 - (\rho_b/\rho_s)*100$, donde ρ_b es la densidad aparente y ρ_s es la densidad real con valor constante de 2.65 g cm^{-3} (Ortiz, 2010). El

análisis granulométrico se realizó con el método del hidrómetro de Boyoucos (Boyoucos, 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 multiplico 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 autonilizador 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 & Sommers, 1982; SEMARNAT, 2000). El contenido de materia orgánica del suelo fue analizado mediante el método de Walkley y Black (Aguilar et al., 1987).

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. 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. 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

En general, el suelo del parque estudiado mostró una variabilidad alta en todos los parámetros evaluados para el perfil 0 a 60 cm (Cuadro 1), lo cual resulta evidente por tratarse de sitios con influencia recreativa social donde es común la aportación intensa de líquidos y sólidos que alteran la condición natural edáfica, así como por la naturaleza de formación fluvial (CIEPS, 1970). Así, las propiedades físicas como el contenido de humedad mostraron 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 las arenas 55%, aunque las texturas variaron significativamente entre sitios y profundidades ($p < 0.05$), la clase textural predominante fue franco arenoso. En el Cuadro 2 se observa que los sitios B3 y B4 con mayor densidad aparente mostraron menor contenido de humedad y porosidad, lo cual es evidente en las relaciones de propiedades físicas de los suelos (Brady & Weil, 2017), 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 debe enfatizarse más 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 (Cuadro 2). Al estar ubicado en la zona fronteriza México-USA, este suelo de la Serie Juárez (CIEPS, 1970), coincide con el tipo Harkey-Glendale indicado por el Soil Survey de El Paso County (USDA, 1971), 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.

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

Table 1. Descriptive statistics of the physical and chemical urban soil properties of "El Chamizal" park at 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%.

El Cuadro 2 muestra que 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 arena de los suelos, donde las muestras D3, D4 y D2 (1.02 a 1.12 g/cm^3) tuvieron las menores densidades aparentes que estarían relacionadas con texturas arcillosa a franco-arcillosa, mientras que la B3 y B4 con las mayores densidades (1.54 a 1.56 g/cm^3) relacionadas a texturas arenosa y franco-arenosa (NOM-021-RECNAT-2000). Esta información tiene relevancia para planear la frecuencia de aplicación de agua y sistemas de riego en los suelos del parque.

Cuadro 2. Propiedades físicas del suelo por sitio a profundidad 0 a 30 cm del parque "El Chamizal" en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Sitio	Humedad	Densidad Aparente	Porosidad
	%	g cm ⁻³	g cm ⁻³
A1	18.2±3.4 ab	1.39±0.02 abc	47.5±0.7 abc
A2	12.4±1.5 abc	1.43±0.08 abc	46.1±3.2 abc
A3	3.8±1.3 c	1.15±0.1 abc	56.6±3.8 abc
A4	10.1±6.0 abc	1.47±0.07 ab	44.5±2.5 bc
A5	11.2±1.3 abc	1.31±0.06 abc	50.5±2.5 abc
B1	11.6±3.9 abc	1.44±0.08 abc	45.7±3.0 abc
B2	13.9±0.7 abc	1.35±0.1 abc	48.9±3.7 abc
B3	5.1±2.3 bc	1.56±0.07 a	41.2±2.8 c
B4	3.2±1.1 c	1.55±0.09 ab	41.6±3.5 bc
B5	21.1±1.3 a	1.31±0.05 abc	50.4±2.0 abc
C1	7.6±1.5 abc	1.23±0.06 abc	53.7±2.4 abc
C2	14.5±0.8 abc	1.27±0.05 abc	51.9±1.9 abc
C3	9.7±2.5 abc	1.25±0.05 abc	52.7±2.0 abc
C4	12.6±0.1 abc	1.18±0.15 abc	55.3±5.7 abc
C5	10.5±0.7 abc	1.16±0.05 abc	56.0±1.9 abc
D1	9.9±2.4 abc	1.41±0.07 abc	46.5±2.7 abc
D2	6.4±1.0 bc	1.12±0.05 abc	57.6±2.1 abc
D3	6.9±5.3 bc	1.12±0.15 bc	57.7±5.8 ab
D4	7.4±1.1 abc	1.02±0.03 c	61.3±1.2 a

Letras distintas en las columnas indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Cuadro 3. Granulometría del suelo por sitio y profundidad del parque "El Chamizal" en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Sitio	Prof.	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural
	<i>Cm</i>		<i>%</i>		
A1	0-30	54.48	33.28	12.24	Franco arenoso
	30-60	47.48	41.28	11.24	Franco
A2	0-30	63.48	27.28	9.24	Franco arenoso
	30-60	61.48	31.28	7.24	Franco arenoso
A3	0-30	51.48	27.56	20.96	Franco
	30-60	50.48	37.56	11.96	Franco
A4	0-30	43.48	28.56	27.96	Franco
	30-60	62.48	24.28	13.24	Franco arenoso
A5	0-30	60.48	33.28	6.24	Franco arenoso
	30-60	59.12	27.64	13.24	Arenoso Franco
B1	0-30	54.48	32.28	13.24	Franco arenoso
	30-60	54.48	33.28	12.24	Franco
B2	0-30	58.20	29.28	12.52	Franco arenoso
	30-60	58.20	29.28	12.52	Franco arenoso
B3	0-30	78.20	13.28	8.52	Areno Franco
	30-60	87.92	5.56	6.52	Arena
B4	0-30	68.20	19.28	12.52	Franco arenoso
	30-60	67.48	21.64	10.88	Franco arenoso
B5	0-30	57.48	32.00	10.52	Franco arenoso
	30-60	47.48	46.00	6.52	Franco
C1	0-30	51.84	38.56	9.60	Franco
	30-60	29.48	60.28	10.24	Franco limoso
C2	0-30	55.48	37.64	6.88	Franco arenoso
	30-60	51.48	44.00	4.52	Franco arenoso
C3	0-30	49.12	40.36	10.52	Franco
	30-60	45.48	40.00	14.52	Franco
C4	0-30	49.12	36.36	14.52	Franco
	30-60	73.48	20.00	6.52	Arenoso franco
C5	0-30	44.20	49.84	5.96	Franco limoso
	30-60	49.48	41.28	9.24	Franco
D1	0-30	61.48	30.92	7.60	Franco arenoso
	30-60	71.20	22.28	6.52	Arenoso franco
D2	0-30	45.48	42.28	12.24	Franco
	30-60	48.48	41.00	10.52	Franco
D3	0-30	51.48	34.00	14.52	Franco arenoso
	30-60	57.48	25.28	17.24	Franco arenoso
D4	0-30	39.48	50.00	10.52	Franco limoso
	30-60	29.20	58.28	12.52	Franco limoso

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 un mapa preciso de la distribución de la textura del suelo; 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 (Gallardo, 2006); 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 fósforo (García et al., 2020). En el proceso de interpolación, primeramente, se modeló la variabilidad de los tamaños de partícula por separado con las 19 muestras del horizonte superior (0 - 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 texturas de suelo (Brady & Weil, 2017).



Figura 2. Mapa de interpolación del porcentaje de arena en los suelos del parque "El Chamizal", en Ciudad Juárez, Chihuahua.

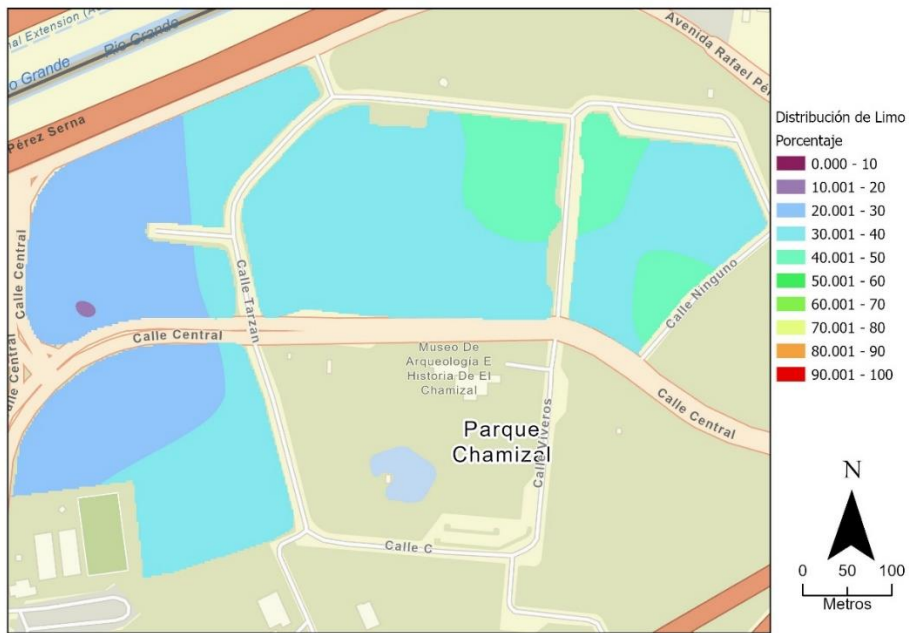


Figura 3. Mapa de interpolación del porcentaje de limo en los suelos del parque "El Chamizal", en Ciudad Juárez, Chihuahua.

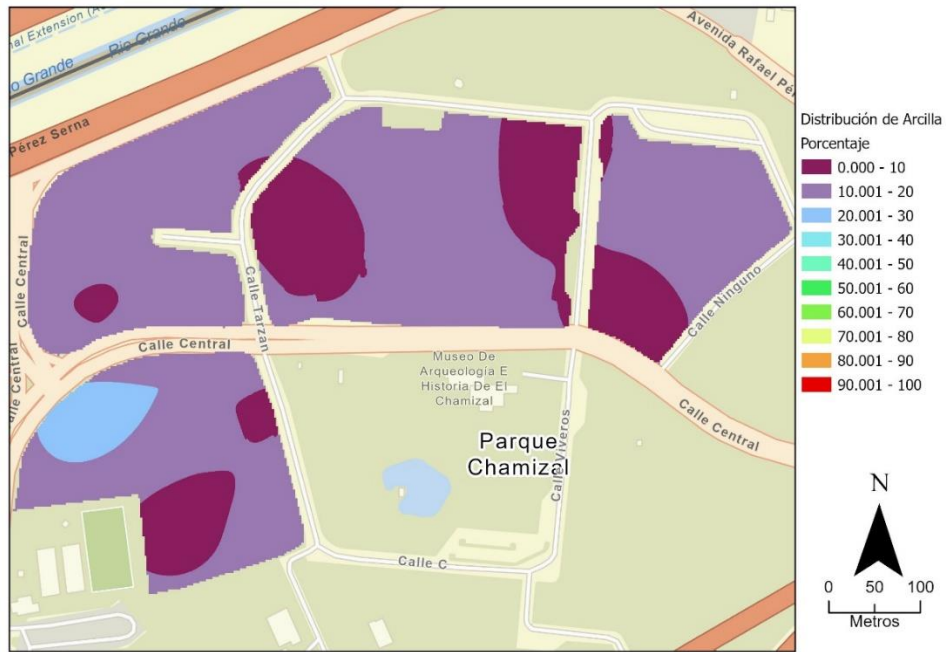


Figura 4. Mapa de interpolación del porcentaje de arcilla en los suelos del parque "El Chamizal", en Ciudad Juárez, Chihuahua.

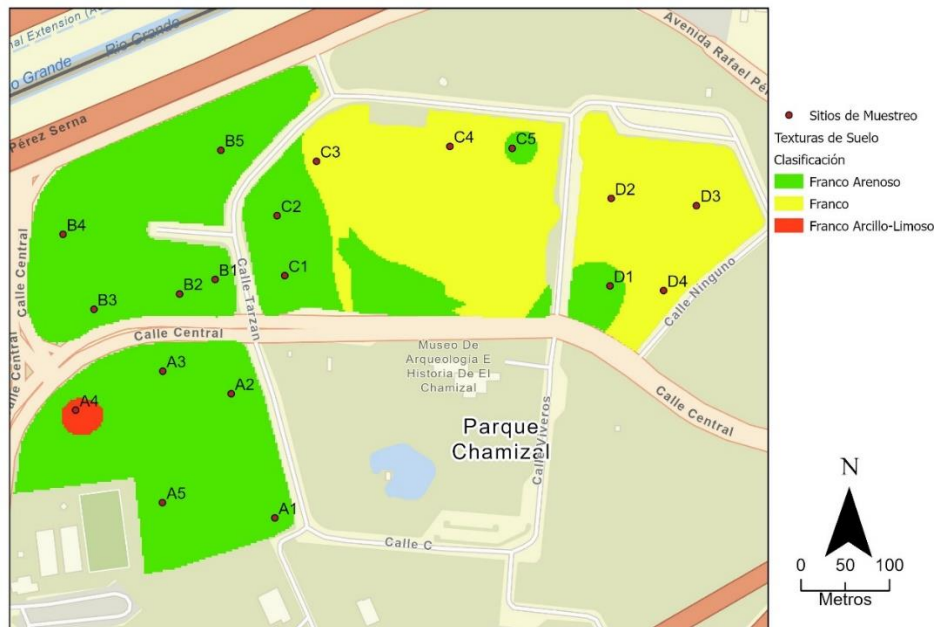


Figura 5. Mapa de interpolación de texturas del suelo del parque "El Chamizal", en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Se detectó una correlación significativa ($p < 0.05$) entre la densidad aparente y la suma de las partículas más finas del suelo (Figura 6), 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 7) al aumentar la densidad aparente del suelo. Estas propiedades físicas han sido ampliamente demostradas y tienen utilidad en la descripción de los suelos (Brady & Weil, 2017), como en este caso para el parque "El Chamizal" para el rango de densidad aparente 0.8 a 1.7 g cm⁻³ o bien espectro del espacio poroso estudiado entre 35 y 68% (Cuadro 1), que al relacionarse con las texturas sirven de base en el manejo del agua y optimización de riegos.

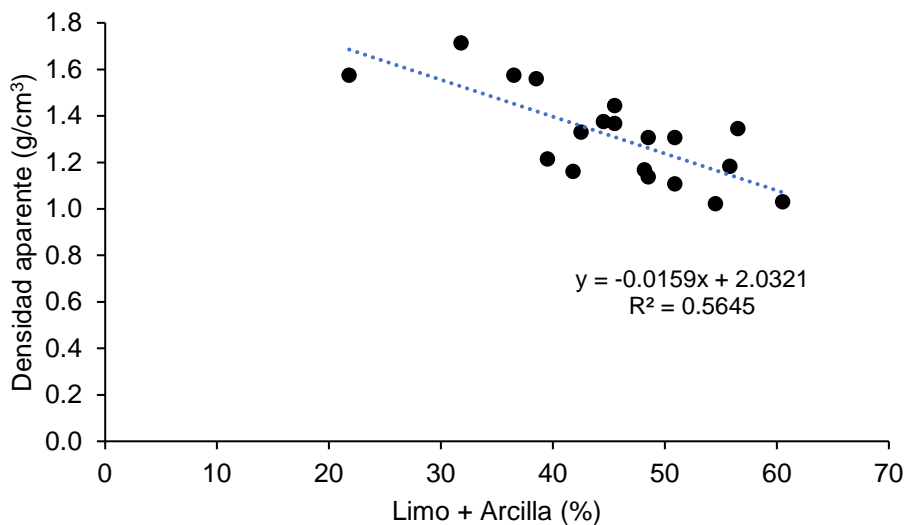


Figura 6. Correlación entre la densidad aparente del suelo y la suma de las partículas más pequeñas (limo + arcilla; < 0.05 mm) en suelos del parque "El Chamizal".

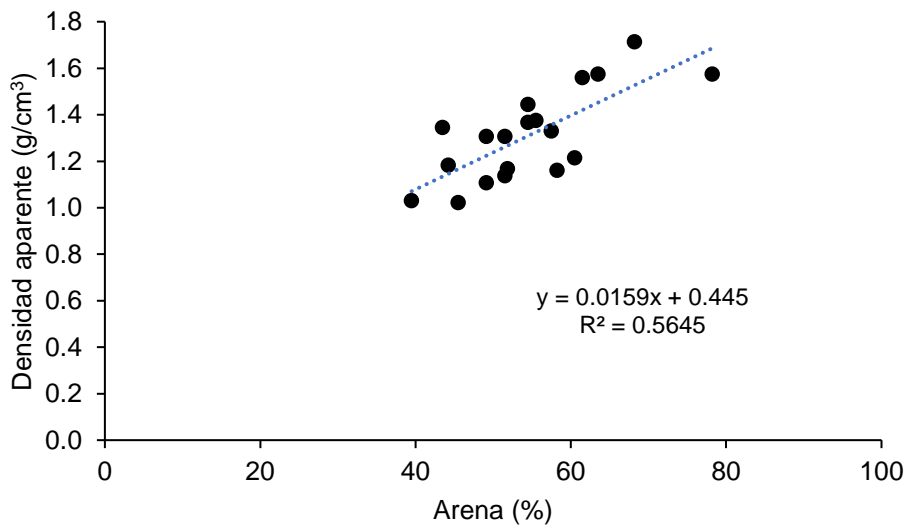


Figura 7. Correlación entre la densidad aparente del suelo y el porcentaje de partículas de arena (0.05 a 2.0 mm) en suelos del parque "El Chamizal".

Con respecto a las propiedades químicas, el pH del suelo vario entre 6.83 y 8.56, clasificado como neutro a medianamente alcalino (SEMARNAT, 2000), 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 (Havlin et al., 1999). En promedio, los valores mayores de pH fueron observados en los sectores B, C y D (Cuadro 4). La conductividad eléctrica vario entre 1.3 y 14.0, El rango observado de la conductividad eléctrica para todos los suelos fue de 1.3 a 14.0 dS/m, mientras que los sólidos disueltos totales estuvieron entre 679 y 7115 mg/L, valores de cloro estimados entre 0.5 y 5.2% (Cuadro 15). La variabilidad de los datos se puede apreciar en la Figura 14, donde la salinidad de los suelos estuvo mas amplia en la profundidad 30 a 60 cm, principalmente en las áreas A y D. De acuerdo con el ANOVA 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, mientras en la profundidad superficial fue de 3.63 dS/m. Las áreas A, D y C mostraron los valores mayores de salinidad significativamente, es decir el área B no tuvo problemas de salinidad.

La concentración de N inorgánico ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) vario de 1.5 a 158 mg kg^{-1} (Cuadro 1), donde la forma de N como nitrato fue predominante significativamente ($p < 0.05$). Los sitios D y A mostraron los mayores promedios significativamente con 63 y 94 mg kg^{-1} (Cuadro 4). Estas son concentraciones de altas a muy altas (SEMARNAT, 2000), lo que implicaría exceso de nitratos en suelo y con potencial daño al acuífero por lixiviación. Las concentraciones de N detectadas serian equivalentes desde 139 a 377 kg N ha^{-1} , es decir suficientes a excesivas para las demanda nutrimental de pastos y arboles del parque "El Chamizal".

En el caso de fósforo (P), se encontró un rango de 4.7 a 471.2 mg kg^{-1} , equivalente a 20.9 y 2187 kg ha^{-1} para fines prácticos (Cuadro 4). El área C mostró la mayor variación de P en el perfil superficial, mientras que el área B fue mas variable en la profundidad 30 a 60 cm. Así como el N, las concentraciones de P se consideran altas para la demanda nutrimental de la vegetación existente en el área estudiada (SEMARNAT, 2000).

El contenido de NTK en los suelos varió de 377 a 1760 mg kg^{-1} (Cuadro 1) para el perfil 0 a 30 cm de suelo. Se encontró alta variabilidad de NTK en cada área de muestreo (Cuadro 4), 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.

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 (Brady & Weil, 2017). 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 (Cuadro 1). El área A presentó los valores mayores de materia orgánica en los suelos, que corresponden a una clasificación media (Cuadro 4). Se encontró una correlación significativa ($r^2 = 0.7624$) entre los contenidos de NTK y de materia orgánica de los suelos para el perfil 0 a 30 cm (Figura 8). Se observa que el contenido de NTK aumenta en 462 mg kg⁻¹ por unidad (%) de aumento en la concentración de materia orgánica.

Cuadro 4. Propiedades químicas del suelo por sitio y profundidad del parque "El Chamizal" en Ciudad Juárez, Chihuahua.

Sitio	Prof.	CE	pH	N	P	NTK	MO
	cm	dS m ⁻¹		mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	%
A1	0-30	4.06	7.10	40.02	27.68	1525.11	2.731
	30-60	14.05	6.83	98.84	76.58		2.371
A2	0-30	5.04	7.10	67.62	24.34	1594.04	3.041
	30-60	7.44	7.06	96.15	15.34		2.527
A3	0-30	2.32	7.72	101.49	9.40	1134.44	2.165
	30-60	3.38	7.46	157.60	31.74		3.194
A4	0-30	7.84	7.42	117.74	7.80	546.03	0.986
	30-60	11.36	7.33	125.30	4.75		0.223
A5	0-30	3.78	7.70	101.89	56.41	1760.49	3.504
	30-60	1.73	8.15	30.81	13.60		0.561
B1	0-30	3.28	7.82	56.12	20.57	984.75	1.958
	30-60	6.96	7.58	69.76	6.49		0.103
B2	0-30	2.32	8.02	96.69	40.01	1300.51	2.422
	30-60	5.31	7.82	85.49	9.25		0.484

B3	0-30	1.54	8.35	93.14	11.72	377.92	0.979
	30-60	1.31	8.31	60.35	7.65		0.254
B4	0-30	1.61	8.23	12.84	404.50	927.20	2.010
	30-60	1.64	8.38	6.30	471.25		0.462
B5	0-30	3.50	7.89	1.50	34.64	737.39	1.598
	30-60	4.26	7.94	8.39	221.39		0.858
C1	0-30	3.23	8.21	9.80	314.25	678.70	1.185
	30-60	10.43	7.75	18.03	6.93		0.556
C2	0-30	2.67	8.15	10.09	222.69	880.67	2.113
	30-60	2.34	8.23	25.34	250.12		0.524
C3	0-30	3.12	8.14	55.04	22.31	1262.13	2.319
	30-60	3.51	8.15	35.33	20.28		0.858
C4	0-30	2.42	8.19	88.11	41.03	1236.27	2.061
	30-60	2.70	8.14	42.46	9.25		0.479
C5	0-30	5.67	7.78	60.51	52.93	1027.81	1.752
	30-60	5.37	7.93	40.14	18.39		0.671
D1	0-30	2.82	8.13	26.40	24.20	797.78	1.031
	30-60	3.64	8.07	86.31	10.85		0.052
D2	0-30	4.66	7.91	101.01	48.43	1513.30	2.061
	30-60	11.15	7.77	121.58	11.86		0.335
D3	0-30	2.29	8.40	38.53	49.30	1155.04	1.391
	30-60	2.85	8.56	56.44	13.17		0.863
D4	0-30	6.88	7.82	18.45	33.48	1081.86	1.443
	30-60	11.35	7.83	58.44	17.23		0.206

CE=Conductividad eléctrica; N=Nitrógeno inorgánico (amonio y nitratos); P=Fósforo Olsen; NTK=Nitrógeno total Kjeldahl; MO=Materia orgánica.

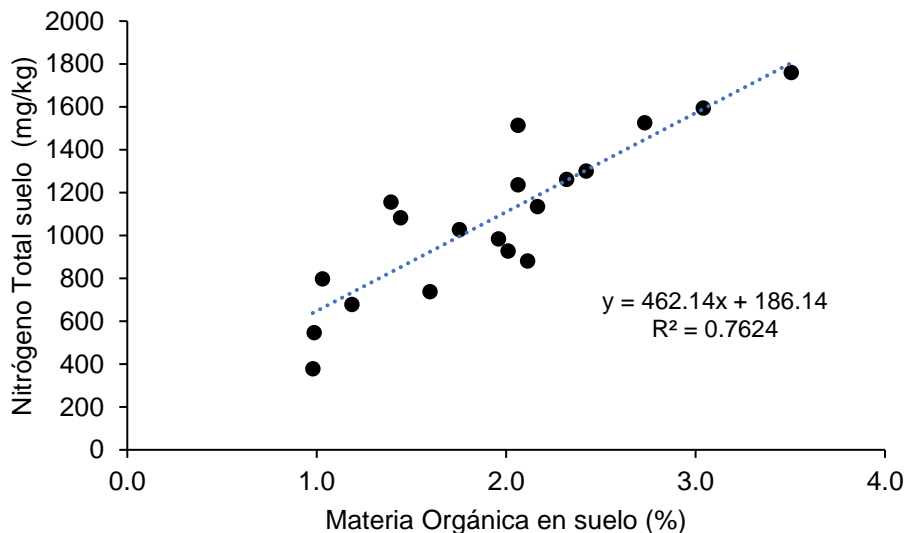


Figura 8. Correlación entre los contenidos de NTK y materia orgánica para el perfil 0 a 30 cm en los suelos del parque El Chamizal.

De acuerdo con los primeros estudios edáficos en Ciudad Juárez, Chihuahua (CIEPS, 1970), a los suelos cercanos al parque "El Chamizal" se les clasificó como pobres en nitrógeno materia orgánica, medios en fósforo, muy ricos en potasio, calcio y magnesio, con pH que varía de 7.4 a 8.3. La mayoría de los suelos estaban indicados como afectados por sales, se recomendaba aplicar sobre riegos y mejoradores de suelo. 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, pero los niveles nutrimentales aumentaron como resultado de las aportaciones de materiales orgánicos y riego con aguas residuales que ha tenido el parque en los últimos años.

CONCLUSIONES

Los valores de los parámetros físicos y químicos en los suelos del parque "El Chamizal" mostraron una variabilidad alta por tratarse de suelo urbano sujeto a actividades sociales recreativas frecuentes, por lo que algunos valores estuvieron en concentraciones extremas. La densidad aparente del suelo vario de manera significativa entre áreas con rango de 0.84 a 1.71 g/cm³. El análisis granulométrico de los suelos mostró que los porcentajes de arena, limo y arcilla varían considerablemente entre áreas y sitios dentro de las áreas de muestreo. El 42% de los suelos fueron con textura franco arenoso, y 34% con textura franco. Los sitios A2, B5, B3, B4 y D1 tuvieron los mayores porcentajes de arena, se recomienda aplicar abonos orgánicos o mayor frecuencia de riegos. El pH de los suelos vario de 6.83 a 8.56 clasificado como neutro a moderadamente alcalino. Los sitios B3, B4, C1, C2 y D3, requieren bajar el pH de 8.5 para mejorar la disponibilidad de nutrientes. La salinidad de los suelos estuvo entre 1.3 y 14.0 dS/m, es decir desde no salinos hasta fuertemente salinos. Los suelos más afectados por sales son: A1, A4, C1, D2 y D4. La concentración de N inorgánico fue de 1.0 a 157.3 mg/kg y predominó en forma de nitratos. Los sitios más deficientes en N fueron: B4, B5, C1 y C2. La concentración de fósforo fue de 4.7 a 471 mg/kg, es decir medio a alto, sin

embargo, los sitios B4, B5, C1 y C2 tuvieron valores excesivos donde sería necesario corregir el pH para aumentar su disponibilidad por las plantas. El contenido de NTK fue de 377 a 1760 mg/kg (0.0377 a 0.176%) y el contenido de materia orgánica estuvo entre 0.05 y 3.5%, donde los sitios con más bajos contenidos fueron: A4, B3, C1, D1, D3 y D4, donde se requiere aplicar abonos orgánicos.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante el estudio actual están disponibles de los autores correspondientes a solicitud razonable y con el permiso institucional de quien administró el estudio.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, metodología, escritura: preparación del borrador original y edición, recursos, revisión, administración del proyecto, J.P.F.M.; análisis espacial de datos y gráficos, revisión, H.R.V.; revisión del escrito, P.O.A.

AGRADECIMIENTOS

Gracias 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 alumnos tesistas 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.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, A., Etchevers, J.D., y Castellanos, J.Z. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. 1a edición. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México, 215 p.
- Bouyoucos, G. J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 646-665.
- Brady, N. C. and R. R. Weil. 2017. The nature and properties of soils. 15th ed., Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 1086 p.
- Bremner, J. M. (1996). Nitrogen-Total. p. 1085-1121. *In*: D. L. Sparks (ed.). Methods of soil analysis, part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America. Madison, WI,.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., & Aguilar-Santelises, A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. (2^a ed.) México: Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. 225 p.
- CIEPS, s.c. 1970. Estudio de Factibilidad para la rehabilitación del Distrito de Riego (Valle de Juárez, Chihuahua), Secretaria de Recursos hidráulicos, Irrigación y Control de Ríos. CONAGUA, número 325. México, D.F.
- Chen, W., Lu S., Pan N. Wang Y. and Wu L. 2015. Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. *Chemosphere* Jan; Vol. 119, pp. 654-661.
- CP (Colegio de Postgraduados). 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. Montecillos, Edo. de México. 38 p.
- García López, Y., Sánchez Estenoz, Y., Orozco Bravo, M. B., Fernández Vázquez, E. A. (2020). Variabilidad espacial del fósforo asimilable en un suelo ferralsol cultivado con caña de azúcar. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(3), 77-82.
- Gallardo, A. (2006). Geostadística. *Ecosistemas*, 15 (3), 48-58.
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación [IMIP]. (2017). *Plan maestro para el parque "El Chamizal"*. <https://www.imip.org.mx/imip/node/137>. Consultado 17 de abril de 2024.
- Lal, R., and Stewart B.A. 2017. Urban Soils. *Advances in soil science*. Boca Raton, FL., CRC, Press. 423 p.
- Havlin, J. L., J. D. Beaton, S. L. Tisdale, and W. L. Nelson. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient. management. 6 th ed. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ. USA.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2017. Superficie por tipo de uso de suelo en México. <https://www.inegi.org.mx/temas/suelo/> (Consulta: 30 marzo 2024).

Kranz, C.N., 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. *J. of Env. Management.* 261:110209.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110209>.

Mulvaney, R. L. 1996. Nitrogen-inorganic forms. pp. 1123-1184. *In: J. M. Bartels et al. (eds.). Methods of soil analysis. Chemical methods. Part 3. 3rd ed. SSSA Book series 5. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*

Mhuireach, 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, D. W. and L. E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp. 961-1010. *In: J. M. Bartels et al. (eds.). Methods of soil analysis. Chemical methods. Part 3. 3rd ed. SSSA Book series 5. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*

Salgado, G.S. y R. Núñez E. 2010. Manejo de fertilizantes químicos y orgánicos. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Biblioteca Básica de Agricultura. 145 p.

SEDUE, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. (2022). *Plan Maestro Mega Parque El Chamizal. Análisis Costo-Beneficio Megaparque El Chamizal, Cd. Juárez Chihuahua.*

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>.

Martínez, J. (2022). *Parque 'El Chamizal' en Ciudad Juárez, área histórica convertida en basurero.* Milenio. <https://www.milenio.com/estados/parque-chamizal-ciudad-juarez-area-convertida-basurero>. Consultado el 10 de abril de 2024.

Olsen, S.R. y L.E. Sommers. 1982. Methods of soil analysis. pp. 403-430. *In: Page A.L. et al. (ed). Agronomy 9, Part 2. 2nd ed. ASA-SSSA. Madison, WI.*

Saaevdra Saavedra-Romero, L. L., D. Alvarado-Rosales, T. Martínez-Trinidad y 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. DOI:
<https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.644>.

Sánchez Soledad, J. M. (2020). *El Chamizal, su historia y una oportunidad.* La verdad. <https://laverdadjuarez.com/2020/06/21/el-chamizal-su-historia-y-una-oportunidad/>. Consultado el 5 de abril de 2024.

USDA (United States Department of Agriculture). (1971). Soil Survey, El Paso County, Texas. Soil Conservation Service, Washington, D.C., 20402.

Villalpando, R. (2022). *Gobierno de Ciudad Juárez presenta estudio sobre El Chamizal.* La jornada. <https://www.jornada.com.mx/notas/2022/09/04/estados/gobierno-de-ciudad-juarez-presenta-estudio-sobre-el-chamizal/>. Consultado el 30 de marzo de 2024.

[WRB](#) (Base Referencial Mundial del Recurso Suelo). 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. Consultado el 16 de abril, 2024, <https://www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Libre59.pdf>.

[Zalacáin, D.](#), Bienes R., Sastre M.A., Martínez P. S. and García D.A., 2019. Influence of reclaimed water irrigation in soil physical properties of urban parks: A case study in Madrid. *Catena*. 180:333-340.