



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**“ESTADO NUTRIMENTAL DE LOS SUELOS EN
BOSQUES URBANOS DE LA CIUDAD DE MÉXICO”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGA

PRESENTA:

JESSICA RAMÍREZ VÁSQUEZ



DIRECTOR DE TESIS:

M. EN C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ

CDMX JUNIO 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarme todos los recursos para concluir una carrera universitaria, es un orgullo ser de sangre azul y piel dorada.

A la Secretaría de Ciencia Tecnología e Innovación de la CDMX, por el apoyo otorgado para realizar este proyecto (número SECITI/103/2017).

Al Dr. Faustino Juárez Sánchez del Instituto de Geofísica (Laboratorio de Radiactividad Natural) por el apoyo brindado para el análisis de los nutrimentos del suelo.

A mi director de tesis M. en C. German Calva Vásquez, muchas gracias por todo su apoyo, me llevo todas sus enseñanzas y consejos, gracias por ser el docente que es.

A mis sinodales:

Biól. Elvia García Santos, mi sexto semestre no hubiera sido lo mismo si hubiera tomado otro módulo, muchas gracias por todo su apoyo y por formarme como bióloga.

Biól. Aida Zapata Cruz, gracias por todas sus observaciones y el tiempo brindado a la realización de este proyecto.

Dr. Gerardo Cruz Flores, agradezco su contribución y todos sus comentarios enriquecedores para mejorar este trabajo.

M. en C. Ramiro Ríos Gómez, gracias por sus recomendaciones y el tiempo brindado a la realización de este proyecto.

DEDICATORIAS

A mis padres Salomón y María Inés gracias por brindarme la oportunidad de concretar una carrera universitaria y apoyarme siempre.

A mi madre, por ser la mujer que es, me ha enseñado que rendirse nunca es una opción, estamos cumpliendo una meta, tengo a la mejor mamá del mundo.

A mi hermano, sé que siempre puedo contar con tu apoyo y tus consejos atinados en todo momento.

A mi familia Vásquez Muñoz, por estar en las buenas y en las malas, agradezco mucho la convivencia con ustedes.

Gracias Paola y Daniel por ser mis mejores amigos, conocernos en CCH fue lo mejor que me pudo pasar en esa etapa, es muy gratificante seguirnos frecuentando.

Eduardo, gracias por apoyarme siempre y motivarme a superarme.

A mis amigas de la carrera Diana, Gladys y Soledad, fue un gusto coincidir en la vida, chicas.

En general a todos mis amigos con quienes compartí clases, anécdotas y etapas de vida.

CONTENIDO

	Págs.
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. ANTECEDENTES	5
3. JUSTIFICACIÓN	6
4. PROBLEMÁTICA	7
1. MARCO TEÓRICO	8
1.1. Bosque Urbano	8
1.2. Suelos urbanos	8
1.3. Suelo natural: Factores físicos	10
1.3.1. Drenaje	10
1.3.2. Compactación	11
1.3.3. Humedad	12
1.3.4. Temperatura	13
1.3.5. Densidad aparente	13
1.3.6. Textura	14
1.3.7. Porosidad	15
1.4. Suelo natural: Factores químicos	16
1.4.1. Nutrientes en el suelo	16
1.4.2. Macronutrientes	18
1.4.3. Micronutrientes	22
1.5. Contaminación atmosférica	26
2. OBJETIVOS	29
General	29

3.	ZONAS DE ESTUDIO.....	30
7.1	Bosque de Tlalpan	30
7.2.	Bosque de Chapultepec	31
7.3.	Bosque San Juan de Aragón	32
4.	METODOLOGÍA.....	34
8.1	Fase de campo	34
1.1.	Fase de Laboratorio.....	35
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
5.1.	Bosque de Tlalpan: caracterización ecológica.....	41
9.2	Bosque de Chapultepec	61
9.3	Bosque de San Juan de Aragón	78
9.4	Comparación de las tres zonas de estudio.....	97
6.	CONCLUSIONES.....	114
7.	RECOMENDACIONES.....	116
8.	REFERENCIAS	117
9.	ANEXOS.....	132

ÍNDICE DE FIGURAS	Pág.
Figura 1. Representación de algunos tipos de drenaje que puede presentar un suelo. Obtenido de: https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea35s/ch28.htm	11
Figura 2. Diámetro de las partículas elementales del suelo: arcillas, limos y arenas. Tomado de: https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/Interpretacion-De-Resultados-De-Textura-Y-Humedad-Del-Suelo.php	14
Figura 3. Representación de la porosidad del suelo. http://www.edafologia.net/introeda/tema04/imagenes/agregadosMicroagregados.jpg	15
Figura 4. Disponibilidad de los nutrimentos de acuerdo a la escala de pH. Tomado de: http://tiposagricultura.blogspot.com/2014/07/acidez-y-alcalinidad-de-los-suelos.html	18
Figura 5. Representación general de la contaminación atmosférica. Tomado de https://venezuelaverde.com/que-es-la-lluvia-acida/	27
Figura 6. Características fisiográficas y meteorológicas del valle de México. Tomado de http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/gestion-ambiental-aire-memoria-documental-2001-2006/descargas/proaire_1995-2000.pdf	28
Figura 7. Ubicación de los bosques urbanos Tlalpan, Chapultepec y San Juan de Aragón (obtención de los mapas en Google maps y mapa de la vegetación de la CDMX de: https://www.paratodomexico.com/estados-de-mexico/ciudad-de-mexico/vegetacion-ciudad-de-mexico.html	33
Figura 8. A) Profundidad y B) toma de las muestras en los respectivos bosques urbanos (Autora).	34
Figura 9. Determinación de la Densidad real (A) y la Densidad aparente (B) (Autora).	36
Figura 10. Determinación de la textura por el método de Bouyoucos (Autora).	37

Figura 11. Determinación del porcentaje de materia orgánica, titulación de las muestras.....	38
Figura 12. Determinación de las bases intercambiables: equipo de Absorción atómica (A) e instalación del tubo de percolación (B) (Autora).....	39
Figura 13. Filtrado de las muestras (A) y obtención de cristales de nitratos (B).....	40
Figura 14. Bosque de Tlalpan en donde se observa la parte baja (A) y la vegetación (B) (Autora).	41
Figura 15. Condiciones observadas en el Bosque de Chapultepec (Autora). 61	
Figura 16. Trabajos de remodelación que se realizan constantemente en el bosque de Chapultepec, así como la combinación de materiales externos al bosque (Autora).	62
Figura 17. Árboles del género <i>Crupressus</i> talados en el bosque (A) y orificios observados en el tronco del mismo género (B) (Autora).	79
Figura 18. Mantenimiento en las áreas verdes del bosque de San Juan de Aragón, que consiste en retirar la cubierta superior del suelo.	80
Figura 19. Densidad aparente (DA) y Densidad real (DR) obtenida en los suelos de los tres Bosques urbanos.	98
Figura 20. Espacio poroso (EP) obtenido en los suelos de los tres Bosque urbanos.....	99
Figura 21. Contenido de humedad en los suelos de los Bosques urbanos. 100	
Figura 22. Porcentaje de arenas, limos y arcillas en los suelos de los Bosques urbanos.....	101
Figura 23. Comparación de potencial hidrógeno en los suelos de los parques urbanos.....	102
Figura 24. Porcentaje de materia orgánica registrada en los.....	103
Figura 25. Conductividad eléctrica de los suelos de los Bosques urbanos.104	
Figura 26. CIC de los suelos de los Bosques urbanos.	105
Figura 27. Cationes intercambiables en los suelos de los Bosques urbanos.	106

Figura 28. Porcentaje de saturación de bases de los suelos en los Bosques urbanos.....	107
Figura 29. Contenido de Nitratos en los suelos de los Bosques urbanos... 	108
Figura 30. Nutrientes: fósforo, calcio, magnesio y potasio de los suelos en los Bosques.	109
Figura 31. Micronutrientes del suelo de los Bosques urbanos	112
Figura 32. Molibdeno registrado en el suelo de los Bosques urbanos.	113

ÍNDICE	DE	CUADROS
Pág.		
Cuadro 1. Investigaciones acerca de los suelos y los bosques urbanos.	5	
Cuadro 2. Nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los árboles (Aristizábal, 2003).....	17	
Cuadro 3. Características generales del Bosque de Tlalpan.....	30	
Cuadro 4. Principales características en el Bosque de Chapultepec.....	31	
Cuadro 5. Principales características del Bosque de San Juan de Aragón... 	32	
Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo: Densidad aparente, Densidad real, Porcentaje de espacio poroso y contenido de humedad del Bosque de Tlalpan.	44	
Cuadro 7. Propiedades físicas del suelo: Porcentaje de arcillas, limos, arenas y clase textural del Bosque de Tlalpan.	46	
Cuadro 8. Estructura y grado de desarrollo del suelo del Bosque de Tlalpan.	47	
Cuadro 9. Consistencia en el suelo del bosque de Tlalpan.....	48	
Cuadro 10. Propiedades químicas del suelo: pH activo, pH potencial, Materia orgánica, Conductividad eléctrica y CIC del Bosque de Tlalpan.	51	
Cuadro 11. Propiedades químicas del suelo: Saturación de bases, Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Sodio (Na²⁺) y Potasio (K⁺) Intercambiables del Bosque de Tlalpan.....	53	

Cuadro 12. Macronutrientes en el suelo: Nitratos, Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) totales (T) y disponibles (D) del Bosque de Tlalpan.	57
Cuadro 13. Micronutrientes disponibles en el suelo: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Molibdeno (Mo) del Bosque de Tlalpan.	60
Cuadro 14. Propiedades físicas del suelo: Densidad aparente, Densidad real, Porcentaje de espacio poroso y contenido de humedad del Bosque de Chapultepec.	64
Cuadro 15. Propiedades físicas del suelo: Porcentaje de arcillas, limos, arenas y clase textural del Bosque de Chapultepec.....	65
Cuadro 16. Estructura y grado de desarrollo del suelo del Bosque de Chapultepec.	66
Cuadro 17. Consistencia en el suelo del bosque de Chapultepec.....	67
Cuadro 18. Propiedades químicas del suelo: pH activo, pH potencial, Materia orgánica, Conductividad eléctrica y CIC del Bosque de Chapultepec.....	69
Cuadro 19. Propiedades químicas del suelo: Saturación de bases, Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Sodio (Na²⁺) y Potasio (K⁺) Intercambiables del Bosque de Chapultepec.	71
Cuadro 20. Macronutrientes del suelo: Nitratos, Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) totales (T) y disponibles (D) del Bosque de Chapultepec.	74
Cuadro 21. Micronutrientes disponibles: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Molibdeno (Mo) en el suelo del Bosque de Chapultepec.	77
Cuadro 22. Propiedades físicas del suelo: Densidad aparente, Densidad real, Porcentaje de espacio poroso y contenido de humedad del Bosque San Juan de Aragón.....	83
Cuadro 23. Propiedades físicas del suelo: Porcentaje de arcillas, limos, arenas y clase textural del Bosque San Juan de Aragón.....	84

Cuadro 24. Estructura y grado de desarrollo del suelo del Bosque San Juan de Aragón.	85
Cuadro 25. Consistencia en el suelo del Bosque San Juan de Aragón.	86
Cuadro 26. Propiedades químicas del suelo: pH activo, pH potencial, Materia orgánica, Conductividad eléctrica y CIC del Bosque San Juan de Aragón.	88
Cuadro 27. Propiedades químicas del suelo: Saturación de bases, Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Sodio (Na^{2+}) y Potasio (K^+) Intercambiables del Bosque San Juan de Aragón.	90
Cuadro 28. Macronutrientes del suelo: Nitratos, Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) totales (T) y disponibles (D) del Bosque San Juan de Aragón.....	93
Cuadro 29. Micronutrientes disponibles en el suelo: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Molibdeno (Mo) del Bosque San Juan de Aragón.	96

RESUMEN

Los suelos de los bosques de Chapultepec, San Juan de Aragón y Tlalpan se estudiaron con el propósito de conocer sus propiedades físicas y químicas.

El muestreo fue dirigido y la colecta del suelo fue a la profundidad de 30 cm, para cada uno de los bosques, tomando como criterio los rodales arbóreos. Los análisis físicos y químicos del suelo se realizaron de acuerdo a las técnicas (NOM-021): Densidad real -AS-04-(método del picnómetro) y aparente -AS-03 (método de la Probeta), Textura -AS-09-(Bouyoucos), Contenido de humedad -AS-05-(Gravimetría), Porcentaje de espacio poroso por la relación $((1-DA/DR) * 100)$, estructura y consistencia del suelo (cualitativo) Manual de métodos de análisis de suelos (Muñoz *et al.*, 2000). Los análisis químicos se realizaron de acuerdo a la NOM-021 para: el pH real y potencial -AS-02-, materia orgánica-AS-07-(Walkey-Black), Bases intercambiables y Capacidad de Intercambio Catiónico SA-006-(Acetato de Amonio-PSA-ISRIC, 2006). Los nutrimentos fueron evaluados mediante el equipo de Espectrometría de masas.

Los resultados de la acidez indican que va de ligera a neutra (pH = 6.41-7.06), lo que permite la absorción de la mayoría de los nutrimentos. La materia orgánica de los suelos de Tlalpan y Chapultepec fue de grado rico, no así para San Juan de Aragón que fue moderadamente pobre. La conductividad eléctrica fue menor a 1 dS m⁻¹, por lo que no presenta problemas para la vegetación arbórea. El porcentaje de espacio poroso fue del 40 al 60%, y la estructura del suelo estaba moderadamente desarrollada en los bosques de Tlalpan y Chapultepec, y el suelo de San Juan de Aragón presentó características de un suelo poco desarrollado, por lo que se sugiere mantener el tratamiento de conservación del suelo, mejorando los métodos de limpieza.

Las arcillas del suelo de Chapultepec fueron más altas (22-25%) y las más bajas en Aragón (10-13.33 %), una conducta similar se registró con la Capacidad de intercambio catiónico, la mayor en Chapultepec (32.73-33.99 Cmol (+) kg⁻¹), seguido de Aragón (18.07-19.02 Cmol (+) kg⁻¹), el suelo de Tlalpan con valores intermedios.

Respecto a los nutrimentos disponibles en suelo de los tres parques, se registraron cantidades medias de **Nitratos** en Tlalpan y Chapultepec y pobres en San Juan de Aragón, altas concentraciones de **Fósforo** (1.45-1.52 g Kg⁻¹) y de **Molibdeno** (2894.10-2993.55 mg Kg⁻¹). El **Calcio** proyectó un intervalo adecuado para el aprovechamiento vegetal (2.03-4.52 g Kg⁻¹), pero el contenido de **Magnesio** y **Potasio** se redujo considerablemente en las muestras analizadas de suelos.

El **zinc** se encontró en concentraciones normales; el **hierro** y **manganeso**, en contenidos variables. Respecto al **Boro**, **Cobre** y **Níquel** no estaban disponibles en los suelos de los tres bosques y **Manganeso** sólo en el suelo del Bosque de Chapultepec.

La vegetación Pino-Encino, cuyo endemismo en el bosque de Tlalpan es la adecuada y concuerdan con las características registradas del suelo, pese a que en áreas verdes de mayor impacto por uso público son las comprendidas en la parte interna a la pista de carrera. Sin embargo, en las zonas altas se requiere de mayor cobertura vegetal para evitar la pérdida de los materiales del suelo, en específico en las cañadas hechas por los escurrimientos temporales. Las especies arbóreas del bosque de Chapultepec son muy variadas en las dos primeras secciones (Fresno, ahuehuete, cedro, Trueno, Jacaranda, Eucalipto) son adecuadas para las condiciones del bosque a pesar de su compactación y la falta de prácticas de recuperación, que es un factor de estrés para la carpeta vegetal en general.

Suelos compactados es el factor común en los tres bosques, implementar métodos de drenaje, el composteo del material vegetal y la rotación de áreas más compactadas para el uso del público disminuirá esta condición. La vegetación (*Eucaliptus camaldulensis*, *Cupressus lusitánica*, *Casuarina equisetifolia*, *Jacaranda mimosifolia* y *Fraxinus udhei*) del bosque de San Juan de Aragón es la adecuada para las características del suelo que se presenta, no obstante, su estructura puede mejorar aumentando el contenido de materia orgánica y modificando los métodos de limpieza de la vegetación.

1. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de México se encuentran los bosques de Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón, denominados bosques urbanos por la influencia de actividades antropogénicas. El bosque urbano está conformado por los árboles, arbustos y vegetación herbácea asociada a estos, que se encuentran dentro de los límites de la ciudad (Benavides, 1989).

Dichos bosques favorecen la calidad de vida de la población y contribuyen a mitigar el cambio climático, generando oxígeno y absorbiendo dióxido de carbono. Asimismo, promueven la humedad en el ambiente, inducen que la lluvia se infiltre en el suelo; retienen y estabilizan el suelo, lo cual disminuye la erosión. También reducen la contaminación por ruido y mejoran la belleza del paisaje (Kuchelmeister, 2000; Tovar, 2005; Carreiro *et al.*, 2008; Suárez y Robles, 2008).

Las condiciones físicas y químicas del suelo de estos bosques deben ser óptimas, para el desarrollo de la vegetación y la pérdida de calidad de las capas superiores del suelo, conlleva una menor fuente de nutrimentos. Los factores permeabilidad, drenaje y agregados tienen una relación muy estrecha con los poros del suelo, ocupados por agua y aire; los macroporos están llenos de aire, y los microporos almacenan agua; los macroporos son necesarios para que respiren las raíces y la microfauna que habita en los suelos (Harold, 1979).

La sequía es un factor determinante para el crecimiento de las plantas y árboles en un parque urbano, el riego asistido garantiza la supervivencia de las especies (Bradshaw *et al.*, 1995) y condiciones como la textura la posibilidad de longevidad de estas (Krishnamurthy y Rente, 1997).

En los últimos tiempos, las adiciones antropogénicas como la deposición de nitrógeno (Sverdrup y Stjernquist, 2002), lluvia ácida (Palacios *et al.*, 1995), aumento de dióxido de carbono (Stock y Midgley, 1995) y el calentamiento de la atmósfera, han aumentado la disponibilidad de algunos elementos químicos en el suelo, provocando perturbaciones, ya que altera el equilibrio de los diferentes nutrientes que requieren los vegetales (Escudero y Mediavilla, 2003). En contraste, Smith (1981) planteó que los elementos (zinc, cobre, hierro, boro, manganeso y níquel) emitidos por la contaminación juegan un papel de fertilizantes.

Actualmente la ciudad de México es considerada como la metrópoli con más problemas de contaminación en la República Mexicana (Anders, 1988). En la zona se encuentran instaladas más de 40,000 industrias, de las cuales 5,000 se consideran altamente contaminantes; el parque vehicular se considera el responsable del 80% de la contaminación del aire (Gómez y Danglot, 1998), su rodamiento libera partículas de pavimento y caucho de las llantas. Las partículas se depositan en las áreas verdes urbanas, alterando las propiedades texturales y de porosidad del suelo (Fu *et al.*, 2004).

Los factores de estrés para los bosques urbanos son variables, sin embargo, algunas modificaciones pueden minimizar los efectos (Krishnamurthy y Rente, 1997), conocer las condiciones actuales de las propiedades físicas y químicas de estos suelos, permitiría una mejor gestión de los bosques, asumiendo que el suelo es el soporte esencial para la existencia vegetal (Cuesta, 2010).

2. ANTECEDENTES

En el **Cuadro 1**, se concentra la información acerca de las zonas de estudio y de otros trabajos relacionados en los bosques urbanos, sin embargo, es escasa la literatura sobre análisis de suelos en los bosques de San Juan de Aragón, Chapultepec y Tlalpan.

Cuadro 1. Investigaciones acerca de los suelos y los bosques urbanos.

Autor/ año	Aportaciones
Kabata, 1992.	Los metales disponibles en el suelo desplazan las Bases Intercambiables (Ca, Mg, Na, K) de los lugares de intercambio y realizan un bloqueo en la absorción de los nutrimentos.
Scharenbroch, Lloyd y Johnson (2005).	En general, el árbol urbano presenta un bajo promedio de vida, por diversos factores como: edad, genética de la especie y compactación del suelo.
Gaceta Oficial del D. F. (2006).	La compactación de los suelos del Bosque de Chapultepec ha llegado a tener valores altos y prácticamente en todos los sitios hay indicios de alteración antrópica.
Cram <i>et al.</i> (2008).	Los suelos de parques urbanos, camellones y jardines también tienen el potencial de filtrar agua hacia los mantos freáticos, retienen contaminantes de aire y agua, capturan carbono.
Rivas y Torres (2001) Fischesser (2009).	Las áreas verdes urbanas no cuentan con un mantenimiento uniforme y un programa de vigilancia adecuado.
Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía (2011).	El bosque de Tlalpan tiene suelos ricos en materia orgánica, aunque tienen limitantes como la alta fijación e inmovilización de fósforo, lo cual ocasiona graves deficiencias de este nutrimento en las plantas.
Gaceta Oficial del D.F. (2011).	Los suelos con mayores problemas para su conservación se encuentran en las áreas con usos recreativos y deportivos donde hay suelos desnudos con severos problemas de compactación y erosión en el bosque de Tlalpan.
Benavides y Fernández (2012).	El número de árboles del Bosque de Chapultepec se ubica por debajo de lo registrado para áreas forestales, esto puede estar relacionado con las condiciones limitantes que enfrenta el bosque urbano entre ellas la baja calidad del suelo.
Saavedra <i>et al.</i> (2016).	El estado de salud de los árboles del bosque San Juan de Aragón se calificó pobre debido a las bajas densidades de copa. Se requiere de investigación adicional para identificar los diferentes agentes de estrés que afectan a las especies.
FAO (2018).	En una ciudad de tamaño medio, los árboles urbanos pueden, reducir la pérdida de suelo en alrededor de 10 000 toneladas al año.
Gaceta Oficial del D.F. (2018).	Se reportó la existencia de zonas con zinc y boro en cantidades de toxicidad medias y altas para la vegetación, así como concentraciones elevadas de hierro, potasio, nitrógeno y fósforo, cuyo origen es el riego con aguas residuales en el bosque de San Juan de Aragón.

3. JUSTIFICACIÓN

La investigación responde a la necesidad de conocer el suelo de los bosques de Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón que se encuentran dentro de la Ciudad de México, los cuales están expuestos diariamente a contaminantes antropogénicos tales como: óxidos de nitrógeno (NO_x) y azufre (SO_x), dióxido y monóxido de carbono (CO_2 y CO) y metales como el Cadmio, Zinc y Plomo (Álvarez y Trento, 2004) emitidos por el transporte público, los vehículos y las industrias (INE, 2006). El depósito de estos contaminantes podría ocasionar cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo y perturbar las concentraciones de nutrimentos requeridos en sus suelos para el beneficio de la vegetación que soporta (Escudero y Mediavilla, 2003).

Es importante mantener condiciones óptimas en los suelos donde se desarrollan los bosques urbanos, ya que la vegetación de los tres bosques puede reducir el CO_2 atmosférico almacenando directamente carbón (del CO_2) en su biomasa, además la flora mejora la formación del suelo (Nowak, 1994).

4. PROBLEMÁTICA

Los bosques urbanos se encuentran expuestos a presiones, cuyo origen proviene de las actividades antropogénicas; emisiones vehiculares e industriales, radiación, vandalismo y prácticas irregulares de manejo y conservación (Krishnamurthy y Rente, 1997). La población recibe oxígeno, una temperatura confortable, disminuyen la radiación, fijan y secuestran carbono, y capturan gases y partículas contaminantes (IDB, 1997). Los costos de referencia por reforestación, restauración y mantenimiento cuesta 16,627.16/ ha. la superficie total de los bosques Chapultepec, Tlalpan y San Juan de Aragón es de 1,100 ha., sin embargo, el suelo ha quedado al margen y es quien sustenta y provee de nutrición a la carpeta vegetal.

De acuerdo con los correspondientes programas ecológicos de conservación de las áreas verdes de la Ciudad de México el bosque de Tlalpan es susceptible a la erosión (GODF, 2011); el bosque de Chapultepec registra alta compactación del suelo (GODF, 2006) y el bosque de San Juan de Aragón, presenta nutrimentos en cantidades de toxicidad media y alta (GODF, 2006). Ninguno programa de plantación y reforestación será lo suficientemente exitoso si hay una desarmonía nutrimental. A fin de conocer la dinámica y las propiedades del suelo de los parques urbanos se diseñó el presente estudio.

Las propiedades del suelo de Tlalpan debería ser las óptimas para: *Quercus crassipes*, *Quercus rugosa*, *Quercus laurina* y *Pinus teocote* (PAOT, 2009) cuyo crecimiento es adecuado en suelos con texturas migajón-arenosa y pH's de 5.4 a 6.4 (CONAFOR). Respecto a Chapultepec los *Fraxinus uhdei*, *Eucalyptus camaldulensis* y *Ligustrum lucidum* (PAOT, 2009), requieren de suelos húmedos y pH's ácidos o ligeramente alcalinos (Guillot *et al.*, 2009), con buen drenaje y nutrimentos (FAO, 1981). Para el bosque de San Juan de Aragón se reportan varias especies del género *Ficus*, *Jacaranda*, *Fraxinus* y *Casuarina* (PAOT, 2009) cuyas necesidades son un buen aporte nutrimental y buen drenaje (Vázquez, 1985). Conocer las características de cada suelo es el objetivo de este trabajo, pues permitirá determinar si existen condiciones que alteren el desarrollo de la vegetación de acuerdo a los requerimientos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Bosque Urbano

El bosque urbano se conforma de los árboles y la vegetación asociada que se encuentra a lo largo de las banquetas de calles y avenidas, en los camellones, parques, jardines, y en las zonas cercanas a las ciudades que están bajo la influencia de los habitantes y actividades urbanas (Benavides, 1989).

Estos bosques interactúan con el resto de los componentes bióticos y abióticos de la urbe y favorecen el aumento en la calidad de vida de la población pues brindan grandes beneficios ambientales y mantienen el equilibrio ecológico mejorando la calidad del aire; promoviendo alta humedad en el ambiente (IDB, 1997), induciendo que la lluvia se infiltre en los suelos; reteniendo y estabilizando el suelo, lo cual disminuye la erosión y mejorando la belleza del paisaje (Krishnamurthy y Rente, 1997).

En la ciudad de México la parte correspondiente a las áreas verdes está disminuyendo en cerca de 3.7% anual; las áreas verdes a menudo son reemplazadas con edificios, especialmente en los sectores más pobres de la ciudad (Chacalo *et al.*, 1996).

1.2. Suelos urbanos

Los suelos en áreas urbanas se conocen como Antrosol, Technosol, suelos antropogénicos y suelos urbanos. Son suelos que se forman en ambientes modificados por actividades humanas. La combinación de uso de suelo múltiple, diferentes tipos de cobertura, la variedad de materiales parentales heterogéneos, y

los efectos del entorno urbano da como resultado una amplia gama de propiedades del suelo (IUSS WRB, 2015).

Tiene uno o más horizontes, de al menos 50 centímetros de espesor, resultado de la mezcla, compactación, pulverización, relleno, raspado y / o la adición de contaminantes sintéticos o sustancias tóxicas en niveles superiores a los del suelo natural (Craul, 1985a, 1985b; Blume, 1986; Zemlyanitsky, 1963).

Antrosol con un horizonte hórtico: este se caracteriza por estar formado por cultivos más profundos de lo habitual, por una fertilización intensiva o por una aplicación prolongada de desechos orgánicos.

Antrosol con un horizonte irrágico: asociados con suelos típicos de regiones secas, como Calcisoles, Solonchaks, Solonetz, Regosoles y Cambisoles, se forman como resultado de la sedimentación prolongada de sedimentos del agua de riego.

Antrosol con un horizonte plágico: se asocian con suelos estériles como Arenosoles y Podzoles, los cuales son adicionados prolongadamente con estiércol orgánico y suelo.

Antrosol con un horizonte térrico: se encuentran comúnmente junto a los suelos de humedales como los Fluvisoles, Gleysoles e Histosoles, es la combinación de materiales salinos con materiales de naturaleza ácida.

Antrosol con un horizonte hidrágico: se producen junto con Gleysoles y Fluvisoles en sistemas fluviales, con Acrisoles y Luvisoles en zonas altas, con Andosoles en regiones volcánicas, son el resultado de un cultivo húmedo prolongado, que implica la destrucción de la estructura natural del suelo (IUSS WRB, 2015).

1.3. Suelo natural: Factores físicos

1.3.1. Drenaje

Es el grado en el cual se drena el agua del suelo y la cantidad que es retenida en el espacio de los poros capilares, algunos tipos se representan en la **Figura 1**:

- Excesivamente drenado. Suelos muy secos, la cantidad de humedad en el suelo no es suficiente para un crecimiento vegetal óptimo.
- Algo excesivamente drenado. Suelos secos, tienen una capacidad menor de retención de agua, pero suficiente para el crecimiento de las plantas, excepto durante las sequías prolongadas.
- Bien drenado. Capacidad relativamente alta de retención de agua dentro de las zonas de las raíces, suelos de texturas finas que provee a las plantas de una humedad adecuada.
- Moderadamente drenado. Suelos con humedad adecuada para el crecimiento vegetal, se producen estancamientos que provocan una reducción de los compuestos de hierros en los suelos.
- Algo pobremente drenado. La saturación de los suelos se presenta durante períodos prolongados. Sin embargo, el agua fluctúa bastante y el crecimiento en profundidad de las raíces generalmente se restringe.
- Pobremente drenado. Presentan estancamiento del agua que se encuentra en la superficie durante la mayor parte del año, por esta razón se restringe el crecimiento de las raíces de muchas plantas.

- Muy pobremente drenado. Estos suelos se van atascando hacia la superficie durante una buena parte del año, generalmente tienen superficies de turba o mantillo, con colores negro o marrón muy oscuro.
- Permanentemente húmedo. El agua permanece sobre la superficie de estos suelos durante gran parte del año, en general estos suelos solo sustentan vegetación tolerante al agua (Harold, 1979).

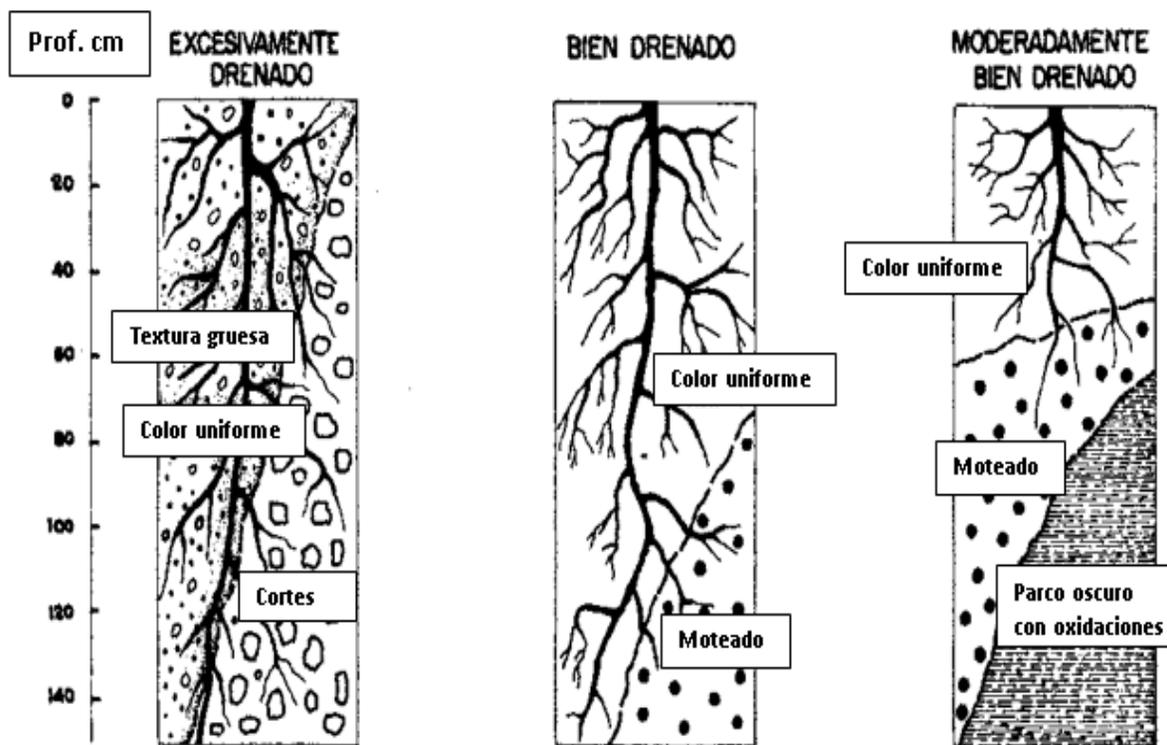


Figura 1. Representación de algunos tipos de drenaje que puede presentar un suelo.

Obtenido de: <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea35s/ch28.htm>.

1.3.2. Compactación

Le imparte al suelo un aumento de la resistencia al corte y una disminución de la permeabilidad y compresibilidad (Rico y Del Castillo, 1976). Reduce el movimiento de los gases que entran y salen del suelo, particularmente la entrada

de oxígeno, que las raíces requieren para funcionar correctamente, y la salida de dióxido de carbono, que debe ser eliminado (Hillel, 1980).

La compactación puede ser el resultado de causas naturales o de la acción del hombre (la formación de una suela o piso de labor). Fenómenos como la pérdida de suelo por erosión superficial, provoca pérdidas de elementos nutritivos, disminución de la porosidad y destrucción de la estructura, también disminuye la actividad biológica, lo cual obstaculiza el desarrollo radical. El conjunto de estos fenómenos y en consecuencia la aparición de un horizonte compacto es considerados como una degradación del suelo (Balmaceda, 1991).

1.3.3. Humedad

La humedad del suelo depende del clima, vegetación, profundidad del suelo, y de las características y condiciones físicas del perfil. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo (Flores y Alcalá, 2010).

La capacidad de un suelo de retener agua depende de sus espacios porosos capilares, lo que está en relación con la textura y la densidad aparente del suelo, entre más retención de humedad tenga un suelo, mayor probabilidad tiene la vegetación de sobrevivir a periodos de sequías (Shaxson y Barber, 2005).

La cantidad de agua que contiene un suelo en los poros capilares, en un momento determinado, depende de las demandas para el abastecimiento de agua por transpiración y evaporación. Cuando no hay vegetación el agua se pierde por la superficie del suelo desnudo a través de la evaporación (Harold, 1979).

1.3.4. Temperatura

La temperatura del suelo tiene una estrecha relación con el agua absorbida por la planta. Si la temperatura del suelo se encuentra por encima del punto de congelación, el agua puede desplazarse en estado líquido y su obtención es relativamente fácil; sin embargo, si la temperatura del suelo se encuentra por debajo del punto de congelación, el agua del suelo, en estado sólido, se encuentra inmóvil y no está disponible para las plantas (FAO, 2001).

El crecimiento y desarrollo de las raíces también se ve afectado por la temperatura del suelo. Si la temperatura es demasiado alta o demasiado baja (46.11°C o 4.44°C) se limita el crecimiento de las raíces. Las temperaturas mínimas del suelo para la mayoría de las especies se encuentran entre 0° - 5°C, el óptimo entre 10° y 25°C y el máximo entre 25° y 29.5°C (Harold, 1979).

1.3.5. Densidad aparente

Está relacionada con la gravedad específica de las partículas minerales, partículas orgánicas, así como con la porosidad de los suelos (Muñoz *et al.*, 2000).

Es un buen índice del grado de compactación por medio del cálculo de la porosidad. Es una forma de evaluar la resistencia del suelo a la elongación de las raíces. La densidad aparente varía con la textura del suelo y el contenido de materia orgánica; puede cambiar estacionalmente por efecto de labranzas y con la humedad del suelo sobre todo en los suelos con arcillas expansibles (Taboada y Álvarez, 2008).

1.3.6. Textura

El suelo normalmente es una mezcla de partículas de diferentes tamaños (**Figura 2**), a través de ella, se puede predecir el comportamiento físico del suelo, acerca del movimiento del agua en el perfil, la facilidad de manejo y la cantidad de nutrientes. La textura indica la proporción de partículas fundamentales en el suelo: arcilla, limo y arena, que se agrupan en suelos de textura fina, media y gruesa. Con la proporción relativa de estas fracciones minerales se puede obtener las clases texturales (Delgadillo y Alcalá, 2010).

Como la arena tiene poca capacidad de adsorción, permite la percolación y, por tanto, la movilidad de agua y nutrimentos disueltos se denomina como ligero o grueso y hay mayor filtración de agua. La arcilla tiene una mayor capacidad de retención de agua y nutrimentos en solución, si el suelo tiene una mayor cantidad de arcilla se denomina como pesado o fino, en relación con la potencialidad que tiene para retener agua (López, 2009).

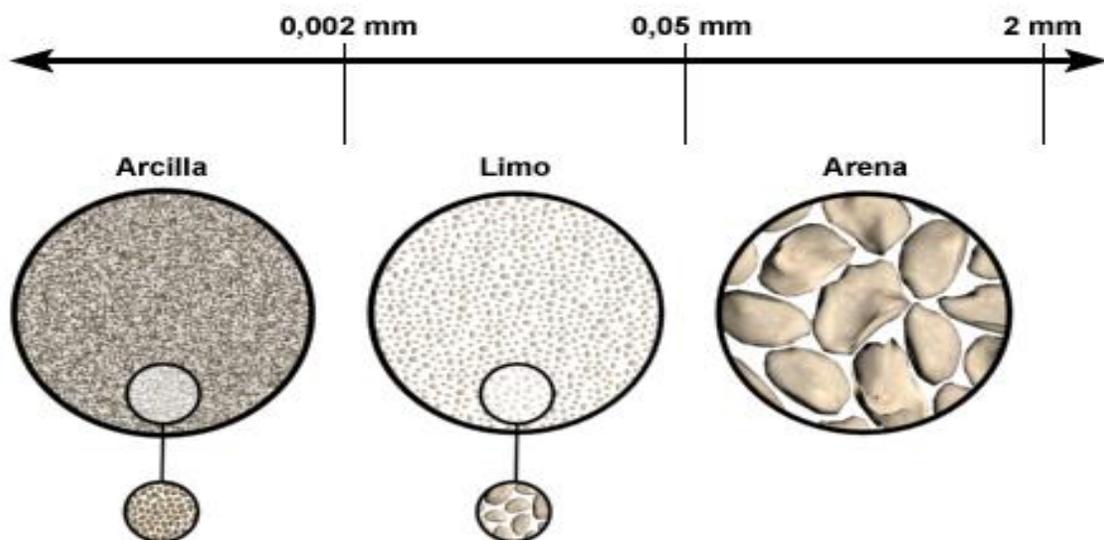


Figura 2. Diámetro de las partículas elementales del suelo: arcillas, limos y arenas. Tomado de: <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/Vista/Interpretacion-De-Resultados-De-Textura-Y-Humedad-Del-Suelo.php>.

1.3.7. Porosidad

El espacio poroso de un suelo en su estado natural está ocupado por aire y/o agua, como se observa en la **Figura 3**. El volumen depende mucho de la disposición de las partículas sólidas. Sus características dependen de la textura, estructura, contenido de materia orgánica y otras propiedades del suelo y su manejo (Delgadillo y Alcalá, 2010). La reducción de la porosidad del suelo provoca una menor aireación del suelo, menor capacidad de infiltración de agua y dificultad para la penetración de las raíces. La aparición de horizontes compactados dentro de un perfil puede deberse a procesos genéticos o bien, puede ser una compactación creada por el paso de maquinaria, por el laboreo en condiciones de humedad inadecuadas, o por el paso repetido del arado a cierta profundidad en la base del horizonte A (Harold, 1979).

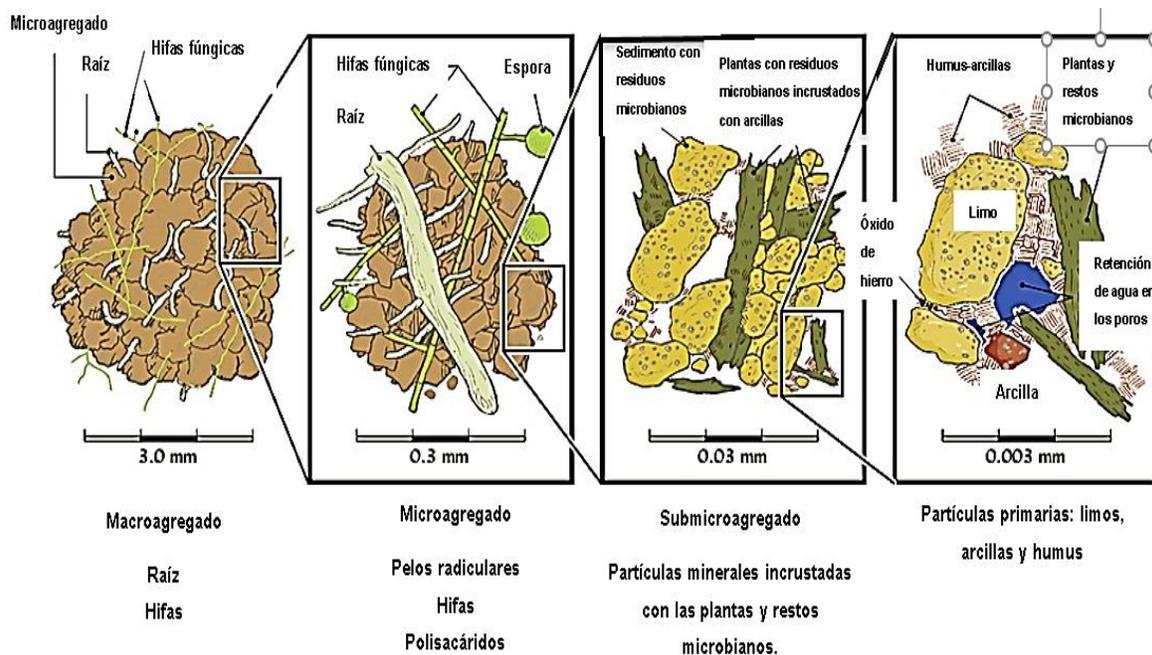


Figura 3. Representación de la porosidad del suelo.

<http://www.edafologia.net/introeda/tema04/imagenes/agregadosMicroagregados.jpg>

1.4. Suelo natural: Factores químicos

1.4.1. Nutrientes en el suelo

De acuerdo a Thompson y colaboradores (1998), en el suelo existen, dos fuentes principales de nutrientes fácilmente asimilables por la planta: los nutrientes adsorbidos por los coloides y los que forman parte de la disolución del suelo. En ambos casos los elementos esenciales están presentes como iones, por ejemplo, el calcio, el magnesio y el potasio son absorbidos como iones (Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^{+}), el nitrógeno en forma de amonio (NH_4^{+}) o nitrato (NO_3^{-}), el fósforo como ortofosfato ($\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$) y el azufre en forma de sulfato (SO_4^{2-}), como se observa en el **Cuadro 2**.

Casi el 98% de los bioelementos del suelo se encuentran formando parte de restos orgánicos, materiales húmicos y compuestos inorgánicos difícilmente solubles o minerales que representan una reserva nutritiva que se va degradando lentamente por meteorización del humus (Navarro *et al.*, 2013).

Salisbury y Ross (1994) mencionan que cuando el nutriente se encuentra en la solución del suelo, la absorción por la planta ocurre después de que ha llegado a las raíces por cualquiera de los siguientes mecanismos: A) Difusión a través de la solución del suelo a lo largo de un gradiente de concentración. B) Flujo- masa, cuando el agua mueve iones hacia la raíz a lo largo de un gradiente de potencial hídrico entre la raíz y el suelo, creado por la transpiración.

Diecisiete elementos se reconocen como esenciales para el crecimiento de las plantas: macronutrientes, como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), y micronutrientes como el hierro (Fe), cobre (Cu), cloro (Cl), manganeso (Mn), boro (B), zinc (Zn), níquel (Ni) y molibdeno (Mo),

los cuales son absorbidos por la planta en medio líquido, además, el carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O) son tomados del aire vía fotosíntesis y del agua del suelo (Alvarado y Raigosa, 2007), en el **Cuadro 2** se muestran los nutrimentos y los rangos de concentraciones para la vegetación.

Los nutrimentos quedan retenidos por la materia orgánica y las partículas de arcilla, que los liberan lentamente en la solución acuosa del suelo para que puedan ser utilizados por las plantas (Gardi *et al.*, 2014).

La disponibilidad de otros nutrientes esenciales para la planta depende de los valores de pH, como se observa en la **Figura 4**. Conociendo el valor del pH del suelo es posible diagnosticar problemas de nutrimentos para un buen desarrollo de las plantas.

Cuadro 2. Nutrimentos esenciales para el crecimiento y desarrollo de los árboles (Aristizábal, 2003).

Elemento	Forma química aprovechable	Rango de concentración requerido en tejido vegetal	
C	CO ₂	450	g kg⁻¹
H	H ₂ O	60	
O	O ₂ , H ₂ O	450	
N	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	20-60	
P	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	1-4	
K	K ⁺	20-50	
Ca	Ca ²⁺	5-15	
Mg	Mg ²⁺	1-4	
S	SO ₄ ²⁻	1-4	
Fe	Fe ²⁺	5-500	mg kg⁻¹
Mn	Mn ²⁺	5-300	
Cu	Cu ²⁺	20-50	
Zn	Zn ²⁺	10-50	
B	H ₃ BO ₃	20-100	
Cl	Cl ⁻	100	
Mo	MoO ₄ ²⁻	0.1	
Ni	Ni ²⁺	0.1	

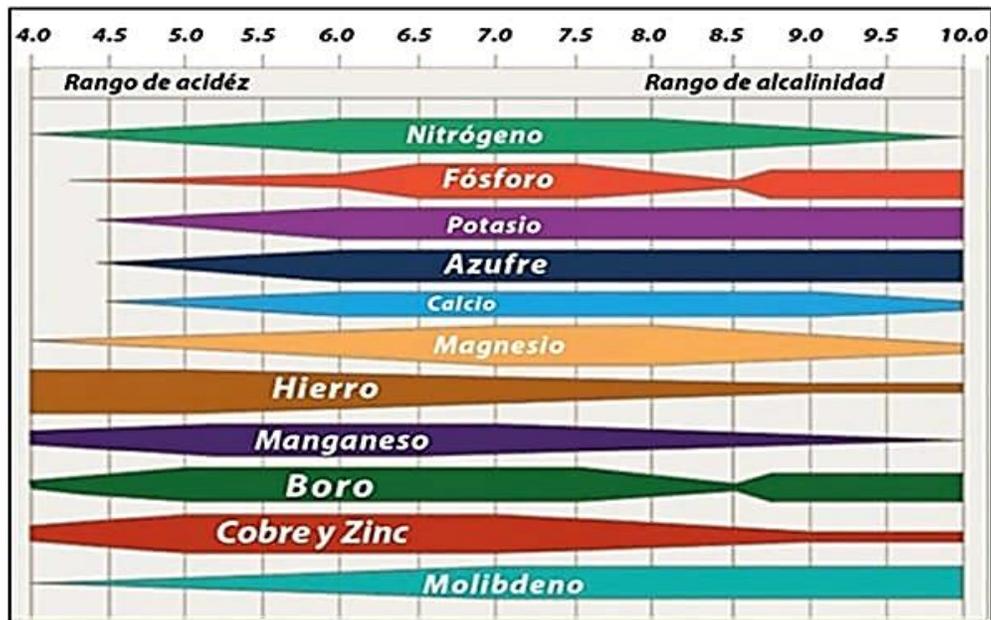


Figura 4. Disponibilidad de los nutrientes de acuerdo a la escala de pH. Tomado de: <http://tiposagricultura.blogspot.com/2014/07/acidez-y-alcalinidad-de-los-suelos.html>.

1.4.2. Macronutrientes

Los macronutrientes son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, carbono, hidrógeno y oxígeno los cuales se encuentran en el tejido de las plantas en concentraciones superiores a 0,1% (Welch, 1995).

1.4.2.1. Nitrógeno

Se absorbe del suelo como nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). La dinámica de este elemento en la biosfera comprende principalmente la fijación de nitrógeno, la mineralización, la nitrificación y la desnitrificación (Hayatsu *et al.*, 2008) y la oxidación anaeróbica del amonio (Hu *et al.*, 2011), estos procesos mediados principalmente por las bacterias presentes en el suelo (Klotz y Stain, 2008).

Una de las funciones más importantes del nitrógeno es el incremento de la masa seca, porque favorece el desarrollo del tallo y el crecimiento del follaje

(McDonald *et al.*, 1996), forma parte estructural de proteínas, amidas, coenzimas, ácidos nucleicos, clorofila y citocromos. Sin embargo, un exceso de este elemento provoca un crecimiento excesivo del follaje y un escaso desarrollo en el sistema radical (Guerrero, 1993). La deficiencia de este elemento provoca una clorosis en las hojas inferiores y en caso de deficiencias agudas, éstas caen prematuramente y la clorosis se generaliza en toda la planta y produce un escaso crecimiento en los árboles (Hernández y Pacheco, 1986).

1.4.2.2. Fósforo

Este elemento proviene de las apatitas y depósitos de fosfato natural de donde es liberado a través de procesos de meteorización, lixiviación y erosión (Stevenson y Cole, 1999), las plantas han desarrollado estrategias para la adquisición de fósforo bajo limitaciones de este nutrimento, que incluyen modificaciones morfológicas de la raíz, así como adaptaciones fisiológicas (Bünemann, 2008 y Turner *et al.*, 2003).

La disponibilidad está influenciada por el pH del suelo (BaranČíková *et al.*, 2007), en suelos con un pH alcalino la disponibilidad del fósforo está limitada por la formación de fosfatos de calcio, no aprovechables por las plantas, igualmente, en condiciones de pH ácido, la alta solubilidad del aluminio y del hierro precipitan el fósforo, limitando la disponibilidad de este elemento para las plantas (Lora, 1994). El fósforo juega un papel importante en el metabolismo energético de la planta (Salisbury y Ross, 1992; Barceló *et al.*, 1995; Marschner, 1998), ya que forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), además, participa en la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de almidón (White, 1987; Salisbury y Ross,

1992; Barceló *et al.*, 1995; Marschner, 1998). Un efecto notorio de la deficiencia de fósforo es la reducción en la expansión celular, razón por la cual, las plantas pueden presentar enanismo (Salisbury y Ross, 1992).

1.4.2.3. Potasio

Como lo menciona Barber (1984) la mayor parte del potasio disponible es de origen inorgánico, su formación es el resultado del intemperismo de las rocas, en suelos orgánicos se encuentran contenidos bajos de potasio (< 0.03%).

Junto con el nitrógeno son absorbidos en grandes cantidades por las plantas (Guerrero, 1993). La absorción del potasio depende de la difusión del elemento y de otros factores, como contenidos muy altos de calcio y magnesio, los cuales disminuyen la absorción del potasio (León, 1994). Contribuye a la economía del agua porque regula la apertura estomatal, importante para la absorción de CO₂ y el control de la transpiración, confiere resistencia a la pudrición de la raíz. La deficiencia de este nutrimento se observa como clorosis y necrosis de tejidos maduros, aspecto marchito, moteado clorótico de hojas, necrosis del ápice y bordes de las hojas (Taiz y Zeiger, 1998; Hernández y Pacheco, 1986).

1.4.2.4. Azufre

El azufre es abundante en la naturaleza. Contribuye al fenómeno conocido como lluvia ácida (pH 3), el gas dióxido de azufre (SO₂) es considerado como contaminante atmosférico y se incorpora al suelo por la lluvia, lixiviándose con facilidad (Granados *et al.*, 2010).

Las raíces de las plantas absorben el azufre en forma de aniones de sulfato y su contenido en los tejidos vegetales es variable. El azufre forma parte de

proteínas y vitaminas, además es componente de numerosas enzimas y constituyente de compuestos volátiles (isotiocianatos y sulfóxidos) responsables de los olores característicos de las plantas. Además, es componente de los sulfolípidos, los cuales son constituyentes de la membrana y ayudan a regular el transporte de iones (Clavijo, 1994 y Marschner, 1998).

1.4.2.5. Calcio

El contenido medio de calcio presente en la corteza terrestre asciende a 3,64% (Mengel y Kirkby, 2000). La presencia de calcio representa numerosos beneficios para los suelos, algunas de sus funciones son: a) neutralizar la acidez de los suelos, b) mejorar la estructura del suelo, mejorar la permeabilidad del agua c) reducir la movilidad de los compuestos tóxicos como el aluminio (Muñoz *et al.*, 2000). Es un elemento esencial porque interviene en la estabilidad de la membrana plasmática. Una deficiencia de calcio puede provocar mayor absorción del magnesio provocando síntomas de fitotoxicidad, en caso contrario, altos contenidos de calcio regulan la absorción del potasio (León, 1994), además, impide el desarrollo de la planta, ya que los tejidos meristemáticos de la parte aérea y de la raíz se afectan por división celular incompleta, como consecuencia las hojas y las raíces nuevas se desarrollan con deformaciones.

1.4.2.6. Magnesio

El magnesio puede faltar en suelos arenosos y ácidos, presenta funciones similares a las del calcio en el suelo (Muñoz *et al.*, 2000).

El magnesio es absorbido por las plantas como un catión divalente, su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las

plantas absorben menos magnesio, (Lora, 1994). El magnesio tiene funciones importantes dentro de la planta: es el átomo central de la molécula de la clorofila, interviene en la síntesis de proteínas, en el metabolismo del fósforo, la respiración y en la activación de varios sistemas enzimáticos en las plantas (Marschner, 1998). La deficiencia de magnesio se caracteriza por una clorosis de las hojas inferiores, también se pueden presentar pigmentos antocianínicos, con coloraciones púrpura y posteriormente necrosis (White, 1987).

1.4.3. Micronutrientos

Son requeridos en los tejidos de las plantas en concentraciones menores a 100 µg/g de masa seca, son elementos catalíticos esenciales en las reacciones redox a nivel biológico. Los microelementos aceptados como esenciales son: Boro (B), Cloro (Cl), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Molibdeno (Mo), Níquel (Ni) y Zinc (Zn) de acuerdo con Welch (1995).

1.4.3.1. Boro

Generalmente el boro se presenta en cantidades adecuadas en el ambiente, puede no estar disponible por estar ligado a complejos del suelo (Alarcón, 2001). El boro es absorbido por la planta en forma de anión $H_2BO_3^-$ (Welch, 1995), su distribución en las plantas está determinada principalmente por la transpiración ya que es un elemento poco móvil.

El papel del boro en la nutrición de las plantas es de los menos comprendidos, sin embargo, es conocido que la deficiencia de boro inhibe la elongación de la raíz y la síntesis de ADN, también se induce la acumulación de fenoles que al ser

activados por la luz producen radicales superóxidos que pueden dañar las membranas (Marschner, 1998). Por otra parte, su deficiencia se observa en las yemas más jóvenes, las cuales se decoloran (Hernández y Pacheco, 1986).

1.4.3.2. Cloro

Es altamente móvil en suelos que van desde ligeramente ácidos a alcalinos (Von Uexkull, s/f), es altamente móvil dentro de la planta, está involucrado en la fotosíntesis, ya que es requerido para la fotólisis del agua, participa en la regulación estomática, sirviendo de anión acompañante al potasio en su entrada y salida de las células guardas. Está implicado en el balance de las cargas y en el ajuste osmótico dentro de las células (Welch, 1995). La ausencia de cloro se manifiesta en una reducción del área foliar (Marschner, 1998). Los excesos de cloruros pueden causar el agrietamiento del tallo causando alta incidencia de enfermedades (Medina, 1999).

1.4.3.3. Cobre

El cobre es un catión divalente que junto con el hierro y el manganeso interviene en la síntesis de la clorofila. Forma parte de numerosas enzimas involucradas en la biosíntesis de lignina y alcaloides, en condiciones de deficiencia, la disminución en la actividad de las enzimas es drástica y está correlacionada con la acumulación de fenoles. En las plantas deficientes de cobre se presenta marchitamiento en las hojas jóvenes, lo cual resulta de dificultades en el transporte del agua, debido a una insuficiente lignificación en las células del xilema, es importante en la fotosíntesis, por lo que su deficiencia repercute en bajas tasas fotosintéticas y, por lo tanto, bajos niveles de carbohidratos

(Marschner, 1998), es necesario considerar que el cobre a pH básico se precipita formando hidróxidos insolubles que no son disponibles para la planta (López y Segovia, 1996).

1.4.3.4. Hierro

Es inaprovechable en suelos alcalinos. Las formas de hierro más comunes en el suelo son de forma catiónica que son absorbidos por las raíces en Fe^{2+} , (Welch, 1995). Elemento asociado con el desarrollo de los cloroplastos, la síntesis de ferredoxina y clorofila. La deficiencia de hierro puede tener varias causas, la primera que ocurra un desbalance con otros elementos, como el exceso de fósforo y los altos niveles de bicarbonato a un pH básico, porque el hierro forma compuestos insolubles no disponibles para las plantas (Estrada, 1997). En suelos ácidos, el aluminio soluble es más abundante y restringe la absorción del hierro (Salisbury y Ross, 1992). Debido a que este elemento es poco móvil dentro de la planta, los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas jóvenes de la parte superior de la misma, y clorosis intervenal pronunciada (Juárez *et al.*, s/f).

1.4.3.5. Manganeso

El manganeso se absorbe sobre todo como catión (Mn^{2+}). Es soluble a pH's ácidos y en suelos encharcados (Guerrero, 1993 y McBride, 1994). Es importante en el proceso fotosintético, junto con el cloro, participa en la fotólisis del agua. Por otra parte, la presencia de este elemento en el fotosistema II favorece la reducción del CO_2 , y la reducción del nitrito y del sulfato, por tal razón, su deficiencia podría ocasionar una fuerte reducción de la tasa fotosintética. Aunque la deficiencia de este elemento no es común, es importante tener en cuenta que este es un

elemento poco móvil en la planta y su deficiencia se manifiesta primero en las hojas jóvenes. La presencia de carbonatos y altos contenidos de fósforo disminuyen la disponibilidad de este micronutriente. Así mismo, un desbalance a favor del Fe, Cu y Zn disminuyen la toma de este elemento por parte de la planta (Lora, 1994).

1.4.3.6. Molibdeno

Este micronutriente es absorbido bajo la forma de oxianión molibdato (Welch, 1995). Es un constituyente esencial de las enzimas que intervienen en la fijación biológica de nitrógeno y con la reducción de nitrato en amonio (Marschner, 1998), las deficiencias de molibdeno están correlacionadas con el metabolismo del nitrógeno. La deficiencia de este elemento puede presentarse en suelos ácidos, con presencia de óxidos de hierro y aluminio, los cuales adsorben el molibdeno. Su disponibilidad aumenta con la presencia del fósforo. Por otra parte, el magnesio aumenta la toma de molibdeno por parte de la planta (Lora, 1994).

1.4.3.7. Zinc

El zinc puede ser inprovechable en suelos alcalinos. Es absorbido por la planta como catión divalente, este elemento es transportado vía xilema y puede ser poco móvil en el interior de la planta (Amezcuca y Lara, 2017). Cataliza la formación de ácido carbónico a partir de CO₂ y agua. Se requiere para el mantenimiento de las biomembranas, ya que las protege frente a daños oxidativos. La deficiencia de zinc comienza en las hojas jóvenes, las cuales presentan un amarillamiento progresivo y disminución del tamaño de la hoja (Alarcón, 2000). La disponibilidad de este nutriente aumenta con la presencia de

sulfatos. Otros factores como la interacción con cobre, hierro, manganeso y suelos con alta disponibilidad de fósforo reducen la toma de zinc (Lora, 1994).

1.4.3.8. Níquel

La absorción global del níquel por las plantas depende de la concentración del ion Ni^{2+} , del metabolismo de la planta, acidez del suelo, presencia de otros metales y la composición de la materia orgánica. La absorción de níquel disminuye a pH's básicos. La absorción de níquel en las plantas se realiza principalmente a través de raíces por difusión pasiva y transporte activo (Seregin y Kozhevnikova, 2006).

Forma parte de la enzima ureasa que disocia la urea en CO_2 y NH_4^+ . En plantas con deficiencia de níquel, la concentración de urea aumenta en las hojas hasta niveles tóxicos (Salisbury y Ross, 1992). También el níquel participa en la absorción del hierro, la viabilidad de las semillas, fijación del nitrógeno y en el desarrollo reproductivo (Marschner, 1998).

1.5. Contaminación atmosférica

Los contaminantes atmosféricos son sustancias químicas o biológicas que al agregarse al aire pueden cambiar sus características naturales, pueden ser de origen natural o resultantes de actividades humanas (INECC, 2007). Se distinguen entre contaminantes primarios y secundarios, los primeros proceden directamente de la fuente de emisión (CO y SO_2) y los contaminantes secundarios se producen como consecuencia de las reacciones fisicoquímicas que sufren los contaminantes primarios en la atmósfera, algunos ejemplos son el ozono (O_3) y los sulfatos

(Ballester, 2005). De acuerdo a Encinas (2011) el proceso de contaminación atmosférica contempla emisión, procesos y efectos (**Figura 5**

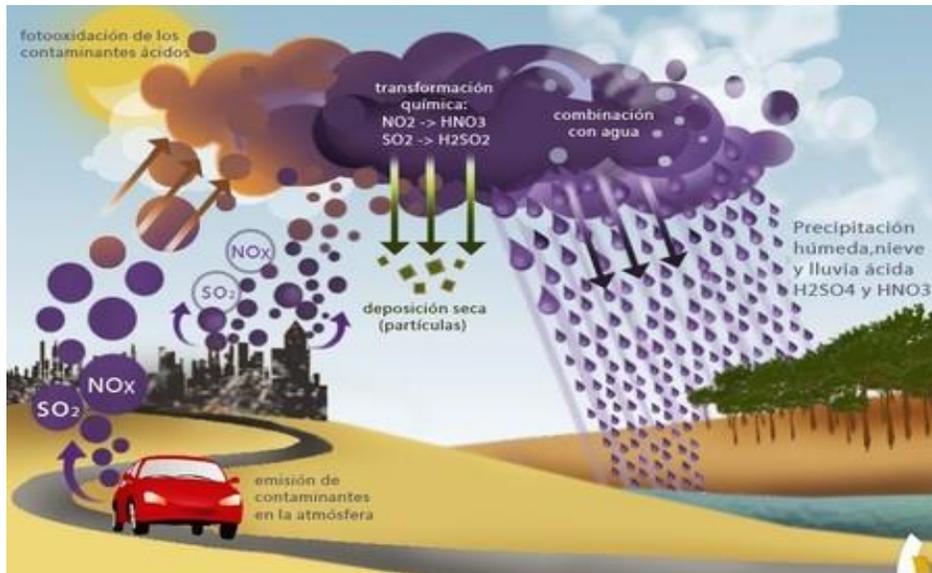


Figura 5. Representación general de la contaminación atmosférica. Tomado de

<https://venezuelaverde.com/que-es-la-lluvia-acida/>.

5.5.2 Contaminación en la zona metropolitana de la ciudad de México.

Actualmente, se calcula que en un año la ciudad arroja al aire alrededor de cinco millones de toneladas de contaminantes, entre los que destacan los NO₂, los SO₂, los óxidos de carbono, los hidrocarburos aromáticos como el benceno y diversas partículas. El Valle de México posee una serie de características fisiográficas y climáticas únicas que contribuyen de manera determinante a la contaminación, como se observa en la **Figura 6** (Quadri y Sánchez, 1992).

· Se encuentra a una altura de 2 mil 240 metros, por lo que el contenido de oxígeno del aire es 23% menor que al nivel del mar. Esto hace que los procesos de combustión interna sean menos eficientes y produzcan, una mayor cantidad de contaminantes (MILAGRO, 2006).

- Está rodeado por montañas, las que constituyen una barrera física natural para la circulación del viento, impidiendo el desalojo del aire contaminado fuera del Valle (Molina y Molina, 2002).
- Presenta con frecuencia inversiones térmicas que provocan el estancamiento de los contaminantes (Inventario de Emisiones de la ZMVM, 2006).
- Recibe una abundante radiación solar debido a su latitud de 19° N, lo que hace que su atmósfera sea altamente fotorreactiva. En presencia de la luz solar, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan fácilmente para formar ozono y otros oxidantes (DDF, 1996).

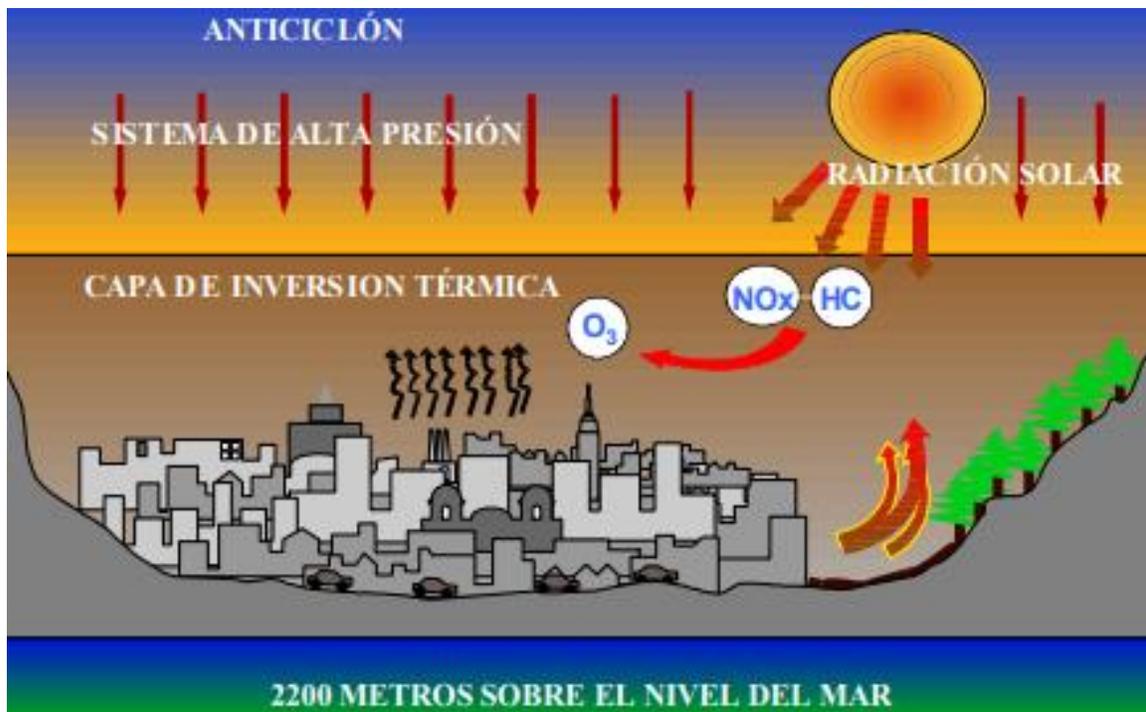


Figura 6. Características fisiográficas y meteorológicas del valle de México. Tomado de http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/gestion-ambiental-aire-memoria-documental-2001-2006/descargas/proaire_1995-2000.pdf

2. OBJETIVOS

General

- Conocer el estado nutrimental de los suelos del Bosque de Chapultepec, Bosque de Tlalpan y San Juan de Aragón.

Objetivos específicos

- Determinar las condiciones físicas y químicas de los suelos y concluir si son óptimas para el desarrollo de la vegetación.
- Comparar y determinar que bosque urbano presenta mayor modificación nutrimental.
- Analizar si la vegetación es la adecuada para las condiciones de suelo de cada bosque urbano.

3. ZONAS DE ESTUDIO

La ubicación de los bosques estudiados se observa en la **Figura 7**, a continuación, se describe cada zona de estudio.

7.1 Bosque de Tlalpan

Sus principales características se observan en el siguiente **cuadro (3)**.

Cuadro 3. Características generales del Bosque de Tlalpan.

Extensión	252.86 hectáreas
Coordenadas	19°17'30" y 19°18'00" de latitud norte y 99°11'30" y 99°12' 25" de longitud oeste.
Altitud	2,310 -2,448 msnm.
Clima	Templado húmedo
Precipitación	700-1200 mm promedio anual (Jáuregui, 2000)
Temperatura	15° a 15. 4° C
Vegetación	<i>Buddleia cordata</i> (tepozán) <i>Buddleia parviflora</i> (tepozancillo) <i>Dodonaea viscosa</i> (chapulixtle) <i>Pittocaulon praecox</i> (palo loco). <i>Quercus crassipes</i> , <i>Q. rugosa</i> , <i>Q. laurina</i> <i>Pinus teocote</i> (PAOT, 2009)
Clasificación de suelo	Leptosol y Feozem

Se localiza en la alcaldía de Tlalpan, en las faldas de la Sierra del Ajusco, pertenece a la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico Transversal y a la Subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac, en un terreno de origen volcánico (INEGI, 1999). Generalmente sus suelos no sobrepasan unos cuantos centímetros, por ello, es difícil distinguir horizontes edafológicos típicos, la textura más frecuente es media o limosa (Carta edafológica 1: 50, 000 INEGI-SPP, 1982, CETENAL, 1980). Los suelos del orden Leptosol se caracterizan por ser muy superficiales, que se forman sobre roca dura o áreas muy pedregosas,

normalmente en laderas de fuerte pendiente y son poco aptos para la agricultura (IGN, s/f).

Los suelos del orden Feozem si manifiestan la formación de un horizonte A superior mólico bien desarrollado. Por tanto, son suelos de color oscuro, que pueden tener horizonte B, con un contenido más o menos alto en materia orgánica (Vivanco *et al.*, 2010).

7.2. Bosque de Chapultepec

Sus principales características se observan en el **Cuadro 4**. Se localiza al poniente de la Ciudad de México en la Alcaldía Miguel Hidalgo, dentro del pie de monte volcánico de la Sierra de Las Cruces (Casasola, 2006; GODF, 2006). Su índice de humedad está entre 43,2 y 55,0 y la cantidad de lluvia es escasa en invierno: menor de 5% (GODF, 2006). Los suelos del orden Inceptisoles se formaron sobre rocas ígneas e intrusivas, así como en depósitos recientes, son delgados, sin horizontes definidos (Chinchilla *et al.*, 2011).

Cuadro 4. Principales características en el Bosque de Chapultepec.

Extensión	686.018 hectáreas
Coordenadas	19°23'40" y 19°25'45" de latitud Norte y 99°10'40" y 99°14'15" de longitud Oeste. (GODF, 2006)
Altitud	2250 -2400 msnm (Molina, 1979)
Clima	Templado subhúmedo
Precipitación	700 - 1100 mm promedio anual (CONABIO 1997)
Temperatura	12 °C y 18 °C (GODF, 2006)
Vegetación	<i>Fraxinus uhdei</i> <i>Eucalyptus camaldulensis</i> <i>Ligustrum lucidum</i> (PAOT, 2009)
Clasificación de suelo	Inceptisol (GODF, 2006)

7.3. Bosque San Juan de Aragón

Las principales características del Bosque de San Juan de Aragón se observan en el **Cuadro 5**. Se encuentra ubicado en la Alcaldía Gustavo A. Madero, en la Cuenca de México que pertenece al Eje Neovolcánico, de Lagos y Volcanes de Anáhuac y la llanura lacustre.

Tiene una pendiente de 0 a 4%. El suelo se compone de sedimentos lacustres, aluviales y eólicos. Su estructura es generalmente de bloques angulares y subangulares grandes, sus colores varían de pardos oscuros en superficie, a más claros y brillantes en profundidad; su pH es mayor de 8.5 por la presencia de sales solubles. La evaporación total anual es de 1318.8 mm. El periodo de mayor evaporación ocurre de marzo a mayo, con registros máximos de 436.3 mm., que representan el 33% del total en el año.

Cuadro 5. Principales características del Bosque de San Juan de Aragón.

Extensión	162.028 hectáreas (GDF, 2001; SMA, 2003)
Coordenadas	19°27'04" y 19°27'57" de latitud Norte y 99°04'50" y 99°03'43" de longitud Oeste. (GDF, 2001; SMA, 2003)
Altitud	2 240 msnm (GDF, 2001; SMA, 2003)
Clima	
Precipitación	475 a 530 mm promedio anual (GDF, 2001; SMA, 2003; Estación meteorológica San Juan de Aragón -No. 9043 del SMN- CNA)
Temperatura	16.6° C (Estación meteorológica San Juan de Aragón -No. 9043 del SMN- CNA)
Vegetación	<i>Casuarina equisetifolia</i> <i>Eucaliptus camaldulensis</i> <i>Cupressus lusitanica</i> <i>Schinus molle</i> <i>Fraxinus uhdei</i> <i>Cupressus sempervirens</i> <i>Grevillea robusta</i> (Velasco <i>et al.</i> , 2013)
Clasificación de suelo	Solonchak (GDF, 2001; SMA, 2003)

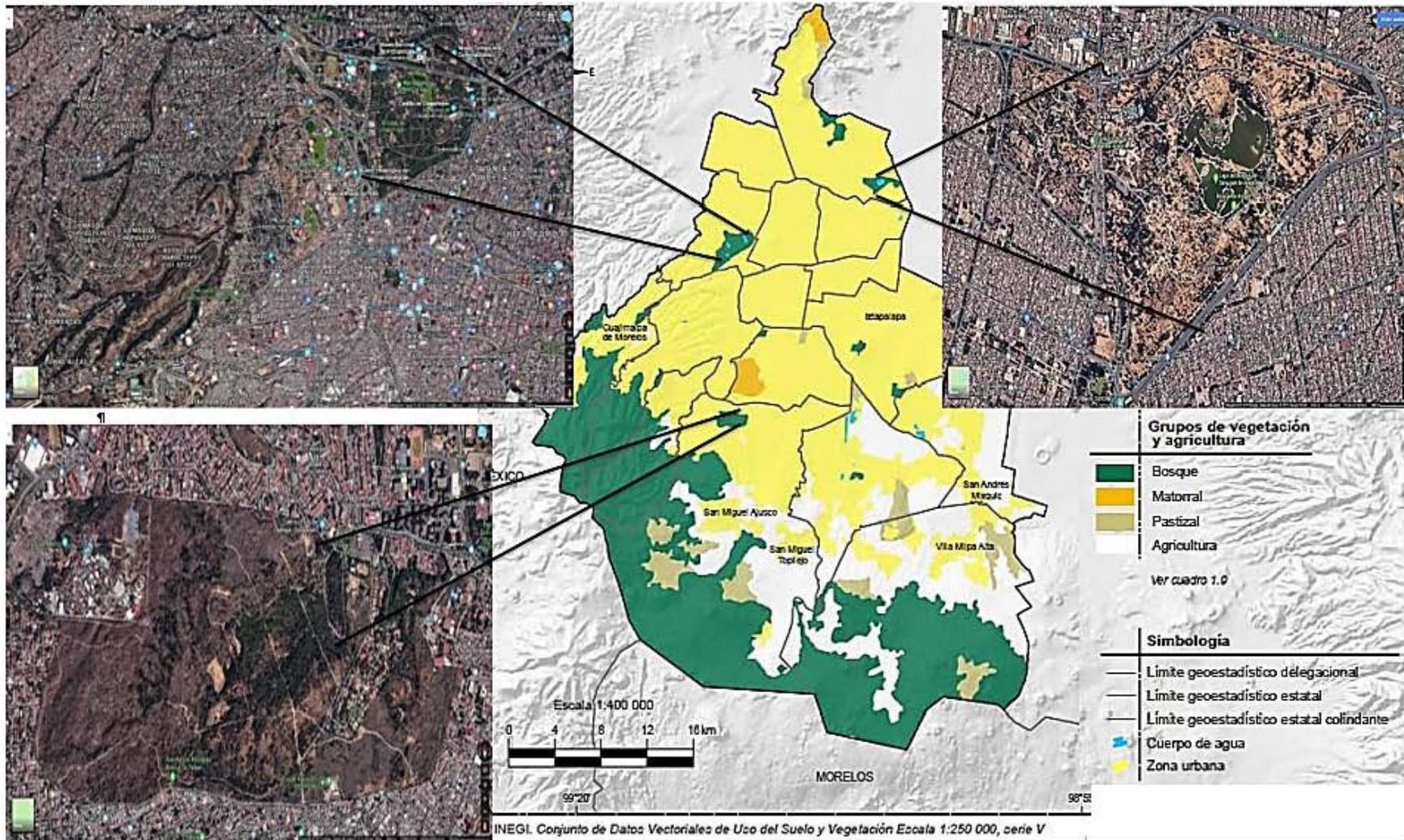


Figura 7. Ubicación de los bosques urbanos Tlalpan, Chapultepec y San Juan de Aragón (obtención de los mapas en Google maps y mapa de la vegetación de la CDMX de: <https://www.paratodomexico.com/estados-de-mexico/ciudad-de-mexico/vegetacion-ciudad-de-mexico.html>).

4. METODOLOGÍA

Los bosques urbanos elegidos para realizar los análisis de suelo son de gran relevancia para la Ciudad de México, ya que proporcionan servicios ambientales a la población circundante.

8.1 Fase de campo

La selección de los sitios de muestreo se realizó de forma dirigida, escogiendo los tres rodales, se hizo una caracterización ecológica, que permitió identificar las zonas menos perturbadas y con más ejemplares arbóreos. Se realizaron tres muestreos exploratorios en cada uno de los bosques urbanos y en los rodales seleccionados, tomando las muestras de suelo de la capa superficial (0-30 cm de profundidad, (Figura 8-A), con una pala cubierta por una bolsa como se observa en la figura 8-B, para así evitar que se contaminaran (NMX-AA-132-SCFI-2006).



Figura 8. A) Profundidad y B) toma de las muestras en los respectivos bosques urbanos

(Autora).

Se colectaron 9 muestras de 1.5 kg aproximadamente, de cada suelo en los bosques urbanos y se colocaron dentro de bolsas de plástico previamente rotuladas (Hodgson, 1987), después fueron transportadas al Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

1.1. Fase de Laboratorio

Una vez en el laboratorio, el total (27) de muestras de suelo fueron secadas a temperatura ambiente y se tamizaron en mallas de 2x2 mm. (Hodgson, 1987). Para realizar los análisis físicos y químicos del suelo se realizaron por triplicado las siguientes técnicas sugeridas por la NOM-021.

Análisis físicos

- * La Densidad real se obtuvo por el método del picnómetro (NOM-021-AS-04), **Figura 9-A**, que se determina indirectamente mediante el cálculo del peso de un volumen de líquido desplazado por una masa conocida de suelo.
- * La Densidad aparente por el método Volumétrico (Desarrollado por Beaver, 1963), **Figura 9-B**, se considera el espacio poroso, así como la fracción sólida del suelo.
- * Textura por el método de Bouyoucos (NOM-021-AS-09), **Figura 10**, basado en el cálculo de la velocidad de sedimentación de las partículas, utilizando el principio de la ley de Stokes.
- * Contenido de humedad por el método de Gravimetría NOM-021-AS-05, que consiste en calcular la diferencia de peso de una misma muestra húmeda y seca de peso constante.

- * Porcentaje de espacio poroso se obtuvo mediante la relación: densidad aparente entre la densidad real utilizando la ecuación $(1 - DA/DR) * 100$.
- * Estructura del suelo por análisis cualitativo (Desarrollado por Cuanalo, 1981), que se determina separando los agregados del suelo, de acuerdo a su forma y tamaño, agrupándolos en alguna clase.
- * Consistencia del suelo por análisis cualitativo (Adaptado de Cuanalo, 1981), que se evalúa en tres estados: seco, húmedo y saturado, en función de la firmeza y coherencia de sus agregados.



Figura 9. Determinación de la Densidad real (A) y la Densidad aparente (B) (Autora).

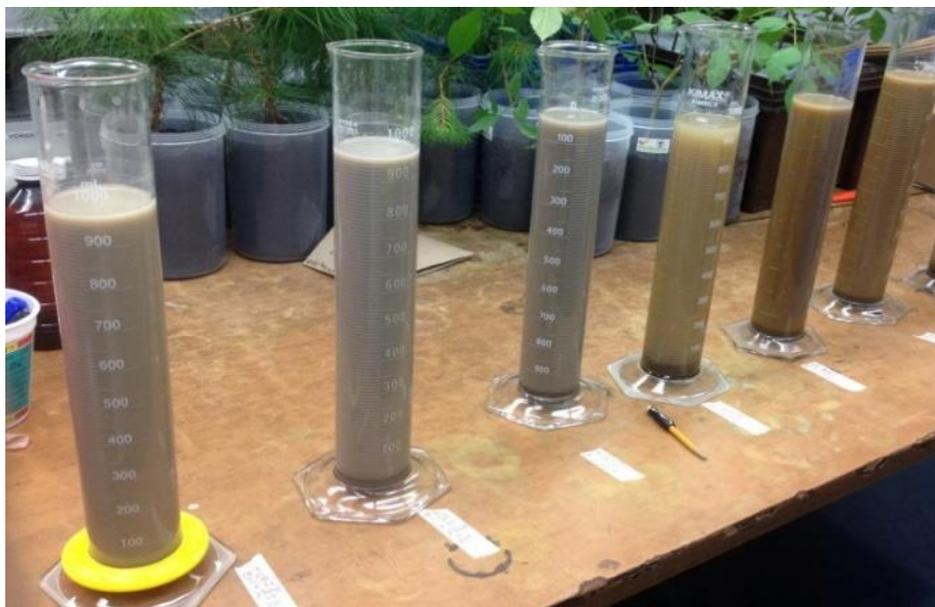


Figura 10. Determinación de la textura por el método de Bouyoucos (Autora).

Análisis químicos

- * El pH activo se examinó en solución con agua destilada en una relación 1:2, se agito durante una hora y se tomó la lectura empleando un potenciómetro (NOM-021-AS02).
- * El pH potencial en solución de KCl 1M, en una relación 1:2, se agito durante una hora y se tomó la lectura empleando un potenciómetro (NOM-021-AS24).
- * El porcentaje de materia orgánica se obtuvo por el método Walkey-Black, el cual es un procedimiento indirecto que determina el carbono, por ser un elemento relativamente constante en ella (NOM-021-AS07), (**Figura 11**).
- * La conductividad eléctrica se evaluó utilizando el conductímetro (NOM-021-AS18) en una pasta de saturación por medición electrolítica.
- * Bases intercambiables Ca y Mg intercambiables se midieron por espectrofotometría de absorción atómica (**Figura 12-A**) de llama, Na y K

intercambiables por espectrofotometría de emisión de llama, utilizando como matriz la solución de Acetato de amonio pH 7, instalando tubos de percolación, como se observa en la **Figura 12-B** (PSA-ISRIC).

- * La C.I.C se evaluó cuantificando Na, mediante espectrofotometría de emisión de llama, utilizando como matriz la solución de Acetato de amonio pH 7 (PSA-ISRIC).
- * Los elementos fósforo, potasio, magnesio, calcio, boro, cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc y níquel fueron cuantificados utilizando el equipo de Espectrometría de masas perteneciente al Laboratorio de Radiactividad natural del Instituto de Geofísica de la UNAM, los elementos fueron extraídos mediante una mezcla de agua regia invertida y ácido fluorhídrico.
- * Los nitratos se evaluaron por el método del Ácido Nitrofenoldisulfónico, que se basa en la coloración amarilla del ácido y se determina en un espectrofotómetro (Harper, 1954), se le agrega solución extractora y se filtra (**Figura 13-A**), se obtienen los nitratos en forma de cristales (**Figura 13-B**).



Figura 11. Determinación del porcentaje de materia orgánica, titulación de las muestras.



Figura 12. Determinación de las bases intercambiables: equipo de Absorción atómica (A) e instalación del tubo de percolación (B) (Autora).



Figura 13. Filtrado de las muestras (A) y obtención de cristales de nitratos (B).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Bosque de Tlalpan: caracterización ecológica.

El bosque de Tlalpan se caracterizó como una zona de actividades antropogénicas recreativas (Gimnasio al aire libre, ciclismo, deporte recreativo), en la parte baja tiene pendientes poco pronunciadas (**Figura 14-A**), en sitios con mayor pendiente podrían perderse materiales del suelo por erosión, como lo refiere Uribe *et al.* (2002). La vegetación dominante fue el matorral xerófilo (**Figura 14-B**), con un 50% de cobertura, seguido por el estrato arbóreo con un 40%, las más representativas fueron: *Quercus rugosa*, *Quercus laurina*, *Pinus ayacahuite* y *Pinus teocote*, las cuales presentaban una cobertura de copa del 40-60%, aparentemente saludables, lo que facilita el crecimiento del matorral por la entrada de la luz solar, el estrato restante fue el herbáceo (10%). El suelo presentaba un 90% de hojarasca.



Figura 14. Bosque de Tlalpan en donde se observa la parte baja (A) y la vegetación (B) (Autora).

9.1.1 Propiedades físicas del suelo del Bosque de Tlalpan.

Según Gómez y Osorio (2013) la **densidad aparente (DA)** comprende las partículas y los espacios del suelo; depende de la textura, estructura y porosidad de tal forma que, en los tres puntos muestreados, la DA oscilo entre 0.975 y 1.03 g cm³ (**Cuadro 6**).

Los puntos 1 y 3 se clasificaron en un rango medio, el segundo fue bajo, de acuerdo a los criterios de los autores del Manual de métodos de análisis de suelo de la FES Iztacala (Muñoz *et al.*, 2000). Una categoría baja indica un horizonte superficial con daños mecánicos (Álvarez y Steinbach, 2009), y se podrían relacionar con un contenido elevado de materia orgánica (Reyes, 1996), el cual fue alto en este bosque. La DA obtuvo las siguientes correlaciones inversas (**Anexo 1**), en el orden: Espacio Poroso >Densidad Real>Arenas>C. Humedad y correlaciones positivas con Limos ($r^2=0.75$) y Arcillas ($r^2=0.0856$), confirmando las relaciones propuestas por Gómez y Osorio (2013).

La **densidad real (Cuadro 6)** considera a las partículas sólidas dependiente de la composición del suelo (Porta *et al.*, 1994), los resultados obtenidos de 1.86 a 1.94 g cm³, se clasifican en una categoría baja, se presentan los más bajos en las capas superficiales como efecto de un mayor porcentaje de materia orgánica, similar a lo descrito por Chinchilla y colaboradores (2011). La DR obtuvo correlaciones (**Anexo 1**) negativas con DA ($r^2=-0.97$), y Limos ($r^2=-0.87$), y las positivas se ordenaron de la siguiente manera: Arenas>Espacio poroso>C. Humedad>Arcillas.

El porcentaje de **espacio poroso** (**Cuadro 6**) obtenido se encontró en un intervalo medio de 45% a 50% (Muñoz *et al.*, 2000), un porcentaje mayor a 50% le proporciona al suelo una adecuada aireación de raíces (Millar *et al.*, 1980), por lo que se favorece el crecimiento de las especies *Quercus laurina* y *Q. rugosa* quienes requieren de un buen drenaje (Arriaga *et al.*, 1994 y CONABIO s/f). Según Harol (1979) la porosidad está ligada a la aireación de las raíces, almacenamiento de agua y al flujo de nutrimentos que son tomados por las plantas. El espacio poroso obtuvo correlaciones inversas (**Anexo 1**), la más significativa fue con la Densidad aparente con una $r^2=-0.99$ de acuerdo a lo descrito por Gómez y Osorio (2013), seguido de los Limos>Arcillas y correlaciones positivas con Densidad real>Arenas>C. Humedad respectivamente.

La **humedad del suelo** en condiciones naturales depende del clima, el tipo de suelo y la profundidad, le permite al suelo aportar los nutrimentos a las plantas (Harol, 1979). En el bosque de Tlalpan la precipitación media anual es de 700 a 1200 mm (Jáuregui, 2000). En la temporada seca se evaluó el contenido de humedad obteniendo el intervalo de 20.48 a 29.87% (**Cuadro 6**) considerando los tres puntos.

Tlalpan fue el bosque que presentó porcentajes altos, quizás resultado de la cobertura vegetal (pastizal xerófilo, bosque de pino-encino) ya que el agua retenida en la biomasa aérea se absorbe por el sistema radicular. Las especies *Quercus rugosa* y *Quercus laurina* requieren de un porcentaje de humedad (Arriaga *et al.*, 1994), las cuales cumple el suelo de Tlalpan, Cervantes y Cuevas

(1981) hace referencia que el *Pinus ayacahuite* requiere un volumen de humedad aprovechable de 10.24 %. El contenido de humedad tuvo correlaciones (**Anexo 1**) directas, la más significativa con el E. poroso con una $r^2=0.63$, de acuerdo a lo dicho por Gómez y Osorio (2013), que la humedad influye con el E. poroso, seguidos por la DR>Arenas>Limos y correlaciones negativas con las arcillas ($r^2=-0.80$) y DA ($r^2=-0.65$).

Cuadro 6. Propiedades físicas del suelo: Densidad aparente, Densidad real, Porcentaje de espacio poroso y contenido de humedad del Bosque de Tlalpan.

	Densidad aparente	Densidad real g cm ³	Porcentaje de espacio poroso (%)	Contenido de humedad
Tlalpan 1er punto	1.03	1.86	45	26.58
Tlalpan 2do punto	0.975	1.94	50	29.87
Tlalpan 3er punto	1.025	1.89	46	20.48

La **textura** de un suelo expresa el tamaño de las partículas que lo componen, esta propiedad ayuda a determinar la facilidad de abastecimiento de nutrimentos ya que forma agregados con el humus; las clases texturales son el resultado de diferentes combinaciones de arena, limo y arcillas (FAO, 2002). En el **cuadro 7** se expresan los porcentajes de arcillas, limos y arenas de los tres puntos muestreados, así como la clase textural

El porcentaje de **arcillas** fluctuó de 18.66 a 21%, las arcillas actúan como un almacén de reservas de agua y nutrimentos (Muñoz *et al.*, 2000), porcentajes de arcilla de 9.14 a 15.14 % son ideales para el crecimiento de *Pinus ayacahuite* (Cervantes y Cuevas, 1981), Las arcillas mostraron correlaciones inversas con el

C. Humedad>Limos>Espacio poroso y correlaciones positivas con las Arenas>Densidad real>Densidad aparente (**Anexo 1**)

Los **limos** se encontraron en un intervalo de 27.33-32.88%, estas partículas también tienen la capacidad de retener agua disponible, porcentajes de limos de 10 a 30.73 % permiten el desarrollo de *Pinus ayacahite* (Cervantes y Cuevas, 1981). Los limos mostraron correlaciones negativas (**Anexo 1**) con Arenas>Densidad real>Espacio poroso>Arcillas y correlación positiva con la Densidad aparente ($r^2=0.75$).

El **porcentaje de arenas** obtenido fue de 48.46-50.67%, estas partículas aumentan el tamaño de los espacios porosos, facilitando el movimiento del agua y aire (Aguilera, 1989), porcentajes de arena de 52.5 a 80.5 % permiten un drenaje adecuado a las raíces de *Pinus ayacahuite* (Cervantes y Cuevas, 1981). Las arenas mostraron correlaciones inversas (**Anexo 1**) con la Densidad aparente ($r^2=-0.95$) y los limos (-0.91) y correlaciones positivas en el siguiente orden Densidad real>Espacio poroso>C. Humedad>Arcillas.

La **clase textural del suelo de Tlalpan (Cuadro 7)** fue determinada como Franco, por ser relativamente suelto, dicha propiedad es propiciado por las arenas y la fertilidad es aportada por los limos, además de proporcionar una adecuada retención de humedad favorecida por la arcilla, es la más beneficiosa pues proporciona fracciones gruesas y finas en proporciones adecuadas, siendo ligero, aireado y permeable (Sánchez, 2018).

La especie *Quercus laurina* se desarrolla en suelos de tipo: limosa, arcillosa, franca-arcillosa-arenosa y franca-arenosa (Vázquez, 1992). Se adapta

bien el *Pinus teocote* ya que obtiene un crecimiento favorable en texturas medias, lo que garantiza un drenaje favorable (Arriaga *et al.*, 1994). *Pinus ayacahuite* prefiere texturas arcillosas, franco arcillosas, franco limosas y franco arenosas (Fierros *et al.*, 1999), esta especie es muy utilizada en reforestación urbana y suburbana, se establece en suelos Francos (Perri, 1991).

Cuadro 7. Propiedades físicas del suelo: Porcentaje de arcillas, limos, arenas y clase textural del Bosque de Tlalpan.

	Arcillas	Limos %	Arenas	Clase textural
Tlalpan 1er punto	18.66	32.88	48.46	Franco
Tlalpan 2do punto	19.33	27.33	53.34	Franco
Tlalpan 3er punto	21	28.33	50.67	Franco

La **estructura** es la agregación natural de todas las partículas del suelo, lo que forma agrupaciones de mayor tamaño con características más persistentes, su formación se debe a las cargas eléctricas de las superficies de las arcillas, que provocan interacciones físicas y químicas entre todos los componentes del suelo, lo que provoca la unión de éstos (Forsythe, 1985).

En el **Cuadro 8** se encuentra la estructura determinada para el suelo de este bosque, que presentó agregados del tipo poliédrica angular media, que se caracteriza por tener agregados que encajan perfectamente unos en otros, dejan un sistema de grietas inclinadas y tienen contenidos arcillosos medios o con arcillas poco expansibles (Dorronsoro, 2018). Los suelos moderadamente desarrollados presentan agregados bien formados y definidos que son durables y evidentes (Muñoz *et al.*, 2000).

Las especies *Quercus laurina* y *Quercus rugosa* juegan un papel importante en la formación y estabilización del suelo, formando agregados del suelo, estables y de buen tamaño. Los encinos mejoran la productividad del sistema al aportar nutrientes al suelo mineral por la descomposición de la hojarasca, evitan la erosión y generan piso forestal. Contribuye a la infiltración y la conservación de los mantos acuíferos subterráneos (Vázquez, 1992 y CONABIO s/f).

Cuadro 8. Estructura y grado de desarrollo del suelo del Bosque de Tlalpan.

	Estructura	Desarrollo
Tlalpan 1er punto	Poliédrica angular media	Moderadamente desarrollado
Tlalpan 2do punto	Poliédrica angular media	Moderadamente desarrollado
Tlalpan 3er punto	Poliédrica angular media	Moderadamente desarrollado

La **consistencia** del suelo se debe a las fuerzas de cohesión, adherencia, resistencia a la deformación y a la ruptura (FAO, 2019) Esta resistencia esta proporcionada principalmente por los minerales arcillosos y el agua del suelo, de esta propiedad dependen otros dos factores como la adhesividad y la plasticidad. Se describe al tener relevancia práctica para el crecimiento de las plantas (Muñoz *et al.*, 2000).

Esta propiedad se evaluó en tres estados de humedad del suelo: seco, húmedo y saturado como se observa en el **Cuadro 9**. En medio seco se expresó la fragilidad del agregado, Tlalpan presentó una consistencia dura, en medio húmedo mostró una consistencia firme y friable haciendo referencia a la resistencia que ofrece el material bajo una determinada presión, en medio saturado manifestó una consistencia adhesiva que es el resultado de la tensión

superficial y la capacidad para adherirse a las superficies; esta propiedad es función del contenido de humedad y aumenta con el contenido de arcilla (Cuanalo, 1981).

Cuadro 9. Consistencia en el suelo del bosque de Tlalpan.

	Seco	Húmedo	Saturado	Plasticidad
Tlalpan 1er punto	Duro	Firme	Adhesivo	Ligeramente plástico
Tlalpan 2do punto	Duro	Friable	Adhesivo	Ligeramente plástico
Tlalpan 3er punto	Duro	Friable	Adhesivo	Ligeramente plástico

9.1.2 Propiedades químicas del suelo

El estudio de la química del suelo es determinante en el fenómeno del decline forestal como lo menciona Calva y Nieto de Pola (2015).

El **pH activo** (actividad de los iones de hidrógeno en el suelo) que este alrededor de 6.5 debe considerarse como fértil (Osman 2013) en el bosque de Tlalpan se determinó como moderadamente ácido (pH = 6.3-6.49), como se observa en el **Cuadro 10**, de acuerdo a lo descrito en la NOM-021. Esto podría deberse a la secreción de sustancias ácidas por las raíces de las plantas y a ello, se suman los compuestos ácidos producto de la descomposición de la materia orgánica (Ibáñez, 2007), la MO es alta en el bosque de Tlalpan. Según Kunhns (1985), la máxima disponibilidad de nutrimentos se da con un pH de 6.5 a 7. En este sentido fósforo y molibdeno se encuentran medianamente aprovechables; el potasio, calcio, magnesio, hierro, cobre, manganeso, boro y molibdeno si están disponibles. El pH, también afecta la actividad y la diversidad de las poblaciones de microorganismos del suelo, por ejemplo las bacterias (Alexander, 1991).

Las especies *Quercus laurina* y *Pinus teocote* se desarrollan mejor en pH's de 4.8 a 7.5 (Madrigal, sin fecha), el intervalo de este suelo es adecuado, *Quercus rugosa* es tolerante a suelos ácidos (CONABIO, s/f), *Pinus ayacahuite* obtienen un crecimiento favorable en pH's de 5 - 8 (Fierros *et al.*, 1999) o de 4.3 a 6.9 como lo sugieren Cervantes y Cuevas (1981). El pH activo obtuvo correlaciones inversas (**Anexo 2**) con el Na inter>MO>CIC y correlaciones positivas con la CE>Ca inter>K inter>pH Potencial>Mg inter>SB respectivamente.

El **pH potencial** son los hidrógenos en solución y los hidrógenos intercambiables, se utiliza una solución salina para extraer todos los iones hidrogeno que se encuentren adsorbidos en los sitios de intercambio de los coloides del suelo (Reyes, 1996). Los resultados obtenidos (**Cuadro 10**) se encontraron en un intervalo de 5.83-5.94. El pH potencial mostró correlaciones inversas con la MO>Na inter>CIC y correlaciones positivas en el siguiente orden Mg inter>SB>K inter>CE>pH activo>Ca inter (**Anexo 2**).

La **materia orgánica** oscilo en 7.13-9.43 % (**Cuadro 10**), lo que beneficia a su estructura, por ello también muestra un pH menor al resto de los bosques, Moreno (1970) sugiere que es extremadamente rico, mientras que Muñoz y colaboradores (2000) de acuerdo a la interpretación de Aguilera (1989), sugieren que se encuentra en intervalo rico.

Representa una reserva natural de nutrimentos, los cuales son liberados de forma gradual para posteriormente ser aprovechados por la vegetación, por ello este suelo es muy fértil, actúa como un buffer natural (FAO, 2019). El porcentaje en este bosque para la especie *Quercus rugosa*, es adecuado, ya que, requiere

porcentajes de materia orgánica de 1.17-3.7% (Madrigal, sin fecha), *Pinus teocote* también demanda gran porcentaje de materia orgánica, *Pinus ayacahuite* exige porcentajes del 2.0 – 2.8%, como sugieren Cervantes y Cuevas (1981), el porcentaje de materia orgánica en este bosque es adecuado para la vegetación. La materia orgánica (MO) tuvo correlaciones inversas en el siguiente orden (**Anexo 2**): pH Potencial>K inter>CE>Mg inter>pH Activo>Ca inter>SB, correlaciones positivas con el Na inter ($r^2=0.97$) y CIC ($r^2=0.25$), esto por la relación de que a mayor porcentaje de materia orgánica mayor CIC, como lo menciona Osman (2013).

La **conductividad eléctrica** (CE) se observa en el **Cuadro 10**, en este suelo se presentó en valores de 0.40-0.46 dS m⁻¹ y de acuerdo a la interpretación propuesta por la NOM-021 tiene efectos despreciables de salinidad, lo que reduce la probabilidad de que la vegetación sufra por efectos de fitotoxicidad, es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través de este (Barbaro *et al.*, s/f). La CE mostró correlaciones inversas con el Na inter ($r^2=-0.94$), MO ($r^2=-0.83$) y CIC ($r^2=-0.75$), correlaciones positivas en el orden pH Activo>K inter>Ca inter> pH Potencial>Mg inter>SB (**Anexo 2**).

La **Capacidad de intercambio catiónico** (CIC) es la suma de cationes intercambiables adsorbidos por un suelo. En este suelo los valores se encuentran en un intervalo de 28.47-30.96 Cmol (+) kg⁻¹ (**Cuadro 10**), de acuerdo al criterio de interpretación en la NOM-021 es alta y coinciden con los propuestos por Reyes (1996), Muñoz y colaboradores (2000), ubicándolos en un intervalo medio. Los

suelos fértiles, son aquellos que tienen una capacidad de intercambio catiónico alta $>25 \text{ Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$ (Osman, 2013).

En nivel de registró de la CIC, es buena, que en conjunto con el porcentaje de materia orgánica está permitiendo que el suelo de Tlalpan retenga sus cationes en los sitios de intercambio, evitando con ello la pérdida de iones por procesos de lixiviación (Jaramillo, 2002), sin embargo, las pendientes representan un problema en épocas de lluvias, ya que arrastra el material y acelera su degradación, por ello es importante aumentar la cobertura arbórea.

La CIC mostró mayor correlación inversa (**Anexo 2**) con el Ca intercambiable, por ser el catión que se encuentra en mayor proporción en los sitios de intercambio, seguido del pH activo, que le proporciona el medio adecuado, también la conductividad eléctrica, el K intercambiable y el pH potencial se relacionaron inversamente; correlaciones positivas se encontraron con él % SB, seguidos de Na y Mg intercambiables, por último la materia orgánica que actúa también como un coloide que permite la adsorción de los cationes.

Cuadro 10. Propiedades químicas del suelo: pH activo, pH potencial, Materia orgánica, Conductividad eléctrica y CIC del Bosque de Tlalpan.

	pH activo	pH potencial	Materia orgánica (%)	Conductividad eléctrica dS m^{-1}	CIC $\text{Cmol}(+) \text{ kg}^{-1}$
Tlalpan 1er punto	6.45	5.94	7.13	0.45	30.51
Tlalpan 2do punto	6.49	5.83	8.1	0.46	28.47
Tlalpan 3er punto	6.3	5.76	9.43	0.40	30.96

El porcentaje de **Saturación de bases (SB)** es la proporción de sitios de intercambio de un suelo que es saturada con cationes intercambiables diferentes al hidrógeno y aluminio (FAO, 2019). Los resultados se encontraron de 74.09 a 86.23% (**Cuadro 11**), se relaciona con los pH's registrados (6.3-6.49), ya que en estado neutro (7) la saturación de bases llega a un 100% y significa que no se encuentran iones de hidrógeno en los coloides (FAO, 2019). El porcentaje de SB obtuvo correlaciones inversas (**Anexo 2**) con él %MO ($r^2=-0.70$) y Na inter ($r^2=-0.51$), correlaciones positivas en el orden descendente Mg inter> pH Potencial>CIC>K inter>CE>pH Activo>Ca inter, esto en relación a si los contenidos de bases intercambiables son mayores, existirá un %SB alto.

El **Calcio intercambiable** se encontró de 18.77 a 19.71 Cmol (+) kg⁻¹, la interpretación de la NOM-021 que es alta para todos los puntos de muestreo. El Calcio intercambiable exhibió correlaciones (**Anexo 2**) con el pH act>CE>K inter>pH Potencial>Mg inter>SB, correlaciones inversas con el Na inter >CIC>MO.

El **Magnesio intercambiable** se midió en un intervalo de 2.77 a 6.52 Cmol (+) kg⁻¹ clasificándose en un contenido medio en el segundo y tercer punto, y un contenido alto en el primer punto, tuvo correlaciones en orden decreciente (**Anexo 2**): SB>PH Potencial>K inter>CE>CIC>PH Activo>Ca inter.

El **Potasio intercambiable** se mantuvo en concentraciones de 0.14-0.40 Cmol (+) kg⁻¹, en un rango de muy bajo en el último punto de muestreo y medio en los demás puntos, presento mayores correlaciones positivas (**Anexo 2**) CE>pH activo> Ca inter>pH potencial> Mg inter>SB, e inversas con el Na inter, MO Y CIC.

El **Sodio intercambiable** oscilo de 0.01-0.06 Cmol (+) kg⁻¹, con correlaciones inversas decrecientes: K inter>CE>pH activo>pH potencial>Ca inter>Mg inter>SB y positivas con la materia orgánica (0.97) y CIC (0.48), vea el **Anexo 2**.

Cuadro 11. Propiedades químicas del suelo: Saturación de bases, Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Sodio (Na²⁺) y Potasio (K⁺) Intercambiabiles del Bosque de Tlalpan.

	Saturación de bases (%)	(Ca ²⁺)	(Mg ²⁺)	(Na ²⁺)	(K ⁺)
		Cmol (+) kg ⁻¹			
Tlalpan 1er punto	86.23	19.40	6.52	0.01	0.38
Tlalpan 2do punto	74.09	19.71	2.81	0.02	0.40
Tlalpan 3er punto	76.36	18.77	2.77	0.06	0.14

Nutrimientos

Los nutrientes son necesarios para el desarrollo de la vegetación, sin la plena disponibilidad de éstos, se ocasionará deficiencias y disminuirá el crecimiento en general. La caída de las hojas y las ramas de la vegetación y su posterior descomposición enriquece al suelo (Aristizábal, 2003), y este bosque presentó un 90% de hojarasca lo que favorece al reciclamiento de los nutrientes.

Macronutrientes

El nitrógeno se evaluó mediante el contenido de **nitratos** en el suelo, obteniendo intervalos del 25.004-33.12 mg Kg⁻¹ (**Cuadro 12**), autores como Covarrubias (1972) sugieren que se encuentra medio y rico, es el principal macronutriente que necesitan las plantas, la transformación del nitrógeno orgánico en nitrógeno utilizable para la vegetación, depende de distintos factores,

como la temperatura, humedad y pH. Las plantas absorben el nitrógeno en nitratos, amonio y otros compuestos nitrogenados solubles (Muñoz *et al.*, 2000), presentó mayor correlación inversa en el orden (**Anexo 3**): Mg dis>Fe dis>Mg total>K disp.>Mo>Ca dis>P dis> P total>K total> Mn y positivas con el Fe y el Zn.

El **fósforo (Cuadro 12)** en el suelo se cuantificó en fósforo total, obteniendo intervalos de 39.31-39.62 g Kg⁻¹, de los cuales solo 1.47 a 1.51 g Kg⁻¹ se encontró disponible para la vegetación, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido por la vegetación es de 1-4 g Kg⁻¹, indicando que puede abastecer a las plantas; *Pinus ayacahuite* demanda contenidos medios de fósforo (Eguiluz, 1978). Autores como Navarro y Navarro (2003) mencionan que la concentración disponible es alta, el exceso de fósforo en el ambiente es derivado de la contaminación antrópica (EPA, 2016).

Se encuentra disponible para las plantas en su forma química H₂PO₄⁻ y HPO₄²⁻, su disponibilidad está fuertemente influenciada por el pH del suelo (BaranČíková *et al.*, 2007). Las correlaciones se observan en el **Anexo 3**, para los totales se obtuvieron en el siguiente orden inverso: Ca dis>Mo >Fe>K dis>Nitratos>Ca total, y positivas K total>Mn>P dis>Mg total>Zn>Mg disp. Para el fósforo disponible se presentaron de la siguiente manera: inversa, Fe>Ca dis>Mo>Nitratos>K dis y Ca total y positiva con el P total>K total>Mn>Mg total> Mg dis y Zinc.

El **potasio (Cuadro 12)** se encuentra asimilable para la vegetación en su forma química K⁺ (Guerrero, 1993). En el suelo, se registró una concentración de potasio total de 9.29-10.80 g Kg⁻¹, de cual 0.05 a 0.15 g Kg⁻¹ se encuentra

disponible para la vegetación, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-50 g Kg⁻¹, *Pinus ayacahuite* demanda contenidos medios de potasio (Eguiluz, 1978). Se tendría que realizar un análisis a la vegetación para ver si existe indicios de deficiencia como: moteado clorótico en las hojas, o necrosis en el ápice y bordes de las hojas (Hernández y Pacheco, 1986). El potasio en el suelo puede perderse por lavado y por erosión, también puede ser fijado por los minerales arcillosos, quedando disponible lentamente, en climas lluviosos, las pérdidas de este elemento son significativos (Primo y Carrasco, 1981).

Las correlaciones se observan en el **Anexo 3**, para el potasio total las correlaciones inversas fueron: Ca dis>Mo>K dis>Fe>Nitratos>Ca total, positivas P total>Mn>Pdis. Para el potasio disponible: inversa Zn>Nitratos>Mn>K total> P total>Fe y de manera directa con la MO>Ca disp.>Ca total> Mg disponible respectivamente.

El **calcio (Cuadro 12)** se encuentra disponible para la vegetación en su forma química Ca²⁺ (Aristizábal, 2003), En el suelo, se registró una concentración de calcio total de 11.46-11.80 g Kg⁻¹ y 3.76 a 3.94 g Kg⁻¹ se encuentra disponible para la vegetación, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido por la vegetación es de 5-15 g Kg⁻¹, *Pinus ayacahuite* demanda contenidos altos de potasio (Eguiluz, 1978).

Sin embargo, el contenido total, al degradarse puede integrarse y aumentar el contenido disponible, además el calcio se reincorpora al suelo cuando las hojas

y ramas caen (León, 1994), en este sentido este bosque cuenta con un porcentaje alto de hojarasca que podría aumentar la concentración de este elemento.

Las correlaciones obtenidas (**Anexo 3**) para el Ca total fue: inversa Nitratos>Zn> Fe>Mn y directas Kdis>Mo>Ca dis>Mg dis. Para el Ca dis de forma negativa con el Zn>K total> Mn>P total>Pdis>Nitratos y potitivas Mo>K dis> Ca total.

El **magnesio** es asimilable en la forma química Mg^{2+} , (Marschner, 1998). Se registró una concentración de magnesio total de 0.42-1.27 g Kg⁻¹ y solo 0.33 a 0.79 g Kg⁻¹ (**Cuadro 12**) se encuentra disponible para la vegetación. Las correlaciones se observan en el **Anexo 3**, para el Mg total, de manera inversa: Fe>Nitratos> Ca disp. y positivas Pdis>Mg dis>P total y disponible. El Mg disponible tuvo correlaciones inversas con el Fe>Mg dis>Zn y positivas Mg total, Ca total> P disponible.

Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 1-4 g Kg⁻¹. Su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las plantas absorben menos magnesio (Lora, 1994), el calcio si se presentó en mayor concentración respecto al magnesio y usualmente la cantidad en solución es mayor para suelos arenosos y no para los de texturas medias a finas, como es el caso de este suelo. La deficiencia de este elemento se podría observar en campo con la presencia de pigmentos antocianínicos y clorosis en las hojas que se encuentran en la parte inferior de la planta (White, 1987).

Cuadro 12. Macronutrientes en el suelo: Nitratos, Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) totales (T) y disponibles (D) del Bosque de Tlalpan.

	Nitratos mg Kg ⁻¹	P	K g Kg ⁻¹	Ca	Mg
Tlalpan 1er punto		T 39.62	T 10.80	T 11.80	T 1.270
	D 25.004	D 1.51	D 0.14	D 3.88	D 0.79
Tlalpan 2do punto		T 34.61	T 9.29	T 11.700	T 0.42
	D 30.45	D 1.47	D 0.15	D 3.94	D 0.34
Tlalpan 3er punto		T 39.31	T 10.74	T 11.460	T 0.80
	D 33.12	D 1.50	D 0.05	D 3.76	D 0.33

Micronutrientes

Los micronutrientes son requeridos en los tejidos de las plantas por su función catalítica, son esenciales en las reacciones redox (Welch, 1995).

El **hierro** se encuentra asimilable en su forma Fe²⁺(Welch, 1995). Se registró una concentración de hierro disponible (**Cuadro 13**) de 0.89 g Kg⁻¹ en el segundo y tercer punto de muestreo, en el primer punto no se detectó el elemento disponible. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 5-500 mg Kg⁻¹. La deficiencia de hierro puede tener varias causas, un exceso de fósforo puede ser una (Estrada, 1997) y en el suelo de este bosque se registró un contenido de fósforo alto. Un análisis más detallado en la vegetación podría indicar si existe deficiencia, pues se desarrolla una clorosis intervenal pronunciada en las hojas jóvenes (Hernández y Pacheco, 1986).

Se observaron correlaciones inversas (Anexo 3) de manera descendente: Mg dis > Mtotal > Ca total > Pdis y positivas con los nitratos y zinc respectivamente,

El **manganeso** se encontró a una concentración de 1.06 g Kg^{-1} (**Cuadro 13**) en el primer y último punto de muestreo, mientras que en segundo no se determinó. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de $5\text{-}300 \text{ mg Kg}^{-1}$. En contraste Uchida y Hue (2000) mencionan que en suelos ácidos y neutros la concentración de este elemento oscila entre 0.01 y 1 mg Kg^{-1} , pudiendo ser una condición normal al tipo de suelo de este bosque que es ligeramente ácido. Una deficiencia podría ocasionar una reducción de la tasa fotosintética (Guerrero, 1993 y McBride, 1994).

Tuvo correlaciones inversas de manera: $\text{Ca dis} > \text{Mo} > \text{K dis} > \text{Fe}$ y positivas $\text{K total} > \text{P total y disponible} > \text{Mg total}$.

El **zinc** es un micronutriente que se encuentra aprovechable para la vegetación en la forma química Zn^{2+} . Se obtuvieron valores de 13.6 en el primer punto, 9.4 en el segundo punto y 29.6 mg Kg^{-1} (**Cuadro 13**), cabe mencionar que este último valor fue el registro más alto en comparación con los suelos de los demás bosques, en el suelo el zinc se encuentra normalmente en concentraciones comprendidas entre 1 y 100 mg Kg^{-1} (Primo y Carrasco, 1981), entonces se encuentra dentro de lo normal. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de $10\text{-}50 \text{ mg Kg}^{-1}$. La disponibilidad de este elemento aumenta con la disminución del pH (Lora, 1994).

Las correlaciones se observan en el **Anexo 3**, de manera inversa con el $\text{Mo} > \text{K dis} > \text{Ca dis}$ y directas con el $\text{Mn} > \text{K total} > \text{P total} > \text{Nitratos}$.

El **boro** es absorbido por las plantas en su forma química H_3BO_3 , (Welch, 1995), en el suelo de este bosque no se encontró disponible este elemento y

Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-100 mg Kg⁻¹. Primo y Carrasco (1981) mencionan que el boro disponible en suelos de zonas lluviosas se encuentra entre 0.2 a 1.5 mg Kg⁻¹.

Generalmente el boro se presenta en cantidades adecuadas en el ambiente, aunque una razón para no estar disponible es porque esté ligado a complejos del suelo (Welch, 1995), además los resultados solo sirven como valores de referencia, en este caso resulta más confiable el análisis foliar (Fancelli, 2006). Para determinar una deficiencia por este elemento se tendría que observar si la vegetación presenta decoloración y muerte en las yemas más jóvenes (Marschner, 1998).

El **cobre** junto con el hierro y el manganeso intervienen en la síntesis de la clorofila (Welch, 1995), en el suelo de este bosque no se encontró disponible este elemento y Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-50 mg Kg⁻¹. El exceso de fósforo puede provocar indirectamente deficiencia de cobre, en general el contenido en los suelos es muy bajo, alrededor de 0.01 mg Kg⁻¹, del cual la mayor parte se encuentra formando complejos con la materia orgánica (Navarro y Navarro, 2003).

El **níquel** se encuentra disponible en forma de catión divalente (Marschner, 1998), en el suelo de este bosque no se encontró disponible este elemento y Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 0.1 mg Kg⁻¹, en contraste Ugario y colaboradores mencionan que el níquel se encuentra de forma no disponible. Se tendría que realizar un análisis foliar para determinar si existe o no deficiencia.

El **molibdeno** es absorbido bajo la forma de oxianión molibdato (Welch, 1995), es un constituyente esencial de las enzimas que intervienen en la fijación biológica de nitrógeno (Marschner, 1998). Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 0.1 mg Kg⁻¹, los resultados obtenidos se observan en el **Cuadro 13**, fueron muy elevados en un intervalo de 2903.14 a 2924.24 mg Kg⁻¹, su disponibilidad puede estar relacionada con el aumento de fósforo en el suelo (Lora, 1994), La toxicidad por molibdeno es muy poco común, y en algunos vegetales no se observan síntomas. En pocos casos excepcionales se ha informado de la aparición de un amarillo dorado en las hojas (PROMIX, 2018). Las correlaciones fueron inversas con el Zn>Mn>K total>P total> Nitratos y positivos Ca dis>Kdis>Ca total.

El molibdeno realiza una tarea relevante en procesos de descontaminación, como la desulfurización del humo generado por la combustión de combustibles fósiles (CODELCO, 2011).

Cuadro 13. Micronutrientes disponibles en el suelo: Hierro (Fe), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Molibdeno (Mo) del Bosque de Tlalpan.

	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Ni	Mo
	mg Kg ⁻¹						
Tlalpan 1er punto	ND	1.06	13,6	ND	ND	ND	2918.21
Tlalpan 2do punto	0.89	ND	9.4	ND	ND	ND	2924.24
Tlalpan 3er punto	0.89	1.06	29.6	ND	ND	ND	2903.14

ND= No disponible

9.2 Bosque de Chapultepec: caracterización ecológica.

El Bosque de Chapultepec se caracterizó como una zona con poca pendiente, con actividades antropogénicas recreativas; en cuanto a su vegetación el estrato dominante fue el arbóreo con un 80% de cobertura, las especies observadas con mayor frecuencia fueron: *Fraxinus uhdei*, *Ligustrum lucidum* y *Cupressus lusitánica* las cuales contaban con una cobertura de copa del 70-80%, aparentemente saludables, el estrato restante fue el herbáceo (20%), el suelo presentaban un 70% de hojarasca (**Figura 15**), se percibió que constantemente se llevan a cabo trabajos de remodelación y se añade materiales externos a los suelos (**Figura 16**), la primera sección es la de mayor uso y por ello sus suelos se encuentran más compactados respecto a las otras secciones.



Figura 15. Condiciones observadas en el Bosque de Chapultepec (Autora).



Figura 16. Trabajos de remodelación que se realizan constantemente en el bosque de Chapultepec, así como la combinación de materiales externos al bosque (Autora).

9.2.1 Propiedades físicas

La **densidad aparente**, depende de su composición mineral y orgánica (Gómez y Osorio, 2013); los tres puntos muestreados oscilaron en un intervalo de 1.096-1.164 g cm³ (**Cuadro 14**), clasificándose en un rango medio, de acuerdo a los criterios de los autores del Manual de métodos de análisis de suelo de la FES Iztacala (Muñoz *et al.*, 2000). Las correlaciones se observan en el **Anexo 4**, de manera inversa: Humedad>Espacio poroso y Arenas; positivas con las arcillas ($r^2=0.9$) y limos ($r^2=0.4$).

La **densidad real** no varía con la magnitud del espacio poroso, (Porta *et al.*, 1994), los resultados obtenidos se observan en el **Cuadro 14**, se encontraron en

un rango de 2.27-2.56 g cm³, en una categoría de baja a media de acuerdo a Muñoz y colaboradores (2000). En los Inceptisoles, el promedio de la densidad real es de 2.13 g/cm³, con un máximo de 2,48 y el mínimo de 1,70 (Chinchilla *et al.*, 2011), en este sentido solo el último punto de muestreo se sale del rango para este tipo de suelos, cabe señalar que este suelo presenta mezcla de materiales. Presentó correlaciones inversas (**Anexo 4**) con Arenas>C. Humedad>DA y arcillas.

La **porosidad** en horizontes compactados es baja, mientras que en los de textura media y ricos en materia orgánica, el porcentaje de microporos es mayor (Reyes, 1996), los valores obtenidos se encontraron en un intervalo de 49-57% (**Cuadro 14**) en una clasificación media a alta (Muñoz *et al.*, 2000), los suelos de textura más fina tienen del 40 al 60% de porosidad como los limosos y arcillosos (Ibáñez, 2007), en este caso Chapultepec si podría clasificarse como un suelo de texturas medias a finas; presenta un porcentaje adecuado en las zonas muestreadas, pero se sabe que presenta compactación en sus áreas más transitadas (GODF, 2006), *Fraxinus uhdei* y *Cupressus lusitánica* son demandantes de suelos con buen drenaje, condición que no se cumple en las áreas recreativas, estas especies son utilizadas para reforestar zonas aledañas a las ciudades (Batis *et al.*, 1999 y Von Carlowitz *et al.*, 1991). Esta propiedad mostró correlaciones inversas con la DA>Arcillas>Arenas> C. Humedad y correlaciones positivas con la DR ($r^2=0.97$) y Limos ($r^2=0.49$) observar el **Anexo 4**.

La **humedad** del suelo influye en propiedades como la densidad aparente, espacio poroso, consistencia y color del suelo (Gómez y Osorio, 2013), se evaluó

el contenido de humedad y los resultados obtenidos (**Cuadro 14**) se encontraron del 16.95-20.48%, este suelo presenta un porcentaje considerable, esto podría ser el resultado de la amplia cobertura vegetal que soporta (Fresno, Eucalipto y Trueno), así como de su precipitación media anual 700-1100 mm (CONABIO, 1997). *Fraxinus uhdei* y *Ligustrum lucidum*, generalmente requieren suelos húmedos y frescos, con riegos frecuentes (Batis *et al.*, 1999).

Esta propiedad tuvo correlaciones inversas con los Limos>Arcillas>DA>DR respectivamente, y positiva con las arenas ($r^2=0.9$), obsérvese el **Anexo 4**.

Cuadro 14. Propiedades físicas del suelo: Densidad aparente, Densidad real, Porcentaje de espacio poroso y contenido de humedad del Bosque de Chapultepec.

	Densidad aparente g cm ³	Densidad real	Porcentaje de espacio poroso (%)	Contenido de humedad
Chapultepec 1er punto	1.164	2.27	49	19.95
Chapultepec 2do punto	1.126	2.56	57	19.76
Chapultepec 3er punto	1.096	2.36	53	20.48

La **textura** es un factor muy importante en las características del suelo, como la permeabilidad, aireación y la capacidad de retención de agua (Chaverri, 1988). El **Cuadro 15** muestra los porcentajes de arcillas, limos y arenas de los puntos muestreados, así como la clase textural.

El **porcentaje de arcillas** para este suelo fluctuó de 22-25%, son partículas que tienden a compactarse con mayor facilidad (Muñoz *et al.*, 2000) y se sabe que este Bosque presenta compactación de suelo en las áreas más visitadas de acuerdo al Programa de manejo “Bosque de Chapultepec” que se encuentra en la Gaceta Oficial del D.F. (2006), por ello es importante tener un monitoreo exclusivo

para esas zonas, evitando el deterioro de la vegetación. Las correlaciones para esta partícula se observan en el **Anexo 4**, de manera inversa fue C. Humedad>Arenas y E. poroso, positivas con DA (0.9) y los limos (0.45). Los **porcentajes de limos** se encontraron en un rango de 13-33.33%, estas partículas tienen poca tendencia de unirse a otras, tuvo correlaciones inversas con las arenas (0.99) y C. Humedad (0.94), checar el **Anexo 4**. El **porcentaje de arenas** obtenido fue de 43.34-65%, estas partículas aumentan el tamaño de los espacios porosos, facilitando el movimiento del agua y aire (Aguilera, 1989), tuvo correlaciones inversas (**Anexo 4**) con los Limos>DR>Arcillas>DA y positiva con el C. Humedad ($r^2=0.99$).

La especie *Fraxinus uhdei* requiere de suelos fértiles profundos con texturas: arcillosas, arenosas, limosas (Chacalo *et al.*, 2000), es adaptable en este sentido, *Ligustrum lucidum* se desarrolla en texturas variables (De Juana, 2009), *Cupressus lusitánica* prefiere texturas arcillosas o limosas (Von Carlowitz *et al.*, 1991). La clase textural determinada fue Franco en el segundo punto de muestreo, caracterizado por tener una buena fertilidad aportada por los limos (Sánchez, 2018). y Migajón-arcillo-arenoso para el primer y tercer punto de muestreo.

Cuadro 15. Propiedades físicas del suelo: Porcentaje de arcillas, limos, arenas y clase textural del Bosque de Chapultepec.

	Arcillas	Limos %	Arenas	Clase textural
Chapultepec 1er punto	25	23.33	51.67	Migajón arcillo-arenoso
Chapultepec 2do punto	23.33	33.33	43.34	Franco
Chapultepec 3er punto	22	13	65	Migajón arcillo-arenoso

La **estructura** tiene una influencia directa en la porosidad, densidad aparente, permeabilidad y aireación (Jaramillo, 2002). En el **Cuadro 16** se encuentra la estructura determinada para el suelo de este bosque, que presentó agregados del tipo Granular esferoidal-media, que se caracteriza por tener agregados que son poco porosos por el predominio de la arcilla (Dorrnsoro, 2018). Los suelos moderadamente desarrollados presentan agregados bien formados y definidos que son durables y evidentes (Muñoz *et al.*, 2000).

Cuadro 16. Estructura y grado de desarrollo del suelo del Bosque de Chapultepec.

	Estructura	Desarrollo
Chapultepec 1er punto	Granular Esferoidal media	Moderadamente desarrollado
Chapultepec 2do punto	Granular Esferoidal media	Moderadamente desarrollado
Chapultepec 3er punto	Granular Esferoidal media	Moderadamente desarrollado

La **consistencia** del suelo depende de su textura y de su contenido de agua, pues esto le permite facilidad para ser moldeado y adherirse con las partículas que lo componen (Muñoz *et al.*, 2000).

Esta propiedad se evaluó en tres estados de humedad del suelo: seco, húmedo y saturado como se observa en el **Cuadro 17**. En medio seco se expresó la fragilidad del agregado, Chapultepec presentó una consistencia dura, en medio húmedo mostró una consistencia firme y friable haciendo referencia a la resistencia que ofrece el material bajo una determinada presión, en medio saturado manifestó una consistencia adhesiva que es el resultado de la tensión superficial y la capacidad para adherirse a las superficies; esta propiedad es

función del contenido de humedad y aumenta con el contenido de arcilla (Cuanalo, 1981), en cuanto la plasticidad fue ligeramente plástica.

Cuadro 17. Consistencia en el suelo del bosque de Chapultepec.

	Seco	Húmedo	Saturado	Plasticidad
Chapultepec 1er punto	Duro	Firme	Adhesivo	Ligeramente plástica
Chapultepec 2do punto	Duro	Firme	Adhesivo	Ligeramente plástica
Chapultepec 3er punto	Duro	Friable	Adhesivo	Ligeramente plástica

9.2.2 Propiedades químicas del suelo.

El **pH activo (Cuadro 18)** afecta la intemperización de minerales, la formación de arcillas, la descomposición de la materia orgánica y la disponibilidad de nutrimentos (Reyes, 1996). El suelo del bosque de Chapultepec se encuentra moderadamente ácido 6.41 en el tercer punto de muestreo y neutro (6.81 y 7.02) en los otros puntos, de acuerdo a la interpretación propuesta por la NOM-021 y por Moreno (1970).

El fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, boro y molibdeno están disponibles para el aprovechamiento vegetal, se encuentran medianamente aprovechable el hierro. Las especies *Fraxinus uhdei* y *Cupressus lusitánica* pueden desarrollarse a pH's: ácidos o ligeramente alcalinos (Batis *et al.*, 1999 y Von Carlowitz *et al.*, 1991), y el pH de este suelo es neutro, lo que facilita el desarrollo de cualquier especie. Las correlaciones inversas (**Anexo 5**) se observaron de la siguiente manera CE>K inter>MO>Mg inter y positivos pH pot>Ca inter>Na inter.

El **pH potencial** obtenido (**Cuadro 18**) se mantuvo en un intervalo de 6.16-6.17, no presentó una diferencia representativa con el pH activo. Se correlaciono de manera inversa con $CE > K_{inter} > MO$, de manera positiva $pH_{activo} > Ca_{inter} > Na_{inter}$, observar el **Anexo 5**.

La **materia orgánica** (MO) es fundamental en la formación de agregados y con ello en la estructura (FAO, 2019). El porcentaje en este bosque oscilo en 3.02-4.96 % (**Cuadro 18**), Moreno (1970) sugiere que es rico en el primer punto y extremadamente rico en los dos restantes, Muñoz y colaboradores (2000) de acuerdo a la interpretación de Aguilera (1989), proponen que se encuentra en intervalo moderadamente rico, lo que favorece su estructura. *Fraxinus uhdei* se desarrolla mejor con un % de Materia orgánica de moderada a rica (USDA, 1990) y ese fue el intervalo encontrado en este suelo. Las correlaciones se observan en el Anexo 5, las negativas se presentaron de la siguiente manera: $Ca_{inter} > pH_{pot} > pH_{act} > Na_{inter}$ y de manera positiva con $CIC > CE > K_{inter} > Mg_{inter} > SB$ (**Anexo 5**).

La **conductividad eléctrica** (**Cuadro 18**) determina el crecimiento adecuado de la vegetación, pues es un diagnóstico de salinidad (Barbaro *et al.*, s/f). Se registraron valores de 0.46-0.64 dS m⁻¹ y de acuerdo a la interpretación propuesta por la NOM-021 tiene efectos despreciables de salinidad, lo que reduce la probabilidad de que la vegetación sufra por efectos de fitotoxicidad. Las correlaciones fueron inversas con $pH_{act} > pH_{pot} > Ca_{inter} > Na_{inter}$ y directas con el $K_{inter} > MO > Mg_{inter} > SB > CIC$ revisar el **Anexo 5**.

La **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)** se refiere a la carga iónica total del complejo de cambio (materia orgánica y arcillas) activo en la adsorción de iones (Reyes, 1996). Los resultados (**Cuadro 18**) se encontraron en un intervalo de 32.73-34.66 Cmol (+) kg⁻¹, de acuerdo al criterio de interpretación de la NOM-021 es alta y concuerda con lo propuesto por Reyes (1996), Muñoz y colaboradores (2000) sugieren lo mismo. Se registró una buena CIC, que en conjunto con el porcentaje obtenido de materia orgánica y de arcillas que fue el más alto en comparación con los otros bosques, está permitiendo la retención de cationes en el sitio de intercambio (Jaramillo, 2002). Las correlaciones (**Anexo 5**) inversas fueron Ca inter> pHpot>pH act>CIC>pH pot>Ca inter y correlaciones directas con Mg inter>Kinter> CE>MO.

Cuadro 18. Propiedades químicas del suelo: pH activo, pH potencial, Materia orgánica, Conductividad eléctrica y CIC del Bosque de Chapultepec.

	pH activo	pH potencial	Materia orgánica (%)	Conductividad eléctrica dS m ⁻¹	CIC Cmol (+) kg ⁻¹
Chapultepec 1er punto	7.02	6.67	3.02	0.46	32.73
Chapultepec 2do punto	6.81	6.47	4.57	0.51	34.66
Chapultepec 3er punto	6.41	6.16	4.96	0.64	33.99

En el **Cuadro 19**, se encuentran los resultados del % Saturación de bases y los cationes Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K) Intercambiables y las correlaciones se encuentran en el **Anexo 5**.

El porcentaje de **Saturación de bases** se expresa como un porcentaje de la capacidad total de intercambio catiónico (FAO, 2019). Los resultados se

encontraron en un rango de 68.34-88.62 %, se relaciona con los pH's registrados (6.41-7,02), esta propiedad se correlaciono de manera negativa con Na inter>pH act> CIC> pH pot y de manera positiva con el Mg inter> K inter>CE>MO.

El calcio intercambiable se encontró de 21.16-22.56 Cmol (+) kg⁻¹, la interpretación de la NOM-021 define que es alta para todos los puntos de muestreo, para este elemento las correlaciones negativas fueron CE>K inter>MO>Mg inter>CIC>SB.

El Magnesio intercambiable se midió en un intervalo de 1.08 a 8.07 Cmol (+) kg⁻¹ clasificándose en un contenido bajo en el segundo punto y una concentración alta en el primer y tercer punto, con correlaciones inversas en el orden Na inter>pH act>pH pot>Ca inter>CIC y de manera positiva con la SB>K inter>CE>MO.

El Potasio intercambiable se mantuvo en concentraciones de 0.17-0.50 Cmol (+) kg⁻¹, en una categoría muy baja el primer punto de muestreo, baja en el segundo punto y media en el tercer punto, obtuvo correlaciones inversas con el pH act>pH pot>Na inter>Ca inter y de manera directa con la CE>Mg inter>MO>SB>CIC.

El sodio intercambiable se mantuvo en 0.19 a 0.49 Cmol (+) kg⁻¹, con correlaciones inversas de manera descendente Mg inter> Kinter> CE>SB>MO>CIC, y de manera directa con el pH act>pH pot> Ca inter.

Cuadro 19. Propiedades químicas del suelo: Saturación de bases, Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Sodio (Na²⁺) y Potasio (K⁺) Intercambiables del Bosque de Chapultepec.

	Saturación de bases (%)	(Ca ²⁺)	(Mg ²⁺) Cmol (+) kg ⁻¹	(Na ²⁺)	(K ⁺)
Chapultepec 1er punto	80.96	22.56	3.33	0.44	0.17
Chapultepec 2do punto	68.34	21.86	1.08	0.49	0.26
Chapultepec 3er punto	88.02	21.16	8.07	0.19	0.50

Nutrientos

Existen dos fuentes principales de nutrientes fácilmente asimilables por la planta, los nutrientes adsorbidos por los coloides y los que forman parte de la disolución del suelo (Thompson *et al.*, 1998).

El **nitrógeno** se cuantificó en **nitratos (Cuadro 20)** en un rango de 22.98-24.96 mg Kg⁻¹, Covarrubias (1972) menciona que es un contenido medio.

Este nutriente mostró mayores correlaciones inversa en el orden descendente Mg dis>Ca total>Mg total>K dis>Mo>Ca dis>Pdis y correlaciones positivas únicamente con el Fe (r²=0.94) y el Zn (r²=0.60), indicando que su aumento, también elevara los contenidos de Fe y Zn.

El **fósforo** (H₂PO₄⁻ y HPO₄²⁻), se registró una concentración de fósforo total (**Cuadro 20**) de 31.46-34.52 g Kg⁻¹, el 1.45 a 1.47 g Kg⁻¹ se encuentra disponible para las plantas, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido por la vegetación es de 1-4 g Kg⁻¹, indicando que no hay una deficiencia de este elemento. Además, el pH de este suelo (6.41-7.02) es adecuado para el aprovechamiento de las plantas. Autores como Navarro y Navarro (2003) mencionan que la concentración disponible es alta, el exceso de

fósforo en el ambiente es derivado de la contaminación antrópica (EPA, 2016), en este caso el exceso podría tener un papel de fertilizante (Smith, 1981), la especie *Ligustrum lucidum* soporta la polución del tráfico vehicular, adaptándose a las condiciones urbanas (De Juana, 2009).

Correlaciones inversas de este elemento se observaron de la siguiente manera, para el fósforo total de manera inversa con el Ca dis>Mo>Fe>K dis>Nitratos y de manera directa con el Mn>Pdis>K total> Mg total>Zinc. El fósforo disponible de manera negativa con el Fe>Ca dis>Mo>Nitratos y de manera positiva con el P total>Ktotal>Mn>Mg total>Mg dis>Zinc como se observa en el **Anexo 6**.

El **potasio (Cuadro 20)** se libera de las arcillas al reaccionar con agua ácida (Guerrero, 1993). En el suelo, se registró una concentración de potasio total de 11.93-12.19 g Kg⁻¹. Un intervalo de 0.06 a 0.19 g Kg⁻¹ se encuentra disponible para la vegetación, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-50 g Kg⁻¹. Se tendría que realizar un análisis a la vegetación para ver si existe indicios de deficiencia como: moteado clorótico en las hojas, o necrosis en el ápice y bordes de las hojas (Hernández y Pacheco, 1986). Las correlaciones se observan en el **Anexo 6**, las cuales fueron para el potasio total de manera inversa con Ca dis>Mo>K dis>Fe>Nitratos y de manera más directa con el Mn>Ptotal>Pdis>Mg total>Zinc el potasio disponible presentó correlaciones inversas con el Zn>Nitratos>Mn>K total>Fe y positivas con el Mo>Ca dis>Ca total.

El **calcio (Cuadro 20)** en este suelo oscilo una concentración de 10.24-14.62 g Kg⁻¹ para el calcio total y 4.24 a 4.52 g Kg⁻¹ se encuentra disponible para

la vegetación, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido por la vegetación es de 5-15 g Kg⁻¹. El calcio se reincorpora al suelo cuando las hojas y ramas caen (León, 1994), en este sentido este bosque cuenta con un porcentaje considerable de hojarasca que podría aumentar la concentración de este elemento. Las correlaciones del calcio total se presentaron de la siguiente manera, inversa: Nitratos>Zn>Fe>Mn>K total>P total y de manera positiva con el K dis> Ca dis>Mo>Mg dis (**Anexo 6**).

El **magnesio (Cuadro 20)** registrado en este suelo fue de 0.44-1.56 g Kg⁻¹, de los cuales sólo 0.13 a 0.98 g Kg⁻¹ se encuentra disponible para la vegetación. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 1-4 g Kg⁻¹, indicando que se encuentra por debajo de lo requerido en ambas formas (total y disponible), su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las plantas absorben menos magnesio (Lora, 1994). La deficiencia de este elemento se podría observar en campo con la presencia de pigmentos antocianínicos y clorosis en las hojas que se encuentran en la parte inferior de la planta (White, 1987), las correlaciones del **Anexo 6**, mostraron asociaciones inversas con el magnesio total de la siguiente manera Fe>Nitratos>Ca dis>Mo>K dis y relaciones directas con el P dis>Mg dis>P total>K total>Mn>Ca total>Zn y correlaciones inversas del magnesio disponible con el Fe ($r^2=-0.9$), nitratos ($r^2=0.95$) y Zn ($r^2=-0.33$) y correlaciones directas con el Mg total>Ca total>P dis>P total>K total>Mn>K dis>Mo>Ca dis.

Cuadro 20. Macronutrientes del suelo: Nitratos, Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) totales (T) y disponibles (D) del Bosque de Chapultepec.

	Nitratos mg Kg ⁻¹	P	K g Kg ⁻¹	Ca	Mg
Chapultepec 1er punto	T 32.20	T 11.93	T 12.06	T 0.72	
	D 22.98	D 1.45	D 0.06	D 4.52	D 0.40
Chapultepec 2do punto	T 31.46	T 12.16	T 10.2	T 0.44	
	23.03	D 1.45	D 0.10	D 4.38	D 0.13
Chapultepec 3er punto	T 34.52	T 12.19	T 14.6	T 1.56	
	24.96	D 1.47	D 0.19	D 4.24	D 0.98

Micronutrientes

El **hierro** se registró en concentración disponible 0.89 g Kg⁻¹(**Cuadro 21**), únicamente en el último punto de muestreo. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 5-500 mg Kg⁻¹. Suelos arcillosos presentan mayor cantidad de hierro disponible (Navarro y Navarro, 2003), sin embargo, podría realizarse un análisis foliar para tener resultados más certeros. La deficiencia de hierro puede tener varias causas, un exceso de fósforo puede ser una (Estrada, 1997) y en el suelo de este bosque se registró un contenido de fósforo alto. Un análisis visual en la vegetación podría indicar si existe deficiencia, pues se desarrolla una clorosis intervenal pronunciada en las hojas jóvenes (Hernández y Pacheco, 1986). Presentó correlaciones negativas con el Mg dis>Mg total>Ca total>P dis>Mn>K total>P total>K dis>Mo>Ca dis y correlaciones directas con los Nitratos ($r^2=9.46$) y el Zn ($r^2=0.31$).

El **manganeso** (**Cuadro 21**), en este suelo no se encontró detectable, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 5-300 mg Kg⁻¹, En contraste Uchida y Hue (2000) mencionan que

en suelos ácidos y neutros la concentración de este elemento oscila entre 0.01 y 1 mg Kg⁻¹, pudiendo ser una condición normal al tipo de suelo de este bosque que es ligeramente ácido a neutro.

Se presentaron correlaciones inversas con el Ca dis>Mo>K dis>Fe>Ca total>Nitratos respectivamente, y positivas de la siguiente manera K total>P total>P dis>Mg total>Zn>Mg dis, revisar **Anexo 6**.

El **zinc** aumenta su disponibilidad con la disminución del pH (Lora, 1994), y este suelo es neutro. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 10-50 mg Kg⁻¹, en contraste en el suelo se cuantificó de 3.6-7 mg Kg⁻¹(**Cuadro 21**), indicando que se encuentra por debajo. En suelos con alta disponibilidad de fósforo reduce la toma de zinc (Lora, 1994), esto podría ser un factor.

La deficiencia se manifiesta en las hojas jóvenes, las cuales presentarán un amarillamiento progresivo y una disminución del tamaño (Alarcón, 2000), sería conveniente también un análisis foliar (Fancelli, 2006) para descartar deficiencia. Se presentaron correlaciones inversas (**Anexo 6**) con el Ca dis ($r^2=-0.999$), Mo ($r^2=0.998$), K dis ($r^2=-0.994$), Ca to ($r^2=-0.83$) y Mg dis ($r^2=-0.33$), de manera directa con el Mn>K tot>P tot>Nitratos>P dis>Fe dis>Mg tot respectivamente.

El **boro** (**Cuadro 21**) en el suelo de este bosque no se encontró disponible este elemento y Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-100 mg Kg⁻¹. Para determinar una deficiencia por este elemento se tendría que observar si la vegetación presenta decoloración y muerte en las yemas más jóvenes (Marschner, 1998), así como análisis foliares (Fancelli, 2006

El **cobre** no se encontró disponible en este suelo. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-50 mg Kg⁻¹. El exceso de fósforo puede provocar indirectamente deficiencia de cobre, en general el contenido en los suelos es muy bajo, alrededor de 0.01 mg Kg⁻¹, del cual la mayor parte se encuentra formando complejos con la materia orgánica (Navarro y Navarro, 2003).

El **níquel** no se encontró disponible en el suelo y Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 0.1 mg Kg⁻¹, en contraste Ugario y colaboradores mencionan que el níquel se encuentra de forma no disponible la mayoría de las veces. Se tendría que realizar un análisis foliar para determinar si existe o no deficiencia.

El aumento de la disponibilidad del **molibdeno** se relaciona con el aumento del pH y el fósforo (Lora, 1994) que fue elevado en todos los suelos, las deficiencias están correlacionadas con el metabolismo del nitrógeno (Marschner, 1998). Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 0.1 mg Kg⁻¹, los resultados obtenidos (**Cuadro 21**) fueron muy elevados en un intervalo de 2921.23 a 2993.55 mg Kg⁻¹). En el **Anexo 6**, se observan las correlaciones para este elemento, que de manera directa se correspondió con el Ca dis ($r^2=0.99$), K dis ($r^2=0.98$), Ca tot ($r^2=0.84$) y Mg dis ($r^2=0.25$) y de manera inversa con el Zn>Mn>K tot>P tot>Nitratos>Pdis>Fe>Mg total.

Cuadro 21. Micronutrientes disponibles: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Molibdeno (Mo) en el suelo del Bosque de Chapultepec.

	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Ni	Mo
mg Kg ⁻¹							
Chapultepec 1er punto	3.13	ND	3.60	ND	ND	ND	2921,23
Chapultepec 2do punto	ND	ND	7	ND	ND	ND	2951.36
Chapultepec 3er punto	0.89	ND	4.40	ND	ND	ND	2993.55

ND=No disponible

9.3 Bosque de San Juan de Aragón: caracterización ecológica.

El bosque de San Juan de Aragón se caracterizó como una planicie, con actividades antropogénicas recreativas; en cuanto a su vegetación el estrato dominante fue el arbóreo con un 70% de cobertura, las especies observadas con mayor frecuencia fueron: *Casuarina equisetifolia*, *Cupressus lusitánica*, *Eucalipto camaldulensis*, *Fraxinus uhdei* y *Jacaranda mimosifolia* las cuales contaban con una cobertura de copa del 60-80%, el estrato restante fue el herbáceo (30%), el suelo presentaba una tonalidad gris con una capa del 40% de corteza arbórea en algunos sitios. En la época de muestreo se observó que algunos ejemplares del género *Cupressus* se encontraban dañados, por lo que fueron talados (**Figura 17-A**), en todo el tronco se percibían orificios (**Figura 17-B**), una plaga muy común en este género es *Phloeosinus sp.*, es también de las principales en el Valle de México, en periodos de sequías se incrementan sus poblaciones, es por ello que la vegetación debe tener un riego adecuado, el ataque se reconoce por el cambio de coloración en el follaje de verde a café rojizo, presencia de resina y de orificios, como se observó en campo (Farías, 2011) .

Morales (2001), expone que las deficiencias o excesos de nutrientes en el suelo pueden favorecer la aparición de enfermedades forestales dado que afectan el metabolismo y limitan la formación de los mecanismos de defensa naturales de la planta, promoviendo el ataque de ciertos patógenos.

Del mismo modo Agrios (1996), manifiesta que, en otras partes del mundo, distintos estudios evidenciaron fenómenos de mortalidad forestal asociados a deficiencias nutricionales.

También se observó, la manera en que se le da mantenimiento al bosque (**Figura 18**), el cual consiste en remover la cubierta superior del suelo (pasto y hojarasca).



Figura 17. Árboles del género *Crupressus* talados en el bosque (A) y orificios observados en el tronco del mismo género (B) (Autora).



Figura 18. Mantenimiento en las áreas verdes del bosque de San Juan de Aragón, que consiste en retirar la cubierta superior del suelo.

9.3.1 Propiedades físicas del suelo

La **densidad aparente (Cuadro 22)** oscilo en un intervalo de 1.16-1.32 g cm³, de acuerdo a los criterios de los autores del Manual de métodos de análisis de suelo de la FES Iztacala (Muñoz *et al.*, 2000) el segundo punto obtuvo una DA media, mientras que el primer y tercer punto muestreado fueron altos. *Fraxinus uhdei*, *Casuarina equisetifolia* y *Cupressus lusitánica* son demandantes de suelos con buen drenaje, estas especies son utilizadas para reforestar zonas aledañas a las ciudades (Batis *et al.*, 1999 y Von Carlowitz *et al.*, 1991). En el **Anexo 7** se observan las correlaciones para esta propiedad, de manera inversa con la Humedad ($r^2=-0.83$) y los limos ($r^2=-0.79$), de manera directa en el siguiente orden decreciente DR>EP>Arenas>Arcillas.

La **densidad real (Cuadro 22)** obtenida fue de 2.10-2.68 g cm³, clasificándose en una categoría de baja a media (Muñoz *et al.*, 2000), fueron las densidades más altas en comparación con los suelos de los otros bosques urbanos, Chinchilla y colaboradores (2011). En el **Anexo 7** se encuentran las correlaciones para esta propiedad, que de manera inversa se correlaciono con los limos ($r^2=-0.93$), C. Humedad ($r^2=-0.64$) y arcillas ($r^2=-0.04$) y de manera directa con el E. poroso ($r^2=0.98$), la DA ($r^2=0.95$) y arenas ($r^2=0.78$)

La **porosidad (Cuadro 22)** está conformada por macroporos y microporos, los macroporos abundan en suelos con texturas gruesas (Harol, 1979) como es el caso de este suelo, los valores obtenidos se encontraron en un intervalo de 45-53% en una clasificación media (Muñoz *et al.*, 2000), un porcentaje del 50% le proporciona al suelo una adecuada aireación de raíces (Millar *et al.*, 1980), por lo

que esta condición favorece el crecimiento de la vegetación, este suelo si cuenta con un porcentaje adecuado. Las correlaciones (**Anexo 7**) se presentaron de manera negativa con los limos ($r^2=-0.98$), C. Humedad ($r^2=-0.48$) y arcillas ($r^2=-0.23$). Las relaciones directas se presentaron con la DR ($r^2=0.98$), arenas ($r^2=0.89$) y DA ($r^2=0.88$).

La **humedad (Cuadro 22)** del suelo se evaluó por el contenido de humedad y los resultados obtenidos se encontraron del 10.19- 14.67% que fue el porcentaje más bajo para los suelos de los bosques urbanos, una causa es la vegetación arbórea que se encuentra alejada una de otra, lo que permite la entrada de luz solar acelerando la evapotranspiración (Heisler *et al.*, 1995), como se observó en campo se le retira los pastos y hojarasca de algunas zonas y su precipitación media anual es de 475 a 530 mm, inferior a los otros bosques. *Fraxinus uhdei*, generalmente requiere suelos húmedos y frescos, con riegos frecuentes (Batis *et al.*, 1999), la humedad se encuentra un poco baja en este suelo, *Jacaranda mimosifolia*, se adaptan a condiciones de baja humedad, resiste poco al exceso de agua (Little, 1969), por lo que es ideal en este bosque, al igual que *Casuarina equisetifolia* que naturalmente se desarrolla en suelos con poca humedad.

Las correlaciones (**Anexo 7**) se presentaron mayoritariamente negativas en el orden decreciente DA>Arcillas>DR>EP>Arenas y directamente solo con los limos ($r^2=0.38$).

Cuadro 22. Propiedades físicas del suelo: Densidad aparente, Densidad real, Porcentaje de espacio poroso y contenido de humedad del Bosque San Juan de Aragón.

	Densidad aparente	Densidad real g cm ³	Porcentaje de espacio poroso (%)	Contenido de humedad
San Juan de Aragón 1er punto	1.28	2.68	53	13.63
San Juan de Aragón 2do punto	1.16	2.10	45	14.67
San Juan de Aragón 3er punto	1.32	2.65	51	10.19

La **textura** obtenida en este suelo se encuentra en el **Cuadro 23**, se muestra los porcentajes de arcillas, limos y arenas de los puntos muestreados, así como la clase textural y las correlaciones en el **Anexo 7**.

El porcentaje de **arcillas** para este bosque fluctuó del 10-13.33%, las arcillas actúan como un almacén de reservas de agua y nutrimentos (Muñoz *et al.*, 2000) por ello es importante que se encuentre en porcentajes considerables, este suelo presentó porcentajes bajos, presentó correlaciones negativas con el C. Humedad ($r^2=-0.73$), arenas ($r^2=0.65$), EP ($r^2=0.23$) y DR ($r^2=-0.04$), y directas con los limos ($r^2=0.39$) y DA ($r^2=0.24$). Los **limos** se encontraron en un rango de 13.33-21.67%, mostrando relaciones directas con las arcillas ($r^2=0.39$) y el C. Humedad ($r^2=0.33$), de manera inversa en el orden EP>Limos>DR>DA. El porcentaje de **arenas** obtenido fue de 66.67-76.67%, estas partículas aumentan el tamaño de los espacios porosos, facilitando el movimiento del agua y aire (Aguilera, 1989), aunque no puede almacenar agua (Chaverri, 1988), es por ello por lo que tiene un bajo porcentaje de contenido de humedad, las relaciones directas se observaron con el E. poroso ($r^2=0.89$), la DR ($r^2=0.78$) y DA ($r^2=0.57$), y las correlaciones

inversas se dieron con los limos ($r^2=-0.95$), arcillas ($r^2=-0.65$) y el C. Humedad ($r^2=-0.03$).

La clase textural determinada fue Migajón arenoso y sus características son representadas por el porcentaje de limos y arenas que es más alto que el de las arcillas. Las especies *Casuarina equisetifolia* y *Jacaranda mimosifolia* se desarrollan mejor en suelos con un buen drenaje evitando los suelos pesados como los Vertisoles, en este sentido el porcentaje de arenas les permite un adecuado crecimiento (CONAFOR, s/f). La especie *Fraxinus uhdei* requiere de suelos fértiles, profundos con texturas: arcillosas, arenosas, limosas (Chacalo *et al.*, 2000), por lo que puede adaptarse a las condiciones del suelo, *Casuarina equisetifolia* crece en texturas arcillosas o de arenosas a francas, *Cupressus lusitánica* prefiere texturas arcillosas o limosas (Von Carlowitz *et al.*, 1991).

Cuadro 23. Propiedades físicas del suelo: Porcentaje de arcillas, limos, arenas y clase textural del Bosque San Juan de Aragón.

	Arcillas	Limos %	Arenas	Clase textural
San Juan de Aragón 1er punto	10	13.33	76.67	Migajón arenoso
San Juan de Aragón 2do punto	11.66	21.67	66.67	Migajón arenoso
San Juan de Aragón 3er punto	13.33	16.67	70	Migajón arenoso

La **estructura** determinada para el suelo de este bosque se encuentra en el **Cuadro 24**, que presentó agregados del tipo Granular grumosa media, que se caracteriza por tener agregados pequeños, muy porosos y redondeados, lo que hace que no encajen unos con otros y dejen huecos muy favorables para la penetración de las raíces, sin embargo, un débil desarrollo evita la firmeza del suelo (Muñoz *et al.*, 2000), la estructura de este suelo puede mejorarse al

agregarle materia orgánica, la caída de hojas y ramas al suelo y su posterior descomposición a lo largo de periodos largos puede mejorar su estructura (Chaverri, 1988).

También se tiene registro de zonas compactadas (GODF, 2018), es por ello por lo que se observó corteza de árbol en algunas zonas, lo que minoriza el efecto. *Casuarina equisetifolia* se utiliza para el control de la erosión y fijación de suelos, por lo que es favorable para este suelo, es muy utilizado en zonas urbanas como calzadas o carreteras.

Cuadro 24. Estructura y grado de desarrollo del suelo del Bosque San Juan de Aragón.

	Estructura	Desarrollo
San Juan de Aragón 1er punto	Granular Grumosa media	Débilmente desarrollado
San Juan de Aragón 2do punto	Granular Grumosa media	Débilmente desarrollado
San Juan de Aragón 3er punto	Granular Grumosa media	Débilmente desarrollado

La **consistencia** se evaluó en tres estados del suelo: seco, húmedo y saturado como se observa en el **Cuadro 25**. En medio seco se expresó la fragilidad del agregado, San Juan de Aragón presentó una consistencia ligeramente dura, en medio húmedo mostró una consistencia muy friable haciendo referencia a la resistencia que ofrece el material bajo una determinada presión, en medio saturado manifestó una consistencia ligeramente adhesiva que es el resultado de la tensión superficial y la capacidad para adherirse a las superficies, en cuanto a su plasticidad, se definió como no plástico. Esta propiedad es función del contenido de humedad y aumenta con el contenido de arcilla (Cuanalo, 1981) y ambas propiedades fueron bajas para este suelo.

Cuadro 25. Consistencia en el suelo del Bosque San Juan de Aragón.

	Seco	Húmedo	Saturado	Plasticidad
San Juan de Aragón 1er punto	Ligeramente duro	Muy friable	Ligeramente Adhesivo	No plástico
San Juan de Aragón 2do punto	Ligeramente duro	Muy friable	Ligeramente Adhesivo	No plástico
San Juan de Aragón 3er punto	Ligeramente duro	Muy friable	Ligeramente Adhesivo	No plástico

9.3.2 Propiedades químicas del suelo

El pH activo (Cuadro 26) en este bosque fue de 6.64-7.06, de acuerdo a la interpretación propuesta por la NOM-021 y por Moreno (1970), este suelo es moderadamente ácido en el primer punto de muestreo y neutro en el segundo y tercer punto. Presentó correlaciones negativas con la CE ($r^2=-0.74$) y la MO ($r^2=-0.35$), y directas en el orden decreciente pH pot>SB>Ca inter>CIC>Mg inter>K inter>Na intercambiable, como se observa en el **Anexo 8**.

El fósforo, potasio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, boro y molibdeno están disponibles para el aprovechamiento vegetal, se encuentran medianamente aprovechable el hierro. Las especies arbóreas no presentan ninguna limitante en cuanto al pH del suelo, pues es ligeramente ácido a neutro, condiciones óptimas para cualquier vegetación. Las especies *Fraxinus uhdei*, *Eucalpto camaldulensis*, *Casuarina equisetifolia* y *Cupressus lusitánica* pueden desarrollarse a pH's: ácidos o ligeramente alcalinos (Batis *et al.*, 1999 y Von Carlowitz *et al.*, 1991).

El **pH potencial (Cuadro 26)**, se encontró en un intervalo de 6.33 a 6.38, el cambio no fue muy representativo, respecto al pH activo. Las correlaciones inversas se dieron con la CE ($r^2=-0.70$), MO ($r^2=-0.4$) y el Na inter ($r^2=-0.05$), y de manera directa en el siguiente orden: pH act>SB>Ca inter>CIC>Mg inter>K intercambiable (**Anexo 8**).

La **materia orgánica** favorece la estructura, es muy importante en este suelo para mejorarla, el porcentaje en este bosque (**Cuadro 26**) oscilo entre 1.24 a 1.69 %, Moreno (1970) sugiere que es medianamente pobre, Muñoz y colaboradores (2000) de acuerdo a la interpretación de Aguilera (1989), concuerdan. En el **Anexo 8** se observan las correlaciones negativas: pH pot ($r^2=-0.4$), CE ($r^2=0.36$), pH act ($r^2=0.35$) y SB ($r^2=-0.06$). De manera positiva se ordenaron decrecientemente Na inter>K inter>Mg inter>CIC>Ca intercambiable, por ser los cationes que se adhieren a la materia orgánica.

Jacaranda mimosifolia, requiere suelos ricos en materia orgánica (Vázquez, 1985), *Fraxinus uhdei* se desarrolla mejor con un % de Materia orgánica de moderada a rica (USDA, 1990), por lo que sería una limitante para estas especies, mientras que *Casuarina equisetifolia* puede adaptarse a porcentajes pobres (Geary, 1988) esta especie es la más indicada.

La **conductividad eléctrica (Cuadro 26)** en este suelo se registró en valores de 0.71-0.84 dS m⁻¹ y de acuerdo a la interpretación propuesta por la NOM-021 tiene efectos despreciables de salinidad, aunque fue el más alto en comparación con los suelos de los otros bosques, debido a que originalmente este bosque se asentó sobre suelos de origen salino. Algunas especies como la

Casuarina equisetifolia, son tolerantes a situaciones de salinidad y pH's de hasta 9.5 (Geary, 1988). Esta propiedad se relacionó únicamente de manera inversa con las siguientes propiedades Mg inter>K inter>CIC>Ca inter>SB>pH act>pH pot>Na inter>MO (Anexo 8).

La **Capacidad de intercambio catiónico** se midió en un intervalo de 18.07-19.02 Cmol (+) kg⁻¹, de acuerdo al criterio de interpretación de la NOM-021 está en un rango medio y concuerda con lo propuesto por Reyes (1996), Muñoz y colaboradores (2000) sugieren lo mismo. Esta propiedad tuvo una relación inversa con la CE ($r^2=-0.97$) y de manera directa en el orden decreciente Ca inter>M inter>SB>K inter>pH acti>pH pot>Na inter>MO.

La arcilla y la materia orgánica humificada son las fracciones más importantes del suelo, por su carácter coloidal puede almacenar los nutrientes para los organismos (Jaramillo, 2002), en este caso la materia orgánica fue moderadamente pobre y el porcentaje de arcillas se encontró en un rango de 10-13.33%, lo que provoca la disminución de su capacidad de intercambio catiónico, especies como *Eucalipto camaldulensis* puede tolerar suelos pobres en nutrientes (CONAFOR s/f).

Cuadro 26. Propiedades químicas del suelo: pH activo, pH potencial, Materia orgánica, Conductividad eléctrica y CIC del Bosque San Juan de Aragón.

	pH activo	pH potencial	Materia orgánica (%)	Conductividad eléctrica dS m ⁻¹	CIC Cmol (+) kg ⁻¹
San Juan de Aragón 1er punto	6.64	6.43	1.24	0.76	18.85
San Juan de Aragón 2do punto	6.82	6.33	1.69	0.71	19.02
San Juan de Aragón 3er punto	7.06	6.48	1.47	0.84	18.07

En el **Cuadro 27**, se encuentran los resultados del % Saturación de bases y los cationes Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K) Intercambiables y las correlaciones en el **Anexo 8**.

El porcentaje de **Saturación de bases** se expresó en un rango de 69.69-94.13 %, se relaciona con los pH's registrados (6.41-7.02), ya que un pH neutro se acerca al 100% de saturación de bases, se relacionó de manera negativa con la CE ($r^2=-0.90$) y directamente con el C inter>CIC>pH act>pH pot>Mg inter>K inter>Na intercambiable. El **Calcio intercambiable** se encontró de 10.15-11.02 Cmol (+) kg^{-1} , la interpretación de la NOM-021 define que es alta para todos los puntos de muestreo y las correlaciones mostraron una relación negativa con la CE ($r^2= -0.93$), de manera directa se ordenaron: SB>CIC>Mg inter>pH act>pH pot>K inter>Na inter>Ca intercambiable. El **Magnesio intercambiable** se midió en un intervalo de 2.39-5.72 Cmol (+) kg^{-1} , clasificándose en un contenido medio en el último punto y una concentración alta en el primer y tercer punto, se presentó una correlación inversa con la CE con una $r^2=0.99$, y correlaciones positivas en orden CIC>K inter>Ca inter>SB>pH act>pH pot>Na inter>MO. El **Potasio intercambiable** se mantuvo en concentraciones de 0.17-0.50 Cmol (+) kg^{-1} , en una categoría muy baja el primer punto de muestreo, baja en el segundo punto y media en el tercer punto, Se obtuvieron correlaciones directas con el Mg inter>CIC>Ca inter>Na inter>SB>pH act>MO>pH potencial e inversa únicamente con la CE ($r^2=-0.97$). El **Sodio intercambiable** se mantuvo en 0.19 a 0.49 Cmol (+) kg^{-1} , para este catión las correlaciones positivas se presentaron en el orden MO>K inter>Mg inter>CIC>Ca inter>SB>pH activo.

Cuadro 27. Propiedades químicas del suelo: Saturación de bases, Calcio (Ca²⁺), Magnesio (Mg²⁺), Sodio (Na²⁺) y Potasio (K⁺) Intercambiables del Bosque San Juan de Aragón.

	Saturación de bases (%)	(Ca ²⁺)	(Mg ²⁺) Cmol (+) kg ⁻¹	(Na ²⁺)	(K ⁺)
San Juan de Aragón 1er punto	94.13	10.99	4.46	0.04	0.51
San Juan de Aragón 2do punto	92.59	11.02	5.7264	0.31	0.55
San Juan de Aragón 3er punto	69.69	10.15	2.39	0.09	0.48

Nutrimentos

Casi el 98% de los bioelementos del suelo se encuentran formando parte de restos orgánicos, materiales húmicos y compuestos inorgánicos que representan una reserva nutritiva que se va degradando lentamente por meteorización del humus (Navarro y Navarro, 2013).

Macronutrimentos.

El 22,6 % del **nitrate** es nitrógeno (Ramos *et al.*, 2017), en este suelo los valores obtenidos (**Cuadro 28**) fueron de 13.16 a 15.6 mg Kg⁻¹, de acuerdo a Covarrubias (1972), se encuentra en un intervalo pobre. Las correlaciones inversas fueron en el orden K tot>Ca tot>Zn>Fe<Mn>P total y de manera directa con el Mg dis>P dis>Mo>Ca dis>K dis>Mg total (**Anexo 9**).

El **fósforo (Cuadro 28)** total oscilo de 25.65 a 31.27 g Kg⁻¹, el 1.43 a 1.52 g Kg⁻¹ se encontró disponible para las plantas, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido por la vegetación es de 1-4 g Kg⁻¹, indicando que no hay una deficiencia de este elemento. Además, el pH de este suelo (6.64-7.06) es adecuado para el aprovechamiento de las plantas. Autores como Navarro

y Navarro (2003) mencionan que la concentración disponible es alta, el exceso de fósforo en el ambiente es derivado de la contaminación antrópica (EPA, 2016), en este caso el exceso podría tener un papel de fertilizante (Smith, 1981). Las correlaciones del fósforo total fueron negativas en el orden Mg tot>K dis>Mo>P dis>Nitratos>Mg dis>Mn>Fe>Zn y positiva con el K tot ($r^2=0.69$), el fósforo disponible se correlaciono directamente con el Mo>Nitratos>Mg dis> e inversamente con el P tot>Ca tot>Zn>Fe>P tot>Mn revisar el **Anexo 9**.

El **potasio (Cuadro 28)** al solubilizarse puede lixiviarse fácilmente, en conjunto con el nitrógeno son absorbidos en grandes cantidades por las plantas (Guerrero, 1993), se obtuvo una concentración de potasio total de 10.45-13.64 g Kg⁻¹, la concentración disponible fue 0.01-0.12 g Kg⁻¹. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-50 g Kg⁻¹, indicando que podría haber una deficiencia de este elemento. Se tendría que realizar un análisis a la vegetación para ver si existe indicios de deficiencia como: moteado clorótico en las hojas, o necrosis en el ápice y bordes de las hojas (Hernández y Pacheco, 1986). Especies como la *Jacaranda mimosifolia*, requiere suelos con un buen contenido de potasio, pues ayuda a que la planta se desarrolle mejor, (Little, 1969), sin embargo, el potasio se registró en concentraciones bajas.

Para el potasio total las correlaciones se dieron de manera inversa con los elementos: Mo>P dis>Nitratos>Mg dis>K dis>Ca dis>Mg total, de forma directa con el Ca tot>Zn>K tot>Fe>Mn. El potasio disponible se relacionó negativamente con el P dis>K tot>Ca tot>Zn>Fe>Mn y positivamente con los elementos Mg tot>Mo>P dis>Nitratos>Mg dis>Ca disponible, checar el **Anexo 9**.

El **calcio (Cuadro 28)** en este suelo oscilo una concentración de 18.28-28.04 g Kg⁻¹ para el calcio total, de los cuales solo 2.03-2.20 g Kg⁻¹ se encuentra disponible para la vegetación, Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido por la vegetación es de 5-15 g Kg⁻¹, indicando que se encuentra un poco debajo de lo requerido. La concentración de calcio total fue la más alta para todos los suelos de los bosques, sin embargo, la proporción disponible descendió considerablemente. De manera negativa el calcio total se relacionó en el siguiente orden con los demás elementos: Ca dis>Mg dis>Nitratos>P dis>Mo>K dis>Mg total y positiva con el Fe>Zn>Mn>K tot>P total. El calcio disponible interactuó de manera directa con el Mg dis>Nitratos>P dis>Mo>K dis>P total e inversa con los elementos Fe>Ca tot>Zn>Mn>K tot>Mg total revisar el **Anexo 9**.

El **magnesio (Cuadro 28)** registrado en este suelo fue de 2.55-2.93 g Kg⁻¹, de los cuales del 0.29 a 0.69 g Kg⁻¹ se encuentra disponible para la vegetación. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 1-4 g Kg⁻¹, indicando que se encuentra por debajo de lo requerido, su absorción puede ser afectada por relaciones altas de Ca/Mg, en cuyo caso las plantas absorben menos magnesio (Lora, 1994), se sabe que la cantidad en solución es mayor para suelos arenosos. La deficiencia de este elemento se podría observar en campo con la presencia de pigmentos antocianínicos y clorosis en las hojas que se encuentran en la parte inferior de la planta (White, 1987). El magnesio total se relacionó con los elementos K dis>Mo>P dis>Nitratos>Mn>Mg dis>Fe>Zn y de forma inversa con el P tot>K tot>Ca dis>Ca total. El magnesio

disponible interactuó positivamente con los elementos Nitratos>P dis>Ca dis>Mo>K dis>Mg total y negativamente con el Ca tot>Zn>Fe>K tot>Mn>P total, checar el **Anexo 9**.

Cuadro 28. Macronutrientes del suelo: Nitratos, Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) totales (T) y disponibles (D) del Bosque San Juan de Aragón.

	Nitratos mg Kg ⁻¹	P	K g Kg ⁻¹	Ca	Mg
San Juan de Aragón 1er punto	T 28.27	T 13.64	T 28.04	T 2.78	
	D 13.16	D 1.43	D 0.038	D 2.03	D 0.29
San Juan de Aragón 2do punto	T 25.65	T 10.45	T 18.28	T 2.93	
	D 15.6	D 1.52	D 0.12	D 2.20	D 0.69
San Juan de Aragón 3er punto	T 31.27	T 12.86	T 19.72	T 2.55	
	D 14.43	D 1.46	D 0.01	D 2.20	D 0.54

Micronutrientes

El **hierro (Cuadro 29)** se registró en concentración disponible 0.89 g Kg⁻¹ únicamente en el primer punto de muestreo. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 5-500 mg Kg⁻¹. Suelos arcillosos presentan mayor cantidad de hierro disponible (Navarro y Navarro, 2003) y este es un suelo con mayor porcentaje de arenas, sin embargo, podría realizarse un análisis foliar para tener resultados más certeros (Fancelli, 2006).

La deficiencia de hierro puede tener varias causas, un exceso de fósforo puede ser una (Estrada, 1997) y en el suelo de este bosque se registró un contenido de fósforo alto. Un análisis visual en la vegetación podría indicar si existe deficiencia, pues se desarrolla una clorosis intervenal pronunciada en las

hojas jóvenes (Hernández y Pacheco, 1986). *Casuarina equisetifolia* es una especie muy demandante en hierro (Gueary, 1988).

Las correlaciones de este elemento fueron inversas en el orden Ca dis>Mg dis>Nitratos>P dis>Mo>K dis>P total y directos con el Ca tot>Zn>Mn>K tot>Mg total, revisar el **Anexo 9**.

El **manganeso (Cuadro 29)** obtenido en los análisis fue de 4.37 mg Kg⁻¹ en el primer punto, 1.06 mg Kg⁻¹ para el segundo punto, en el tercer punto no se encontró disponible. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 5-300 mg Kg⁻¹. En contraste Uchida y Hue (2000) mencionan que en suelos ácidos y neutros la concentración de este elemento oscila entre 0.01 y 1 mg Kg⁻¹, pudiendo ser una condición normal al tipo de suelo de este bosque que es ligeramente ácido a neutro, cabe mencionar que presentó el contenido más alto en su primer punto en comparación con los suelos de los demás bosques.

El hombre aumenta su concentración sobre todo en el aire por actividades industriales y a través de la quema de productos fósiles, que después se deposita en los suelos, este bosque al encontrarse al norte cerca de una zona industrial puede relacionarse. Se obtuvieron correlaciones inversas con los elementos Ca dis>Mg dis>Nitratos>P dis>Mo>P tot>K disponible y directas en el orden Fe>Zn>Ca tot>K tot>Mg total (**Anexo 9**).

El **zinc** en el suelo se encuentra normalmente en concentraciones comprendidas entre 1 y 100 mg Kg⁻¹, generalmente solo una pequeña fracción (0.5-20 mg Kg⁻¹) se encuentra en forma asimilable, el resto está en forma de carbonatos, fosfatos o silicatos insolubles (Primo y Carrasco, 1981), en este suelo

se cuantificó 15 mg Kg⁻¹ en el primer punto de muestreo, 3 en el segundo punto mg Kg⁻¹ y 3.4 mg Kg⁻¹ en el tercer punto, lo que indica que se encuentra dentro del intervalo mencionado. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 10-50 mg Kg⁻¹, en contraste en el suelo se cuantificó de 3-15 mg Kg⁻¹, indicando que se encuentra adecuadamente. El zinc se correlacionó negativamente con el Ca dis>Mg dis>Zn>Pdis>Mo>K dis>P total y positivamente con el Fe>Ca tot>Mn>K tot>Mg total (**Anexo 9**).

El **boro** en el suelo de este bosque no se encontró disponible y Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-100 mg Kg⁻¹. Para determinar una deficiencia por este elemento se tendría que observar si la vegetación presenta decoloración y muerte en las yemas más jóvenes (Marschner, 1998), así como análisis foliares (Fancelli, 2006).

El **cobre** no se encontró disponible en este suelo. Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 20-50 mg Kg⁻¹. El exceso de fósforo puede provocar indirectamente deficiencia de cobre, en general el contenido en los suelos es muy bajo, alrededor de 0.01 mg Kg⁻¹, del cual la mayor parte se encuentra formando complejos con la materia orgánica (Navarro y Navarro, 2003).

El **níquel** no se encontró disponible en el suelo y Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 0.1 mg Kg⁻¹, en contraste Ugario y colaboradores mencionan que el níquel se encuentra de forma no disponible la mayoría de las veces. Se tendría que realizar un análisis foliar para determinar si existe o no deficiencia.

El aumento de la disponibilidad del **molibdeno** se relaciona con el aumento del pH y el fósforo (Lora, 1994) que fue elevado en todos los suelos, las deficiencias están correlacionadas con el metabolismo del nitrógeno (Marschner, 1998). Aristizábal (2003) sugiere que el rango de concentración requerido para las plantas es de 0.1 mg Kg⁻¹, los resultados obtenidos fueron muy elevados en un intervalo de 2894.10 a 2972.19 mg Kg⁻¹. El molibdeno de manera inversa se relacionó con el K tot>Ca tot>P tot>Zn>Fe>Mn y de manera positiva con el Pdis>Nitratos>Mg dis>K dis>Ca dis>Mg total.

Cuadro 29. Micronutrientes disponibles en el suelo: Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Zinc (Zn), Boro (B), Cobre (Cu), Níquel (Ni) y Molibdeno (Mo) del Bosque San Juan de Aragón.

	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Ni	Mo
	mg Kg ⁻¹						
San Juan de Aragón 1er punto	0.89	4.37	15	ND	ND	ND	2894.10
San Juan de Aragón 2do punto	ND	1.06	3	ND	ND	ND	2972.46
San Juan de Aragón 3er punto	ND	ND	3.40	ND	ND	ND	2912.19

ND=No disponible

9.4. Comparación de las tres zonas de estudio.

Propiedades físicas

Respecto a la **Densidad aparente** (DA), se observa en la **Figura 19**, se determinó, que el suelo de Tlalpan es el de menor DA, seguido por Chapultepec y finalmente San Juan de Aragón. El aumento de la DA significa la pérdida del espacio poroso de acuerdo a Foloni *et al.* (2003) para los bosques de Ch y SJA son los que obtuvieron valores más altos y que pueden estar más compactados, un aumento en el porcentaje de materia orgánica puede propiciar una baja densidad aparente como se observó en Tlalpan de acuerdo a Sánchez *et al.* (1989), un aumento en el porcentaje de materia orgánica puede proporcionar una densidad aparente adecuada, ya que puede proporcionarle al suelo poros de tamaños variables.

La **Densidad real** (DR) más alta se encontró en el suelo de San Juan de Aragón (SJA), en contraste el suelo de Tlalpan presentó los más bajos, Chapultepec se halló con valores intermedios observar la **Figura 19**. La DR varía de acuerdo a los minerales que el suelo contenga y el porcentaje de materia orgánica que se encuentre (Buckman y Brady, 1977). La mayoría de los suelos tienen un promedio de aproximadamente $2,65 \text{ g.cm}^3$, que corresponde al peso de las partículas minerales constituyentes más comunes y a un contenido bajo de materia orgánica, la cual es una característica del suelo de SJA como lo sugiere Plaster (2004).

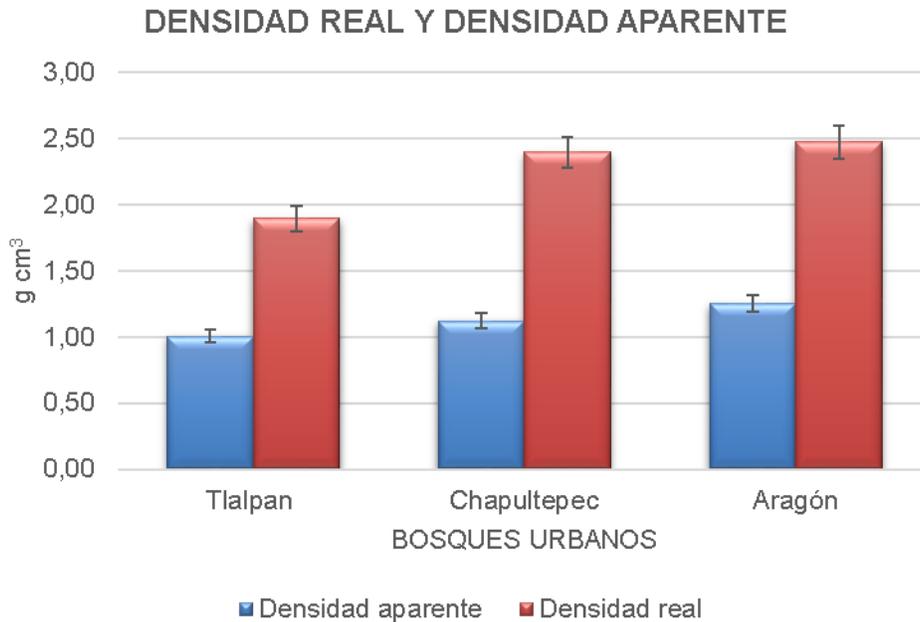


Figura 19. Densidad aparente (DA) y Densidad real (DR) obtenida en los suelos de los tres Bosques urbanos.

En cuanto al **espacio poroso** registrado, los porcentajes obtenidos se observan en la **Figura 20**, no presentan variaciones, se encontraron alrededor del 45-55% , pero los puntos de muestreo fueron los menos perturbados y en sus respectivas Gacetas de manejo se menciona que los tres suelos comparten la característica de estar compactados en sus zonas más transitadas, y de manera beneficiosa se sabe que la alta y diversa población de especies arbóreas en los tres bosques urbanos, por su aporte de materia orgánica, pueden aumentar la cantidad de macroporos promotores del drenaje y aireación como lo sugiere Kaurichev (1984), por lo que su cuidado es determinante.

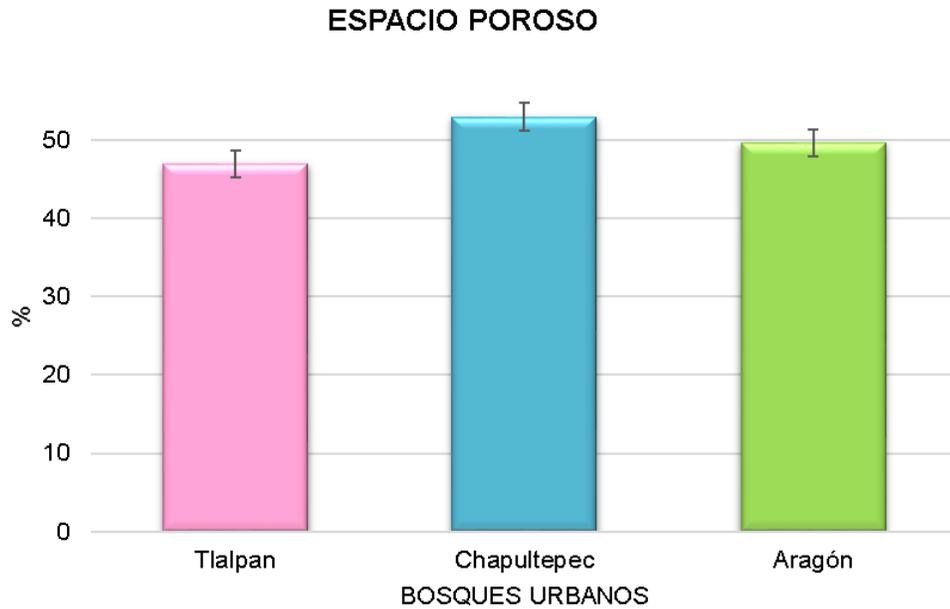


Figura 20. Espacio poroso (EP) obtenido en los suelos de los tres Bosque urbanos.

El suelo del Bosque de Tlalpan presentó mayor porcentaje de **contenido de humedad**, debido a la basta vegetación que soporta, además el clima es templado y las precipitaciones abundantes de acuerdo a Jáuregui (2000) que oscilan en 700- 1200 mm promedio anual, el suelo de SJA, en contraste, tuvo los porcentajes más bajos, Rodríguez (2009) menciona que los suelos con mayores porcentajes de arenas, como fue el caso de este bosque, impiden la retención de humedad, cabe mencionar que la precipitación media anual en este suelo es de 475- 530 mm promedio anual (GDF, 2001; SMA, 2003); es importante mantener programados los períodos de riego en esta zona para evitar sequias prolongadas que perjudiquen a la vegetación.

La vegetación puede ser más susceptible a patógenos cuando sufren estrés por sequías prolongadas, puede ser un factor que participe en el ataque del descortezador al género *Cupressus* en el bosque de San Juan de Aragón.

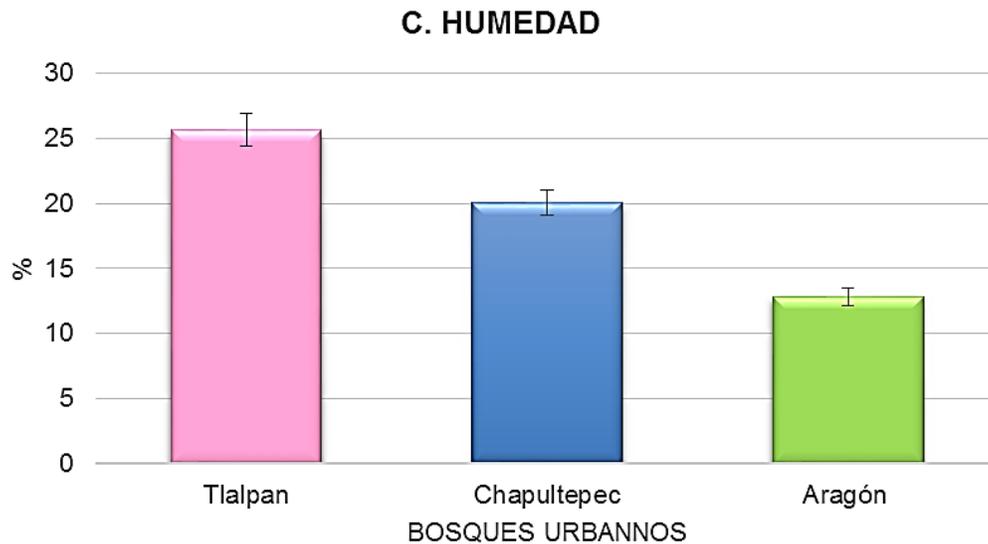


Figura 21. Contenido de humedad en los suelos de los Bosques urbanos

Los mayores porcentajes de **arcillas (Figura 22)**, se encontraron en el suelo del Bosque de Chapultepec, la GODF (2006) menciona que este suelo presenta compactación de suelo en las áreas más transitadas, debido a que las arcillas tienden a compactarse por apisonamiento constante, Harol (1988) refiere a que una excesiva compactación altera el estado general de la vegetación por lo que se recomiendan prácticas que reduzcan la compactación en estas zonas, e impidan la formación de costras, la adición de materiales que permitan una adecuada aireación y drenaje como la turba, pueden reducir esta compactación. .

Tlalpan presenta porcentajes de arcillas adecuados, San Juan de Aragón, en contraste presento bajos porcentajes de esta partícula, las arcillas son

importantes como reserva nutrimental, por ello se recomienda la mejora de este suelo por aglomerantes, los más comunes son las adiciones de materia orgánica (Primo y Carrasco, 1981), pero de manera adecuada. Los porcentajes de **limos** fueron más altos en el suelo de Chapultepec, mientras que en suelo de SJA presentó los más bajos. El porcentaje de **arenas** fue mayor en el suelo de SJA seguido por Chapultepec, siendo menor en Tlalpan.

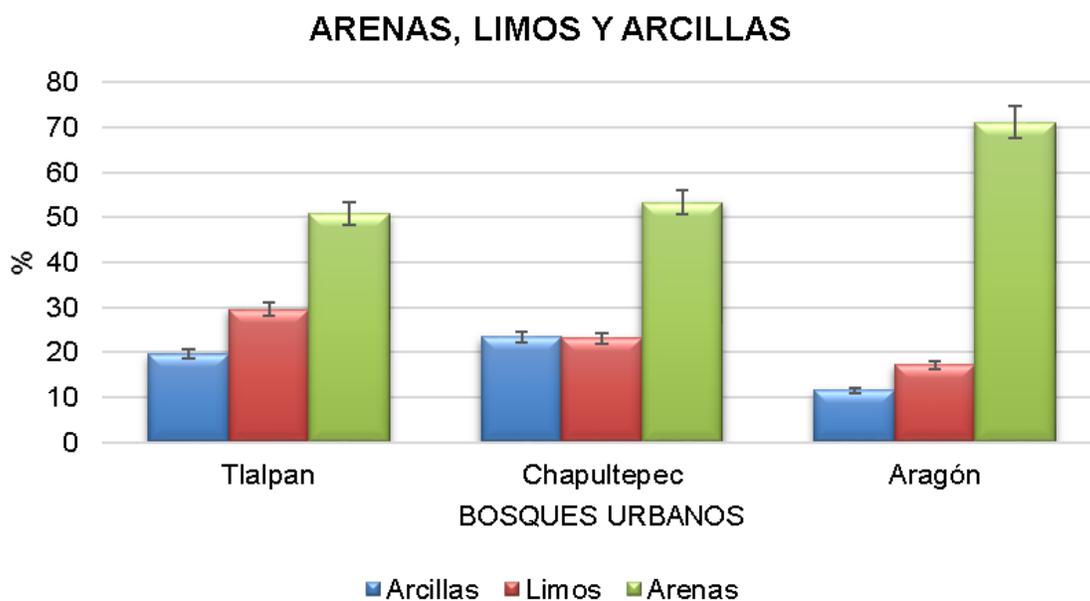


Figura 22. Porcentaje de arenas, limos y arcillas en los suelos de los Bosques urbanos.

La **clase textural** para el suelo de Tlalpan fue Franco, lo que proporciona una alta fertilidad y un porcentaje adecuado de las partículas que componen este suelo. Chapultepec presentó una clase del tipo Migajón-arcillo-arenoso y SJA Migajón-arenoso, ya que fueron mayores los porcentajes de limos y arenas.

Las **estructuras** se determinaron moderadamente desarrolladas en el suelo del Bosque de Tlalpan y Chapultepec, mientras que el suelo de SJA se encontró

débilmente desarrollado, esto debido a los porcentajes bajos en materia orgánica y arcillas.

Propiedades químicas

En promedio la reacción (**pH**) de los suelos fue la neutralidad, indicando que los procesos de lixiviación y pérdida de elementos es menor y que poseen un alto potencial nutricional (Combatt *et al.*, 2005), si cuentan con las demás condiciones adecuadas. Los pH's registrados permite que los nutrimentos se encuentren disponibles y puedan ser tomados por las plantas, como lo sugiere (Kunhns, 1985).

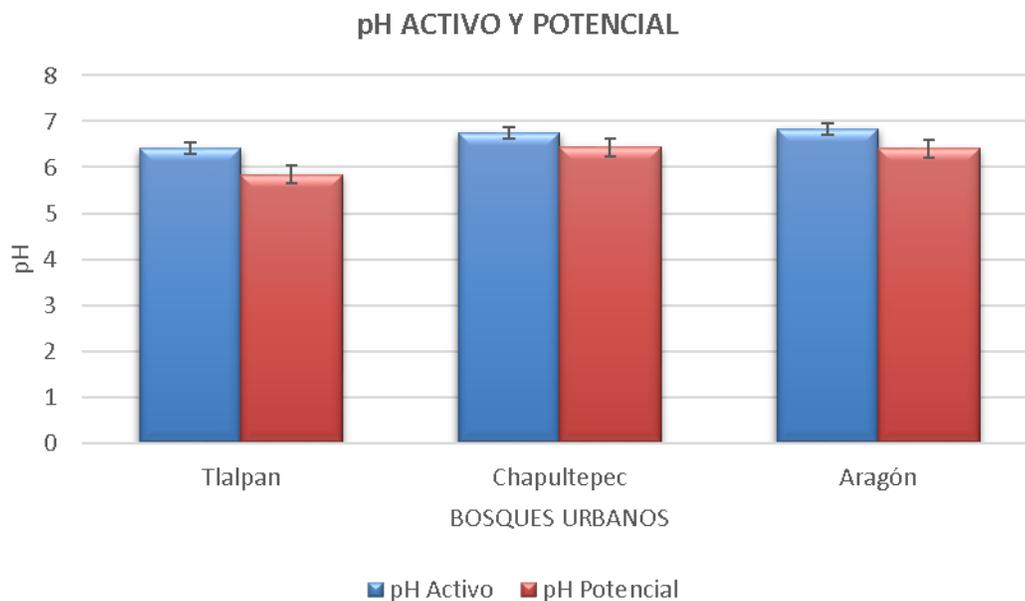
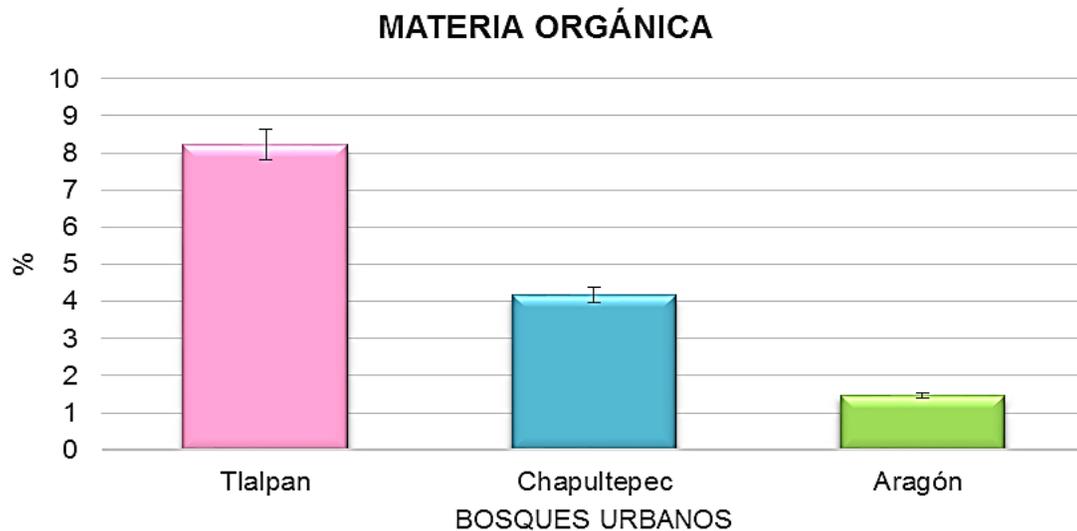


Figura 23. Comparación de potencial hidrógeno en los suelos de los parques urbanos.

En la **Figura 24** se observa la **materia orgánica** (MO) registrada; es importante porque representa una reserva natural de nutrimentos, la FAO (2019) menciona que interviene en la formación de agregados, es por ello por lo que SJA al presentar porcentajes pobres no tenga mayor desarrollo en su estructura. La

MO, permite la retención de cationes, tiene una relación muy estrecha con la CIC, favoreciendo a los suelos de Chapultepec y Tlalpan que fueron contenidos medios y ricos, garantizando la retención de los nutrimentos, ya que por las precipitaciones abundantes durante el año pueden perderse por lixiviación. La NOM-021-RECNAT-2000 sugiere que la baja concentración de MO en SJA, podría representar una limitada fuente de nitrógeno.

Aumentar el porcentaje de MO en SJA podría aumentar también su contenido de humedad como lo sugiere Moreno (1970), pues la MO retiene más



agua.

Figura 24. Porcentaje de materia orgánica registrada en los suelos de los Bosques urbanos

La **Conductividad eléctrica** (CE) de los tres suelos (**Figura 25**) de acuerdo a la NOM-021 tienen efectos despreciables de salinidad, lo que reduce la probabilidad de que la vegetación sufra por efectos de fitotoxicidad.

Aunque el suelo de SJA es de origen salino compuesto de sedimentos lacustres, a través del tiempo se le han realizado modificaciones desde su establecimiento como Bosque urbano, lo que ha modificado sus propiedades de origen, es por ello por lo que su CE no es alta.

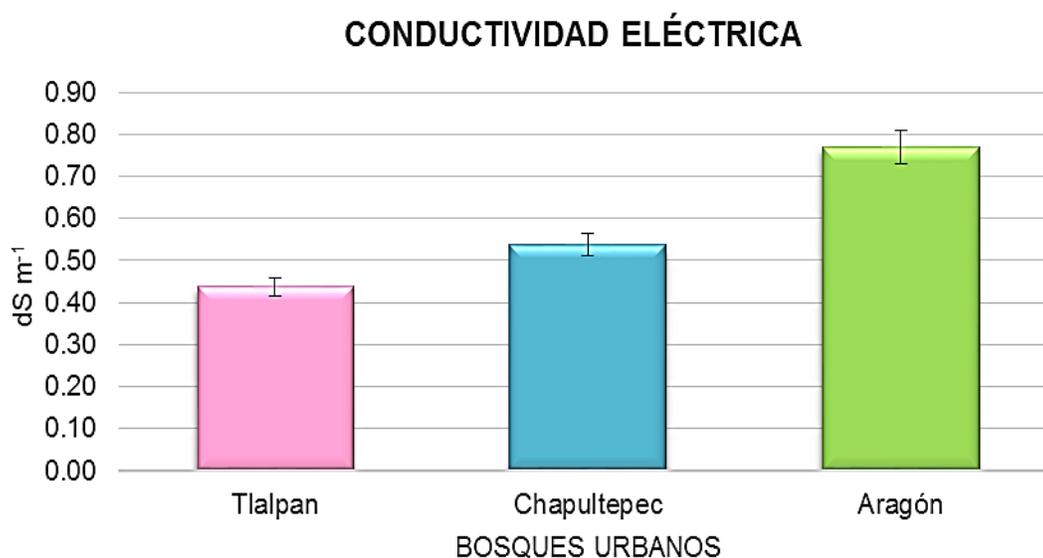


Figura 25. Conductividad eléctrica de los suelos de los Bosques urbanos.

La **Capacidad de intercambio catiónico (CIC)** se representa en la **Figura 26**, en los suelos de Chapultepec y Tlalpan corresponden a altos, en SJA fue medio, esta propiedad se relaciona con el contenido de materia orgánica y porcentaje de arcillas, eso explica que ha porcentajes de materia orgánica ricos y porcentajes de arcillas adecuados, mayor será la CIC, como en los suelos de Chapultepec y Tlalpan, que fueron mayores que en contraste con SJA. Una gran capacidad de intercambio iónico en los suelos es importante pues retiene a los iones nutritivos, de forma que puedan ser cedidos, a la solución del suelo, a medida que son consumidos por las plantas (Primo y Carrasco, 1981).

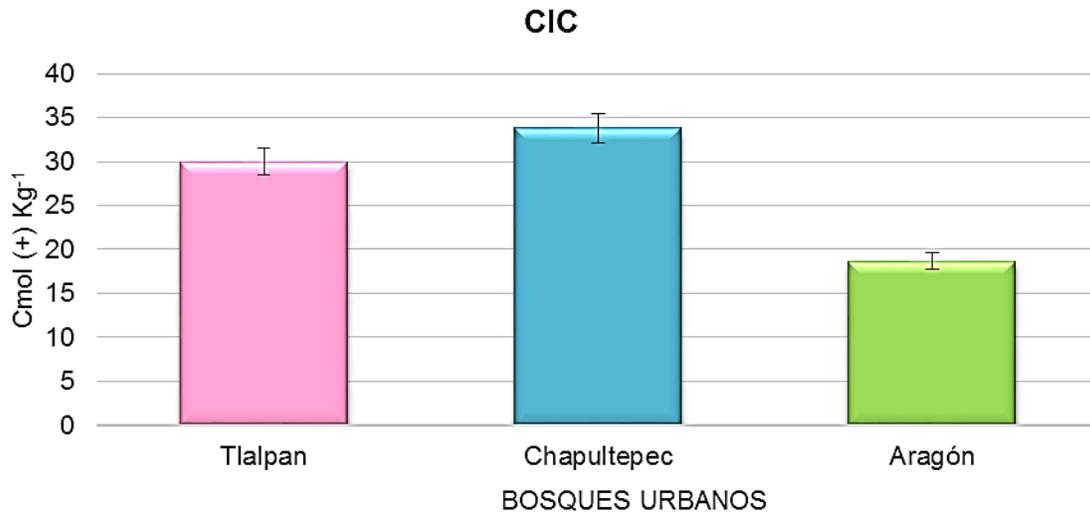


Figura 26. CIC de los suelos de los Bosques urbanos.

Los **cationes intercambiables** se observan en la **Figura 27**, el **Calcio intercambiable** fue predominante en los tres suelos, en una proporción alta, el **Magnesio intercambiable** también fue alto, el **Potasio intercambiable** se encontró en un intervalo medio en los tres bosques de acuerdo a la NOM-O21 y a Etchevers y colaboradores (1971), que consideran que cantidades de 5 a 10 y >10 Cmol (+) kg⁻¹ corresponden a valores medios y altos de calcio. Por otra parte, los valores promedio de Mg y K fueron altos y medios, ya que se encontraron valores de 3.0 y 0.31 Cmol (+) kg⁻¹, respectivamente.

El contenido de bases intercambiables Calcio, Magnesio y Potasio, son elementos esenciales que tienen funciones como resistencia a ataque de patógenos, en el proceso fotosintético y en la economía del agua, se encuentran en concentraciones medias a altas; lo que indica una buena reserva nutricional atribuida a los materiales de la zona (Etchevers *et al*, 1971).

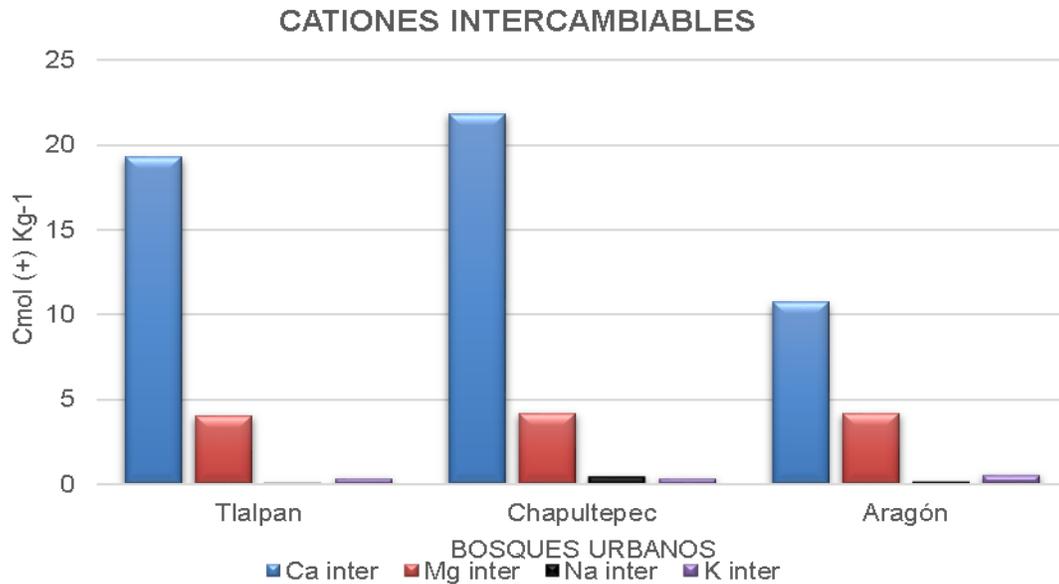


Figura 27. Cationes intercambiables en los suelos de los Bosques urbanos.

La suma de todas las bases da como resultado el porcentaje de **saturación de bases** (Figura 28), en los suelos de Chapultepec y Tlalpan se encontró alrededor del 80%, mientras que en SJA en un 20% esto último debido a la baja CIC en este suelo, esta propiedad se relaciona con el pH, en los tres sitios fue neutro.

De acuerdo a la FAO (2019), esta propiedad se utiliza únicamente para calcular la cantidad de limo requerido en un suelo ácido, para neutralizarlo, condición de acidez que no se registró en ningún suelo estudiado.

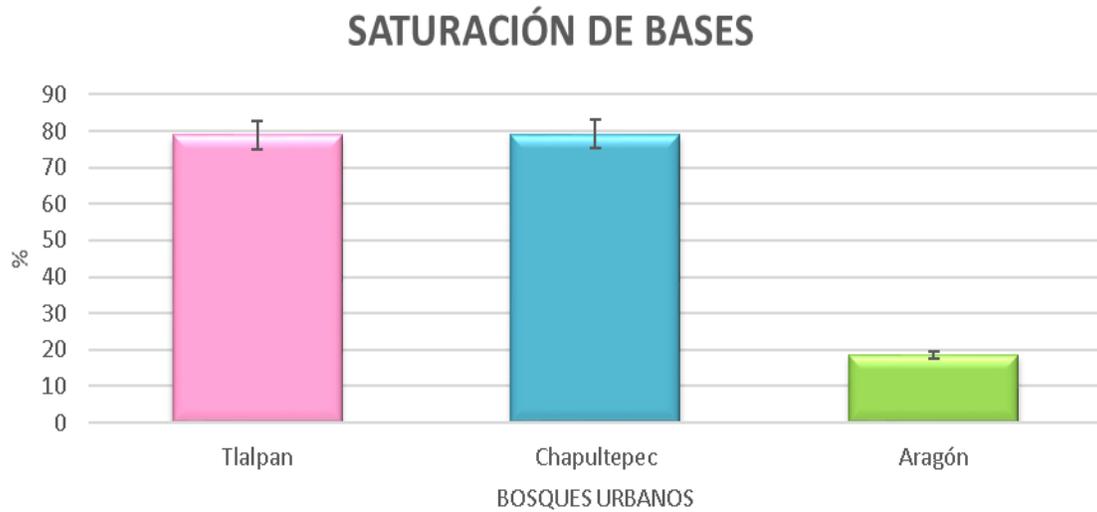


Figura 28. Porcentaje de saturación de bases de los suelos en los Bosques urbanos.

Nutrimentos

El contenido de **Nitratos** se observa en la **Figura 29**, el cual es la forma aprovechable del nitrógeno y que requieren las plantas en cantidades abundantes, los contenidos fueron medios en Chapultepec y Tlalpan y pobre en SJA, se relacionan con la materia orgánica, y aumentarla en el suelo pobre de este elemento puede modificar el contenido de nitratos, ya que el nitrógeno en primera instancia forma parte hasta que es convertido en nitratos.

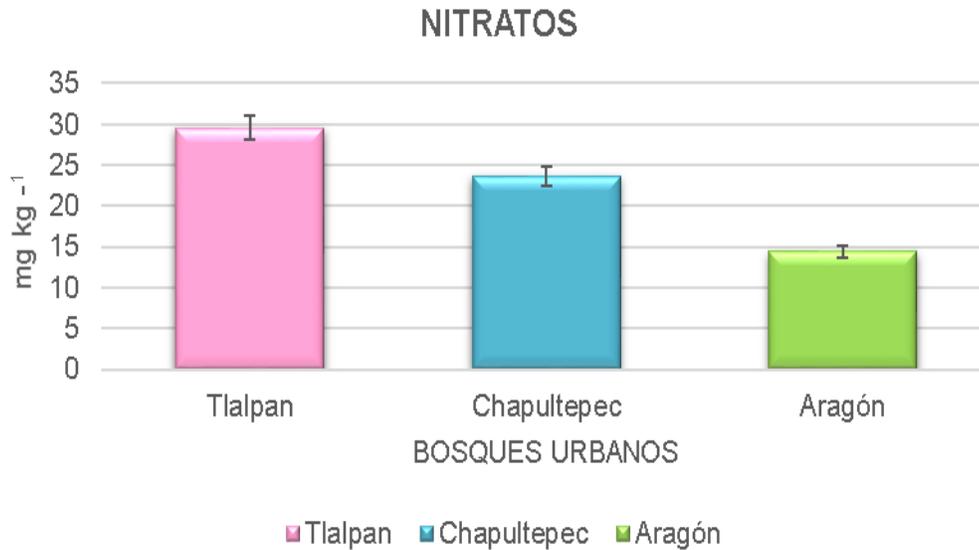


Figura 29. Contenido de Nitratos en los duelos de los Bosques urbanos.

Los nutrimentos fósforo, calcio, magnesio y potasio se observan en la **Figura 30**, generalmente el **fósforo** es limitante en la mayoría de los bosques y suelos ácidos, es el primer o segundo elemento inhibidor de la productividad primaria neta de estos bosques (Plassard y Dell, 2010). La EPA (2016), menciona que las actividades antropogénicas producen exceso de fósforo en el aire que después se deposita en los suelos. Sin embargo, Smith (1981) menciona que los contaminantes que circundan en las zonas urbanas pueden tener un efecto de fertilizante en los ecosistemas forestales. Las plantaciones establecidas pueden en poco tiempo disminuir la cantidad de fósforo existente de acuerdo a De Morales (1988), por lo que las reservas de este elemento son muy importantes.

El **calcio** es un nutrimento que favorece la formación de complejos con fracciones húmicas, las que inciden en la capacidad estructurante (Navarro y

Navarro, 2003), los contenidos en general fueron altos en los tres suelos, aunque participa en la formación de la estructura, sin un buen porcentaje de humus, como es el caso de SJA no se pueden formar agregados favorables. El calcio al igual que el nitrógeno son elementos que determinan la fertilidad del bosque (Plassard y Dell, 2010). Vaz de Arruda (2003) citado en (Combatt *et al.*, 2005), afirma que la resistencia de las plagas y enfermedades puede ser disminuida o aumentada por el efecto de los nutrientes minerales, la vegetación de *Cupressus sp* en el suelo de SJA presentó el ataque del descortezador, se puede asociar las características del suelo con el ataque de este insecto.

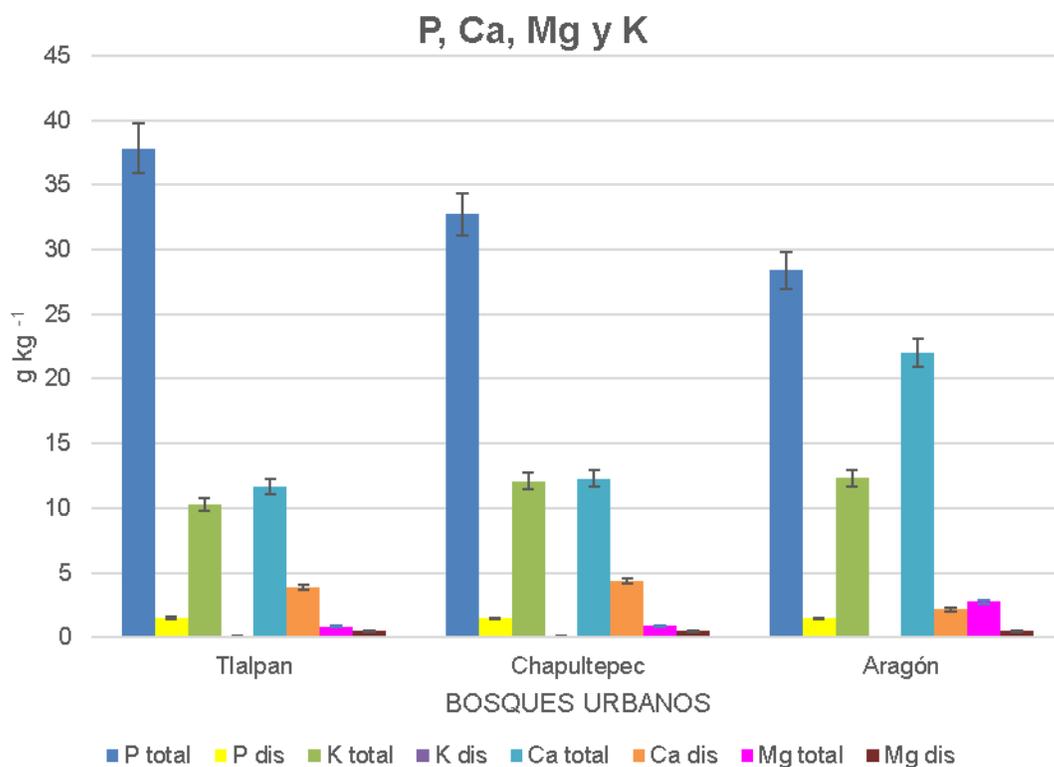


Figura 30. Nutrientes: fósforo, calcio, magnesio y potasio de los suelos en los Bosques.

Micronutrientes

El **zinc (Figura 31)** se encontró en concentraciones normales, aunque se encuentra mayormente disponible en suelos con características ácidas (Navarro y Navarro, 2003), y fue en el suelo de Tlalpan el registró mayor. En suelo de sistemas naturales se le encuentra formado fosfatos, carbonatos, sulfuros, óxidos y en silicatos.

El **hierro (Figura 31)** se encontró en contenido bajo en Tlalpan, alto en Chapultepec y muy bajo en SJA, altos contenidos de fósforo en el suelo disminuyen la disponibilidad del hierro de acuerdo a Navarro y Navarro (2003). En condiciones de suelos naturales forma en suelo sulfuros, óxidos, fosfatos, silicatos (augita, anfíboles, biotita). Es adsorbido a mayor movilidad (Fe^{2+}) y fijado en suelos calcáreos, quelatos de Fe (II). Se incorpora a la planta en uniones metalo-orgánicas, componentes de enzimas. Participa en el Metabolismo energético (oxido reducción) y del N, preferencialmente enriquece hojas. Su deficiencia intercostal hasta la coloración blanca de las hojas jóvenes (nerviación verde en las hojas).

El **manganeso (Figura 31)**, se registró alto en el suelo de SJA, se sabe que los contenidos del manganeso aumentan a través de la quema de productos fósiles como las gasolinas, no se encontró disponible en Chapultepec y bajo en Tlalpan, en suelos ácidos y neutros la concentración en solución oscila entre 0.01 a 1 mg Kg^{-1} como lo sugiere Uchida y Hue (2000), por lo que las concentraciones encontradas son normales.

Respecto al **boro (B)**, **cobre (Cu)** y **níquel (Ni)** no estaban disponibles en los suelos de los tres bosques. Los procedimientos para el análisis del B disponible no son muy confiables y no resulta práctico utilizarlos para dar recomendaciones. En **suelo el boro** se le encuentra formado Turmalina y boratos (HBO_3^{2-} , H_2BO_3^-). Es adsorbido cuando más disuelto y su disponibilidad va ácido a básico. Se incorpora formando complejos de hidratos de carbono, formación de ésteres. Transporte de hidratos de carbono y su metabolismo, activación del crecimiento (crecimiento del tubo polínico) del tallo, hojas y ápices. Su deficiencia produce dificultades en el crecimiento (necrosis meristemáticas), poca ramificación radical, necrosis del floema dificultad en la fructificación (Larcher, 1997).

En el **caso del Cu** los contenidos en los suelos son muy bajos, alrededor de 0.01 mg Kg^{-1} , del cual la mayor parte esta acomplejada con la materia orgánica (Navarro y Navarro, 2003), el exceso de fósforo y otros micronutrientes puede provocar indirectamente la deficiencia de cobre (Aristizábal, 2003). Se le encuentra en el suelo formando sulfuros, sulfatos y carbonatos. Es adsorbido, móvil en condiciones ácidas a básicas, se fija fuertemente al humus (Cu^{++}) y quelatos de cobre. Forma complejos y componentes enzimáticos. Su función en la planta está en el metabolismo energético (fotosíntesis oxidasas) metabolismo del N, y en el metabolismo secundario. Preferencialmente está en las ramas leñosas. Su deficiencia produce sequías agudas y clorosis de hojas jóvenes (Larcher, 1997).

Los **registros de níquel** en los suelos urbanos no se registraron. El Ni es absorbido por las plantas en forma de catión divalente Ni^{2+} y es requerido por las

plantas superiores en bajas concentraciones, necesario en el metabolismo del nitrógeno y la germinación de la planta. La deficiencia de Ni inhibe la acción de la ureasa y esto conlleva a la acumulación de urea que provoca la presencia de manchas necróticas en las hojas, también afecta el metabolismo de los ureidos, aminoácidos, ácidos orgánicos y estimula la acumulación del ácido oxálico y láctico en las hojas. La ureasa es una enzima que tiene mucha importancia en la nutrición vegetal, ya que cuando se fertiliza con urea como fuente de nitrógeno, esta enzima es la responsable de hidrolizar la urea en amoníaco y así poder ser aprovechada por las plantas. Algunas enzimas de las **plantas**, particularmente de la ureasa, que metaboliza el nitrógeno ureico para convertirlo en amoníaco utilizable dentro de la **planta**, en este caso, la deficiencia de **níquel** causa toxicidad de urea.

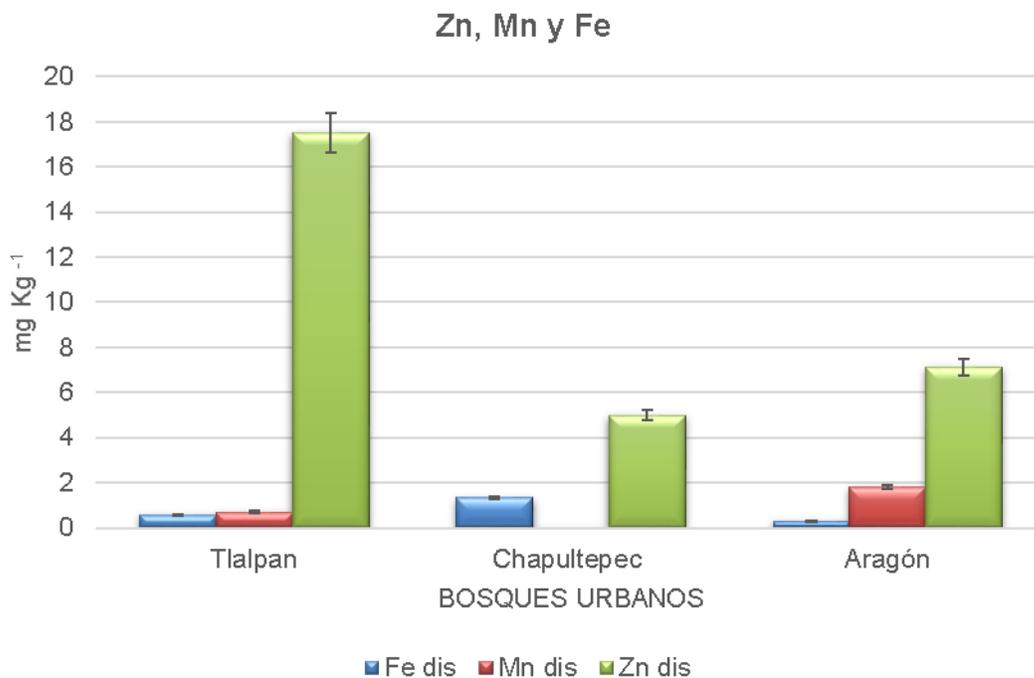


Figura 31. Micronutrientes del suelo de los Bosques urbanos

El **molibdeno** (Figura 32), se encontró en contenidos muy altos en los suelos de los tres parques, su disponibilidad puede estar relacionada con el aumento de fósforo en el suelo (Lora, 1994). En suelo los molibdatos (MoO_4^{2-}) se encuentra en los silicatos es adsorbido y móvil en condiciones básicas respecto a los ácidos. Se incorpora a la planta en compuestos organometálicos, es un componente enzimático (reductasas) y su función en la planta es metabolizar N y P. Su deficiencia provoca dificultad en el crecimiento y deformación de los vástagos (Larcher, 1997).

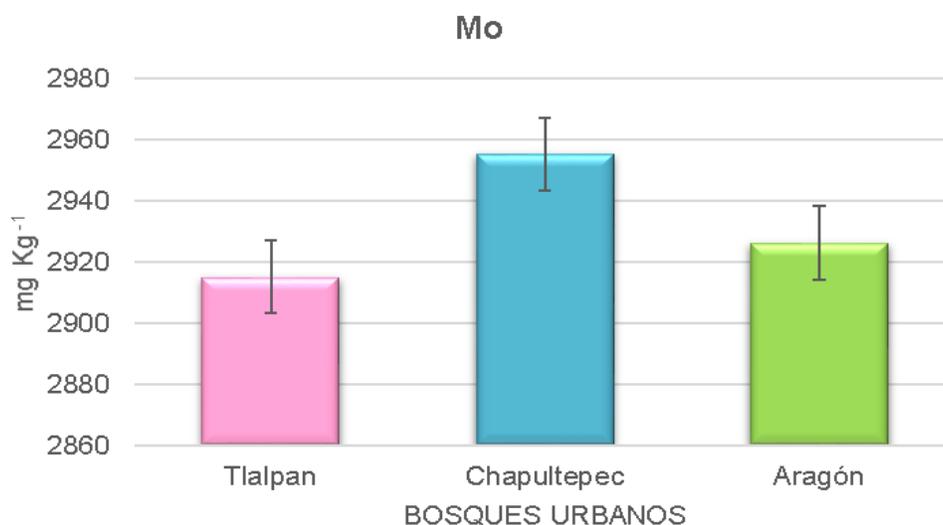


Figura 32. Molibdeno registrado en el suelo de los Bosques urbanos.

6. CONCLUSIONES

- ✓ Los bosques urbanos presentaron concentraciones altas de fósforo y molibdeno disponible en el suelo, 1.45-1.52 g Kg⁻¹ y de 2894.10-2993.55 mg Kg⁻¹, respectivamente.
- ✓ El contenido de nitratos fue medio en Tlalpan y Chapultepec y pobre en San Juan de Aragón.
- ✓ El calcio tiene concentraciones adecuadas para el aprovechamiento vegetal. Sin embargo, el contenido de magnesio, sodio y potasio decreció en todos los suelos de los bosques urbanos.
- ✓ No se registró Boro, Cobre y Níquel disponible en los suelos de los tres bosques analizados y Manganeso en el suelo del Bosque de Chapultepec. El zinc presentó concentraciones normales para los suelos de los bosques urbanos. El hierro y manganeso se encontraron en concentraciones variables o no disponibles en algunos puntos de muestreo.
- ✓ El pH de los suelos analizados va de ligeramente ácido a neutro, así se facilita la absorción de los nutrimentos.
- ✓ El porcentaje de materia orgánica en los suelos del bosque de Tlalpan y Chapultepec es rica y medianamente pobre para el suelo del Bosque de San Juan de Aragón; aumentarla con una plantación arbórea que la promueva a largo plazo.
- ✓ La conductividad eléctrica expreso un contenido bajo, por lo que no presenta problemas la vegetación.
- ✓ El porcentaje de arcillas fue más alto en el suelo de Chapultepec (22-25%) y más bajo en el bosque de San Juan de Aragón (10-13.33 %), obteniendo la misma relación con la Capacidad de intercambio catiónico que fue mayor en Chapultepec que en San Juan de Aragón, el suelo de Tlalpan se encontró con valores intermedios.
- ✓ El porcentaje de espacio poroso en los suelos de los tres bosques se encontró del 40 al 60%, indicando que las zonas muestreadas no presentaban problemas de aireación.

- ✓ Las estructuras del suelo estaban moderadamente desarrolladas en los bosques de Tlalpan y Chapultepec, el suelo de San Juan de Aragón presentó características de un suelo poco desarrollado.
- ✓ La vegetación en el bosque de Tlalpan es la adecuada para este suelo, sin embargo, en las zonas altas requieren de mayor cobertura para evitar la pérdida de los materiales del suelo.
- ✓ Las especies arbóreas desarrolladas en el bosque de Chapultepec son adecuadas a las condiciones del bosque, sin embargo, la compactación es un factor de estrés para la vegetación, esta condición se observó en los tres bosques, implementar métodos de drenaje en las zonas más compactadas puede disminuir esta condición.
- ✓ La vegetación del bosque de San Juan de Aragón es la adecuada para las características del suelo, sin embargo, su estructura puede mejorar aumentando el contenido de materia orgánica y modificando los métodos de limpieza de la vegetación.

7. RECOMENDACIONES

❖ El uso restringido a los visitantes, por lo menos en las áreas de mayor cobertura arbórea, es necesaria para evitar que la compactación alcance niveles más críticos en los tres bosques urbanos, o en su caso introducir materiales que le brinden mayor espacio poroso como corteza en la superficie que impide el impacto directo, o materiales que permitan el desarrollo de los espacios porosos como la turba.

❖ Cuidar los periodos de riego el cual es diferente en los tres bosques urbanos, evitando encharcamientos en Chapultepec y Tlalpan por el porcentaje de arcillas y en periodos de precipitación que son más abundantes en esta zona. El bosque de San Juan de Aragón requiere mayor humedad.

❖ Evitar dejar desnudos a los suelos, ya que en el bosque de San Juan de Aragón la forma de limpieza de las áreas remueve toda la cobertura de pastos y de desechos orgánicos como restos de hojas, lo cual ocasiona pérdida de humedad y de nutrientes que no se vuelven a incorporar al suelo, Santa Regina *et al.* (2001) citados por Ramírez y Zapata (2004), estiman que la hojarasca foliar es el responsable de cerca del 80% de la cantidad total de nutrientes retornados al suelo por los árboles.

8. REFERENCIAS

- Agrios, G. (1996). *Fitopatología*. 2da Edición. Editorial Grupo Noriega. México, D.F. 838 páginas.
- Aguilera, N. (1989). *Tratado de edafología de México*. Tomo I. UNAM.
- Alarcón, A. (2000). *Nutrición mineral: elementos esenciales y dinámica en el sistema suelo-planta*. Tecnología para cultivos de alto rendimiento. Páginas 109-129.
- Alexander. (1991). Citado en:
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lqf/razo_e_di/capitulo3.pdf.
- Alvarado, A. y Raigosa, J. (2007). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales*. Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica San José, Costa Rica. Página 83.
- Álvarez, A. y Trento, A. (2004). Transporte de metales pesados en cursos fluviales. En: *Mecánica Computacional*, 23(1), 1151-1165.
- Álvarez, R. y Steinbach, H. (2009). A review of the effects of tillage systems on some soil physical properties, water content, nitrate availability and crops yield in the Argentine Pampas. En: *Soil and Tillage Research*, 104(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.02.005>.
- Amezcua, J. y Lara, M. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia: comunicaciones libres*. 68(3), 28-35.
- Anders, C. (1988). Interview: The Effects are Present. En: *Revista México*, (2), 3-4.
- Aponte, A. (1999). *Bases fundamentales de anatomía y fisiología vegetal*. En: *Cultivos protegidos con técnica hidropónica y biológica*, Bogotá, páginas 23-41.
- Aristizábal, M. (2003). *Fisiología vegetal en Colombia*. Editorial Artes Gráficas Tizan ISBN: 9583354171 v. 1 p.306.
- Arriaga, V.; Cervantes, V. y Vargas, A. (1994). *Manual de Reforestación con Especies Nativas: Colecta y Preservación de Semillas, Propagación y Manejo de Plantas*. SEDESOL/ INE – Facultad de Ciencias UNAM. México, D.F.
- Ballester, F. (2005). Contaminación atmosférica, cambio climático y salud. En: *Salud Pública. Volumen 79* (2).
- Balmaceda, R. (1991). *Suelos compactados. Un estudio teórico y experimental*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya.

- Barančíková, G.; Liptaj T. y Prónayová N. (2007). Phosphorus fractions in arable and mountain soils and their humic acids. En: *Soil and Water Research*, 2(4), 141–148.
- Barceló, C.; Nicolás, R.; Sabater, G. y Sánchez, T. (1995). *Nutrición mineral*. En: Fisiología vegetal. 7 ed. Ediciones Pirámide S.A., Madrid, páginas 151-167.
- Barbaro, L.; Karlanian, M. y Mata, D. (s/f). *Importancia del pH y la conductividad eléctrica en sustratos de plantas*. Presidencia de la Nación. Ministerio de Agricultura, ganadería y pesca.
- Barber, A. (1984). *Soil nutrient bioavailability*. John Wiley. New York.
- Bassuk, N. y Whitlow, T. (1985). *Evaluating street tree microclimates in New York City*. En: Proceedings of the Fifth Conference of Metropolitan Tree Improvement Alliance (METRIA), páginas. 18-27.
- Batis, A.; Alcocer, I.; Gual, S.; Sánchez, C. y Vázquez, C.(1999). *Árboles y Arbustos Nativos Potencialmente Valiosas para la Restauración Ecológica y la Reforestación*. Instituto de Ecología UNAM - Conabio.
- Benavides, H. (1989). *Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo*. En: Memoria del Congreso Forestal Mexicano 1989. Tomo II. Toluca, Estado de México. 19 al 22 de julio de 1989. Gobierno del Estado de México y Academia Nacional de Ciencias Forestales, A. C. 966-992 páginas.
- Benavides, H. y Fernández, D. (2012). Estructura del arbolado y caracterización dasométrica de la segunda sección del Bosque de Chapultepec. En: *Madera y bosques*, 18(2).
- Blume, P. (1986). *Characteristics of urban soils*. En: Man and the Biosphere, edited by the German 32 National Committee. International scientific workshop on soils and soil zoology in urban systems as a basis for management and use of green/open spaces. Berlin: UNESCO, páginas 23-46
- Bretzel, F. y Calderisi, M. (2006). Metal contamination in urban soils of coastal Tuscany (Italy). En: *Environmental Monitoring and Assessment*, 118 (1-3), 319-335.
- Buhman, C. (1993). K-fixing phyllosilicates in soils, the role of in herieted componentes. En *Journal. Soil Science*, 44, 347-360.
- Buckman, H y Brady, N. (1977). *Naturaleza y propiedades de los suelos*. Ed.Montaner y Simon, S.A. Barcelona.

- Bünemann, E. (2008). Enzyme additions as a tool to assess the potential bioavailability of organically bound nutrients. En: *Soil Biology and Biochemistry*, 40, 2116–2129.
- Calva y Nieto de Pola. En *Redescubriendo el suelo: importancia ecológica y agrícola*. FES-Zaragoza, UNAM y CONACYT. Ciudad de México, México.
- Carreiro, M.; Song y Wu. (2008). *Ecology, planning and management of urban forests*. International perspectives. Springer Publishers. New York, NY. USA. 468 p
- Carta edafológica. INEGI-SPP, 1982. CTENAI, (1980). Publicado en la Gaceta Oficial del DF, el 20 de junio 2011. Acuerdo por el que se expide el programa de manejo del área natural protegida “Bosque de Tlalpan”
- Casasola, M. (2006). *Influencia del Bosque de Chapultepec en el clima urbano de la Ciudad de México*. Tesis de Licenciatura, Carrera de Geografía, Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. México, D. F. p:98.
- Cervantes, A. y Cuevas, R. (1981). “Análisis Radicular de *Pinus harteguii*, *Abies religiosa*, *Pinus moctezume*, *Pinus ayacahuite var.veitchii* y de Algunas Especies Herbáceas en Relación con la Humedad y otras Propiedades Físicas del Suelo”. Tesis profesional (Biología). Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F.
- Chacalo, A.; Watson, G.; Bye, R.; Ordaz, U.; Aldama, A. y Vázquez, H. (2000). Root growth of *Quercus crassifolia*, *Q. Crassipes* and *Fraxinus uhdei* in two different soil types. *Journal of Arborticulture*, 26 (1), 37-45.
- Chaverri, A. (1988). El papel de la ecología forestal en el manejo de los bosques tropicales. *Biocenosis*, 3(3-4), 17-25.
- Chinchilla, M.; Mata, I. y Alvarado, A. (2011). Andisoles, Inceptisoles y Entisoles de la subcuenca del río Pirrís, Región de Los Santos, Talamanca, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 35(1), 83-107.
- Clavijo, P. (1994). *Metabolismo de los nutrientes en las plantas*. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F.(ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p.13-28.
- CODELCO. 2011. Molibdeno, un metal limpio y seguro. Disponible en: https://www.codelco.com/molibdeno-un-metal-limpio-y-seguro/prontus_codelco/2011-02-17/135535.html.
- Combatt, E.; Martínez, G. y Polo, J. (2005). Caracterización Química y Física de los Suelos Agroforestales de la zona alta de Córdoba. *Temas agrarios* 10(2).

- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). (1997). Carta de Climas México, a escala 1:1000000 (clasificación Köppen modificado por E. García). Comisión Nacional para Estudios de la Biodiversidad, México, D.F.
- Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. (2016). *La biodiversidad en la ciudad de México*. Volumen 1. 1era edición. México. 350 páginas.
- CONABIO. (s/f). Publicado en: *Anales de Ciencias Naturales*. 3: 275, 1801. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/31-fagac10m.pdf.
Quercus rugosa disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/info_especies/arboles/doctos/31-fagac10m.pdf.
- CONAFOR. (s/f). *Casuarina equisetifolia*. Disponible en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/897Casuarina%20equisetifolia.pdf>
- Cook, D. y Van Haverbeke, D. (1971). *Trees and shrubs for noise abatement*. Nebraska Agr. Exp. Sta. Res. Bull. 246. Lincoln, Nebr.
- Cram, S.; Cotler, H. y Morales, L. (2008). Identificación de los servicios ambientales potenciales de los suelos en el paisaje urbano del Distrito Federal. *Investigaciones Geográficas*, 66, 81-104.
- Craul, P. (1985a). Urban soils. *METRIA*, 5, 45-61. Craul, P. (1985b). A description of urban soils and their desired characteristics. *Arboric*, 11(11), 330-339.
- Cuanalo. (1981). *Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo*. Segunda edición. Centro de Edafología. Colegio de posgraduados. Chapingo. México.
- Cuesta, P. y Villaneda, E. (2010). *El análisis de suelos: toma de muestras y recomendaciones de fertilización para la producción ganadera*. Tomado del Manual Técnico "Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones Caribe y valles interandinos". páginas 1 – 10.
- Davis, A.; Shokouhian, M. y Ni, S. (2001). Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources. *Chemosphere*, 44,997-1009.

- (DDF) Departamento del Distrito Federal. (1996). Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México 1995-2000. 220 páginas.
- De Juana, J. (2009). Taxonomía actualizada de *Ligustrum lusidum*. 6(16), 71.
- De la Cueva, A.; Marchant, B.; Quintana, J.; De Santiago, A.; Lafuente, A. y Webster, R. (2014). Spatial variation of trace elements in the peri-urban soil of Madrid. *Journal of Soils and Sediments*, 14(1), 78-88.
- De Morales, G. (1988). Propiedades fisicoquímicas vs exigencias nutricionales de especies forestales de rápido crecimiento. IPEF Circular Técnica no 154.
- Dorronsoro, C. (2018). Introducción a la Edafología. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada. España. Disponible en: <http://www.edafologia.net/index.htm>
- Eguiluz, T. (1978). *Ensayo de Integración de Conocimientos sobre el Género Pinus en México*. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Estrada, G. (1997). *Caracterización y preparación de fertilizantes líquidos para fertirrigación*. En: Fertirrigación. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, Bogotá, p. 61- 72.
- EPA. (2016). *Contaminación por nutrientes*. Revisado en: <https://espanol.epa.gov/espanol/contaminacion-por-nutrientes>.
- Etchevers B.; Espinoza, J. Riquelme, E. (1971). *Manual de fertilidad y fertilizantes*. 2a ed. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillan, Chile.
- Fancelli. (2006). *Micronutrientes en la fisiología de las plantas*. Pp 11-27. En: M Vázquez (ed). *Micronutrientes en la agricultura*. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.
- FAO. (1981). *El Eucalipto en la repoblación forestal*. Roma, Italia, FAO, Colección FAO Montes No 11. 723 p.
- FAO. (2001). Disponible en: <http://www.fao.org/3/x8234s/x8234s08.htm>.
- FAO. (2018). Disponible en: <http://www.fao.org/panama/noticias/detail-events/en/c/1110677/>.
- FAO. (2019). Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>.
- Farías, E. (2011). Descortezador en Querétaro. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/11653393/>

- Fernández, A.; Ternero, M.; Barragán, F. y Jiménez, J. (2000). An approach to characterization of sources of urban airborne particles through heavy metal speciation. *Chemosphere - Global Change Science* 2, 123-136.
- Fierros, A.; Noguéz, M.; Hernández, A. y Velasco, E. (1999). *Paquetes Tecnológicos para el Establecimiento de Plantaciones Forestales Comerciales en Ecosistemas de Climas Templado-Fríos y Tropicales de México*. Vol. 1. Subsecretaría de Recursos Naturales, Dirección general forestal y Dirección de Plantaciones Comerciales Forestales. SEMARNAP. México, D.F.
- Fischesser, B. (2009). *El libro del árbol*. Ediciones Tutor. Barcelona, España. 384 p.
- Foloni, J.; Calonego, J. y De Lima, S. 2003. Efecto de la compactación del suelo en desarrollo aéreo y radical de cultivos de Brasil. *Revista Agropecuaria Brasileira*. 38(8), 947-953.
- Fu, J.; Zhang, M. y Li, R. (2004). Study on chemical forms and solubility of lead in urban soils in Hangzhou city, China. *Journal of the Zhejiang University (Agriculture and Life Sciences)*, 30(3), 305.
- Gardi, C.; Angelini, M.; Barceló, S.; Comerma, J.; Cruz G.; Encina, A.; Jones, A.; Krasilnikov, P.; Mendonça, B.; Montanarella, L.; Muñiz, O.; Schad, P.; Vara, M. y Vargas, R. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe*. Comisión Europea - Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, L-2995 Luxembourg, 176 pp.
- García y García. (2013). *Química agrícola del suelo y nutrientes esenciales*. 3ª ed. Muniprensa. España. 492 páginas.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2006). Acuerdo por el que se aprueba el programa de manejo del área de valor ambiental del distrito federal, con la categoría de bosque urbano denominada "Bosque de Chapultepec ". Disponible en: <http://www.paot.org.mx/centro/programas/anp-df/chapultepec.pdf?b=po>
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2011). Acuerdo por el que se expide el programa de manejo del área natural protegida "Bosque de Tlalpan". Disponible en: <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/4504.htm>
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. (2018). Aviso por el que se da a conocer el programa de manejo del área de valor ambiental con categoría de bosque urbano denominada "Bosque de San Juan de Aragón". Disponible en:

http://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/d666dd8ef846b97be1579960fecabf69.pdf

- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2001. *Manual técnico para el establecimiento y manejo integral de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal*. Tomo II. Secretaría del Medio Ambiente y Gobierno del Distrito Federal. México, D.F. México. 239 p.
- Gobierno del Distrito Federal (GDF). 2006. *Programa de rehabilitación integral del Bosque de Chapultepec*. En: Dirección de Educación Ambiental-GDF, eds. 2006. Memorias. Dirección General de Bosques Urbanos y Educación Ambiental. Gobierno del Distrito Federal. Secretaría del Medio Ambiente, Dirección de Educación Ambiental. 59-113 pp. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=406>.
- Goldberg, S. (1977). *Chemistry and mineralogy of born in soils*. In: Gupta, U. C. (ed.). Boron and its role in crop production. Boca Raton: CRC Press, p. 3-44.
- Gómez, M. y Danglot, C. (1998). Contaminación ambiental en el Valle de México ¿Estamos haciendo lo necesario? *Revista mexicana de pediatría*, 65(6), 254-260.
- Gómez, J. y Osorio, M. (2013). *Manual de prácticas de campo y de laboratorio de suelos*. Centro agropecuario “La Granja” Regional Tolima. Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Colombia.
- Geary, T. (1988). “*Casuarina equisetifolia* L. Johnson. Árboles Útiles de la parte Tropical de América del Norte”. Grupo de Estudios de Silvicultura. Comisión Forestal de América del Norte. Washington, D.C.
- Guerrero, R. (1993). *Los nutrientes de las plantas*. En: Fertilización de cultivos en clima frío. (vol. 3). Monómeros Colombo Venezolanos S. A. (E.M.A.), Barranquilla, p. 9-13.
- Guillot, O. (2009). Flora ornamental española: aspectos históricos y principales especies. MonografíaBouteloua. 8: 274 pp.
- Halverson, H. y Heisler, G. (1981). *Soil temperatures under urban trees and asphalt*. USDA Forest Serv. Res. Pap. NE-481.
- Harold W. y Hocker, J. (1979). *Introducción a la Biología Forestal*. 1° Edición. AGT Editor.
- Hayatsu, M.; Tago, K. y Saito M. (2008). Various players in the nitrogen cycle: Diversity and functions of the microorganisms involved in nitrification and denitrification. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54, 33-45.

- Hernández y Pacheco. (1986). Caracterización de síntomas visuales de deficiencias nutricionales en Cardamomo (*Elettaria cardamomun*). *Agronomía costarricense*, 10(1/2), 13-27.
- Hillel, D. (1980). "Fundamentals of Soil Physics" [s.n.]. Academic, San Diego, Calif., USA. 771 páginas.
- Hodgson, J. (1987). *Muestreo y descripción de suelos*. Ed. Reverté, S.A. España, pp. 229.
- Hu, L. (2011). Predicting protein phenotypes based on protein-protein interaction network. *PLoS One*, 6(3), 176.
- Ibáñez, J. (2007). Un universo invisible bajo nuestros pies. Los suelos y la vida. Fundación para el conocimiento Madrid. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776>
- IDB. (1997). *Good practices for urban greening*. Washington, D. C.: IDB, ENV. 103.
- (IGN) Instituto Geográfico Nacional. Gobierno de España. Ministerio de fomento. Disponible en: http://campus.usal.es/~geografia/PDFsgeografiayensenanzasmedias/Mapasuelos_EspanaIGN.pdf
- Inventario de Emisiones de la ZMVM. (2006). Disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/inventario-emisiones-zmvm-criterio2006/inventario-emisiones-zmvm-criterio2006.pdf>
- INE, (2006). *Inventario nacional de emisiones de México, 1999*. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT y Western Governors' Association. México, DF.
- INECC. 2007. Tipos y Fuentes de contaminantes atmosféricos. Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/396/tipos.html>
- IUSS Working Group WRB. (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014, international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Update 2015. World Soil Resources Reports No. 106, FAO, Rome.
- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia Medellín. Páginas 331 – 334.
- Jáuregui, E. (2000). El clima en la Ciudad de México. Temas selectos de geografía de México (I.4. 1). Instituto de geografía. Plaza y Valdés. D.F., México. 131 pp.
- Juárez, M., Cerdán M., Sánchez, A. (s/f). Hierro en el sistema suelo-planta. Depto. Agroquímica y Bioquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. 03880.

Alicate. 34 páginas. Disponible en <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/HIERRO.pdf>.

- Kabata y Pendias, H. (1992). *Trace elements in soils and plants*. 2nd ed. CRC Press, Inc. Boca Ratón. Florida.
- Kargaret, M.; Clark, O.; Jutras, P.; Prasher, S. y Hendershot, W. (2015). Immobilization of trace metals in contaminated urban soil amended with compost and biochar. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226(6).
- Kass, C. (1998). *Fertilidad de suelos*. Euned, San José Costa Rica. 232 pp.
- Kaurichev, I. 1984. *Prácticas de Edafología*. Ediciones miler. Moscú. 280 páginas.
- Klotz, M. y Stain, L. (2008). Nitrifier genomics and evolution of the nitrogen cycle. *FEMS Microbiological Letters*, 278, 146-156.
- Kuchelmeister, G. (2000). Árboles y silvicultura en el milenio urbano. *Unasylva* 200, (51), 49-55
- Kunhns. (1985). Citado en: Redescubriendo el suelo: importancia ecológica y agrícola. FES-Zaragoza, UNAM y CONACYT. Ciudad de México, México.
- Landsberg, H. (1981). *The Urban Climate*. New York: Academic Press. 275 páginas.
- León, L. (1994). *Evaluación de la fertilidad del suelo*. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p. 154-186.
- Liu, H.; Du, X. y Zhang, W. (1989). *Acid Rain and Decline of Masson Pine in Nanshan, Chongqing*. In Chinese Society of Forestry (ed.), *Acid Rain and Agriculture*, Chinese Forestry Press, Beijing, China, pp. 140–145.
- Little. (1969). Tomado de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/207/7/03%20AGP%2041%20LITERATURA.pdf>.
- López, J. y Segovia, C. (1996). *La fertilización*. En: Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo enarenado y en sustratos. López-Gálvez, J y J. M. Naredo (eds). Fundación Argentaria-Visor Distribuciones, Madrid, p. 95-110.
- López, R. (2009). *Ecofisiología de árboles*. Segunda edición. Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Lora, R. (1994). *Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas*. En: Fertilidad de suelos. Silva M., F. (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Bogotá, p.29-56.

- Madrigal, L. (s/f) *Quercus laurina* Humb. et Bonpl. Una especie de importancia forestal. SARH, INIFAP.
- Marschner, H. (1998). *Mineral Nutrition of higher plants*. Academic Press, San Diego, 889 p.
- McBride, B. (1994). *Trace and toxic elements in soils*. In: Environmental chemistry of soils. Oxford University Press. Oxford, p. 308-341.
- McDonald, J.; Ericsson y Larsson. (1996). Plant nutrition, dry mater gain and partitioning at the whole-plant level. *Journal of Experimental Botany*. (47),12,45-53.
- Medina, A. y Bolivar R. (1993). "Análisis de crecimiento y acumulación de nutrientes de *Gypsophila paniculata* bajo condiciones de invernadero en la sabana de Bogotá". Tesis de grado. Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 163 p.
- Mengel, K. y Kirkby, E. (1987). *Potassium*. In "*Principles of Plan Nutrition*". Chapter 10:427-453. I.P.I. Bern, Switzerland.
- Mengel K. y Kirkby, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal*. Ed. Instituto Internacional de la Potasa, Basilea Sueiza. 4ta Ed. 1ra Ed. en español. 67 páginas.
- MILAGRO. (2006). Caso de Estudio: La Zona Metropolitana del Valle de México. Disponible en: http://www.mce2.org/education/posters_esp/carteles06.pdf.
- Millar, C. (1980). *Fundamentos de la ciencia del suelo*. CECSA, México, p. 13-17.
- Molina, E. (1979). *Algunos aspectos del deterioro ambiental en el Bosque de Chapultepec*. Tesis Profesional, Carrera de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 58 p.
- Molina, T. y Molina, J. (2002). *Air Quality in the México Megacity*. An Integrated Assessment. Kluwer Academic Publishers. 375 p. Norwell, MA 02061, USA
- Morales, D. (2001). La fertilidad química del suelo y el «mal del ciprés» en Patagonia, Argentina. Ciudad Autónoma de Buenos Aire. Esquel, Chubut – Argentina. *Ciencia del suelo*,29(2),21.
- Moreno, D. (1970). Clasificación tentativa propuesta por el autor. México. SAG. Fundamentos teórico-prácticos de temas selectos de la ciencia del suelo.
- Muñoz, D.; Mendoza, A.; López, F.; Soler, A. y Hernández, M. Edafología, Manual de métodos de análisis de suelo. UNAM. FES Iztacala. 82 páginas.
- Navarro, G. y Navarro S. (2003). *Química agrícola*. Ed MundiPrensa Madrid. 487 pp

- Navarro, G. y Navarro, S. (2013). *Química Agrícola, química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Mundiprensa. 3° Edición. España. 639 pág. consultadas 236-241.
- NMX-AA-132-SCFI-2006. Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra. http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Varios/Leyes_y_Normas_SEMARNAT/NMX/Contaminaci%C3%B3n%20del%20Suelo/2.2006.pdf.
- NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. Diario Oficial de la Federación, Distrito Federal. México. 28 octubre 2002.
- OMS. (2014). Calidad del aire (exterior) y salud. Recuperado en 2015, de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.
- Osman. (2013). *Soils: Principles, properties and management*. Dordrech, Países bajos. Springer.
- Osorio, N. (2012). Como interpretar los resultados del análisis de fertilidad del suelo. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín, Laboratorio de Suelos Facultad de Ciencias. *Boletín del Manejo Integral del Suelo y la Nutrición Vegetal*. 1(6), 2.
- Palacios, L.; Casado H.; Mesanza J. y Castillo F. (1995). "Pinus radiata site quality study in the Basque Country (Spain) using nutritional and physiographical criteria". *Water, Air & Soil Pollut.* 85,1275-1280.
- PAOT. (2009). *Estudio sobre la superficie ocupada en Áreas naturales protegidas del Distrito Federal*. México. 73 páginas.
- Perry, J. (1991). *The Pines of Mexico and Central América*. Timber Press. Portland, Oregon.
- Pichtel, J.; Sawyerr, T. y Czarnowska, K. (1998). Spatial and temporal distribution of metals in soils in Warsaw, Poland. *Environmental Pollution*. 98, 169-174.
- Plassard, C. y Dell, B. (2010). Phosphorus nutrition of mycorrhizal trees. *Tree Physiology*. 30(9), 1129-1139.
- Plaster, E. J. (2004). *La ciencia del suelo y su manejo*. Ed. Paraninfo. México
- Pouyat, R. y McDonnell, M. (1991). Heavy metal accumulations in forest soils along an urban-rural gradient in southeastern New York, USA. *Water, Air, and Soil Pollution*. 57(58), 797-807.

- Programa Universitario de Estudios sobre la ciudad (PUEC-UNAM). (2002). *Proyecto ejecutivo para la implementación del manejo integral y desarrollo autosostenible del Bosque de Chapultepec*. DGUBUEFA-SMA. Informe de uso interno. 142 p.
- PROMIX. 2018. Rol del molibdeno en el cultivo de plantas. Disponible en: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-molibdeno-en-el-cultivo-de-plantas/>
- PSA- ISRIC. (2002). *Procedures for soil analysis. International Soil Reference and Information Center*. 6ª Edition. FAO.
- Quadri G. y Sánchez, L. (1992). *La zona metropolitana y la contaminación atmosférica*. Limusa Noriega Editores, México, D.F.
- Ramírez, J. y Zapata, C. (2004). "Producción de hojarasca en bosque de *Quercus humboldtii*, *Pinus patula* y *Cupressus lusitánica* de la Cordillera Central, Colombia". Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. p4-37.
- Ramos C.; Sepúlveda J.; Berbegall F. y Romero P. (2017). *Determinación rápida de nitrato en suelos agrícolas y en aguas*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Nota Técnica. 14 páginas.
- Revista Milenio. (2016). "Contaminan 70 mil empresas la CDMX. <http://www.milenio.com/df/empresas-contaminan-CdMxcontaminacion-valle-de-Mexico-contaminacion-ambiental-0-709129105.html>
- Rico, A. y Del Castillo, H. (1976). *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*. No. 1, Limusa, México.
- Rivas y Torres, D. (2001). *Importancia y ambiente de los bosques y árboles urbanos*. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. Mex. México. 77 p.
- Rodríguez. (2009). *Pérdidas de suelo y nutrientes bajo diferentes coberturas vegetales en la zona Andina de Colombia*. Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. 1-11 p.
- Salisbury, B. y Ross, C. (1992). *Plant physiology*. (4th. ed.), Wadsworth Publishing, Belmont, 662p.
- Salisbury B. y Ross C. (1994). *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericana S.A. México.
- Sánchez, M. (2018). ¿Cuáles son las características del suelo franco?. JARDINERIAON. Disponible en: <https://www.jardineriaon.com/suelo-franco.html>.

- Sardi, K y Debreczeni, K. (1992). Comparison of methods evaluating the plant available potassium content in soils of different types and potassium levels. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 23(26), 13-26-32.
- Saavedra, L.; Alvarado, D.; Hernández, P.; Martínez, T.; Mora, G. y Villa, J. (2016). Condición de copa, indicador de salud en árboles urbanos del Bosque San Juan de Aragón, Ciudad de México. *Madera y bosques.* 22(2). Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S140504712016000200015.
- Scharenbroch, B.; Lloyd, J y Johnson, J. (2005). Distinguishing urban environments with physical, chemical and biological soil properties. *Pedobiología.* 49, 283-296.
- SMA (Secretaría del Medio Ambiente). (2003). Bosque de San Juan de Aragón. [http://www.sma.df.gob.mx/sma/..](http://www.sma.df.gob.mx/sma/)
- Secretaría del Medio Ambiente, Dirección de Educación Ambiental. 59-113 pp. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=406>.
- Seregin, V. y Kozhevnikova, D. (2006). Physiological Role of Nickel and Its Toxic Effects on Higher Plants. *Russian Journal of Plant Physiology.* 53(2), 257–27.
- Sternbeck, J.; Sjödin, A. y Andreasson K. (2002). Metal emissions from road traffic and the influence of resuspension - results from two tunnel studies. *Atmos. Environ.* 36, 4735-4744.
- Stevenson, J. y Cole, A. (1999). *Phosphorous. En: Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorous, Sulfur, Microbiotrients.* John Wiley & Sons, Inc. New York. p 279-329.
- Stock, D. y Midgley, G. (1995). *Ecosystem response to elevated CO₂: nutrient availability and nutrient cycling.* Páginas: 326-342 en J. M. Moreno y W. C. Oechel (editores). *Global change and Mediterranean type ecosystems.* Springer-Verlag, Berlín.
- Sverdrup, H. y Stjernquist, I. (2002). *Introduction to the SUFOR programme.* Páginas: 1-12 en H. Sverdrup y I. Stjernquist (editores). *Developing principles and models for sustainable forestry in Sweden.* Kluwer Academic Publishers, Londres.
- Suárez, A. y Robles, E. (2008). *Dasonomía Urbana del Municipio de Oaxaca de Juárez, Oaxaca.* Observatorio de la economía Latinoamericana. 97 p.<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/2008/sarq.htm>.
- Taboada, A y Álvarez, R. (2008). *Fertilidad física de los suelos.* 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

- Taiz, L. y Zeiger, E. (1998). *Plant physiology*. (2th ed.). Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, 792p.
- Thomas, F. (1968). Untersuchungen fiber die Bindung des interactions in soils: 8. An evallation of me- Kupfers in sechs Boden unterschiedlicher Herthods for determination of stability constants kunft. *Chemie der Erde* 27: 369-380.
- Thompson, M. y Troeh, R. (1998). *Los suelos y su fertilidad*. Reverte. 4° Edición. Barcelona. 657 pág.
- Tilak, K.; Ranganayaki N.; Pal, K.; Saxena, .K.; Shekhar, C.; Shilpi, M.; Tripathi, K. y Johri, N. (2005). Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science*. 89(1), 136-150.
- Tovar, A. (2005). *Disturbios que afectan el desarrollo de las plantas en áreas urbanas*. In: Foroughbakhch, R., M. Alvarado, T. Torres y J. Marroquín (eds.). Tópicos Selectos de Botánica 2, Etnobotánica, Sistemática, Fisiología y Plantas en ambientes urbanos. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, NL. México. 212 p.
- Uchida, R. y Hue, N. (2000). *Soil Acidity and liming*. In: J.A. Silva & R. Uchida (Eds).2000. Plant nutrient management in Hawai's soils. College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawai at Manoa. Cap 10:101-111.
- Ugarte. (2015). El níquel en suelos y plantas de Cuba. *Cultivos Tropicales*. 36, 25-33.
- UNAM. (2011). Instituto de Geografía. Atlas de peligros naturales o riesgos de la delegación Tlalpan, Distrito Federal. Número de obra: 109012PP042061. Número de expediente:PP11/09012/AE/1/011.
- (USDA) United State Department of Agriculture. (1990). *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh. SO-ITF-SM-28.
- Valladares, F. (2004). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Páginas 479-506. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid. ISBN: 84-8014-552-8
- Van Der, S. y De Vries, W. (1999). Modelling impacts of athmospheric deposition, nutrient cycling and soil weathering on the sustainability of nine forest ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution*. 109,101-135.
-

- Vázquez. (1985). Tomado de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/207/7/03%20AGP%2041%20LITERATURA.pdf>
- Vázquez, M. (1992). "El Género *Quercus* en el estado de Puebla, México". Tesis Profesional (Biología) FES -Zaragoza, UNAM. México, D. F.
- Vittum, J. (1974). *The physical structure of city space and its effects on microclimate and human thermal comfort*. M.S. thesis. SUNY Coll. Environ. Sci. and Forestry, Syracuse, N.Y.
- Vivanco, J.; Bojórquez, J.; Murray, E.; Nájera, O., A. Hernández y Flores, F. (2010). Características de los principales suelos de la Cuenca del Río Mololoa, Tepic, Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*. 31(1), 32-40.
- Von Carlowitz, P., Wolf, P y Kemperman, R. (1991). *The Multipurpose and Shrub Database*. An Information and Decision-Support System. Manual. Versión 1.0. ICRAF. Nairobi, Kenia.
- Von Uexkull, H. (s/f). El Cloro en la nutrición de la palma aceitera. INFORMACIONES AGRONOMICAS N° 24.
- Welch, M. (1995). Micronutrient nutrition of plants. *Critical Reviews in Plant Science*. 14(1), 49- 82.
- White, J. (1987). *Fertilization*. In: *Roses a manual of greenhouse rose production*. Langhans, R.W. (ed.). Published by Roses Incorporated, Michigan, p.87-142.
- White. (2006). *Principles and Practice of Soil Science: The soil as a Natural Resource* (4° Ed.). Oxfordshire, Reino Unido: Blackwell publishing.
- Zapata. (2009). *Química de los procesos pedogenéticos*. pp 31-40, citado en <http://bdigital.unal.edu.co/51111/1/98452226.2016.pdf>
- Zemlyanitsky, L. (1963). Characteristics of the soils in the cities. *Sov. Soil Sci.* (5), 468-475.
- Zhao, D. y Xiong, J. (1988). *Acidification in Southwestern China*. in H. Rodhe and R. Herrer (eds), *Acidification in Tropical Countries*, Scope 36, J. Wiley & Sons, pp. 317–347.
- Zhao, D. y Seip, M. (1991). Assessing effects of acid deposition in Southwestern China using the MAGIC model'. *Water, Air, Soil Pollut.* 60, 83–97

9. ANEXOS

Anexo 1. Correlaciones de Pearson de las propiedades físicas del suelo del Bosque de Tlalpan.

	<i>Densidad Aparente</i>	<i>Densidad Real</i>	<i>Espacio Poroso</i>	<i>C. Humedad</i>	<i>Arcillas</i>	<i>Limos</i>	<i>Arenas</i>
Densidad Aparente	1						
Densidad Real	-0.97	1					
Espacio poroso	-0.999	0.981	1				
C. Humedad	-0.659	0.475	0.633	1			
Arcillas	0.085	0.137	-0.051	-0.805	1		
Limos	0.751	-0.878	-0.773	0.001	-0.593	1	
Arenas	-0.951	0.996	0.961	0.395	0.225	-0.917	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.

Anexo 2. Correlaciones de Pearson de las propiedades químicas del suelo del Bosque de Tlalpan.

	<i>pH A</i>	<i>pH P</i>	<i>% MO</i>	<i>CE dS m-1</i>	<i>CIC Cmol (+) Kg-1</i>	<i>% SB</i>	<i>Ca Inter</i>	<i>Mg Inter</i>	<i>Na Inter</i>	<i>K Inter</i>
pH A	1									
pH P	0.658	1								
% MO	-0.805	-0.976	1							
CE dS m-1	0.998	0.691	-0.831	1						
CIC Cmol (+) Kg-1	-0.780	-0.042	0.257	-0.751	1					
% SB	0.145	0.840	-0.703	0.189	0.505	1				
Ca Inter	0.991	0.556	-0.722	0.985	-0.853	0.017	1			
Mg Inter	0.325	0.926	-0.822	0.367	0.337	0.982	0.201	1		
Na Inter	-0.924	-0.895	0.970	-0.940	0.482	-0.511	-0.867	-0.661	1	
K Inter	0.991	0.751	-0.876	0.996	-0.691	0.274	0.966	0.447	-0.966	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.

Anexo 3. Correlaciones de Pearson de los nutrimentos del suelo del Bosque de Tlalpan.

	<i>Nitratos</i>	<i>P Total</i>	<i>P Dis</i>	<i>K Total</i>	<i>K Dis</i>	<i>Ca Total</i>	<i>Ca Dis</i>	<i>Mg Total</i>	<i>Mg Dis</i>	<i>Fe Dis</i>	<i>Mn Dis</i>	<i>Zn Dis</i>	<i>Mo Dis</i>
Nitratos	1												
P Total	-0.247	1											
P Dis	-0.423	0.982	1										
K Total	-0.228	0.999	0.978	1									
K Dis	-0.689	-0.530	-0.363	-0.547	1								
Ca Total	-0.909	-0.177	0.009	-0.197	0.928	1							
Ca Dis	-0.495	-0.718	-0.576	-0.732	0.970	0.811	1						
Mg Total	-0.703	0.863	0.942	0.852	-0.029	0.344	-0.269	1					
Mg Dis	-0.952	0.531	0.679	0.513	0.436	0.739	0.207	0.886	1				
Fe Dis	0.946	-0.547	-0.693	-0.530	-0.419	-0.726	-0.188	-0.894	-0.999	1			
Mn Dis	-0.193	0.998	0.970	0.999	-0.576	-0.231	-0.755	0.833	0.483	-0.5	1		
Zn Dis	0.608	0.618	0.461	0.634	-0.994	-0.883	-0.990	0.136	-0.337	0.319	0.660	1	
Mo Dis	-0.540	-0.681	-0.533	-0.695	0.981	0.841	0.998	-0.218	0.258	-0.240	-0.720	-0.996	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.

Anexo 4. Correlaciones de Pearson de las propiedades físicas del suelo del Bosque de Chapultepec.

	<i>Densidad Aparente</i>	<i>Densidad real</i>	<i>Espacio poroso</i>	<i>C. Humedad</i>	<i>Arcillas</i>	<i>Limos</i>	<i>Arenas</i>
Densidad Aparente	1						
Densidad Real	-0.380	1					
Espacio poroso	-0.569	0.976	1				
C. Humedad	-0.649	-0.45	-0.254	1			
Arcillas	0.999	-0.364	-0.55	-0.662	1		
Limos	0.435	0.66	0.491	-0.967	0.45	1	
Arenas	-0.542	-0.57	-0.381	0.991	-0.556	-0.992	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.

Anexo 5. Correlaciones de Pearson de las propiedades químicas del suelo del Bosque de Chapultepec.

	<i>pH Activo</i>	<i>pH Potencial</i>	<i>% Materia orgánica</i>	<i>CE dS m⁻¹</i>	<i>CIC Cmol (+) Kg⁻¹</i>	<i>% SB</i>	<i>Ca Inter</i>	<i>Mg Inter</i>	<i>Na Inter</i>	<i>K Inter</i>
pH Activo	1									
pH Potencial	0.998	1								
% Materia orgánica	-0.872	-0.897	1							
CE dS m⁻¹	-0.997	-0.991	0.834	1						
CIC Cmol (+) Kg⁻¹	-0.497	-0.543	0.857	0.432	1					
% SB	-0.513	-0.466	0.029	0.575	-0.488	1				
Ca Inter	0.984	0.992	-0.945	-0.968	-0.642	-0.354	1			
Mg Inter	-0.786	-0.751	0.383	0.829	-0.145	0.934	-0.664	1		
Na Inter	0.876	0.849	-0.53	-0.909	-0.018	-0.863	0.8	-0.986	1	
K Inter	-0.996	-0.991	0.831	0.999	0.427	0.579	-0.967	0.832	-0.91	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.

Anexo 6. Correlaciones de Pearson de los nutrimentos del suelo del Bosque de Chapultepec.

	<i>Nitrato</i>	<i>P Total</i>	<i>P Dis</i>	<i>K Total</i>	<i>K Dis</i>	<i>Ca Total</i>	<i>Ca Dis</i>	<i>Mg Total</i>	<i>Mg Dis</i>	<i>Fe Dis</i>	<i>Mn Dis</i>	<i>Zn Dis</i>	<i>Mo Dis</i>
Nitrato	1												
P Total	-0.247	1											
P Dis	-0.423	0.982	1										
K Total	-0.228	0.9	0.978	1									
K Dis	-0.689	-0.53	-0.363	-0.547	1								
Ca Total	-0.909	-0.177	0.009	-0.197	0.928	1							
Ca Dis	-0.495	-0.718	-0.576	-0.732	0.97	0.81	1						
Mg Total	-0.703	0.863	0.942	0.852	-0.029	0.34	-0.269	1					
Mg Dis	-0.952	0.531	0.679	0.513	0.436	0.739	0.207	0.886	1				
Fe Dis	0.946	-0.547	-0.693	-0.53	-0.419	-0.726	-0.18	-0.894	-0.9	1			
Mn Dis	-0.193	0.998	0.97	0.9	-0.576	-0.231	-0.75	0.833	0.483	-0.5	1		
Zn Dis	0.608	0.618	0.461	0.634	-0.994	-0.883	-0.99	0.136	-0.337	0.319	0.66	1	
Mo Dis	-0.54	-0.681	-0.533	-0.695	0.981	0.841	0.998	-0.218	0.258	-0.24	-0.72	-0.996	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.

Anexo 7. Correlaciones de Pearson de las propiedades físicas del suelo del Bosque de San Juan de Aragón.

	<i>Densidad Aparente</i>	<i>Densidad Real</i>	<i>Espacio poroso</i>	<i>C. Humedad</i>	<i>Arcillas</i>	<i>Limos</i>	<i>Arenas</i>
Densidad Aparente	1						
Densidad Real	0.958	1					
Espacio poroso	0.884	0.98	1				
C. Humedad	-0.835	-0.645	-0.483	1			
Arcillas	0.241	-0.04	-0.238	-0.734	1		
Limos	-0.795	-0.934	-0.986	0.331	0.396	1	
Arenas	0.576	0.784	0.89	-0.03	-0.653	-0.953	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.

Anexo 8. Correlaciones de Pearson de las propiedades químicas del suelo del Bosque de San Juan de Aragón.

	<i>pH Activo</i>	<i>pH Potencial</i>	<i>% Materia orgánica</i>	<i>CE dS m⁻¹</i>	<i>CIC Cmol (+) Kg⁻¹</i>	<i>% SB</i>	<i>Ca Inter</i>	<i>Mg Inter</i>	<i>Na Inter</i>	<i>K Inter</i>
pH Activo	1									
pH Potencial	0.998	1								
% Materia orgánica	-0.35	-0.4	1							
CE dS m⁻¹	-0.74	-0.703	-0.369	1						
CIC Cmol (+) Kg⁻¹	0.87	0.842	0.155	-0.975	1					
% SB	0.958	0.941	-0.069	-0.901	0.974	1				
Ca Inter	0.93	0.908	0.017	-0.935	0.99	0.99	1			
Mg Inter	0.745	0.708	0.362	-0.99	0.976	0.904	0.938	1		
Na Inter	0.002	-0.051	0.935	-0.674	0.494	0.28	0.37	0.668	1	
K Inter	0.580	0.535	0.558	-0.97	0.905	0.78	0.838	0.975	0.816	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.

Anexo 9. Correlaciones de Pearson de los nutrimentos del suelo del Bosque de San Juan de Aragón.

	<i>Nitrato</i>	<i>P Total</i>	<i>P Dis</i>	<i>K Total</i>	<i>K Dis</i>	<i>Ca Total</i>	<i>Ca Dis</i>	<i>Mg Total</i>	<i>Mg Dis</i>	<i>Fe Dis</i>	<i>Mn Dis</i>	<i>Zn Dis</i>	<i>Mo Dis</i>
Nitrato	1												
P Total	-0.4	1											
P Dis	0.97	-0.624	1										
K Total	-0.952	0.697	-0.995	1									
K Dis	0.7	-0.95	0.83	-0.88	1								
Ca Total	-0.9348	0.097	-0.83	0.781	-0.4	1							
Ca Dis	0.8776	0.039	0.75	-0.689	0.272	-0.99	1						
Mg Total	0.3699	-0.996	0.55	-0.636	0.92	-0.016	-0.12	1					
Mg Dis	0.9928	-0.334	0.94	-0.908	0.61	-0.97	0.928	0.256	1				
Fe Dis	-0.8776	-0.039	-0.75	0.689	-0.272	0.99	-1	0.12	-0.928	1			
Mn Dis	-0.7421	-0.27	-0.583	0.501	-0.041	0.931	-0.972	0.348	-0.816	0.972	1		
Zn Dis	-0.8912	-0.009	-0.774	0.71	-0.3	0.994	-0.99	0.091	-0.939	0.99	0.965	1	
Mo Dis	0.9476	-0.707	0.993	-0.9	0.8917	-0.7	0.678	0.647	0.902	-0.678	-0.489	-0.69	1

*Correlación significativa a 5% de probabilidad de error.