



GOBIERNO DEL
ESTADO DE
MÉXICO



ESTADO DE
MÉXICO
¡El poder de servir!

MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE

IEECC
INSTITUTO ESTATAL DE
ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO



**Cambio Climático;
Una perspectiva
espacial para el
Monitoreo de
Reforestaciones en
áreas verdes urbanas
de la ZMVT del Estado
de México.**



Resumen



Resumen

La Coordinación General de Conservación Ecológica (CGCE) Secretaría del Medio Ambiente en el 2018 y 2019 Estado de México, con el fin de modificar la imagen urbana y contribuir al aumento de la cobertura vegetal con plantas y arbolado; implementó el programa de reforestación 2018. Por tal motivo el presente trabajo, busca aportar modelos espaciales para el monitoreo de la reforestación, en siete parques de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (selección en conjunto con la CGCE), mediante la generación, análisis e interpretación de información; a través del uso de imágenes satelitales de Google Earth (para su ubicación y conocimiento de la zona de estudio) y la imagen Sentinel 2 obtenida de la plataforma Copernicus Open Acces Hub, la cual fue implementada para el desarrollo de los Índices de vegetación NDVI y SAVI, índices que permiten observar el estado, comportamiento o ausencia de la vegetación (además, se llevó a cabo la corroboración de datos en campo). De tal modo que el modelo espacial represente la información vectorial de la vegetación en cuanto a su estado y distribución.

Abstrac

The General Coordination of Ecological Conservation (CGCE) Secretariat of the Environment in 2018 and 2019 State of Mexico, in order to modify the urban image and contribute to the increase in plant coverage with plants and trees; implemented the 2018 reforestation program. For this reason, this work seeks to provide spatial models for the monitoring of reforestation, in seven parks in the Metropolitan Zone of the Toluca Valley (selection in conjunction with the CGCE), through the generation, analysis and interpretation of information; through the use of Google Earth satellite images (for location and knowledge of the study area) and the Sentinel 2 image obtained from the Copernicus Open Access Hub platform, which was implemented for the development of the NDVI vegetation indices and SAVI, indices that allow observing the state, behavior or absence of vegetation (in addition, field data corroboration was carried out). In such a way that the spatial model represents the vector information of the vegetation in terms of its state and distribution.



Contenido



Resumen Ejecutivo.....	2
Contenido	4
INDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	6
INDICE DE MAPAS.....	6
1. Introducción.....	7
Antecedentes	10
Marco Jurídico	13
2. Problemática.....	17
Objetivo	20
3. Desarrollo de la Investigación.....	21
Beneficios ambientales, sociales, económicos o políticos.....	22
Metodología.....	30
4. Resultados	37
Centenario de la Revolución y Ecoparque de la Revolución, Almoloya de Juárez.....	38
El Tejocote, Toluca.....	42
Atentli, San Mateo Atenco.....	45
Izcalli, Tianguistenco.....	48
Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca.....	51
Parque Ambiental Bicentenario, Metepec.....	55
5. Conclusiones.....	58
6. Fuentes	60
7. Anexos.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Municipios de la Zona Metropolitana de Toluca.....	31
Tabla 2 Listado de bandas SENTINEL-2 Natural GIS.....	34

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento del infrarojo cercano según el tipo de vegetación (DINSA, 2016).....	29
Figura 2 .Esquema de reflectancia (RED-NIR).	29
Figura 3. Esquema metodológico.....	30
Figura 4. Índice NDVI y SAVI Parque Centenario de la Revolución y Ecoparque Revolución.....	39
Figura 5. Índice NDVI y SAVI Parque El Tecojte	43
Figura 6. Índice NDVI y SAVI aplicado al Parque Antentli.....	46
Figura 7. Índice NDVI y SAVI aplicado al Parque Izcalli.....	49

INDICE DE MAPAS

Mapa 1. Mapa de Ubicación de la zona de estudio.....	32
Mapa 2. Mapa de Ubicación del Parque Centenario de la Revolución y Ecoparque Revolución.....	38
Mapa 3. Modelo espacial de arbolado y vegetación y arbustos, Centenario Revolución.....	40
Mapa 4. Modelo espacial de arbolado y vegetación y arbustos, Ecoparque Revolución.....	41
Mapa 5. Mapa de Ubicación del Parque El Tejocote	42
Mapa 6. Mapa modelo espacial de arbolado y vegetación y arbustos, Parque El Tejocote.....	44
Mapa 7. Mapa de Ubicación del Parque Antentli.	45
Mapa 8. Modelo espacial de arbolado y vegetación de ornato y arbustos, Parque Antentli	47
Mapa 9. Mapa de Ubicación del Parque Izcalli, Tianguistenco	48
Mapa 10. Modelo espacial de arbolado y vegetación de ornato y arbustos, Izcalli Tianguistenco	50
Mapa 11. Mapa de Ubicación del Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca.....	51
Mapa 12. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca	53
Mapa 13. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca	54
Mapa 14. Mapa de ubicación del Parque Ambiental Bicentenario, Metepec.....	55
Mapa 15. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) Parque Ambiental Bicentenario, Metepec.....	56
Mapa 16. Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) Parque Ambiental Bicentenario, Metepec	57



1. Introducción





En los últimos 30 años la creciente concentración de habitantes en las zonas urbanas en la actualidad ha generado un reto enorme en los planificadores urbanos, gobiernos y ciudadanos, para satisfacer la demanda de la infraestructura y su relación con la sustentabilidad ambiental, puesto que, requiere de un enfoque de múltiples beneficios ambientales y sociales que puedan aportar al sistema urbano, para obtener un mejoramiento ambiental notable, por lo que se retoma con gran impulso las ODS en específico el objetivo 11 y 15 que hace un llamamiento a "Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles" y "salvaguardar, rehabilitar y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres con el fin de fomentar la «vida en la tierra» ". (FAO, 2020).

En un tiempo relativamente corto la vegetación del Estado ha sufrido cambios significativamente altos por las numerosas alteraciones antrópicas, por ende, pocas áreas del territorio contienen ecosistemas sin alteración alguna; a raíz de esta problemática en la actualidad el medio ambiente enfrenta un serio problema ante la pérdida importantes de Áreas Verdes Urbanas , así como, el maltrato de estas, debido al acelerado crecimiento urbano que trae consigo consecuencias como el un mal uso del suelo, pérdida de suelo, vegetación, compactación del suelo, contaminación acústica, contaminantes ambientales, cambio climático, degradación, así como también, problemas en el ser humano en su ámbito físico y social que en la actualidad ha incrementado al Cambio Climático. Como hace mención Ruano, M. (1999) "las áreas urbanas se están evidenciando como el principal responsable de los problemas medioambientales que amenazan a la Tierra. Hoy día las ciudades contribuyen a la contaminación global con una porción superior al 75%, y utilizan más del 70% de la Energía consumida por la humanidad"; por tanto, pareciera que las ciudades son concentradoras de daños ecológicos.

Por tal motivo el presente estudio, busca implementar modelos espaciales para el monitoreo en siete áreas verdes urbanas (parques) de la entidad ya que es un mecanismo clave que permite estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la cálculo de la intensidad de la radiación que emite y refleja la vegetación a través de las bandas del espectro electromagnético (Alonso, 2017) mediante la generación, análisis e interpretación de información a través del uso de Geotecnologías satelitales de Sentinel 2 dicho satélite fue implementado para el desarrollo de los Índices de vegetación Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) el cual brinda el estado de salud de los ecosistemas y presencia de agua; y el índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) identifica zonas áridas dichos índices permiten observar el estado, comportamiento y ausencia de la vegetación. Dichos resultados mostrarán los cambios progresivos en la cobertura vegetal y de uso de suelo permitirán evaluar las tendencias espacio-temporales de procesos como la deforestación y degradación del suelo en

algunas Áreas Verdes Urbanas más vulnerables de la entidad, provocadas por las actividades humanas.

El resultado del NDVI y SAVI de algunos municipios clave permite tomar decisiones y estrategias a para crear un plan de conservación y reforestación en áreas estratégicas para proteger la regulación hídrica con el propósito de salvaguardar la biodiversidad, prevenir la fragmentación de los hábitats, y favorecer la migración, dispersión, vinculación e interrelación de poblaciones de flora y fauna silvestres tal como hace mención Sorensen, et al. (1998) “para la toma de decisiones, ya que los espacios verdes son, en definitiva para el goce y beneficio de los ciudadanos”



1.1 Antecedentes



La historia de los parques demuestra que han tenido cambios en la percepción de la naturaleza urbana, evolucionando tanto en su diseño, función y tamaño; adquiriendo diferentes prioridades que la sociedad les ha dado. Pasaron de ser un elemento secundario del paisaje urbano con fines solamente estéticos, para convertirse en áreas de gran importancia debido a que proporcionan beneficios de índole social y ambiental (IMPLAM, 2023).

Ha sido tanto el auge, que actualmente las áreas verdes ya son consideradas como un indicador de la calidad de vida de los habitantes urbanos, lo que aumenta la posibilidad de inversión para su creación, mantenimiento y mejoramiento de estas.

En este sentido, algunos estudios mencionan la importancia de la mejora de estas Áreas verdes urbanas desde la implementación de una plataforma web SIG para el monitoreo dinámico de pastizales en Magallania, elaborado por Opazo, S.; et. al (2019). Trabajo generado a partir de un Sistema de Información Geográfica (SIG) WEB dinámico, donde la información se aplicó para los índices de vegetación, con la finalidad de llevar a cabo el índice de Condición Ambiental; y fue publicado en el 2014. Otro caso práctico fue en el 2017, la Administración de Parques Nacionales desarrollaron el proyecto: *Teledetección y SIG aplicados al monitoreo de la reserva natural de la defensa campo Mar Chiquita*. Proyecto que pone de manifiesto a la Teledetección como herramienta de vital importancia para obtener información del ambiente y de los recursos naturales, permitiendo detectar los principales cambios que se producen a través del tiempo.

A nivel nacional, México son pocas las entidades federativas que cuentan con una norma para el manejo de áreas verdes urbanas, entre las que destacan la Ciudad de México, Jalisco y Estado de México. En el año 2004, la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (ahora CDMX), presentó el libro: *“Presente y Futuro de las Áreas Verdes y Arbolado de la Ciudad de México”*. En el 2013, el Centro de Investigación de Estudios Avanzados, unidad Mérida, presentó el estudio titulado: *“Áreas verdes y arbolado en Mérida, Yucatán. Hacia una sostenibilidad urbana”*. La investigación consideró a las áreas verdes y el arbolado como parte esencial de las dimensiones ecológicas, sociales y económicas de la sostenibilidad urbana.

Centrándose en un análisis de las áreas de vegetación en Mérida y de las condiciones que determinan su presencia y distribución. La metodología se basó en el procesamiento de imágenes de satélite para capturar la cobertura arbórea, además del uso de Google Earth como herramienta para la medición y cálculo de las superficies y la implementación de los recorridos en campo (Medina y López, 2012).

La revista Legado de la Universidad Autónoma del Estado de México en el año 2017 publicó el artículo: *Recuperación de las áreas verdes urbanas. La importancia del diagnóstico Fitosanitario para la Intervención* (Meza, M. et. al.).



De Nova, Castro y Ramos (2018) presentaron el artículo: *“Identificación de la vegetación urbana de la Ciudad de México; evaluación de cuatro métodos para la determinación de umbrales en el índice normalizado de diferencias de vegetación y de la clasificación supervisada”*.

A nivel estatal, el Estado de México, la Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, generó el Programa de Gestión Ambiental Urbana e Industrial II (PAGUI II), y en el año 2019 se realizó la prueba piloto de levantamiento de información física de los árboles en los Parque Metropolitano Bicentenario de la Ciudad de Metepec, inventario que tiene como fin la implementación en Sistemas de Información Geográfica (SIG), para que pueda ser usada como herramienta de toma de decisiones en política pública (Desarrollo Urbano e Industria, 2019).



1.2 Marco Jurídico





Este apartado explica de manera general algunas de las leyes , reglamentos del gobierno Federal y Estatal que rigen, orientan y dan sentido a la gestión pública para la protección del medio ambiente por lo que se describen en los siguientes rubros.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

Reconoce en su artículo 4o., párrafo quinto, el derecho humano al medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar, disposición jurídica que a la letra señala lo siguiente: “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar”.

Constitución Política del Estado Libre y Soberano de México.

Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar, el Estado y los particulares deben proteger al ambiente para las presentes y futuras generaciones. El Congreso de la Unión y los órganos legislativos locales expedirán leyes que, en el ámbito de sus competencias, garanticen y reglamenten el derecho y el deber aquí consagrados, así como:

- a) Las acciones de protección ambiental para prevenir o hacer cesar los actos que causen o puedan causar daños irreparables o de difícil reparación;
- b) La obligación de reparar los daños al ambiente mediante la restauración de las condiciones previas al daño causado o, cuando aquella resulte imposible, a través de la compensación o indemnización;
- c) La adecuada utilización de las indemnizaciones por daño ambiental que no tengan carácter privado;
- d) Los términos y procedimientos a través de los cuales las autoridades particulares estarán legitimadas para ejercitar las acciones en defensa del medio ambiente sin perjuicio de las que a su derecho convenga.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA).

Artículo 44. Señala que las zonas del territorio nacional y aquellas sobre las que la Nación ejerce soberanía y jurisdicción, en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad del ser humano, o que sus ecosistemas y funciones integrales requieren ser preservadas y restauradas, quedarán sujetas al régimen previsto en esta Ley y los demás ordenamientos aplicables.

“Los propietarios, poseedores o titulares de otros derechos sobre tierras, aguas y bosques comprendidos dentro de áreas naturales protegidas deberán sujetarse a las modalidades que de conformidad con la presente Ley, establezcan los decretos por los que se constituyan



dichas áreas, así como a las demás previsiones contenidas en el programa de manejo y en los programas de ordenamiento ecológico que correspondan.”

Esta categoría es muy amplia y abarca toda zona en la cual se protege, en diversos grados, la naturaleza y la cultura del país, además están bajo la administración de organismos que operan a nivel nacional.

Ley General de Cambio Climático.

Establece como objetivo garantizar el derecho a un medio ambiente sano, regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático y establecer la bases para la concertación con la sociedad.

El Código para la Biodiversidad del Estado de México.

Define como “las zonas del territorio del Estado de México respecto de las cuales ejerza su jurisdicción y en las que los ambientes originales no han sido significativamente alterados por la actividad humana y que requieran ser restaurados o preservados para salvaguardar la diversidad genética de las especies silvestres, lograr el aprovechamiento racional de los elementos y recursos naturales mejorando la calidad del ambiente en los centros de población y sus alrededores, quedando sujetas a los regímenes establecidos en dicho Código”.

Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado de México.

Artículo 48. La Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible es la dependencia encargada de la formulación, ejecución y evaluación de la política estatal en materia de conservación ecológica, biodiversidad, protección y restauración del medio ambiente para el desarrollo sostenible, así como la mitigación y adaptación al cambio climático.

Artículo 49. La Secretaría del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible contará con las siguientes atribuciones:

- I. Proponer y coordinar las acciones y medidas necesarias con el fin de proteger, conservar, preservar y restaurar el equilibrio ecológico y mantener la estabilidad ambiental de los ecosistemas, los servicios ambientales, y el capital natural, así como mitigar el cambio climático en el Estado, en acuerdo con el Gobierno Federal, las dependencias de la Administración Pública y los gobiernos municipales, de conformidad con la legislación vigente;
- II. Formular, conducir, ejecutar y evaluar las políticas estatales en materia ambiental y para el desarrollo sostenible del Estado, así como el ordenamiento integral del territorio, en coordinación con los sectores público, privado y social;



- III. Aplicar y vigilar el cumplimiento de las disposiciones legales y la normatividad aplicables mediante los planes, programas y proyectos en materia tanto de protección, fomento, conservación y restauración de los recursos naturales, como de inspección y vigilancia de los mismos, que al efecto sean concertados con la Federación y los municipios, con el objetivo de salvaguardar el entorno sus riquezas y patrimonio naturales;
- IV. Emitir y aplicar los lineamientos, criterios y normas ambientales en las materias y actividades que causen o puedan causar desequilibrios ecológicos o daños al ambiente en cualquier municipio del Estado, o en zonas compartidas con otros estados; para atender los asuntos que establezcan las leyes u otros ordenamientos y que no estén otorgados expresamente a la Federación fomentando la participación de los municipios y de la sociedad en general;
- V. Diseñar y ejecutar en coordinación con la Secretaría del Campo programas especiales de desarrollo integral del territorio bajo los principios de sostenibilidad en regiones prioritarias por su importancia en materia de biodiversidad, provisión de servicios o fragilidad ambientales;
- VI. Regular y ejercer la política pública ambiental local tanto en materia de biodiversidad, recursos naturales, mitigación y adaptación al cambio climático global; como en aquella para el ordenamiento ecológico integral del territorio; y las actividades ambientalmente riesgosas, de conformidad con lo que establece la legislación aplicable;

Reglamento interno de la PROPAEM.

- VII. Es un órgano desconcentrado de la Secretaría de Desarrollo Sustentable del Poder Ejecutivo Estatal y tiene por objeto vigilar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en el Estado, excluyendo la materia de agua, a través de instrumentos de inspección y vigilancia; y en su caso, iniciar los procedimientos administrativos, cuando se conozca de actos, hechos u omisiones que produzcan desequilibrios ecológicos o daños al ambiente, con el fin de determinar las sanciones y medidas de seguridad pertinentes; y así fortalecer una armónica relación sustentable, entre los habitantes del Estado y su entorno, garantizando así el derecho de las personas a disfrutar de la existencia de un ambiente adecuado para su desarrollo, salud

2. Problemática



En un tiempo relativamente corto la vegetación del territorio ha sufrido cambios significativamente altos por las innumerables alteraciones antrópicas, por ende, pocas áreas del territorio contienen ecosistemas sin alteración alguna; a raíz de esta problemática en la actualidad las ciudades enfrentan un serio problema ante la pérdida importante de áreas verdes, así como, el maltrato de estas, debido al acelerado crecimiento del núcleo urbano que trae consigo consecuencias.

En México los estudios relacionados con la vegetación y áreas verdes urbanas eran escasos, ya que anteriormente no era un tema de gran interés, puesto que, solo se abordaba temas muy heterogéneos, sin embargo, lugares como la Ciudad de México, Monterrey, Yucatán, Guadalajara, han mostrado un interés en las investigaciones; por tanto, en la entidad mexiquense por su acelerado crecimiento a través del corto tiempo y en función de la urgencia habitacional o las oportunidades del mercado, es un área de interés para la recuperación de baldíos y el fomento de la creación y conservación de parques urbanos.

Durante años la entidad ha sufrido transformaciones en sus espacios verdes que llevan a: un mal uso del suelo, pérdida de suelo, vegetación, compactación del suelo, contaminación acústica, contaminantes ambientales, cambio climático, degradación, así como también, problemas en el ser humano en su ámbito físico y social.

Los parques urbanos son un elemento clave en las tramas urbanas, fundamentalmente para los ciudadanos, pues es importante conocer las características en la distribución del uso del suelo dentro de las ciudades, sin embargo, cabe señalar que existe interés e implicaciones desde la perspectiva de la planificación y gestión urbana. En este sentido, la investigación “se aborda desde una perspectiva geográfica que aspira, por un lado, a avanzar en el estudio de los paisajes, y, por otro, profundizar en el análisis” (Canosa, Sáez, Sabrina, de Zavala, (2002), del monitoreo de las áreas verdes urbanas del territorio, con la asistencia de los Sistemas de Información Geográfica existentes hoy en día.

La gestión del arbolado en los parques urbanos es especialmente complicada, debido a: las condiciones del suelo en los que son plantados, el tamaño o espacio, la interacción que se genera con los usuarios del parque, las condiciones climáticas y la falta o mal mantenimiento, causando la degradación de la vegetación o peor aún su pérdida.

Ante esta problemática, la selección de áreas prioritarias para conservación y cualquier enfoque de priorización es un reto que implica resolver un problema de optimización, en el que las áreas seleccionadas deben ser las más viables en términos (Sánchez et al., 2008) adecuados para tener una respuesta a futuro positiva de permanencia; por tanto, surge la necesidad de buscar una solución para el desarrollo de modelos espaciales de monitoreo dentro de los siete parques urbanos de la entidad, puesto que es una representación del mundo real, que puede ser

generado con la asistencia de los Sistemas de Información Geográfica para la interpretación, análisis y resultados de las variables consideradas para efectos positivos. Ya que permitirá que el tratamiento que se le dé a la zona desde una primera instancia sea el adecuado para el desarrollo del arbolado o su vegetación urbana en los programas de conservación ecológica

Y en un futuro estos escenarios espaciales sirvan para establecer programas y estrategias requeridos para su permanencia y manejo, ante las estancias especializadas de gobierno, al mismo tiempo que se vea favorecido al tener un diagnóstico donde implique variables asertivas para la reforestación o conservación ante el entorno.

Todo lo anterior, plantea el reto de crear y administrar un sistema de monitoreo en la gestión de las AVU, de tal modo que se contemple en específico los parques públicos y se genere una iniciativa en el cuidado de las áreas verdes urbanas e incursionar en su conservación y mantenimiento, puesto que trae consigo beneficios ambientales, como lo son: la calidad del aire, captura de carbono, hidrología urbana, el mejoramiento en microclimas, regulación del ruido, control del viento, biodiversidad, imagen urbana, generación de empleos, recreación, etc.; una ordenada planificación para su desarrollo en las condiciones óptimas traerá consigo beneficios ante una significativa calidad de vida de los habitantes, además que en la actualidad se vuelva una parte fundamental en la infraestructura de las áreas urbanas resilientes a los cambios.

Por eso es necesario trabajar en identificar aquellas medidas que permitan aumentar las áreas verdes, llevando un control e identificación de aquellos espacios desprovistos, ya que existen muy pocos árboles o arbustos en condiciones favorables, los cuales no son suficientes para la cantidad de población existente.

2.1 Objetivo



Estimar la calidad, desarrollo y modelos de la vegetación a través de cartografía temática para el monitoreo de las reforestaciones de las Áreas Verdes Urbanas (siete parques de estudio) mediante la implementación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo SAVI en la entidad Mexiquense.



3. Desarrollo de la investigación.





Ante las problemáticas actuales derivadas del Cambio Climático se han descubierto que “Los servicios ambientales... son los beneficios intangibles que los diferentes ecosistemas o biomasa ponen a disposición de la sociedad de manera natural e influyen en el mantenimiento de la vida, generan beneficios y bienestar para las personas y las comunidades” (Reyes y Gutiérrez, 2010, p.97).

Por ello “las áreas verdes urbanas deben de representar un enfoque planificado, integrado y sistematizado del manejo de árboles, arbustos y otro tipo de vegetación” (Nascimento et al., 2007); dado que generan beneficios importantes como:

3.1 Beneficios ambientales, sociales, económicos o políticos.

De acuerdo con la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento de la CDMX (POAT, 2003), “como elemento ambiental, los espacios verdes contribuyen a: regular el clima urbano, absorben los contaminantes, amortiguan el ruido, permiten la captación de agua de lluvia para la recarga de los mantos acuíferos; sin embargo, genera equilibrios ambientales en el suelo, agua y aire”, fundamentalmente en los entornos urbanos, como lo establece la agenda de Hábitat.

A continuación, se ostentan los principales beneficios ambientales forjados por las áreas verdes urbanas:

Calidad del Aire

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental en las ciudades de países desarrollados, a pesar de los implementos de mejores tecnologías, cambios en las producciones e industrias y en los trasportes públicos; la SEMARNAT, (2008), hace mención que en las ciudades de América Latina, los niveles de contaminación del aire han aumentado en los últimos veinticinco años;

México no se encuentra ajeno a esta realidad, pues enfrenta desde hace tiempo problemas en la calidad del aire en sus principales zonas metropolitanas.

Por ello, las áreas verdes urbanas proveen una mejora en la calidad del aire, elemento que provee diversos beneficios ambientales, puesto que el efecto de la vegetación va acompañado de efectos positivos, tales como, la reducción de la contaminación del aire de modo que las zonas verdes pueden reducir en cierta medida algunos contaminantes al capturar diferentes partículas en el aire; ejemplo de ello la captura de polvos y humo que queda atrapado en la vegetación.

McPherson et. al. (1994) demuestra “que los árboles de una ciudad pueden llegar a eliminar anualmente 0,7 toneladas de monóxido de carbono, 2,1 de dióxido de azufre, 2,4 de dióxido de nitrógeno, 5,5 de partículas de suspensión y 6 de ozono por hectárea de zona verde”.

Nowak et al. (1996) hace mención que “las plantas absorben gases tóxicos, especialmente aquellos originados por los escapes de los vehículos y que constituyen gran parte del denominado smog urbano”; que este a su vez junto con “las altas temperaturas aceleran su formación” (Sorensen, 1998, p. 8).

El efecto moderador que tiene la vegetación urbana sobre el clima es de suma importancia, ya que puede reducir las altas temperaturas extremas y como resultante reducir esta problemática en cierto grado.

Captura de carbono

Los árboles como organismos son capaces de capturar y almacenar carbono, absorbiéndolos en sus tejidos, generando la compensación de las emisiones de carbono producidas por las multivariadas funciones antrópicas. La UNEP (2009) “hace hincapié en el ciclo del carbono, pues se recicla continuamente en la tierra, debido a que nunca se destruye, almacenándose durante periodos cortos o largos en los organismos vivos, rocas o fósiles”. El impacto antrópico en el ciclo de la captura de carbono es de larga duración (ejemplo: petróleo, gas, etc.) y es liberado en la atmósfera creando un desequilibrio en este, trayendo consecuencias en el clima global, y sumado a ello la deforestación, agravando el proceso de la eliminación del carbono almacenado.

Los parques juegan un papel importante en el ciclo del carbono al absorber y retener el Dióxido de Carbono CO₂ atmosférico, el cual, realiza el proceso de respiración autotrófica (la vegetación como organismo autótrofo es capaz de generar su propio alimento a través de la fotosíntesis) y heterotrófica en el suelo (Pardos, 2010); no obstante, una vez que los árboles mueren, el carbono almacenado será liberado de regreso a la atmosfera.

La captura y fijación del CO₂ en los árboles se realiza durante su crecimiento, es decir, la tasa anual de carbono almacenado debido al incremento de su biomasa es aprox. 50% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono (Quiñonez et al., 2010).

Domínguez (cita, 2016) que la captura de carbono en la vegetación urbana es referida a la tasa anual de captura y almacenamiento de CO₂ durante una temporada de crecimiento (anual) de la vegetación, para el caso de un arbolado dependerá principalmente de las tasas de crecimiento (los árboles de crecimiento rápido inicialmente capturan más CO₂ que uno de crecimiento lento), (Chaparro et al., 2009), edad, condición (los individuos jóvenes retienen el carbono a tasas más altas que los árboles maduros) y la vida útil del árbol da esperanza de vida,



debido a que cuando el árbol muere el carbono es liberado a la atmósfera (Stoffberg et al. 2010), como se ha mencionado anteriormente.

Con base a lo anterior, la relación entre el manejo de las áreas verdes urbanas y el dióxido de carbono es compleja, pues dependerá del diseño y especies utilizadas, es decir, “influyen las características del sitio en el que se encuentra el parque como: el clima (que la especie este adaptada al tipo de clima), la composición, estado, distribución, estructura de cada una de las especies y del manejo que se le da al parque” (Pardos, 2010).

Un diseño adecuado de áreas verde puede contribuir de manera positiva en la demanda energética, debido a que las áreas verdes urbanas reducen el calor, teniendo como consecuente el menor consumo de combustibles.

Mejoramiento de Microclimas

Uno de los usos de la vegetación dentro del ámbito urbano, (...) es el control de radiación solar, sin embargo, la vegetación tiene efectos sobre la radiación solar no visibles (Ochoa, 1999). es decir:

Del 100% de la energía solar incidente, las plantas absorben para la fotosíntesis aproximadamente de 5-20%, se refleja de 5-20%, disipan por evapotranspiración 20-40%, emiten 10-15% y transmiten el 5-30%. No obstante, para un árbol cambia considerablemente los datos dado que involucra las ramas, el tronco, la estructura, forma, distribución y densidad de follaje, además de las características de foliación para cada especie. (Oke, 1993)

En los núcleos urbanos el efecto de calor es más notable, por su nula o escasa vegetación y extensas áreas pavimentadas que disipan calor, provocando un alto incremento de la temperatura, efecto conocido como Islas de calor urbano, ya que mantiene el calor. Los parques urbanos son una de las múltiples soluciones en virtud de presentar un alto número o densidad de árboles que influirá en “el grado de radiación solar, el movimiento del viento, la humedad y la temperatura del aire” (Heisler, 1990), convirtiéndose en parques con microclimas significativos, puesto que proporciona espacios favorables, brindando sombras durante la primavera- verano, atenuando las altas temperaturas y en otras estaciones amortiguando los vientos.

Hidrología Urbana

La sustitución de una cobertura vegetal por superficies pavimentadas son una de las principales causas para la filtración del agua, por ende, las ciudades se han venido enfrentando a esta problemática, por carecer de aquellos espacios que permitan la filtración de agua para la recarga de mantos freáticos. De acuerdo con Sorensen et al. (1998) la mayoría de las ciudades

carecen de fuentes de abastecimiento de agua de forma directa, por la cual se ven obligadas a uso de fuentes externas, normalmente en las áreas localizadas cerca de suburbios, definidos como centros de crecimiento urbano o en la periferia de los centros urbanos.

Asimismo, se generan también la contraparte que son los problemas de inundación por los diversos cambios de uso de suelo, pues se reducen las áreas permeables en las zonas urbanas. Nowak et al. (1997) aludió que las áreas verdes interceptan y retienen el flujo pluvial de la precipitación que llega al suelo, generando que los árboles en las zonas urbanas puedan reducir el volumen y la velocidad de escorrentía de una tormenta, influyendo en los costos causados por las inundaciones y los tratamientos de agua de lluvia.

También se puede obtener beneficios en los costos hidrológicos asociados con las AVU, particularmente en un ambiente árido, ya que el agua es escasa y por ello incrementa su uso, así como su costo.

Reducción de ruido

La contaminación acústica es uno de los problemas que los espacios urbanos presentan diariamente; a partir de esto las pruebas en campo, han demostrado que las plantaciones de árboles y arbustos elegidos o diseñados propiamente pueden reducir de manera significativa el ruido, ya que las hojas y las ramas reducen el sonido transmitido y lo dispersan, mientras que el suelo lo absorbe (Aylor, 1972).

La vegetación también puede ocultar ruidos generados por sus propios sonidos, por el viento que mueve las hojas de los árboles o por los pájaros que cantan en la cubierta arbórea. Estos sonidos pueden hacer que los individuos estén menos conscientes de los ruidos ofensivos, porque la gente es capaz de filtrar los ruidos indeseables mientras se concentra en los sonidos más deseables y escuchará selectivamente los sonidos de la naturaleza más que los sonidos de la ciudad (Robinette, 1972). En forma general y con base a lo anterior la reducción de la contaminación acústica por los árboles y la vegetación se describe de cinco maneras importantes:

Por la absorción del sonido (se elimina el ruido), por la desviación (se altera la dirección del sonido), por flexión (el sonido rebota a su frente de origen), por refracción (las ondas del sonido se doblan alrededor de un objeto) y por ocultación (se cubre el sonido no deseado con otro más placentero (Miller, 1988).



Beneficios ecológicos

Las áreas verdes urbanas generan también importantes beneficios ecológicos, beneficios adicionales que contribuyen de manera positiva a los ecosistemas urbanos a un corto y largo plazo para los habitantes de la residencia urbana; influyendo en la participación del hábitat de la fauna urbana, y de igual forma, tienen la capacidad para atraer otras especies manteniendo la biodiversidad.

El desarrollo y la recuperación de espacios y áreas verdes en las ciudades permiten atraer diversas especies, sirviendo como corredores naturales para su distribución (moderada y bien planteada), asimismo permitir la dispersión de flora endémica e inducida.

Paramo y Mejía (2004) señala que las áreas verdes urbanas, son sitios de oportunidad de interacción con elementos naturales, particularmente con algunas especies en animales, ya que existe una concentración de la población en la relación ambiente natural y protección de la biodiversidad, atendiendo al mismo tiempo una educación ambiental.

Beneficios sociales

Los espacios verdes urbanos como beneficio ambiental prevén diversos servicios ambientales, anudado a esto, por los efectos de la presencia de vegetación y árboles en el medio ambiente; forjando efectos significativos en el medio social- económico de una ciudad, tal como lo menciona Krishnamurty et al. (1997) “las áreas verdes suburbanas como elemento de sustentabilidad, provén diversos beneficios sociales, relacionados con la salud pública, la recreación, factores estéticos y al bienestar general, especialmente de los segmentos más pobres de la población”.

Lo anterior permite la inclusión social con la relación naturaleza, lo que permitirá la iniciativa para la recreación de la convivencia familiar, infantil, y demás, pues los beneficios de las áreas verdes tienen respuestas positivas para la población, tal como sucede en los siete parques de interés de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Debido a que los árboles de los espacios urbanos pueden incrementar la calidad del medio urbano y hacer más atractivo y placentero el lugar para vivir, trabajar y utilizar el tiempo libre empleado por los habitantes.

Beneficios en la salud mental y física

La Organización de las Naciones Unidas (OMS) considera a las áreas verdes como componente importante dentro de la calidad de vida, pues se ha demostrado que existe, una disminución de la presión (estrés) y el mejoramiento de la salud física en los residentes urbanos que están asociados con la presencia de áreas verdes urbanas con fuerte presencia de árboles (Ulrich, 1984). Como plantea Sorensen et al. (1999) el resultado de los beneficios generados en la calidad

de aire repercutirá en la condición física, los cuales serán evidenciados en la disminución de enfermedades respiratorias. También los árboles son capaces de brindar sombra generando una protección indirecta en el ser humano, pues es posible protegerse de la radiación UV, reduciendo así la propensión a desarrollar enfermedades de la piel, daños a la vista, así como ser propenso a cataratas (Heisler et al., 1995).

De acuerdo con lo anterior, los parques urbanos son generadores de entornos estéticos, como se ha dicho aumentan la satisfacción de la vida dando mayor relación significativa hombre-naturaleza; aun cuando la vista sea desde una ventana de una casa u oficina, genera beneficios psicológicos substanciales, forjando así la satisfacción del trabajo y el bienestar.

Relaciones sociales

Como se hizo mención anteriormente, las áreas verdes generan entornos estéticos y beneficios satisfactorios en su entorno, ejemplo de ello, es el resultado de las condiciones microclimáticas, puesto que las personas tienden a congregarse en las áreas verdes durante las temporadas calurosas, permitiendo así el desarrollo de las relaciones sociales (Sorensen et al., 1998).

Otro aspecto importante, es el desarrollo de programas de forestación y reforestación urbana, ya que actualmente la participación social en el manejo y conservación de las áreas verdes urbanas permiten desarrollar las relaciones sociales entre los residentes, fomentando la integración de participación en equipo y trabajo conjunto.

Beneficios recreativos

Los parques urbanos y áreas verdes urbanas en general son una fuente de beneficios recreativos, pues son los sitios más importantes de recreación en las ciudades, siendo utilizados por todos los ciudadanos de manera frecuente; debido a que permiten realizar una amplia variedad de actividades que van desde un paseo, una plática, lectura, hasta actividades deportivas, entre otras. Estos espacios se convierten en lugares de ocio como alternativa gratuita.

Beneficios educativos

Los parques y otras áreas verdes urbanas también ofrecen oportunidades en los beneficios educacionales para los residentes urbanos (niños, adultos, estudiantes, etc.), esto ocurre por las experiencias de aprendizaje que brindan los parques, con base a la naturaleza. Además de permitir una participación pública en las actividades educativas asociadas con los espacios verdes, de esta manera también los planificadores y gobiernos a futuro tengan presente la importancia de estos sitios.



Otro factor educativo en la actualidad de gran importancia es la participación pública en la forestación y reforestación, hecho que sirve como proceso de retroalimentación en el cual los ciudadanos y principalmente las nuevas generaciones aprendan valores de conservación y mantenimiento de los parques, que suelen ser objeto no respetable en ciertos espacios geográficos.

Estética

La estética, aunque no se considere un beneficio tan importante para satisfacer la calidad y necesidades básicas, tiene un significado positivo en los residentes urbanos, porque un parque o área verde urbana con una estética favorable, reducirá el brillo y reflejo del sol en las cubiertas de cemento, generando espacios verdes estéticamente placenteros, resultado atractivo para los habitantes. Esta estrategia en la planeación de los parques y áreas urbanas, como hace mención Sorensen y Barzetti (1998) va más allá de la simple consecución de una estética favorable, ya que también tiene un efecto positivo en el valor de una propiedad. es decir, cuando un terreno se presenta como baldío o basurero y es sustituido por atractivos parques, mejorará la calidad de vida de los residentes, además del valor de su patrimonio, generando efectos positivos.

Por ello podemos decir que la estética de un parque también es favorecedora para la solución de problemas sociales, ambientales y económicos.

Índices de Vegetación

Un índice de vegetación puede ser definido como un parámetro calculado a partir de los valores de reflectancia a distintas longitudes de onda, y que es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilbert et al., 1997); por lo que permite exponer el análisis de la vegetación como clave para su monitoreo y evaluación. Muños (2013) lo definió como “un número generado por alguna combinación de bandas espectrales, y que pueden tener alguna relación con la cantidad de la vegetación presente en un píxel dado” (Figura.1).

Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

De acuerdo con Gilabert, et al. (1997) es un índice para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Para Muños (2013) su sencillez de cálculo y disponer de un rango de variación fijo (entre -1 y +1), lo que permite establecer umbrales y comparar imágenes (figura 1).

- Valores muy bajos de NDVI, del orden de 0.1, corresponden a áreas rocosas, arenosas.
 - Valores de 0.2 a 0.3 pueden corresponder a áreas pobres con arbustos o pasturas naturales.
- (p.3)

Y dependiendo de los valores resultantes corresponderá a un área más densa de vegetación o caso contrario.

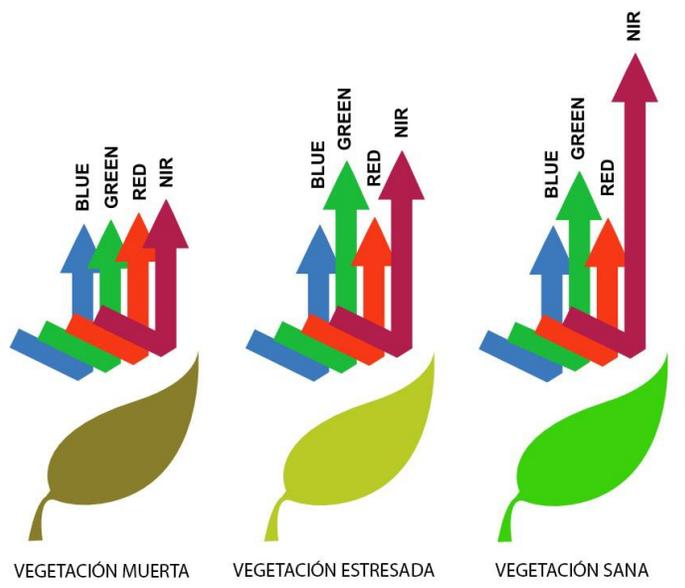


Figura 1.- Comportamiento del infrarrojo cercano según el tipo de vegetación (DINASA, 2016).

Índice de suelo ajustado (SAVI)

Si la cobertura de vegetación no es densa, los resultados pueden ser no solo de la vegetación sino también del suelo donde se ubica, causando que el valor registrado por el sensor sea fuertemente influenciado por la reflectancia del suelo.

Para apropiar estos cambios, la implementación del índice SAVI, permitirá aislar la información que aporta el suelo sobre la vegetación. Huete (1998) menciona que: “incorpora una constante de suelo, la cual se usa de acuerdo con vegetación de baja, intermedia o alta densidad. Considera la influencia de la luz y del suelo oscuro en el índice”.

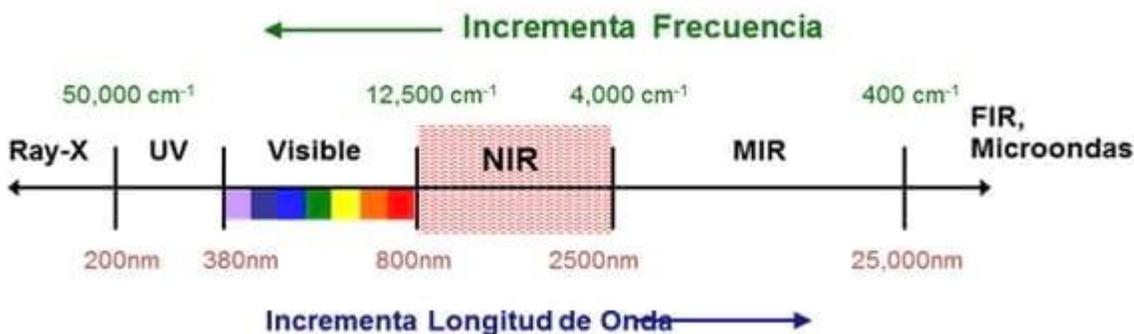


Figura 2.- Esquema de reflectancia (RED-NIR)



3.2 Metodología



Caracterización

La zona Metropolitana del Valle de Toluca se sitúa en la región centro del país, ubicada dentro del Estado de México; entre los 19°27' 46" y 19°03'52" de latitud norte y 99°54'15" de longitud oeste. Se extiende sobre la superficie de 1 208.55 km² con una altitud de 2660 msnm en promedio (EDOMEX, 2015).

De acuerdo con el Observatorio del Estado de México, se ha consolidado como un patrón metropolitano de urbanización, por lo cual la reciente actualización de las Zonas Metropolitanas de México, los municipios ubicados en el Valle de Toluca, se concentran de acuerdo a datos del COESPO y el Sistema Estatal de Información Urbana, Metropolitana y Vivienda, poco más de 1.9 millones de habitantes del Estado de México, que representan más del 13.5% de la población estatal, distribuidos en los 22 municipios metropolitanos radicando 2 202,886 personas con una tasa de crecimiento medio anual del 1.9% y una densidad media urbana de 64.4 hab/ha. Plan de Desarrollo Urbano del Valle de Toluca (2009-2015)

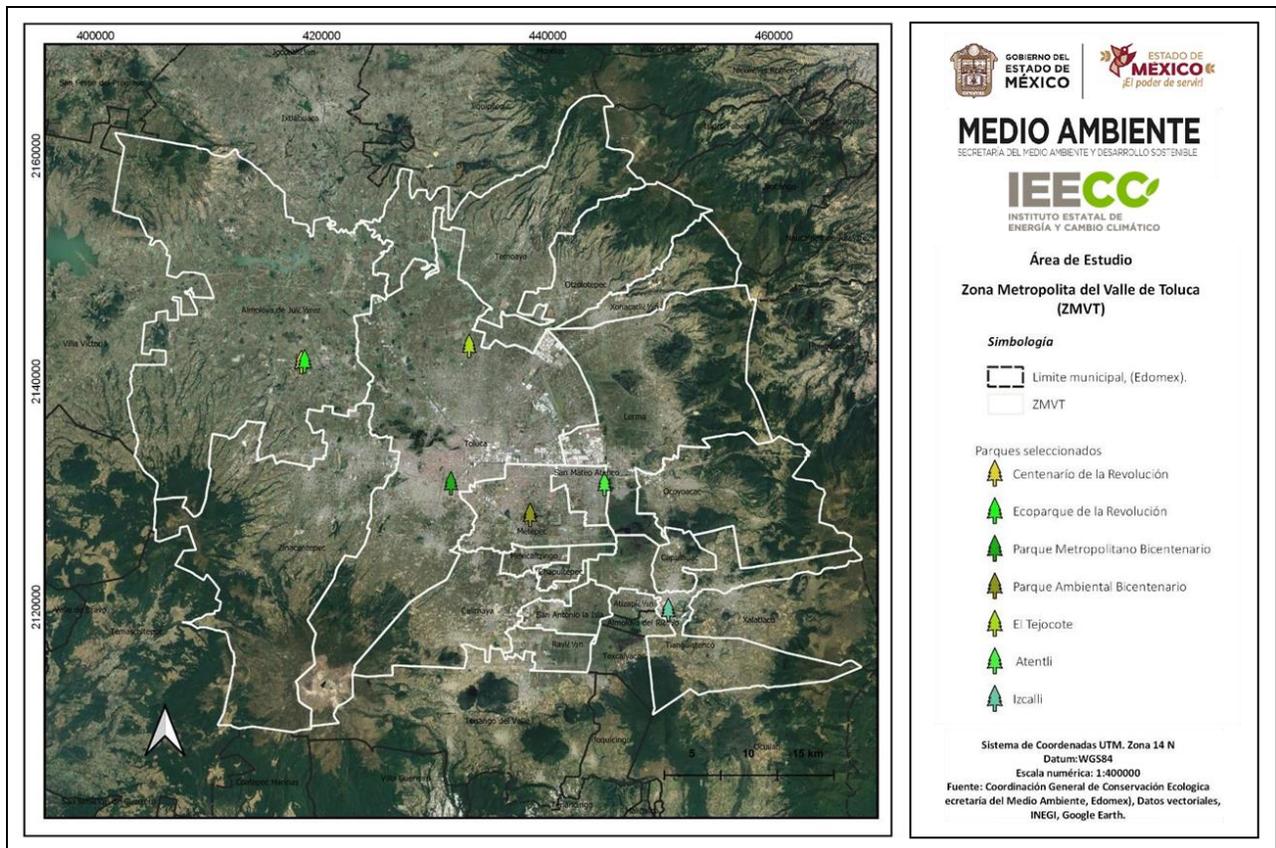
<i>Almoloya de Juárez</i>	<i>Metepec</i>	<i>Rayón</i>	<i>Tenango del Valle</i>
<i>Calimaya</i>	<i>Mexicaltzingo</i>	<i>San Antonio la Isla</i>	<i>Toluca</i>
<i>Chapultepec</i>	<i>Ocoyoacac</i>	<i>San Mateo Atenco</i>	<i>Xonacatlán</i>
<i>Lerma</i>	<i>Otzolotepec</i>	<i>Temoaya</i>	<i>Zinacantepec</i>
<i>Almoloya del Río</i>	<i>Atizapán</i>	<i>Capulhuac</i>	<i>Xalatlaco</i>
<i>Tenango del Valle</i>	<i>Texcalyacac</i>	<i>Tianguistenco</i>	

Tabla. 1 Municipios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Se seleccionaron siete áreas verdes urbanas (Mapa 1), correspondientes a parques urbanos que se construyeron a partir de la recuperación y rehabilitación de espacios baldíos y predios destinados por las autoridades correspondientes.

Los cuales corresponden a:

1. Centenario de la Revolución, Almoloya de Juárez.
2. Ecoparque de la Revolución, Almoloya de Juárez.
3. El Tejocote, Toluca.
4. Atentli, San Mateo Atenco.
5. Izcalli, Tianguistenco.
6. Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca.
7. Parque Ambiental Bicentenario, Metepec.

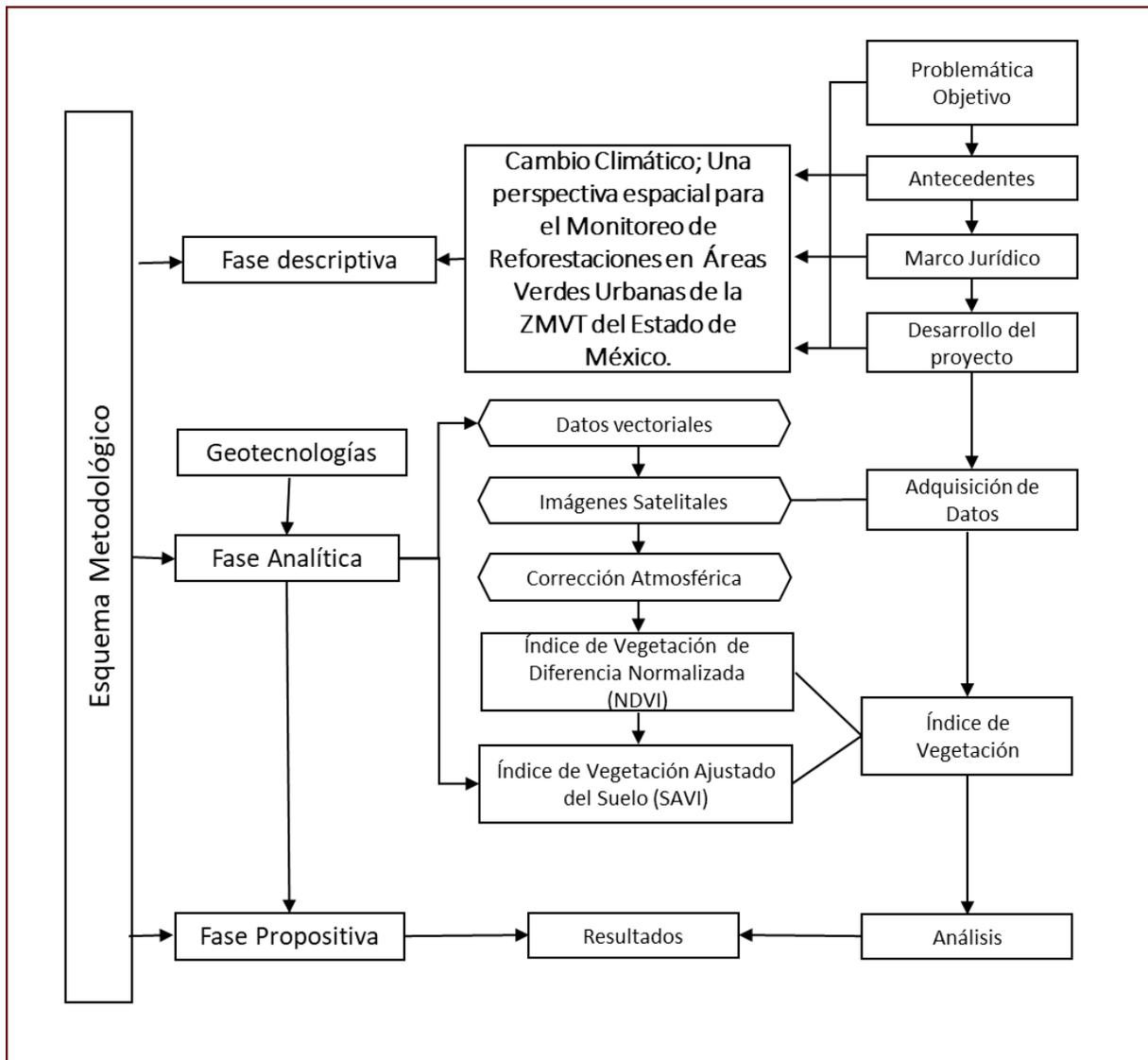


Mapa 1.- Mapa de Ubicación de la zona de estudio

Métodos y Técnicas

Con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados, para el proyecto de monitoreo de parques urbanos (siete casos de estudio de la ZMVT), la selección de la metodología se basó en una propuesta multi-variable, ya que se trata de una investigación no experimental, sino de tipo transaccional descriptiva, en donde se desarrolla una Fase descriptiva, Fase analítica y una Fase propositiva, a través de un modelo espacial.

Figura 3. Esquema Metodológico



Fuente: Elaboración propia.

Fase Analítica (procesamiento de datos)

Con los datos obtenidos de los procesos anteriores se generó el análisis espacial, asimismo, durante esta fase se fue forjando la cartografía con base a datos vectoriales.

Con el fin de obtener más información espectral en gabinete, se hizo uso de la imagen Sentinel 2

(S2A_MSIL1_20200322T165951_N0209_R069_T14QMG_20200322T203853)

multiespectral, adquiridas en la plataforma Copernicus Open Access Hub, imágenes con una resolución de 10m en la región visible y 13 bandas (Figura 4), que permitengenerar combinaciones, filtros a color natural y falso color o crear índices espectrales a máxima resolución.

Banda	Resolución Espacial	Longitud de onda central	Descripción
B1	60 m	443 nm	Ultra azul (Costa y Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Azul
B3	10 m	560 nm	Verde
B4	10 m	665 nm	Rojo
B5	20 m	705 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Rojo de borde (RedEdge)
B9	60 m	940 nm	Vapor de Agua
B10	60 m	1375 nm	Cirrus
B11	20 m	1610 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)

Tabla 2.- Listado de bandas_SENTINEL 2, NaturGIS.

Obtenida la imagen, como parte del preprocesamiento, la corrección atmosférica fue uno de los pasos que se llevó a cabo, procedimiento que tiene como objetivo corregir las distorsiones o ruidos de la imagen de satélite, por fallos del propio sensor o la interferencia de la atmosfera, generando ausencia de datos y niveles decolor irregular.

El procedimiento usado fue DOS -Dark Object Subtraction – o SPO, método de substracción de Pixeles oscuros, también conocido como el Método de Chávez (Gómez y Arteaga, 2014). Proceso que asume que, si hay áreas en una imagen convalores muy bajos de reflectancia, cualquier reflectancia aparente debería ser producto de la dispersión (*scatering*) atmosférica y que esta información pueda serusada para calibrar el resto de la imagen (Chavez, 1988).

En este sentido, se generó el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) como indicador de la biomasa fotosintética activa, es decir, el cálculo de la salud de la vegetación, para cumplir con el objetivo de obtener el estado actual del arbolado existente en cada uno de los 7 parques de la ZMVT, tal como lo describe Toribio (2019) el

NDVI permite diferenciar la vegetación de otros tipos de cobertura del suelo (artificial) y determinar su estado general.

Para calcular el NDVI se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

- **NIR** es luz infrarroja cercana
- **Red** es luz roja visible.

Como este estudio está más adaptado al análisis de vegetación en etapa de crecimiento inicial y disperso, está expuesto a la exposición del suelo, siendo un factor relevante en la interpretación y análisis de la información errónea, por ello, el índice SAVI es una aplicación en este estudio.

Citando a Muños (2013) el índice Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), tiene en cuenta la reflectividad del suelo y permite aislar la información que aporta la vegetación. Muños (2013) menciona que, para lograr la separación de la radiancia del suelo y la vegetación, al denominador NDVI se le añadió la constante L, donde L puede tomar valores de entre 0 y 1, dependiendo de la densidad de vegetación (valores más altos del índice, para densidades más bajas). Para mantener el mismo rango de variación que el NDVI, el resultado debe multiplicarse por $1 + L$.

Huete (1988) basándose en un modelo de transferencia radiativa, mostró que un valor de $L = 0.5$ permitía mejorar el ajuste, especialmente para densidades intermedias de vegetación y sobre todo porque un valor de $L = 0$ produce el mismo resultado que el NDVI y si L vale 1, el resultado es equivalente.

$$\text{SAVI} = [(\text{IRC} - \text{R}) / (\text{IRC} + \text{R} + \text{L})] (1 + \text{L})$$

- **IRC**= banda del infrarrojo cercano.
- **R**= banda del visible rojo.
- **L**= constante de compensación promedio, 0.5

Las imágenes fueron manipuladas en QGIS 3.10.2 por ser un software de fácil acceso y uso para el tratamiento de imágenes satelitales, puesto que permite estimar la vigorosidad, estado de la vegetación y discriminación de posibles errores en la clasificación y división de otros elementos, por ejemplo, la infraestructura (zonas de juego, bancas, corredores, etc.).

Fase propositiva

Finalmente, en esta tercera fase de la investigación, ya definida la información y valores de las dos fases previas, se sistematizó la información diagnosticada de los datos

cuantitativos y cualitativos a fin de representar mediante un modelo cartográfico la evaluación de los individuos arbóreos y de la vegetación en la zona de estudio, presentados en mapas temáticos.

Dentro de este proceso y de acuerdo con los resultados obtenidos en la fase de campo y análisis de los índices *NDVI* y *SAVI*, se clasificó el estado de la vegetación; tomando como base el método aplicado por Hernández, J. (2000), el cual toma atributos de calificación para el cálculo de evaluación de la vegetación; es por ello por lo que se maneja la siguiente clasificación:

- **Estado bueno:** hace referencia a la vegetación que se encuentra de buen a excelente estado (calificación 9-10).
- **Estado aceptable:** la vegetación no se presenta en un buen estado, sin embargo, presenta una salud aceptable (calificación 6-8).
- **Riesgo:** hace referencia a los individuos arbóreos y vegetación que ya presenta factores bióticos y abióticos que afectan el vigor y la productividad, manifestando diferentes síntomas y tipos de daños, requiriendo atención (calificación 5-3).
- **Cambio:** individuos arbóreos y vegetación que ya se considera vegetación muerta por su alto grado de degradación y pérdida (calificación 1-2).

Lo cual, permitió dar a conocer el número de árboles y especies con los que cuenta hasta este momento cada parque de interés de la ZMVT, así como la generación de un Mapa que describe visualmente aquellas especies que necesitan un replazo o cuidado para poder lograr su conservación.

Además, en esta fase se realizó la propuesta de un sistema de monitoreo de la vegetación e individuos arbóreos, con base a las observaciones que se tuvo durante la práctica para facilitar el proceso.

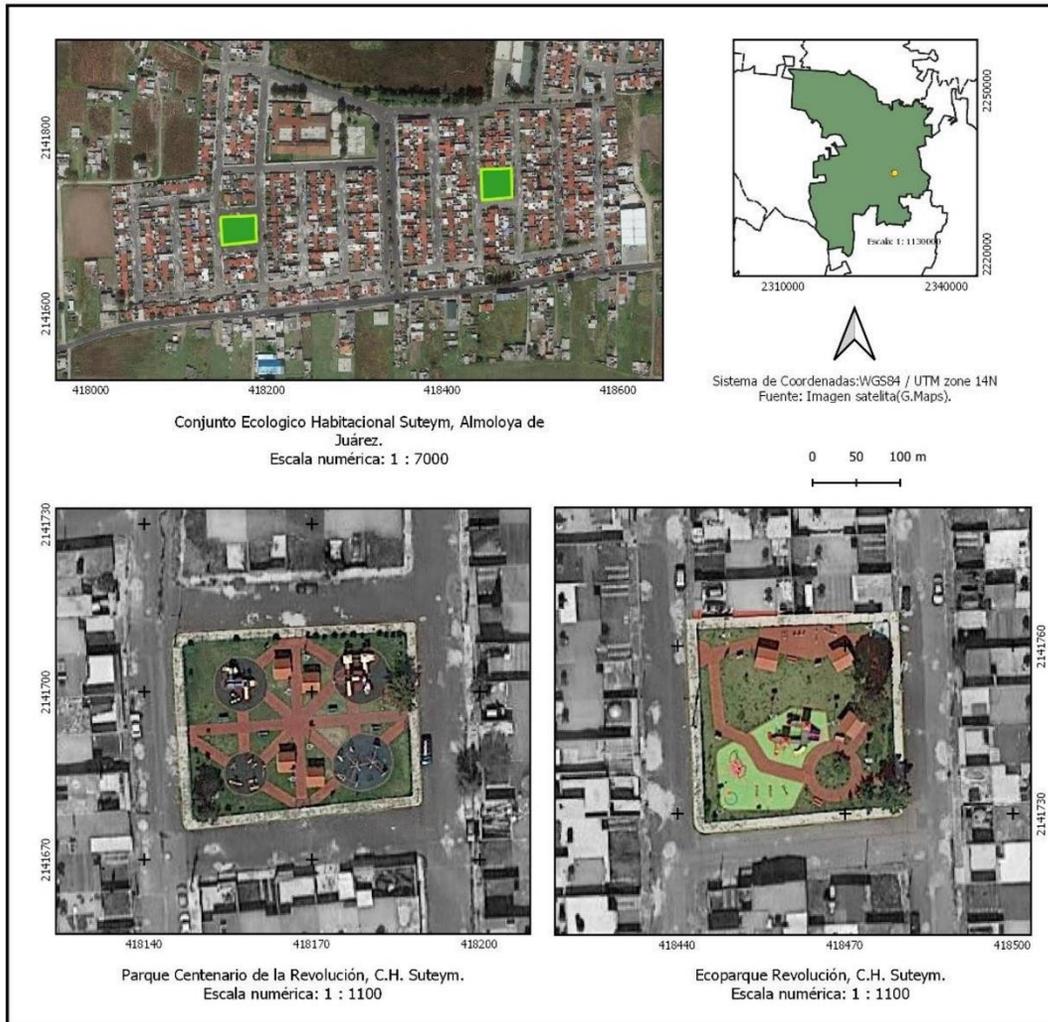


4. Resultados



Centenario de la Revolución y Ecoparque Revolución Almoloya de Juárez

El conjunto Ecológico Habitacional Suteym, Almoloya de Juárez, alberga dos de los parques urbanos del interés de este estudio: Centenario de la Revolución (2606 msnm) y Ecoparque Revolución (2605 msnm). Conjunto habitacional que para el 2020 habitan más de 2719 personas de acuerdo con INEGI,2010 (Mapa 2).



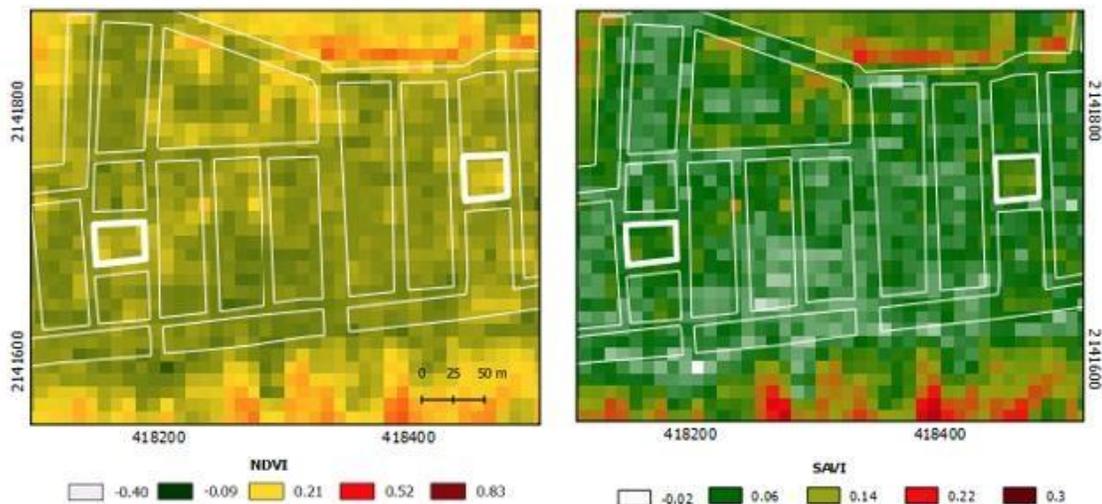
Mapa 2.- Mapa de ubicación del Parque Centenario de la Revolución y Ecoparque Revolución

El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y temperaturas que oscilan entre 2.2°C a 23°C. La precipitación promedio se registra entre 700 a 1500 mm, generando humedad a un 89 %, con base a datos de INEGI.

En cuanto a la edafología predomina el suelo de tipo Vertisol pélico (Vp). Suelo que favorece a la agricultura por su grado de fertilidad y productividad, se caracteriza por ser un suelo duro que se agrieta en tiempo de secas y es expansivo cuando se encuentra húmedo. Debido a estas características también es suelo susceptible a inundaciones (SEDATU, 2016).

Considerando estas características físicas, el *Parque Centenario de la Revolución*, cuenta con un área verde ocupada solo por la presencia de árboles, ya que en este sitio se ubican 38 individuos arbóreos, plantados en diferentes años, puesto que se tiene un registro del año 2019 de 25 árboles reforestados, situación que refleja aspectos a considerar sobre el estado de la vegetación.

De acuerdo con los índices NDVI y SAVI (Figura 4), en la parte sureste el arbolado muestra valores bajos (-0.09 y 0.06), con tonalidad verde, color que para el NDVI caracteriza a las áreas con infraestructura por su menor reflectancia en el infrarrojo cercano; caso similar para el índice SAVI, por lo que pone de manifiesto que existe un foco de atención en el arbolado, ya sea por su falta de mantenimiento o por la especie plantada que no es acorde a las características físico-geográficas; no obstante, el área noroeste exterioriza valores de 0.21 para el NDVI y 0.14 para el SAVI, representantes de una vegetación con condiciones aceptables.

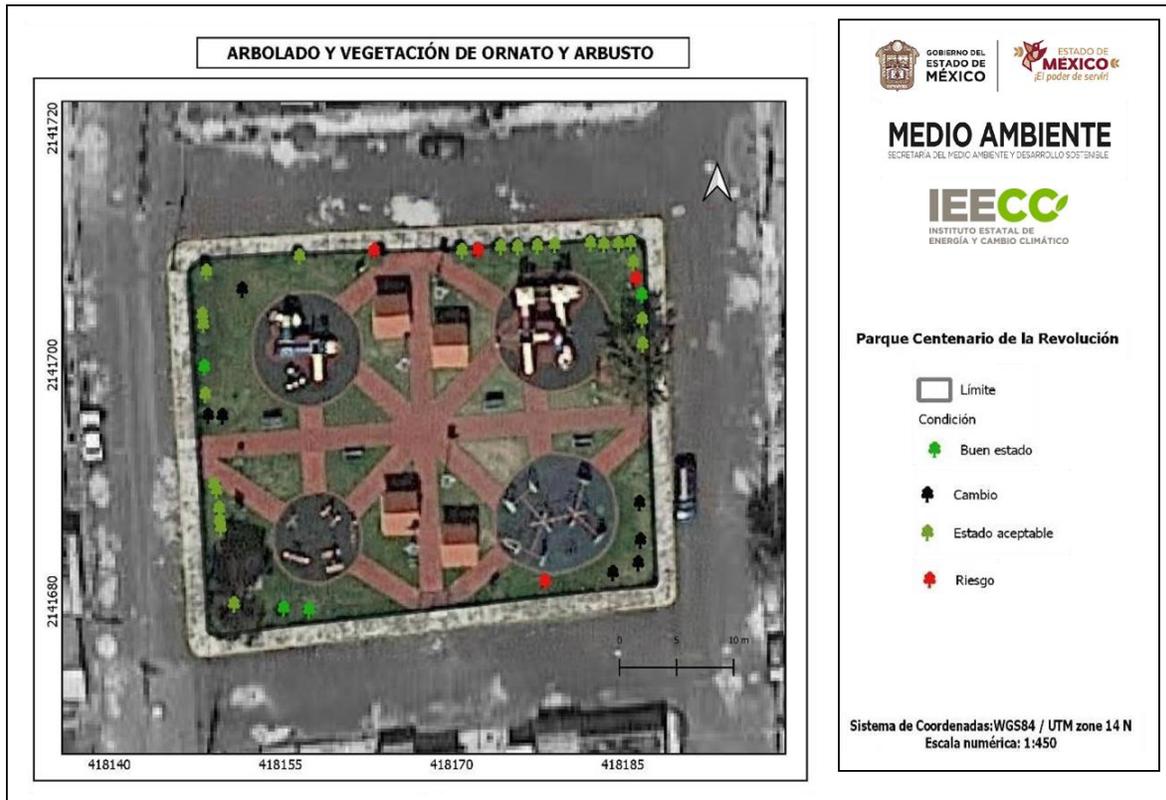


4.- índice NDVI y SAVI aplicado al Parque Centenario de la Revolución y EcoParque Revolución

Dentro del proyecto de reforestación 2018 se plantaron 40 plantas de bandera española (Lantana camara) y para el 2019 fueron especies como: Rayito de sol, Fornios, Gazania, Dedo moro, patita de perro, especies que en la actualidad no hay presencia de alguna de estas.

Con base al registro y análisis de la información recabada en el Monitoreo, se obtuvo que solo 4 árboles se encuentran en Buen estado, en donde se ubican especies de pino (*Pinus maximartinezii* y *Cupressus lusitánica*), 23 especies en Estado aceptable, 4 de los pinos se encuentran en riesgo, por lo que se necesita atención inmediata y 7 individuos arbóreos más requieren de cambio, por presentar un alto grado de erosión (Mapa 3).

Por ser un área con suelo vertisol, se recomienda seguir plantando especies como: *Mesembryanthemum roseum*, pues es una especie que se puede dar en cualquier tipo de suelo, pero que requiere de un mantenimiento constante, asimismo, los árboles Fresno son recomendables, ya que es una especie que se adapta a las condiciones del sitio, además de que es un árbol muy característico del municipio de Almoloya de Juárez.



Mapa 3.- Modelo espacial del arbolado y vegetación de ornato y arbustos, Centenario de la Revolución.

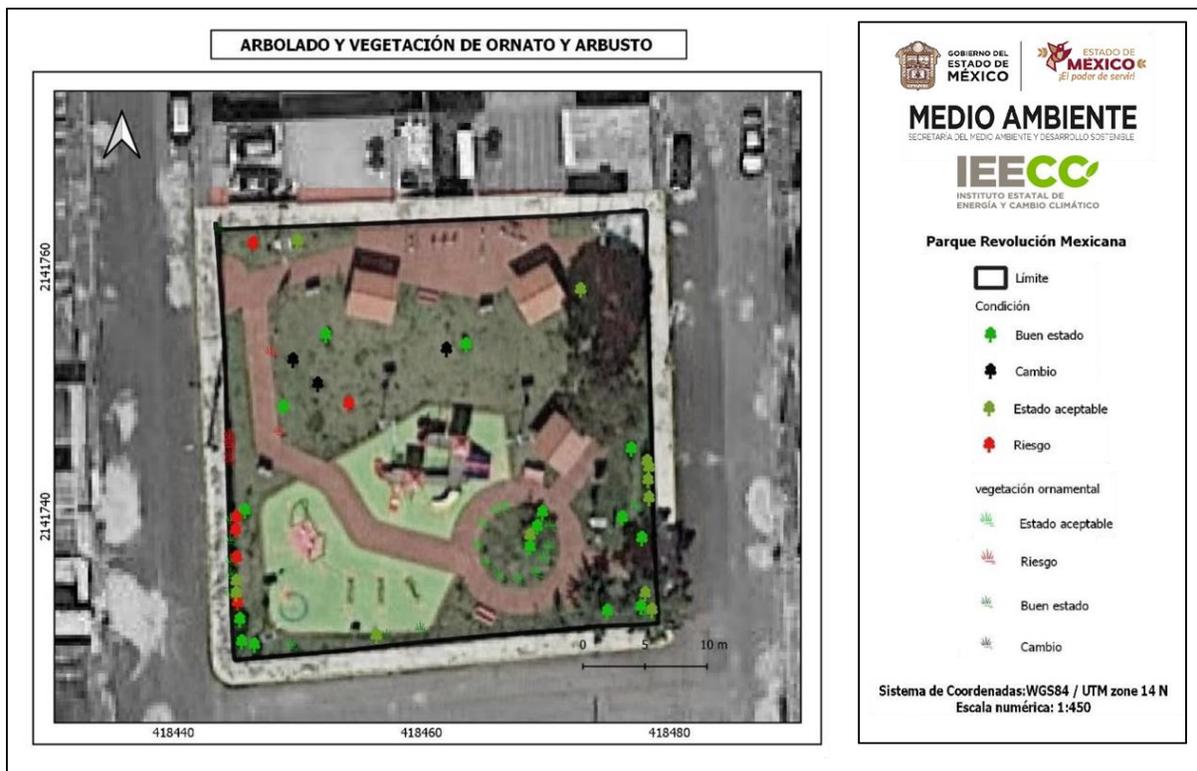
En lo que respecta al **Parque de la Revolución**, cuenta con mayor vegetación en comparación con el Parque Centenario, a pesar de que las características del área son las mismas y esto se ve reflejado en el Mapa 2, en donde se observa que en la parte sureste y este existe mayor presencia de vegetación ornamental-arbustiva, así como individuos arbóreos.

Dentro de ambos índices se refleja mayor vegetación en condiciones aceptables; en el índice NDVI los rangos están entre 0.21, sin embargo para este Parque el índice SAVI representa mejor la información, ya que la distinción de las áreas con tonalidad verde oscuro presenta características similares a los valores de reflectancia de la infraestructura, por lo que la vegetación del lado Este de la zona de estudio expone un valor de -0.09 y para la vegetación e individuos arbóreos en un estado aceptable se encuentran en 0.14.

El parque cuenta con 38 individuos arbóreos y 30 especies de vegetación ornamental y arbustiva, de los cuales 18 de ambas especies se encuentran en buenestado, mientras que 14 especies aún se pueden recuperar por su deterioro que presenta, pues se encuentran en un estado de riesgo. Como es el caso de 3 especies que requieren de cambio.

Para este parque se propone seguir con la plantación de la especie ornamental Lirioperna, pues a pesar de que se desarrolla en suelos sueltos y con un buen drenaje, se ha adapta a las condiciones físicas del área. De igual manera, la especie Pinus greggi y pino azul son recomendados para la plantación de individuos arbóreos, puesto que, en reforestaciones pasadas se trasplantaron árboles (Fornios) y diferentes especies de la familia de pinos que no han logrado un desarrollo favorable por su mal estado es difícil distinguir.

En conclusión, el índice NDVI y SAVI rebela una vegetación en estado aceptable con predominio en estas áreas, mientras que, la vegetación e individuos arbóreos de estado favorable, se encuentra fuera del área de los Parques y es representada en tonalidades rojizas, a pesar de que la imagen que se maneja es del mes de marzo, están visiblemente bien definidos. Sin embargo, se debe de tener claro que para este sitio se manejaron imágenes con una resolución de 10m sobre una superficie inferior a una hectárea.



Mapa 4.- Modelo espacial del arbolado y vegetación de ornato y arbustos, Ecoparque Revolución.

El trabajo reflejó que las áreas verdes representan una falta de cuidado y mantenimiento provocando la existencia de árboles que requieren de atención inmediata, ya que se puede observar especies que han llegado al punto de ser naturaleza muerta.

Parque El Tejocote

El parque El Tejocote (2594 msnm), se localiza en la localidad de San Diego Linares, población que cuenta con más de 2914 personas (INEGI, 2020), ubicado en el municipio de Toluca, con coordenadas al Este 433019.2 y al Norte en 2143116(Mapa 5).



Mapa 5.- Mapa de ubicación del Parque El Tejocote

Cuenta con un clima subhúmedo con lluvias en verano, en donde, se presenta mayor humedad y se ubica en el rango de precipitación media anual de 800 – 1500mm.

El área de interés se ubica sobre suelo y roca ígnea extrusiva del Cuaternario y lomerío, es un área con suelo predominante Phaeozem, suelo que se forma sobre material no consolidado y es muy característico del clima que presenta San Diego Linares. De acuerdo con SEMARNAT (2015), son suelos oscuros y ricos en materia orgánica, por lo que son muy utilizados para la agricultura, además de ser favorecedores para la vegetación natural de pastos altos o bosques; sin embargo, las sequías periódicas y erosión eólica e hídrica son la principal limitante.

El índice de vegetación NDVI refleja un parque con mayor vegetación en condición aceptable a buena, representado en rangos de 0.21 a 0.52; sin embargo, el índice SAVI exterioriza más a detalle el comportamiento saludable de la vegetación y árboles del área, con rangos que van de 0.14 a 0.22, presentando colores que van en tonalidades verdes y rojos, presentándose en la mayor parte de la zona, haciendo hincapié en la zona centro. La reflectancia que se asemeja más a el área de infraestructura solo se encuentra en el lado Sureste y parte oeste, por lo que representa la presencia de infraestructura o vegetación en condiciones no favorables (Figura 5).

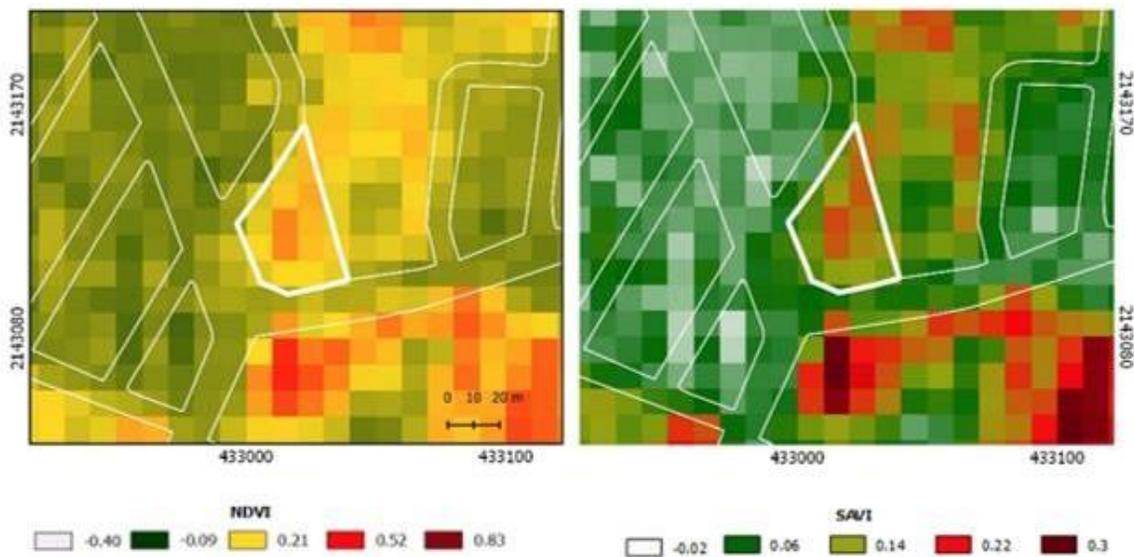


Figura 5.- índice NDVI y SAVI aplicado al Parque El Tejocote

El parque actualmente cuenta con 54 individuos arbóreos de los cuales 32 son árboles que se encuentran en Buen estado, 20 en estado aceptable y 2 en riesgo.

No obstante, a pesar de que las condiciones son favorables para los árboles, los arbustos no cuentan con la misma respuesta, puesto que existen 15 especies de vegetación de ornato y arbusto en estado aceptable, siendo estas aptas para su mantenimiento y recuperación (Mapa 6).

Durante la reforestación del 2018 se plantaron 30 árboles de acacia azul, árboles que no son aptos para este sitio, debido al espacio, es decir, por ser un árbol muy exigente ya que las raíces pueden levantar hasta pavimentos; a pesar de que es un árbol que se adapta a todo tipo de suelo, este no se ha visto favorecido para su desarrollo en este parque. De la misma manera la especie gazania no ha tenido resultados favorables, además de que es una especie de porte rastrero que sufre daños por terceros, a causa de los usuarios del parque, por una falta de educación ambiental.



Mapa 6.- Modelo espacial del arbolado y vegetación de ornato y arbustos, El Tejocote.

Parque Atentli

El parque Atentli se localiza en la comunidad de San Juan, municipio de San Mateo Atenco, municipio que cuenta con una población de más de 2330 habitantes (INEGI, 2010). Se ubica en las coordenadas 444979.98 E y 2130881.01 N a 2574 msnm (Mapa 7).



San Juan, San Mateo Atenco.
Escala numérica: 1 : 7000



Parque Atentli.
Escala numérica: 1 : 1100

Mapa 7.- Mapa de ubicación del Parque Atentli

Tiene un clima Templado subhúmedo con lluvias en verano y una humedad mayor(100%), el rango de la temperatura oscila entre los 10°C a 14°C y el rango de la precipitación media anual esta entre 800mm a 1000mm (INEGI, 2020).

El parque se localiza en un relieve de llanura, asimismo presenta suelo de tipo Phaeozem, (INEGI, 2010), como se mencionó anteriormente, es un suelo rico en materia orgánica, favorecedor para la vegetación arbustiva y natural, pero es débil ante la erosión eólica y sequias, causando una limitante en el suelo fértil.

Los índices NDVI y SAVI destacan valores altos, en ambos casos representa la vegetación más densa y con mayor reflectancia en el infrarrojo cercano, exteriorizando que la vegetación y arbolado que se ubica en la zona Este presentamayor densidad, así como salud, no obstante, cabe destacar que el índice SAVI genera condiciones sobre la temperatura y la humedad que ejercen influencia sobrelas bandas analizadas (Figura 6).

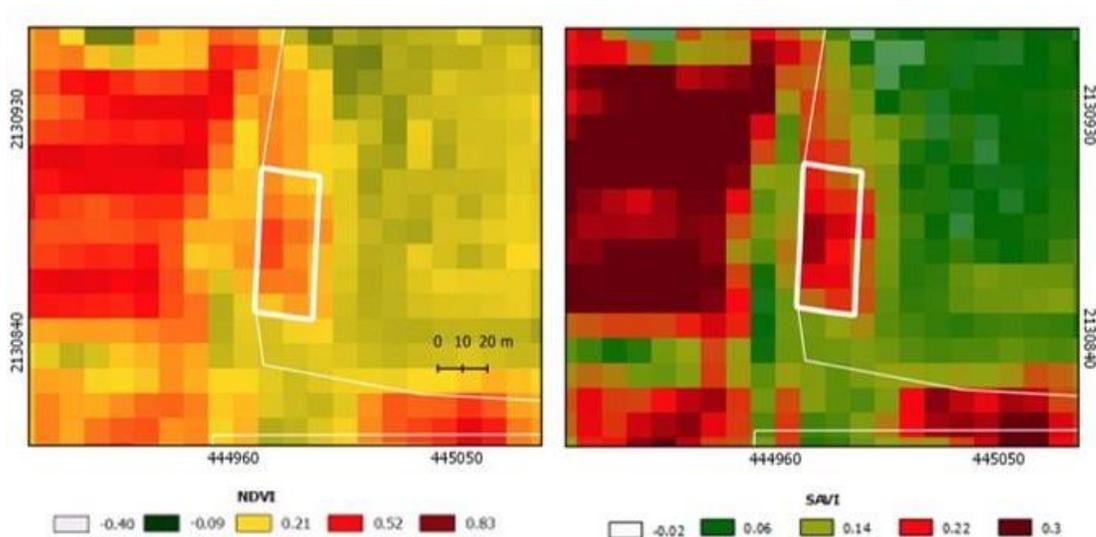


Figura 6.- índice NDVI y SAVI aplicado al Parque Atentli.

Teniendo en cuenta que el Parque Atentli se localiza a tan solo unos metros del río Lerma, el índice SAVI refleja valores más cercanos a la realidad de la presencia y estado de la vegetación. No obstante, se debe de hacer uso de más índices de vegetación como puede ser el índice de la humedad.

La vegetación en este sitio cumple como un elemento importante para sobrevivir ante la dinámica de la contaminación climática, hidrológica y edafológica del área que los rodea. Esta relación en la parte Este del parque controlan el estado y presencia de la vegetación y de los árboles, convirtiéndose en uno de los principales factores limitantes para su desarrollo; con base a esta circunstancia existen 6 árboles que requieren de un cambio. Sin embargo, en la parte Oeste la vegetación en un porcentaje mayor se ha desarrollado de una manera favorable.

En la implementación del programa de reforestación, la incorporación de la especie sauce llorón (*Salix Babylonica*), ha sido una de las especies arbóreas favorables por su presencia, pero cabe destacar que es expansivo y llega a tener de 6 a 10 m en la copa, por lo que se recomienda que esta especie ya no se implemente en la zona Oeste, puesto que está generando una afectación a la especie de pinos presentes en ese sitio.



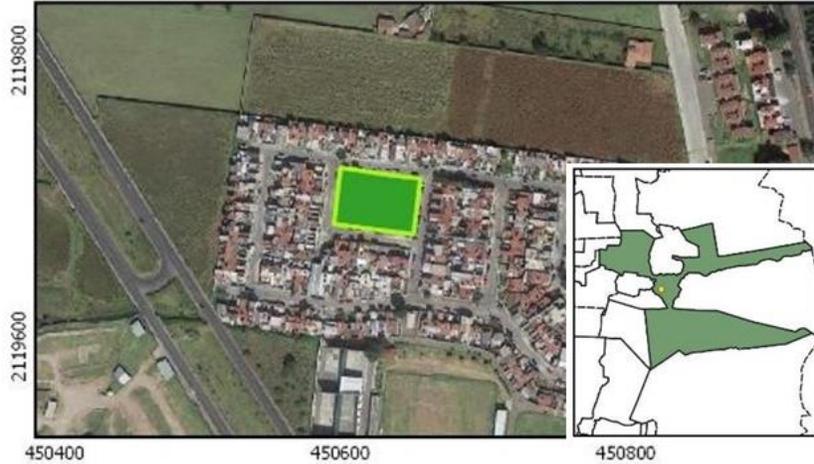
Mapa 8.- Modelo espacial del arbolado y vegetación de ornato y arbustos, Parque Antentli.

Finalmente, la especie *Bauhinia forticata* (Pata de vaca) es apta para lugares húmedos, entonces es favorable plantar en el área oeste con una distancia y sitio óptimo para su desarrollo, además de la implementación de la vegetación ornamental, como es el Lirio persa por ser una planta de alta resistencia; o también existe la opción de seguir plantando la especie fornios.

Respecto a la vegetación arbustiva y de ornato, se encuentra solo 10 arbustos, de ellos dos necesitan cambio por el deterioro que presentan, y uno está en riesgo, mientras tanto los demás se encuentran entre una condición que va de aceptable a bien.

Parque Izcalli, Tianguistenco

El parque Izcalli, se ubica en el Conjunto Urbano Habitacional Izcalli, Santiago Tianguistenco, en las coordenadas: 450625.4 E y 2119701.0 N a 2628 msnm (Mapa 9).



Conjunto Urbano Habitacional Izcalli
Escala numérica: 1 : 7000



Parque Atentli.
Escala numérica: 1 : 1100

Mapa 9.- Mapa de ubicación del Parque Izcalli, Tianguistenco.

Presenta un clima subhúmedo con lluvias en verano, ubicándose en un rango de precipitación que va de 800 – 1500 mm. Se ubica sobre suelos y rocas ígneas extrusivas del Cuaternario y en llanura; el tipo de suelo es vertisol (INEGI, 2020).

Los resultados obtenidos en el índice de NDVI, exteriorizan la presencia de vegetación con una condición fitosanitaria aceptable, no obstante, existen resultados que no ejerce jerarquía de la vegetación sobre la infraestructura, como consecuente se puede detallar que este sitio cuenta con mayor vegetación, asimismo en la parte Norte se observa vegetación en una tonalidad roja muy tenue, efectuando que la vegetación o individuo arbóreo de ese espacio se encuentra en un estado saludable (Figura 7).

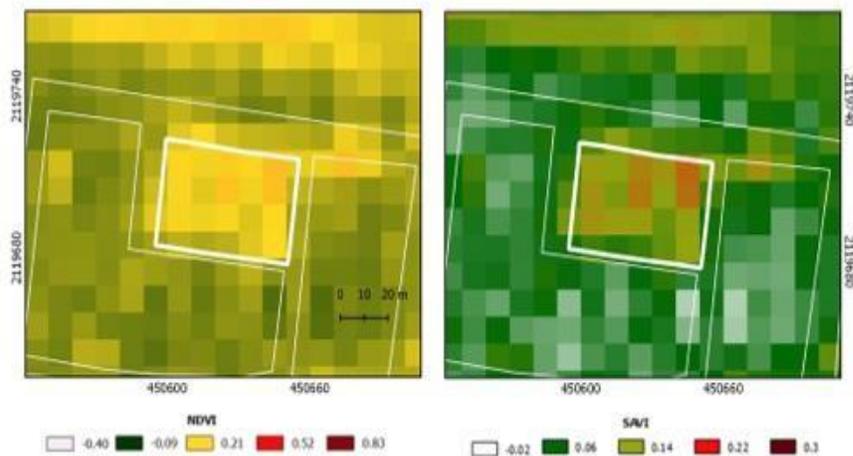


Figura 7.- índice NDVI y SAVI aplicado al Parque Izcalli, Tianguistenco.

Dentro de los resultados que arrojó el índice SAVI, exterioriza que los valores en la parte sureste son más acordes a la infraestructura, deduciendo que la vegetación no lleva el mismo patrón de plantación lineal, como es el caso de los parques anteriores. Sin embargo, la reflectancia del infrarrojo visible es mayor en la zona Norte con dirección al centro, manifestando la presencia de árboles o vegetación saludables. También, en pequeñas fracciones del parque se visualiza tonalidades verdes que se encuentran dentro de los rangos 0.06 a 0.13, por ello, se destaca más del índice NDVI.

La reforestación que se llevó a cabo en septiembre del año 2018, se enfocó en la implementación de más de 50 árboles en especie *Fraxinus udhei* (fresno) y más de 100 árboles *Ligustrum lucidum* (trueno), pero a pesar de la existencia de estos individuos arbóreos en el parque, son muy pocos los que sobreviven en este hábitat y lo mismo pasa para la vegetación ornamental, la exposición de especies *Lampranthus spectabilis* (dedo de moro), en gran cantidad han pasado a no tener presencia dentro del parque.

Las condiciones que se dan con las relaciones en la interacción con los usuarios del parque han delimitado su desarrollo, provocando el daño a estas especies, por ser de porte portero.

En el área de vegetación ornamental se encontró que la especie *Iris Japonica* (Liriopera), es una de las plantas arbustivas que se ha desarrollado de forma positiva, con mayor dominancia, por lo que se recomienda seguir su plantación en el área sureste y este, por ser una planta de alta resistencia, abundante follaje y estéticamente florece todo el año.

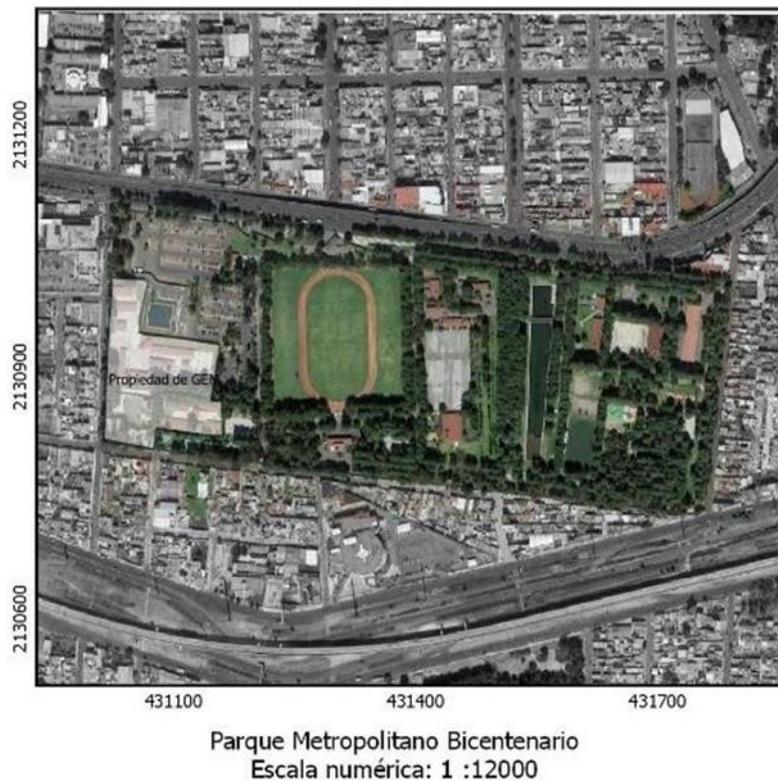
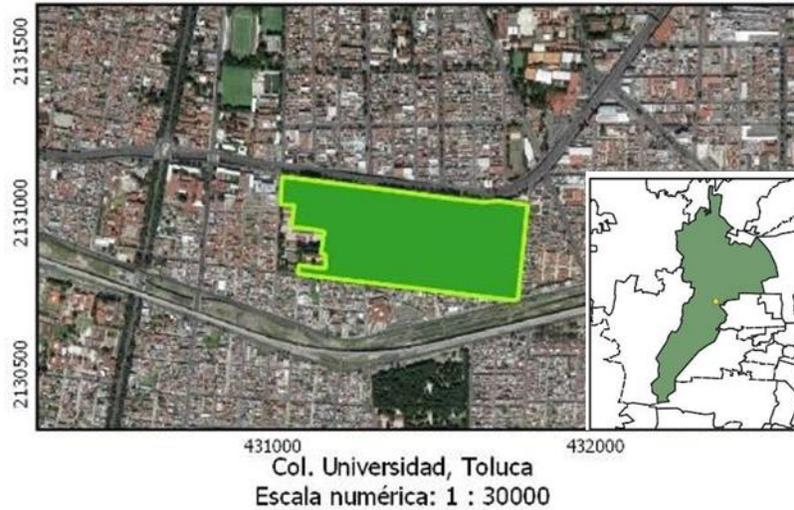
La especie *Cupressus macrocarpa* (Cedro Limón), es un individuo recomendable para plantar, habitualmente crece metro y medio por año y requiere de mínimos cuidados, además de que se adapta a todo tipo de climas. El parque no es un sitio óptimo en cuanto a la calidad de limpieza, por tanto, esta especie favorece al lugar, ya que despiden un aroma característico.



Mapa 10.- Modelo espacial del arbolado y vegetación de ornato y arbustos, Izcalli, Tianguistenco

Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca

El parque Metropolitano Bicentenario se localiza en el municipio de Toluca, en las coordenadas 431395.28 E y 2130932.10 N a 2683 msnm; es considerado parque urbano, además de estar en el registro de las Áreas Naturales Protegidas y cuenta con una superficie de 19.69 hectáreas. Fue inaugurado en el año 2011, el cual ocupa el espacio de lo que antes era la 22ª Zona Militar. (Mapa 11).



Mapa 11.- Mapa de ubicación del Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca.

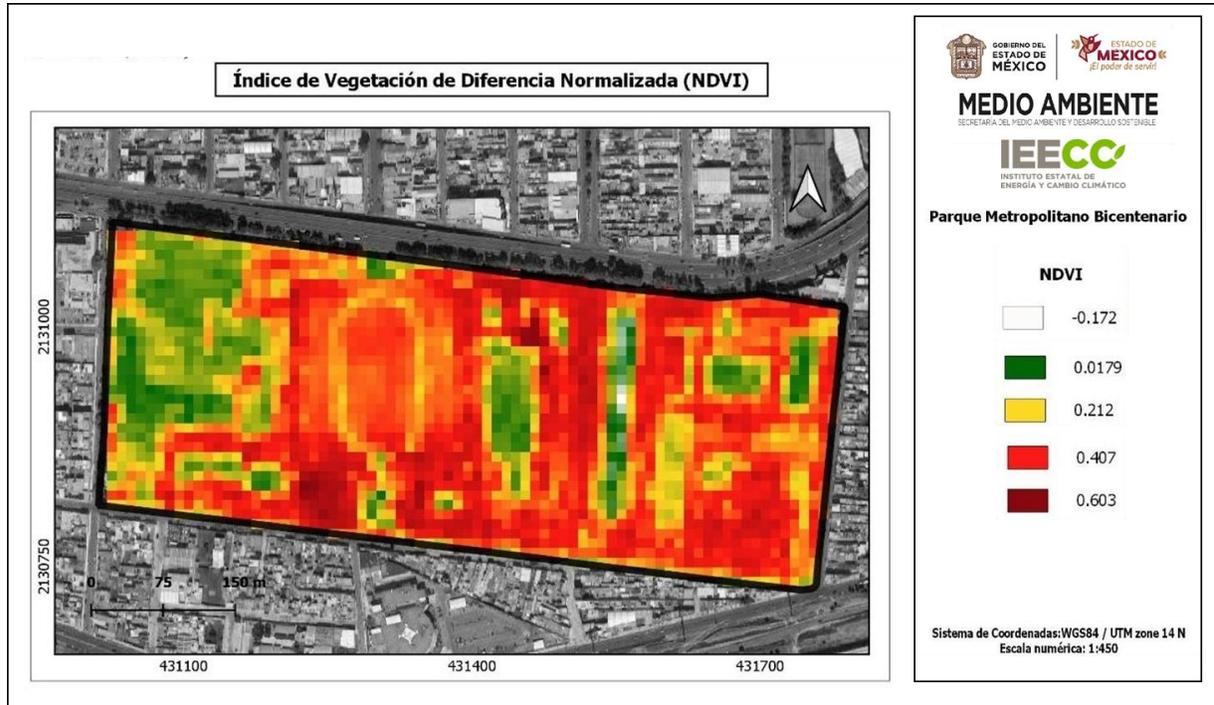


El clima predominante de esta área es templado subhúmedo con lluvias en verano (Cw2), de mayor humedad; el rango de la temperatura se efectúa entre los 4° C a 14° C y el rango de la precipitación oscila entre 800 y 1500 mm (INEGI, 2020).

En la parte Geológica, se ubican rocas clásticas y volcánicas, con suelos Feozem Háplico + Vertisol pélico con textura media. Los suelos Feozem tienen un alto contenido en materia orgánica, son muy fértiles, aptos para el cultivo, sumamente proclives a la erosión, característicos de climas templados y húmedos. Mientras que los suelos vertisol, son suelos altamente arcillosos que se desarrollan en climas subhúmedos. Como plantea SEMARNAT (2002) ambos suelos presentan una dureza cuando están secos y lodosos al mojarse (debido a su alto contenido de arcilla), por lo que algunas veces resulta difícil trabajarlos.

Los valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), manifestaron que el parque Bicentenario, es un área con densa vegetación y cuya ubicación se encuentra en el Centro en dirección al Este, vegetación que se presenta en un estado aceptable y se expone en tonalidades rojas con un rango de 0.407; referente a al lado Oeste se visualiza la ausencia de vegetación, así como vegetación en condiciones fitosanitarias bajas, indicando la poca vigorosidad de la vegetación. En la imagen también se visualiza la presencia de agua en un color blanco, sin embargo, es una mínima porción, por ello, es aquí en donde la relación del índice SAVI permitirá la reflectancia más a detalle de esta porción del parque (Mapa 12).

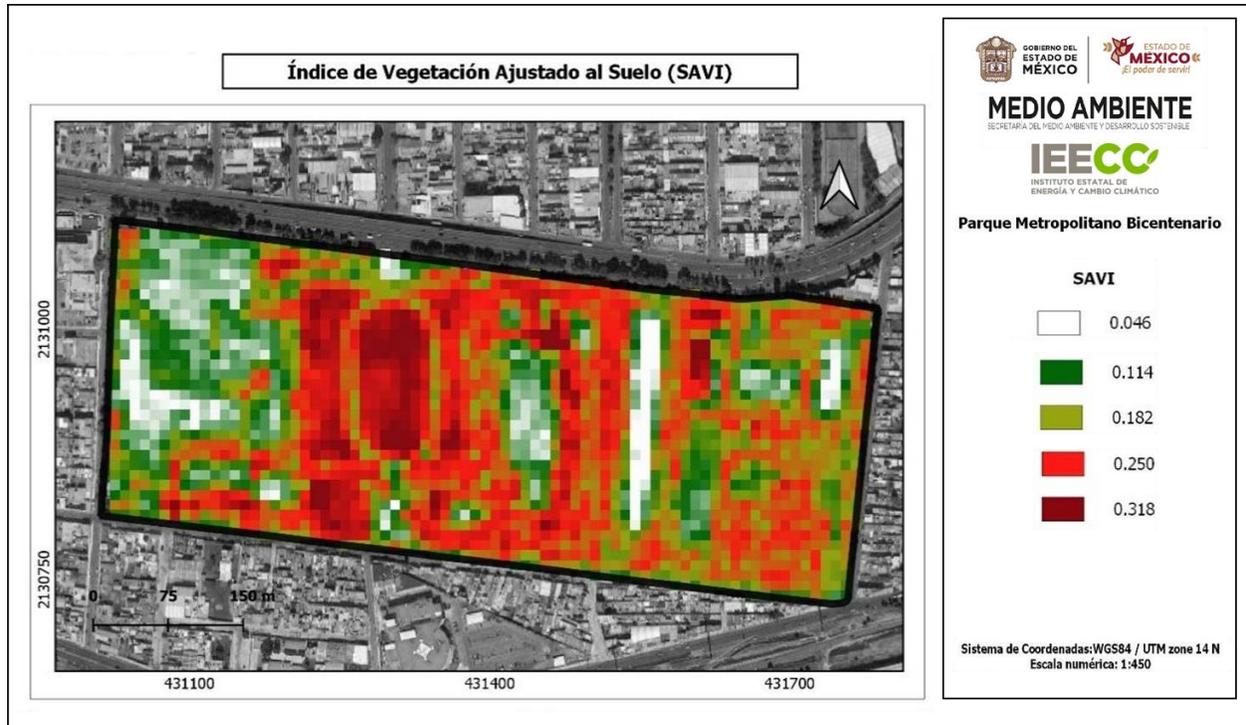
En este sentido si no se tuviera conocimiento de la infraestructura verde con la que cuenta el parque, los resultados se presentarían con una vegetación densa, en buen estado en mayor parte, y la especie que predominarían sería los individuos arbóreos; mientras que la vegetación representada por colores amarillos su estado sería regular, siguiendo un patrón de plantación lineal.



Mapa 12.- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca.

Sin embargo, en el caso del índice SAVI (Mapa 14), expone a mayor detalle el tipo de infraestructura que conforma el parque, tal es el caso de la presencia de agua en la porción centro con dirección este, abarcando de norte a sur, además que en la porción Oeste manifiesta la presencia de suelo, siendo visiblemente bien definido.

Como se ha mencionado anteriormente, el parque era un área perteneciente a la Zona Militar, por ende, la vegetación en su totalidad no es de años recientes, pero cabe destacar que hay pequeñas franjas que han servido para ser reforestadas, puesto que se han tenido que retirar ciertos individuos arbóreos por su edad biológica presente, pues era un riesgo para los usuarios del parque, esta área se ubica en las coordenadas 2130850.53N y 431486.09, espacio que se extiende de Norte a Sur. Con base el índice NDVI, se puede visualizar que en dicha área los árboles y la vegetación arbustiva se han desarrollado favorablemente; mientras que el índice SAVI, expone césped o una vegetación en condición aceptable.

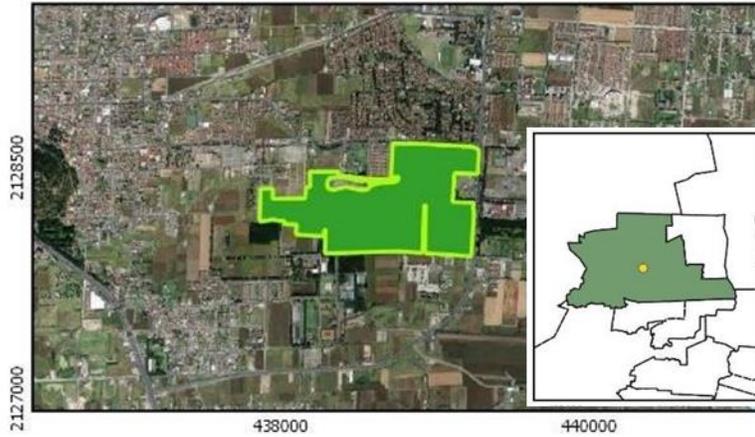


Mapa 13.- Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), Parque Metropolitano Bicentenario, Toluca.

La vegetación presente en el parque es vegetación inducida, siendo el cedro blanco (especie originaria de México) una especie predominante en este sitio; con la intención de tener una mayor variedad en individuos arbóreos. En los programas de reforestación se han plantado árboles frutales, destacando en pequeños jardines con fines llevados por los usuarios para la meditación, por lo que no se ven afectados en gran medida, como es el caso de la vegetación de porte rastrero, ya que por ser un área muy concurrida siempre sufre de afectaciones.

Parque Ambiental Bicentenario Metepec

El parque Ambiental Bicentenario se ubica en el municipio de Metepec, en las coordenadas 438879.58 E y 2128250.44 N a 2601 msnm. Es un parque urbano y es considerado como Área Natural Protegida (Mapa 15), con una superficie de 100.93 hectáreas.



Col. Santiaguito
Escala numérica: 1 : 60000

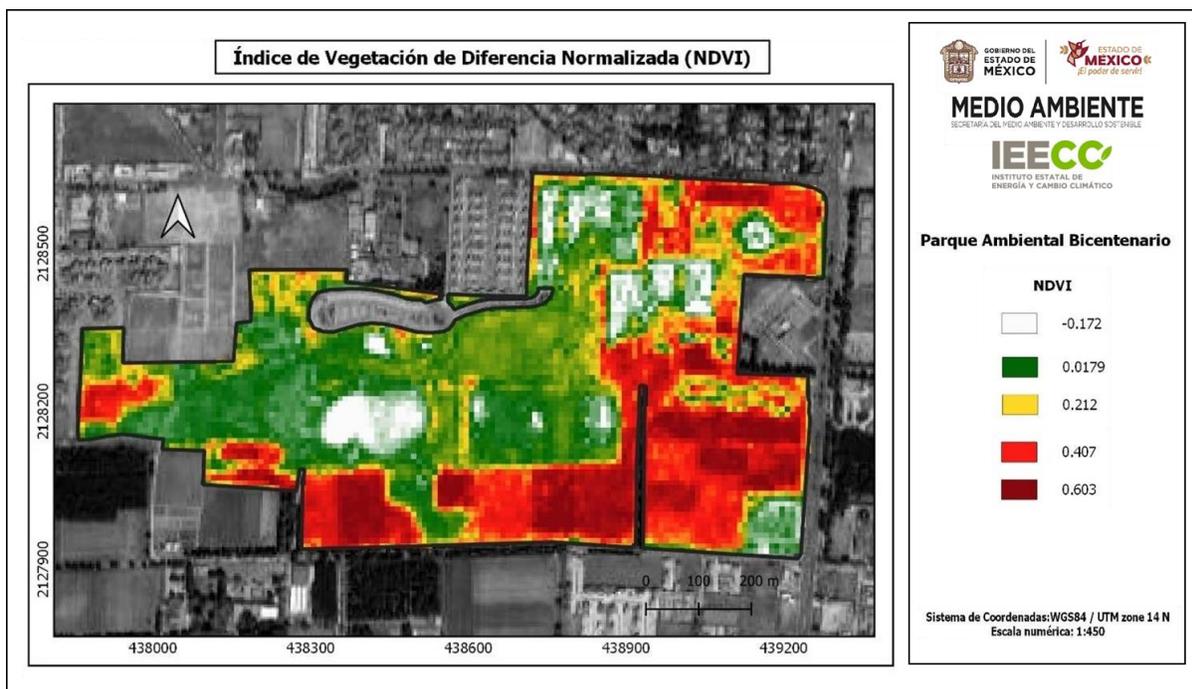


Parque Ambiental Bicentenario
Escala numérica: 1 : 25000

Mapa 14.- Mapa de ubicación del Parque Ambiental Bicentenario, Metepec.

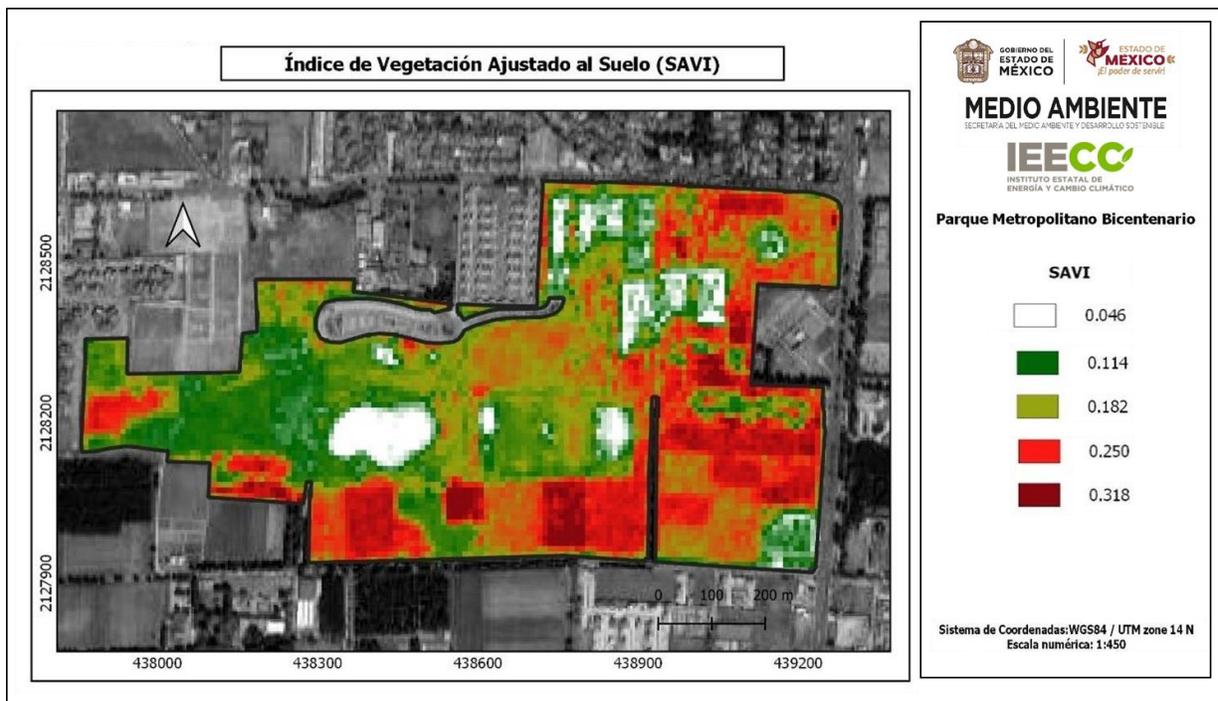
El índice NDVI (Mapa 15) muestra mayor diversidad de árboles en estado saludable, con presencia en la parte Sur y Sureste, puesto que los valores establecen que la mayor parte de la vegetación se encuentra en buen estado, ya que las tonalidades se exponen entre los rangos que van de 0.47 a 0.60. Para el caso de la zona Nortese puede observar que las áreas verdes tienen un estado regular fitosanitario, no obstante, consigue interpretar que la vegetación presente es de áreas concurridas, como por ejemplo espacios deportivos, por lo cual el crecimiento puede ser de pasto que se ven interrumpidos por la constante presencia de los usuarios.

También es característico que la vegetación que rodea la infraestructura o cuerpo de agua despliegue tonalidades en color amarillo, manifestando que estas áreas se encuentran en un patrón lineal que funge como árbol de seto (cerca o barrera), cuyo objetivo es establecerse como limitante de las áreas con infraestructura y vías peatonales, causando un estado regular en la vegetación.



Mapa 15.- Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), Parque Ambiental Bicentenario, Metepec.

Dentro del índice SAVI, se incrementó los colores rojos, en las áreas de césped representados por el índice NDVI en color verde y cuyos rangos van de 0.0179 a 0.211, pues el índice SAVI cumplió con su función de exteriorizar el pasto y el suelo desnudo; asimismo las áreas de infraestructura y cuerpos de agua se exhiben dentro de rangos que oscilan en - 0.046, describiendo de una manera más clara y concisa los resultados del índice de vegetación. Conjuntamente la zona sureste obtuvo resultados favorables en el índice NDVI, mientras que, en el SAVI (Mapa 16), interpone la presencia de zonas de suelo desnudo, reflejando una vegetación que pasa de un estado saludable a regular.



Mapa 16.- Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI), Parque Ambiental Bicentenario, Metepec.

El parque presenta estratos en los que se ha llevado a cabo el programa de reforestación en el cual se implementó la plantación de la especie *Liquidambar styraciflua* (Liquidambar) y *Ligustrum japonicum* (trueno), puesto que la mayor presencia de especies son pinos y cedros predominantes en este sitio.

Debido a que es un lugar concurrido, para la selección de la vegetación de ornato y arbusto se recomienda plantar especies *Phornium tenax* (planta que se adapta a cualquier tipo de suelo) e *Iris Japonica* (por ser una planta de alta resistencia), en sitios estratégicos que permitan su desarrollo.



5. Conclusiones





Con los resultados expuestos en este estudio se obtuvo que:

De acuerdo con las cédulas de reforestación, la vegetación existente en los sitios de interés (parques de la ZMVT) no cuentan con el número de vegetación o individuos arbóreos registrados como plantados en el programa de reforestación 2018-2019, puesto que se presenta un número inferior.

Así mismo, los macizos arbóreos en cada parque no son una característica sobresaliente de estos sitios, excepto de los Parques Urbanos, considerados dentro de las Área Naturales Protegidas.

Metodológicamente se comprobó que el modelo espacial SAVI, exterioriza de una manera más exacta los resultados del comportamiento de la vegetación muerta, estresada o sana.

No obstante, el índice NDVI muestra a pesar de la resolución y vegetación de baja densidad, información significativa a considerar.

Y el comportamiento observado de las especies reforestadas depende de las características físico-geográficas del sitio y de la selección adecuada del área (distancia de plantación).

También se destaca que el estado que presenta la vegetación se debe a factores externos que incluyen: la interacción de la vegetación con los usuarios y la falta de mantenimiento, no obstante, en el periodo de las visitas en campo, por órdenes gubernamentales estos espacios se mantuvieron cerrados, situación a considerar para un estudio más detallado a futuro.

El monitoreo de la vegetación a través de modelos espaciales es una de las formas óptimas para mantener un inventario con un comportamiento de constante cambio, puesto que no es más que una representación simplificada de la realidad relativa, que permite la reducción de costos en la toma de decisiones para el mantenimiento y conservación de las áreas verdes.

Se estimó que cinco espacios verdes (parques), no cuentan con la vegetación suficiente puesto que la densidad que presenta es mínima. Por ello, en cada uno de los espacios la disponibilidad de áreas verdes por habitante es insuficiente, de acuerdo con las recomendaciones de la OMS.

La identificación, análisis y evaluación de riesgos estudiados en las especies plantadas en cada uno de los parques, accede cuantificar el tipo de atención requerida, por medio de las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica, Percepción Remota y Teledetección.



6. Fuentes





Antes, M.; Cuello, A.; Ortone, A. (2019). Teledetección y SIG aplicados al monitoreo de la reservanatural de la defensa campo Mar Chiquita. Buenos Aires.

Boa, E., (2008). Guía ilustrada sobre el estado de salud de los árboles. Reconocimiento e interpretación de síntomas y daños. San salvador, El Salvador. FAO.

Borja, J. (1998). Ciudadanía y espacio público. Ambiente y Desarrollo Vol. 14, No.3, pg. 15.
Chaparro, L. y Terradas, J. (2009). "Ecological services of urban forest in Barcelona." Centre de Recerca Ecológica Aplicacions Forestals - Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra España en: <https://www.itreetools.org/resources/reports/Barcelona%20Ecosystem%20Analysis.pdf>.

Canosa, E., Sáez, E., Sanabria, C., De Zavala, I. (2002). Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a un estudio de parques urbanos de la Comunidad de Madrid. Universidad de Madrid. ISBN 9788487528477.

Consejo Estatal de Población, Edomex. Zonas Metropolitanas del Estado de México. Secretaria General de Gobierno. Coordinación General de Conservación Ecológica. Secretaría del Medio Ambiente. Estado de México.

De Nova, E., Castro, G. y Ramos, H. (2018). Identificación de la vegetación urbana de la Ciudad de México; evaluación de cuatro métodos para la determinación de umbrales en el índice normalizado de diferencias de vegetación y de la clasificación supervisada. INEGI. Vol. 9 Núm. 3

Domínguez, A. (2016). Estimaciones de captura de los parques y emisiones de CO vehicular en Tijuana, B. C. (Tesis de Maestría). El colegio de la Frontera Norte. Tijuana, B.C. México.

Fuentes, M., (2015) "Red Estatal de Parques y Bosques Urbanos". Dirección de Conservación del Patrimonio Natural. Secretaría de Medio Ambiente.

Cómez, M. (2005). Índice de vegetación en áreas del bosque seco del noroeste del Perú a partir de imágenes satelitales. Universidad de Piura. Perú.

Hernández, J., (2000). Manual de métodos y criterios para la Evaluación y Monitoreo de la Flora y la Vegetación. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile.

Hunter, D. y Heywood, V. (2011). Parientes Silvestres de los cultivos. Manual para la conservación In Situ. Bioversity International. Roma, Italia. 1. Ed.

IMPLAM, (2012). Indicador de áreas verdes del municipio de León Guanajuato. León, Guanajuato: IMPLAN.

JardineríaOn. <https://www.jardineriaon.com/category/arboles-arbustos>.

Ministerio del Ambiente – MINAM, (2018). Superficies de área verde urbana por habitante. <https://sinia.minam.gob.pe/indicadores/superficie-area-verde-urbana-habitante>.

NaturaGis. Proyecto COPERNICUS: Teledetección con imágenes SENTINEL. <https://naturgis.es/2018/04/23/proyecto-copernicus-teledeteccion-con-imagenes-sentinel/>

Muñoz, P., (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de Vegetación. Centro de Información de Recursos Naturales. Ciren.

Norma Técnica Estatal Ambiental NTEA-018-SeMAGEM-DS-2017. Gaceta del Gobierno, Gobierno del Estado de México.

Nowak, D., Dwyer, J. y Childs, G. (1997). Beneficios y costos de manejo de áreas verdes urbanas. Manuscrito para publicación en Anales del Seminario sobre Areas Verdes Urbanas desarrollado en la Ciudad de México, Universidad Autónoma de Chapingo.

Opazo, S., Garay, E., Muñoz R., López G., Aguilar R., y Radic, S., (2014). Desarrollo de una plataforma web sig para el monitoreo dinámico de pastizales en Magallania. Anales Instituto Patagonia (Chile).Vol 42, no. 2. Pauta Arenas.

Ochoa, J., (1999). La vegetación como instrumento para el control microclimático (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona.

Pardos, J., (2010). “Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global”, Madrid, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria - Alimentaria Ministerio de Ciencia e Innovación, junio, p. 253, en: http://www.inia.es/gcontrec/pub/60587OT_LIBRO_WEB_1277883079734.pdf.

Plan de Desarrollo Urbano del Valle de Toluca (2015). Estado de México. Volumen I.

Ponce, D., (2010). Presente y futuro de las áreas verdes y del Arbolado de la Ciudad de México. CDMX. Primera edición. ISBN.

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal. Manejo y conservación de áreas verdes (2003). Informe anual. México.

Portuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Almoloya de Juárez, Estado de México.

Portuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Toluca, Estado de México.

Portuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. San Mateo Atenco, Estado de México.

Portuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Tianguistenco, Estado de México.

Portuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, (2010). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Metepec, Estado de México.

Quiñónez, L., [Tesis de Maestría], (2010). "Gestión forestal urbana como mecanismo de captura decarbono en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana sede Bogotá D.C.", Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad de estudios ambientales y rurales, pp.161.

Ricart, N., & Remesar, A. (2013). Reflexiones sobre el espacio público. Barcelona: Universidad de Barcelona.

Rodríguez, I., & Silva, J. (2010). Los parques como elementos de sustentabilidad de las ciudades. Revista Fuente Año 2 No. 5, pg. 7.

Ruano, M., (1999). Ecourbanismo, Entornos humanos sostenibles: 60 proyectos. Ed. GG. Barcelona. GUSTAVO GILI.

Sánchez, C., Illoldi, M., Fuller, T., Sarkar, S. (2008). ¿Por qué hay un costo en posponer la conservación de la diversidad biológica en México? Conabio. Biodiversitas 76: 7-12.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 2008: Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Edición 2008. Compendio de Estadísticas Ambientales. México.

Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). Manejo de las áreas verdes urbanas. Washington D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo. No. RNV-109.

Stoffberg, G., Van, M., Van L., M. y Groeneveld, H. (2010). "Carbon sequestration estimates of indigenous street in the City of Tshwane, South Africa", Urban forest and urban greening, Elsevier, vol.9, núm. 1, pp. 9-14.

Oke, T., (1993). "Boundary layer climates" 2ª ed. Routledge, London.

Tucker, G., Bubba, P., de Heer, L., Miles, L., Lawrence, A., Bajracharya, S.B., Nepal, R. C., Sherchan, R. y Chapagain, N. R. (2005) Guidelines for Biodiversity Assessment and Monitoring for Protected Areas, KMTNC, Katmandú, Nepal.

Ulrich R. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. Science. 224: 420 - 421.



Vázquez, C., A. I. Batis M., Alcocer, S., M. Gual Díaz y C. Sánchez D., (1999). Árboles y arbustos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación. Reporte técnico del proyecto J084. CONABIO - Instituto de Ecología, UNAM.



7. Anexos



Programa de Reforestación 2018

PROGRAMA DE REFORESTACIÓN 2018					
INCREMENTO DE COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS VERDES URBANAS DEL ESTADO DE MÉXICO CÉDULA DE REGISTRO DE PLANTACIÓN					
Arborización	Árbol	09/08/2018	AVU Atentli	San Mateo Atenco	Se llevo a cabo una jornada de reforestación en la que se plantaron 30 fresno (Fraxinus sp.), 20 sauce llorón (Salix Babylonica), 20 acacia negra (Acacia melanoxylon).
		14/09/2018	Parque Centenario de la Revolución	Moloya de Juárez	Se plantaron 40 árboles de pino (pinus greggi) en el parque Centenario de la Revolución.
		25/09/2018	EcoParque de la Revolución Mexicana	Moloya de Juárez	Se plantaron 15 árboles de pino (pinus greggi) en el EcoParque de la Revolución Mexicana.
		25/09/2018	Izcalli Santiago	Santiago Tianguistenco	Se plantaron 70 árboles de fresno (Fraxinus udhei) en el parque Izcalli Santiago.
		27/09/2018	El Tejocote	Toluca	Se plantaron 30 árboles de acacia azul (Acacia saligna) en el parque El Tejocote.
Plantación de arbustos y plantas ornamentales	Planta	14/09/2018	Parque Centenario de la Revolución	Moloya de Juárez	Se plantaron 40 plantas de bandera española (Lantana camara) en el parque Centenario de la Revolución.
		25/09/2018	EcoParque de la Revolución Mexicana	Moloya de Juárez	Se plantaron 10 plantas de bandera española (Lantana camara) en el EcoParque de la Revolución Mexicana.
		25/09/2018	Izcalli Santiago	Santiago Tianguistenco	Se plantaron 35 plantas de bandera española (Lantana camara) en el parque Izcalli Santiago.
Plantación de setos	Planta	14/09/2018	Parque Centenario de la Revolución	Moloya de Juárez	Se plantaron 800 plantas de dedo moro (Lampranthus spectabilis) y 200 cedro blanco (Cupressus lusitanica) en el parque Centenario de la Revolución.
		25/09/2018	Izcalli Santiago	Santiago Tianguistenco	Se plantaron 600 plantas de dedo moro (Lampranthus spectabilis) y 400 trueno (Ligustrum lucidum) en el parque Izcalli Santiago.

Tabla 8.- Cédula de registro de plantación, reforestación 2018. (Cédula proporcionada por la Coordinación General de Conservación Ecológica, Secretaría del Medio Ambiente, EDOMEX).



Programa de Reforestación 2019

PROGRAMA DE REFORESTACIÓN 2019 INCREMENTO DE COBERTURA VEGETAL EN ÁREAS VERDES URBANAS DEL ESTADO DE MÉXICO CÉDULA DE REGISTRO DE PLANTACIÓN											
FECHA	MUNICIPIO	COMUNIDAD	OMBRE DEL PARQUE	ESPECIE		CANTIDAD POR ESPECIE			CANTIDAD POR AVU		
				NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	ARBOL ES (TOTAL)	PLANTAS DE ORNATO	ARBOLES (SETO)	ARBOLES (TOTAL)	PLANTAS DE ORNATO Y ARBUSTOS	ARBOLES (SETO)
DELEGACIÓN REGIONAL TOLUCA											
03 de junio	Toluca	San diego Linares	El Tejocote	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar	5					
03 de junio	Toluca	San diego Linares	El Tejocote	<i>Gazania nivea</i>	Gazania		400				
24 de junio	Almoloya de J	Conjunto SUTEY M	Eparque de la Revolución	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar	10					
25 de junio	Almoloya de J	Conjunto SUTEY M	Eparque de la Revolución	<i>Gazania nivea</i>	Gazania		100				
25 de junio	Santiago Tian	Izcalli Santiago	Izcalli Santiago	<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar	25					
26 de junio	Santiago Tian	Izcalli Santiago	Izcalli Santiago	<i>Gazania nivea</i>	Gazania		600		16	850	
e agosto de 2019	an Mateo Atenco			<i>Gazania nivea</i>	Gazania		250		16	250	
					Pata de vaca	1					
				<i>Grevilea robusta</i>	Grevilea	5					
				<i>Fraxinus Uhdei</i>	Fresno	10					
							5				
							8				
							8				
26 de septiembre de 2019	moloya de Juárez		Centenario de la Revolución		pino azul	10					
				<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar	15					
					Rayito de sol		50				
				<i>Gazania nivea</i>	Gazania		50				
					Fornios		100				
					Bandera española		50				
					Dedo moro		300				
	Patita de perro		105								

Tabla 9.- Cédula de registro de plantación, reforestación 2018. (Cédula proporcionada por la Coordinación General de Conservación Ecológica, Secretaría del Medio Ambiente, EDOMEX).

ANEXO 2:

TÉCNICA DE ESPECIES IMPLEMENTADAS EN EL PROGRAMA DE REFORESTACIÓN 2018 Y 2019

Nombre científico	Especie	Imagen	Características generales
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Liquidambar		<p>Árbol monoico que en cultivo alcanza 10 a 15 m de altura, aunque en estados natural alcanza mayores dimensiones (41m), con un tronco de hasta 2m de diámetro. Las hojas son palmadas y lobulosas, de 7-25cm, y con un peciolo de 6 a 10 cm.</p> <p>Es un árbol ornamental que se puede sembrar individual como en grupos.</p> <p>El suelo debe ser fértil, con buen drenaje y ligeramente ácido (pH de 4 a 6). Sanchez, M. Jardinería On.</p>
<i>Pinus maximartinezii</i>	Pino azul		<p>Es un árbol de 6 a 15 m de alto, con frecuencia ramudo y coparedondeada, de color verde azulado; tronco hasta de 50 cm de diámetro y corteza irregular, ramificado casi desde la base, ramas ascendentes, colocadas de forma irregular en el tallo. Esta especie se distribuye en suelos calcáreos, rocosos, de buen drenaje y muy secos.</p> <p>CONABIO</p>
<i>Bryanthemum roseum</i>	Florito desol		<p>Planta ornamental, es herbácea, perenne, follaje verde grisáceo, rastrera, de 40 cm de alto y de ancho, de ramas extendidas, con hojas sésiles, carnosas, triangulares y flores de varios verticilos.</p> <p>Es una especie que puede darse en cualquier tipo de suelo siempre y cuando tenga un drenaje excelente.</p> <p>Se da en temperaturas cálidas.</p> <p>El mantenimiento y conservación debe de ser de constante control ya que puede ser invasiva. National Germplasm Resources</p>
<i>Gazania rigens</i>	Gazania		<p>Planta herbácea de porte rastrero, la inflorescencia solitaria es de 5 cm de diámetro. Requiere de un suelo con buen drenaje, aunque son tolerables a la sequedad y suelos pobres.</p> <p>Planta perenne cultivada en climas con temperaturas que oscilan entre los 19° a 22°C.</p> <p>Es una especie que si se siembra en espacios nativos y tiende a alterar el hábitat.</p> <p>Garden-Blog-Magazine</p>
<i>Phormium tenax</i>	Fornios		<p>Planta ornamental, hierba perenne, con rizoma, hojas en roseta basal, lineares, acintadas. Aparecen desde la base del tallo pueden llegar a medir hasta 3m.</p> <p>Vive en cualquier tipo de suelo, resiste a bajas temperaturas, además de resistir a sequías y anegamiento, ya que se da en suelo con alta humedad también.</p> <p>Infojardin.com</p>
<i>Lantana camara</i>	Bandera Española		<p>Arbusto perenne, uso ornamental, es una especie invasora y puede crecer de 1 a 3 m. Las hojas son caducifolias, simples, opuestas, pecioladas.</p> <p>Se da en sitios ruderales de terrenos cultivados, pastizales, campos abandonados, orillas de caminos y parcelas.</p> <p>Se da en climas cálidos y templados. Fichas.infojardin.com</p>

<i>Ampranthus spectabilis</i>	Dedo moro		<p>Planta de porte rastrero con tallos que apenas alcanzan los 20cm de altura, sus hojas son pequeñas, triangulares y carnosa, producen abundantes flores.</p> <p>Son plantas que viven en cualquier tipo de suelo e incluso en suelos muy poco fértiles o calcareos. Son resistentes a la sequía. Fichas.infojardin.com</p>
<i>Manayupa</i>	Patita de perro		<p>Planta perenne, crece hasta los 45 cm. de altura, el tallo es ligeramente ramificado, las hojas son compuestas con estipulas, angosta, puntiagudas.</p> <p>Bolívar, M. Jardón Botánico"</p>
<i>Fraxinus udhei</i>	Fresno		<p>Árbol perennifolio o caducifolio, de 15 a 20m (hasta 30 m) de altura y con un diámetro a la altura del pecho de hasta 1m. Copa compactada y redonda hacia la punta. Flores unisexuales, fruto elongado alado (sámara). Tiene tendencia de desarrollar raíz profunda. Le favorecen climas templados. Se desarrolla en suelos arcillosos, arenosos, lava basáltica, ácidos o calcareos, pero que sean profundos, frescos y húmedos.</p> <p>CONABIO</p>
<i>Ligustrum lucidum</i>	Trueno		<p>Árbol perennifolio, crece de 3 a 16 m, es habitual que se quede como un árbol mediano de 7 a 8 m, las hojas son opuestas, van de color verde oscuro a variegada. Es un árbol que da flores que se agrupan en inflorescencias. No cuenta con raíces invasivas, pero si se debe de dejar un espacio para su crecimiento. Crece en suelos fértiles, con buen drenaje. Es un árbol que a veces funge como arbusto. Es un árbol que se da en climas cálidos, pero llega a resistir temperaturas de -12C°. Jardineriaon.com</p>
<i>Salix Babylonica</i>	Sauce llorón (20)		<p>Árbol caducifolio de copa amplia, pendular, en estado adulto llega a medir de 8 a 12m. Posee ramas delgadas, flexibles, largas, colgantes. Su tronco es de 0,4 a 0.6 m. Sus hojas son linear-lanceoladas. Diámetro de copa máximo: 6 a 10 m. Ideal para lugares húmedos. Es aconsejable que en su plantación cuente con una altura no inferior a 2.0m leydearboladourbano.com.</p>
<i>Acacia melanoxylon</i>	Acacia negra (20)		<p>Árbol de copa esférica, puede llegar a una altura de 20m, fuste recto, hojas heterofilias, flores hermafroditas. Tiene un sistema radicular y está compuesto por raíces superficiales. Desarrolla numerosas raíces a ras de tierra que producen numerosas plantas nuevas, lo cual genera una invasión de áreas. Se adapta a todo tipo de suelo, pero no es recomendable para áreas urbanas, no permite el crecimiento de otras plantas bajo su copa. leydearboladourbano.com</p>
<i>Bauhinia forficata</i>	Patita de vaca		<p>Árbol de hoja semipersistente, copa esférica, llega a tener una altura de 15m, su tronco es recto, de color claro. Hojas simples bilobadas. Sus flores son grandes racimos en forma de orquídea. Su crecimiento es lento-medio y longevidad media. Habita en climas templados y cálidos, en margen de ríos y arroyos. No tolera climas fríos. Suelos ligeros, fértiles y bien drenados. leydearboladourbano.com</p>

<i>Grevilea robusta</i>	Grevilea		<p>Árbol perennifolio, alcanza una altura de 18 a 35 m, copa delgada, hojas bipinnadas de color verde y flores en color dorado-naranja. Crece en suelos sin cal, fértiles y con buen drenaje. Resiste a temperaturas de -8° C. Árbol que se debe de plantar como ejemplar aislado.</p> <p>Infojardin.com</p>
<i>Iris Japonica</i>	Lirio persa		<p>Planta rizomatosa de crecimiento moderado, sus hojas son tiras alargadas. Es de abundante follaje y presencia de floreado todo el año. Es una planta de alta resistencia. Follaje perenne, uso ornamental. El suelo debe de ser suelto y bien drenado. Alcanza los .70 cm de altura.</p> <p>https://www.conceptoq.mx/arboles/herbaceas/herbaceas/lirio-persa-3</p>
REFORESTACION 2018			
<i>Pinus greggi</i>	Pino		<p>Conifera de la familia de las Pináceas, crece de 10 a 25 m de altura del tipo perennifolio o hojas permanentes. Posee hojas aciculares de 7 a 14 cm de largo. Especie de rápido crecimiento, que se desarrolla fácilmente en suelos de baja fertilidad (suelos pobres y degradados). Se adapta a condiciones de poca precipitación. Asimismo, se adapta a suelos volcánicos.</p> <p>Yvanosky, J. lifeder.com</p>
<i>Cyanophylla Lindl</i>	Acacia azul		<p>Familia Mimosaceae; árbol o arbusto perennifolio, alcanza de 3 a 8 m de altura, sus ramas son colgantes, el fruto es una legumbre. Especie con raíces que pueden levantar los pavimentos, se adapta a cualquier tipo de suelo (resistente a caliza y a la sequía), es muy exigente en clima y suelo. Crece en todo tipo de suelo.</p> <p>JardineriaOn</p>
<i>Cupressus lusitanica</i>	Cedro blanco		<p>Árbol o arbusto arborescente corpulento, perennifolio, alcanza de 10 a 30 m de altura, con un diámetro a la altura del pecho de 60 cm, copa cónica, hojas en forma de escamas con ápice agudo, imbricadas. Crece en climas subhúmedos y suelos rocosos, aluvión, profundo con humus, profundo sedimentario, somero, rocozo caliza, arcilloso, arenoso, franco arcilloso.</p> <p>CONABIO.</p>

Tabla 10.- Elaboración propia.