



Universidad de Chile

Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Escuela de Postgrado

Magíster en Urbanismo

**DEFINICIÓN DE UN SISTEMA DE INFRAESTRUCTURA VERDE PARA LA ZONA  
METROPOLITANA PUEBLA-TLAXCALA, MÉXICO.**

AFE para optar al Título de Magíster en Urbanismo.

**Samuel Loaiza Maldonado**

Profesora Guía: Paola Velásquez Betancourt

Enero 2022

## *Dedicatoria*

*Especialmente a Saihded, por ser el sustento y motivación para lograr estos estudios,  
a mi madre por el apoyo incondicional y el cobijo ante las adversidades,  
a mi padre por ser el ejemplo de la perseverancia y la confianza ante los cambios.*

*A la memoria de quienes nos acompañaron en este camino JW, EZ, OCH...*

## Agradecimientos:

Al Programa de Magíster de Urbanismo, Facultad de Arquitectura de la Universidad de Chile. Por el invaluable aporte profesional de cada profesor para realizar los cursos en tiempos y situaciones tan complejas.

A la Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo, por el apoyo otorgado mediante el Programa de Becas de Magíster para Países Miembro de la Alianza del Pacífico de la convocatoria Año 2020.

A mi profesora guía, Paola Velásquez, por el tiempo dedicado, los comentarios asertivos y el apoyo para orientar el desarrollo de esta investigación.

# ÍNDICE

RESUMEN .....	8
1. PROBLEMÁTICA .....	10
2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	14
3. OBJETIVOS .....	15
3.1. GENERAL.....	15
3.2. ESPECÍFICOS.....	15
4. MARCO TEÓRICO .....	16
4.1. INFRAESTRUCTURA VERDE EN EL ÁMBITO URBANO .....	16
4.1.1. APROXIMACIÓN CONCEPTUAL .....	16
4.1.2. DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DE INFRAESTRUCTURA VERDE .....	18
4.1.3. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE .....	23
4.1.4. ELEMENTOS DE INFRAESTRUCTURA VERDE DE ACUERDO CON SU ESCALA DE ANÁLISIS .....	25
4.1.5. INFRAESTRUCTURA VERDE A ESCALA METROPOLITANA .....	30
4.2. TIPOS DE ANÁLISIS Y DATOS ESPACIALES UTILIZADOS EN LA DEFINICIÓN DE INFRAESTRUCTURA VERDE.....	32
5. MARCO DE REFERENCIA PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA VERDE .....	36
5.1. VINCULO CON POLITICAS INTERNACIONALES .....	36
5.2. MARCO NORMATIVO Y REFERENCIAL EN MÉXICO PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA VERDE .....	38
5.2.1. INFRAESTRUCTURA VERDE Y CORREDORES ECOLÓGICOS DE LOS PEDREGALES, CIUDAD DE MÉXICO .....	41
5.2.2. PLAN MUNICIPAL DE INFRAESTRUCTURA VERDE. MÉRIDA.....	42

5.3.1. ASPECTOS DE LA GESTION URBANO-TERRITORIAL EN LA ZONA METROPOLITANA PUEBLA – TLAXCALA Y SU POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA VERDE.....	43
5.3.1. INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN LA ZMPT .....	43
5.3.2. APROXIMACIONES PARA LA GOBERNANZA METROPOLITANA EN LA ZMPT.....	47
6. METODOLOGÍA.....	48
6.1. MÉTODOS.....	48
6.2. MAPEO DE INFRAESTRUCTURA VERDE.....	51
6.3. ANALISIS DE CONECTIVIDAD .....	53
6.3.1 ANALISIS EXPLORATORIO.....	55
6.3.2 ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD POR GRAFOS.....	56
7. DESARROLLO DEL ESTUDIO .....	59
7.1. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN .....	59
7.2. REPORTE DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	61
7.2.3. INTEGRACIÓN DE BASE GEOESPACIAL DE IV METROPOLITANA .....	63
7.2.2. RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE INFRAESTRUCTURA VERDE EN LA ZMPT.....	75
7.2.3. LINEAMIENTOS NORMATIVOS PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA VINCULADA AL SMIV .....	90
8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	95
9. BIBLIOGRAFÍA .....	104
10. ANEXOS .....	109

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zonas Metropolitanas de la Región Central de México.....	12
Figura 2. Mapa del sistema de parques Emerald Necklace .....	17
Figura 3. Aspectos que definen el Sistema de Infraestructura Verde .....	22
Figura 4. Servicios ecosistémicos clave, funciones y relaciones .....	24
Figura 5. Servicios ecosistémicos de un Sistema de Infraestructura Verde.....	25
Figura 6. Componentes de la infraestructura verde de Vitoria-Gasteiz.....	29
Figura 7. Esquema del Sistema de Infraestructura Verde de los pedregales de San Ángel.....	42
Figura 8. Estructura del contenido del Plan Municipal de Infraestructura Verde.....	43
Figura 9. Esquema Metodológico .....	49
Figura 10. Delimitación de la Zona Metropolitana Puebla - Tlaxcala .....	60
Figura 11. Reconocimiento de las Áreas Naturales Protegidas y de Valor Ecológico en la ZMPT .....	70
Figura 12. Reconocimiento de las Áreas Agrícolas en la región de la ZMPT .....	71
Figura 13. Reconocimiento de Áreas Verdes Públicas en la ZMPT .....	72
Figura 14. Reconocimiento de corredores hídricos en la cuenca de la ZMPT .....	73
Figura 15. Reconocimiento de la estructura vial principal en la ZMPT.....	74
Figura 16. Contexto Natural de la IV en la ZMPT .....	77
Figura 17. Aspectos destacados en la caracterización del contexto natural de la IV en la ZM.....	78
Figura 18. Contexto de Infraestructura Urbana en la IV de la ZMPT .....	80
Figura 19. Aspectos destacados en la caracterización del contexto urbano de la IV.....	81
Figura 20. Sistema Natural de Infraestructura Verde .....	83

Figura 21. Corredores naturales y su conectividad con distintos espacios al poniente de la ZMPT .....	84
Figura 22. Sistema Urbano de Infraestructura Verde .....	85
Figura 23. Corredores urbanos del Sistema Urbanos de Infraestructura Verde al sur de la Ciudad de Puebla.....	86
Figura 24. Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde .....	88
Figura 25. Diversidad de corredores del SMIV .....	90
Figura 26. Condición del Capital Natural de los Estados mexicanos .....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de Infraestructura Verde en diversas temáticas de estudio .....	19
Tabla 2. Tipologías de componentes potenciales infraestructura verde y sus escalas Asociadas .....	27
Tabla 3. Ejemplos de tipos de análisis para la definición de Infraestructura Verde .....	34
Tabla 4. Objetivos del Desarrollo Sostenible vinculados al desarrollo de Infraestructura Verde .....	36
Tabla 5. Leyes del orden público vinculadas al desarrollo de infraestructura verde .....	39
Tabla 6. Resumen metodológico por objetivo .....	51
Tabla 7. Matriz de comparativa de consulta bibliográfica para el catálogo de tipologías de infraestructura verde .....	65
Tabla 8. Matriz de correspondencia entre tipologías y elementos de conjuntos de datos espaciales.....	66
Tabla 9. Resumen de conjuntos de datos y capas integradas para el reconocimiento de IV .....	67
Tabla 10. Procesamiento de capas para la integración de la estructura espacial de la IV en la ZMPT .....	68
Tabla 11. Propuesta de lineamientos para la planificación metropolitana desde el SMIV .	93

## GLOSARIO DE ACRONIMOS

CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAPO	Consejo Nacional de Población
IMPLAN	Instituto Municipal de Planeación
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IV	Infraestructura Verde
MZMVM	Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México
PDZMPT	Plan de Desarrollo de la Zona Metropolitana Puebla – Tlaxcala
SEDATU	Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano
SIV	Sistema de Infraestructura Verde
SMIV	Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde
ZM	Zona Metropolitana
ZMPT	Zona Metropolitana Puebla – Tlaxcala



## RESUMEN

El proceso de metropolización en México ha consolidado una Megalópolis en el centro del país, integrando una estructura urbana altamente compleja, representando un reto para el desarrollo sustentable y la resiliencia en la región. En este contexto la Zona Metropolitana Puebla – Tlaxcala (ZMPT), representa un nodo relevante ante su potencial de crecimiento e interacción con la Ciudad de México, atribuyéndoles un papel estratégico en la capacidad adaptativa de la región.

Sin embargo, el desarrollo en la ZMPT está marcado por la desarticulación en la planificación territorial, resultando en un proceso de urbanización descontrolado, expandiendo el crecimiento del área urbana, en detrimento de las condiciones naturales que comprometen las condiciones ambientales de la región para hacer frente ante los desafíos de la sustentabilidad y resiliencia urbana.

Con un enfoque estratégico para revertir la problemática del desarrollo en metropolitano, la infraestructura verde es una de las principales respuestas que se están tomando a nivel mundial para la planificación, orientando la sustentabilidad y resiliencia de las ciudades, partiendo desde un enfoque inminentemente espacial se establece como un modelo del paisaje que busca reconocer el soporte ambiental que los espacios verdes dotan a los entornos urbanos.

La propuesta parte del contexto de crecimiento urbano y el proceso de metropolización, siendo este el ámbito adecuado para abordar de forma conjunta la planificación urbana con una visión integradora del territorio, en el que la definición de un Sistema de Infraestructura Verde para la ZMPT permitirá contar con una herramienta que se alinea con las políticas actuales de desarrollo urbano a nivel tanto nacional, como internacional. Siendo así un estudio que puede considerarse como parte de un ejercicio profesional, que aporte a la atención de la actualización de planes y

proyectos urbano-ambientales de la región más urbanizada del país, contribuyendo además a ampliar la discusión académica en el marco del diseño y desarrollo de la Infraestructura Verde, el análisis espacial del paisaje, así como el reconocimiento de los elementos del paisaje en el ámbito del desarrollo urbano y el ordenamiento territorial.

Los resultados del estudio dan cuenta de la diversidad de elementos que convergen en los territorios metropolitanos, los cuales en el caso de México han sido monitoreados y caracterizados por instancias oficiales, permitiendo disponer oportunamente de una infraestructura de datos espaciales adecuados para el estudio, estructuración y análisis de modelos del territorio en distintos ámbitos urbanos de la república mexicana, además de su factibilidad de aplicación en distintas escalas de interés. En base a dicha información, se plantea la definición del Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde, teniendo como base los conjuntos de datos espaciales disponibles, su integración en un mapeo temático y las relaciones de conectividad que estructuran un modelo por medio del cual se identifican los aspectos clave del paisaje metropolitano para hacer frente a los desafíos socioambientales en entornos urbanos cada vez más complejos.

**PALABRAS CLAVE:** Infraestructura Verde, Conectividad Espacial, Planificación Metropolitana

## **1. PROBLEMÁTICA**

La dinámica de urbanización en América Latina se caracteriza por un proceso acelerado de expansión de sus ciudades, producto del modelo de desarrollo urbano moderno que ha consolidado un crecimiento urbano disperso que sobrepasa la capacidad de planeación (Neira, 2018). Este modelo expansivo de la ciudad, a resultando en la consolidación de continuos urbanos que rebasan los límites administrativos de los gobiernos locales, configurando una escala de sistemas urbano territoriales funcionales de carácter metropolitano (Ascher, 2001; SEDATU, 2018), mismos que se enmarcan en la desigualdad y exclusión socioespacial, con deficiente accesibilidad a equipamiento e infraestructura urbana, el desequilibrio ambiental y el aumento de los riesgos que ello implica para la calidad de vida y el pleno ejercicio del Derecho a la Ciudad (SEDATU, 2020).

En este contexto, la realidad urbana de México en este proceso de metropolización ha conformado un sistema urbano a nivel nacional, con 74 zonas metropolitanas (ZM), que al año 2018 concentraban el 74.2% de la población total del país, produciendo territorios de gran complejidad para la planificación y gestión de las ciudades, siendo necesario implementar visiones territoriales conjuntas y de concurrencia entre los distintos ámbitos de gobierno, así como de los sectores involucrados en el desarrollo metropolitano, que permitan orientar su evolución y afrontar los retos que establece el desarrollo humano en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para las ciudades y su entorno (SEDATU, CONAPO, INEGI, 2018).

Esta condición urbana se acentúa en el centro del país, consolidando una macro región formada por aglomerados metropolitanos relacionados funcionalmente a la Ciudad de México, la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle México (MZMVM) está integrada por una

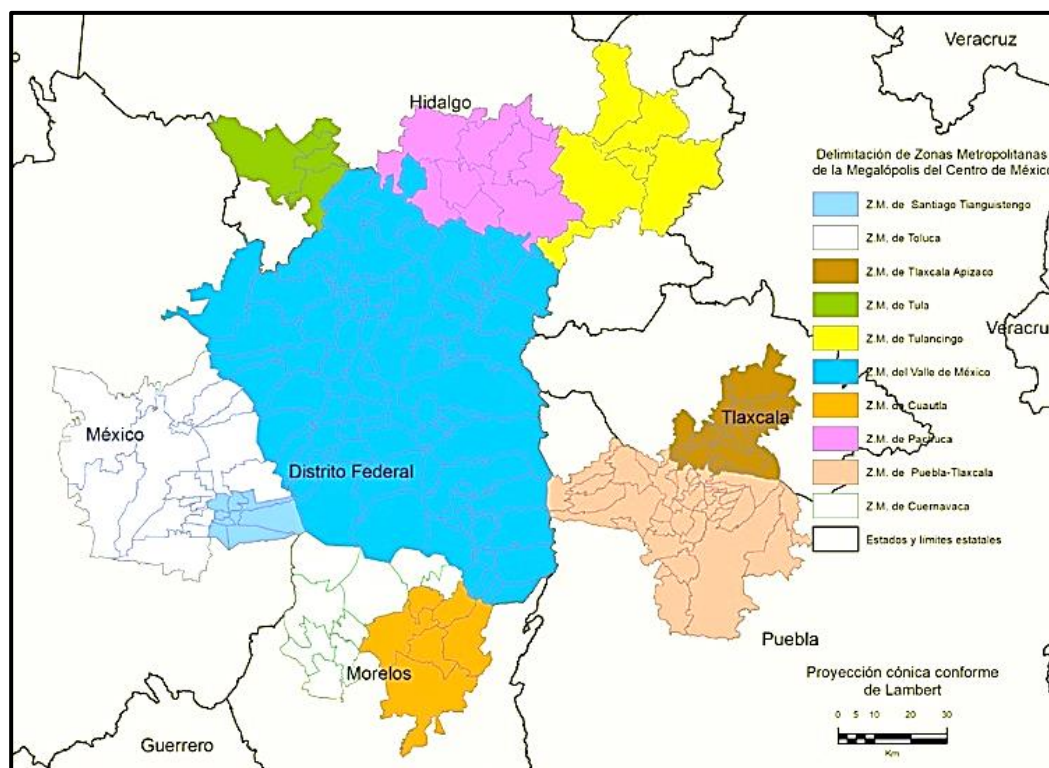
estructura urbana altamente compleja que representa un reto para el desarrollo sustentable y resiliente de la región. Conformada por las zonas metropolitanas del Valle de México, Puebla-Tlaxcala, Toluca, Querétaro, Cuernavaca, Pachuca, Tlaxcala-Apizaco, Cuautla, Tehuacán, Tulancingo, Tula, Tianguistenco, y Teziutlán, este sistema urbano consolida una vocación económica industrial y de servicios de gran impacto, que le atribuye de carácter estratégico para el desarrollo del país. Si bien su estructura multifuncional impulsa el desarrollo económico y competitividad propio de los territorios metropolitanos, el nivel de complejidad y su fuerte atracción de actividades, le atribuyen una exposición mayor de riesgo ante desastres y vulnerabilidad para el bienestar de las personas, así como de las condiciones de habitabilidad e infraestructura en las ciudades que la integran. (Vilchis- Mata, 2020).

Dentro del marco de la Megalópolis, la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala (ZMPT) se inserta como la segunda en importancia, respecto a concentración económica-demográfica, integrando espacial y funcionalmente 39 municipios de dos Entidades Federativas, 19 del Estado de Puebla y 20 del Estado de Tlaxcala. Con una población cercana a 3 millones de habitantes al 2018, refleja una dinámica de crecimiento producto de la predominante actividad industrial en su territorio, que ha resultado en la expansión del área urbana entorno a la Ciudad de Puebla, la cual en su calidad de capital estatal forma parte de los municipios mexicanos que superan el millón de habitantes (Flores, et al., 2018).

Su característica administrativa interestatal presenta una desarticulación para la gestión territorial, cuyo proceso de desarrollo se ha visto implementado por medio de planes directores con un marcado sesgo en beneficio del sector privado, condicionando el beneficio social y público, resultando en efectos colaterales de la planificación urbana, sin un control del proceso

de urbanización, manifiesto en el crecimiento expansivo de las áreas urbana, y el deterioro de los recursos naturales y la calidad ambiental de ZMPT, situaciones que contribuye a la producción de espacios segregados, social y económicamente (Hernández & Acá, 2010; Pérez & Castro, 2010; Rodríguez, et al., 2010). Dichos aspectos observados en la ZM tienen como resultado diversos problemas socioambientales, como: contaminación de cursos de agua, asentamientos irregulares en zonas de riesgo, deterioro y déficit de espacios con valor ecológico, sobreexplotación de recursos, entre otros, que comprometen las condiciones de la ZMPT para hacer frente a los impactos del cambio climático y el uso sustentable de los recursos, situación que aumenta la vulnerabilidad de la región, poniendo en riesgo su resiliencia y desarrollo urbano sostenible (PDZMPT, 2013; IMAV, 2016; Ornelas, et al. 2010).

**Figura 1.** Zonas Metropolitanas de la Región Central de México.



Fuente: Heras, et al (2020).

La ubicación de la ZMPT dentro de la región megalopolitana del centro del país, representa un nodo relevante por su potencial de crecimiento, interacciones y flujos constantes con la Ciudad de México, tanto en población como productivos, atribuyéndole una función estratégica en la capacidad adaptativa de la región y ocupando un sitio de articulación entre grandes regiones del centro y surestes mexicano (Sánchez & Montaña, 2012, PDZMPT, 2013).

El concepto de infraestructura verde surge con un enfoque estratégico para la planificación urbana- regional, orientado a la sustentabilidad y resiliencia de las ciudades, ante las problemáticas de crecimiento desordenado, el deterioro ambiental, así como la amenaza de los impactos producto del cambio climático. Siendo una de las principales respuestas que los gobiernos de las ciudades a nivel mundial están tomando para hacer frente a los retos de la crisis climática y ambiental, aporta también a mejorar las condiciones para la salud pública, la disminución de la segregación social, además de los beneficios que ofrecen los espacios verdes urbanos, para la preservación de la biodiversidad y protección ecológica de su entorno (Sorensen, et al., 1998; Del Pozo, 2015; Dejtiar, 2021). Desde su enfoque inminentemente espacial, conforma un sistema multiescalar, multifuncional y conectado, configurando un modelo espacial del paisaje vinculado al ordenamiento territorial, como un instrumento que permite dirigir un desarrollo urbano sustentable y resiliente, desde el reconocimiento de la necesidad del soporte ambiental para el bienestar de la sociedad, impulsando nuevas sinergias en la forma que las ciudades se construyen y relacionan con su entorno (Aguilera, et al., 2018).

El reconocimiento de la infraestructura verde se ha planteado desde su definición estructural, integrando y valorando aquellos elementos del paisaje que, de acuerdo con la escala de estudio, su funcionalidad y especialidad temática, integran sistemáticamente su conectividad territorial.

Siendo el punto de partida para lograr revertir la situación socioambiental que observa la ZMPT, orientando desde la definición de un Sistema de Infraestructura Verde, una visión integral del territorio y sus atributos de soporte ambiental, identificando potencialidades para la planificación sustentable metropolitana y atendiendo las necesidades de resiliencia, por medio del reconocimiento de la estructura clave del Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde.

## **2. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

¿La definición un Sistema de Infraestructura Verde en la Zona Metropolitana Puebla - Tlaxcala, reconociendo la estructura clave del paisaje para preservar su continuidad ecológica, permitiría orientar la resiliencia y sustentabilidad urbana de la región?

- ¿Cuál es el potencial del paisaje para configurar un SIV en el ámbito espacial metropolitano?
- ¿Es la infraestructura de datos geoespaciales disponibles, una base adecuada para identificar y conformar un modelo espacial de la infraestructura verde en la Zona Metropolitana Puebla – Tlaxcala?
- ¿La configuración el Sistema de Infraestructura Verde, es suficiente para asegurar la continuidad espacial de bienes ambientales y espacios verdes en la ZMPT?
- ¿A partir de la normativa vigente es posible aproxima lineamientos dirigidos a la planificación, diseño e implementación del SIV, que permitan orientar la planificación territorial para el desarrollo sustentable y resiliencia de la ZMPT?

El resultado esperado de la identificación y definición del sistema de infraestructura verde de la ZMPT, busca obtener un modelo espacial que sirva de apoyo para generar una visión integral de la planificación en la Zona Metropolitana, factible de ser aplicado como instrumento metodológico en diagnósticos enfocados al desarrollo sustentable y la resiliencia urbano-territorial, permitiendo disponer de información útil para la toma de decisiones de los actores sociales que interactúan en la construcción de las ciudades y su entorno.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. GENERAL**

Definir un sistema de Infraestructura Verde, como modelo espacial que oriente la planificación sustentable y resiliencia urbano territorial de la ZMPT.

#### **3.2. ESPECÍFICOS**

- Conformar una base geoespacial, mediante el reconocimiento de los elementos que integran la Infraestructura Verde en la ZMPT.
- Analizar la continuidad del sistema, desde el análisis de la conectividad estructural de elementos del paisaje, definiendo la configuración espacial del sistema de infraestructura verde.
- Aproximar los lineamientos normativos que aporten a la planificación, diseño e implementación del SIV, vinculados a la instrumentación de la Planificación Territorial.



## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. INFRAESTRUCTURA VERDE EN EL ÁMBITO URBANO**

#### **4.1.1. APROXIMACIÓN CONCEPTUAL**

Las primeras aproximaciones sobre planificación de espacios verdes para las ciudades, se remonta a finales del siglo XIX, que buscaron atender los problemas sociales, de higiene y salubridad que se habían producido por el crecimiento acelerado de las aglomeraciones urbanas, como resultado de la Revolución Industrial. Situación que dio paso al surgimiento de una corriente política y social, en la que se plantea la creación de áreas verdes dentro de la ciudad, para mejorar las condiciones del hábitat de los obreros y sus familias (Maresma, 2021). Este pensamiento filosófico-social fundamenta la propuesta de “ciudad jardín” de Ebenezer Howard, como respuesta al crecimiento desordenado de las ciudades industrializadas, concibiendo un sistema urbano que incorpora los beneficios de los espacios naturales y agrícolas para impulsar una forma diferente de desarrollo urbano en la primera mitad del siglo XX. Si bien el modelo propuesto por Howard no llegó a consolidarse, marca una pauta que da lugar a propuestas que incorporan los espacios naturales de la periferia urbana, y el desarrollo de cinturones verdes, como el de Londres (Montiel, 2015).

Con esta primera aproximación de integración de espacios naturales en la configuración de las ciudades, se abrió un nicho al desarrollo conceptual desde distintos enfoques, para la dotación de parques y jardines dentro de las áreas urbanas, así como la previsión de reservas forestales en las zonas periféricas de las ciudades modernas. Un hito relevante para consolidar el interés de la planificación urbana integralmente con su entorno natural, es el Informe Brundtland en 1987, en el que se define el concepto de desarrollo sustentable (Miguel, et al., 2011), a partir del cual se impulsando una nueva visión de la relación del territorio y las ciudades, donde los espacios verdes

constituyen un sistema dentro del tejido urbano, como un todo que se interrelaciona para generar sinergia para afrontar la dinámica cambiante de las grandes aglomeraciones urbanas (Palomo, 2003).

Un caso emblemático en el desarrollo del enfoque de sistemas de espacios verdes en la ciudad, fueron las propuestas del arquitecto Frederick Law Olmsted (1822-1903) en las que incorpora una visión integradora en el diseño y preservación de las áreas verdes urbanas, partiendo de los beneficios que estos espacios otorgan a las personas, enfatizando la importancia de la conexión entre estos. Un caso emblemático, es el denominado Boston Emerald Necklace, que conforma una red de espacios verdes integrado por nueve parques urbanos conectados por corredores, rodeando barrios de la ciudad, integrándose funcionalmente a la estructura urbana y dando identidad característica al paisaje de la ciudad. (IMPLAN León, 2020: 5; Emerald Necklace Conservancy, 2021).

**Figura 2.** Mapa del sistema de parques Emerald Necklace



Fuente: (Emerald Necklace Conservancy, 2021)

#### **4.1.2. DEFINICIÓN DEL CONCEPTO DE INFRAESTRUCTURA VERDE**

Es en este marco, que surge el concepto de infraestructura verde (IV), cuyo enfoque busca contar con un instrumento que guíe el desarrollo en distintos ámbitos (económico, territorial, urbanístico), ofreciendo alternativas novedosas y eficaces, dentro de los principios de la sustentabilidad, para atender los retos del desarrollo urbano moderno (Rodríguez, et al., 2015). La aplicación de la infraestructura verde en temáticas diversas, hace que su aproximación conceptual no sea homogénea, entendiéndose más bien como un concepto en desarrollo en distintos ámbitos de estudio (Tabla 1).

Enfocado en la planificación ecológica, su composición integra elementos naturales como bosques, riberas, humedales y paisajes naturales, que orientan acciones para la protección y restauración de los ecosistemas asociados a estos elementos (Echavarría, et al., 2015). Mientras que, en un enfoque para la gestión del agua, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP, 2014), la refiere a los espacios naturales y construidos que proporcionan servicios ecosistémicos complementarios, que aumentan o reemplazan los proporcionados por la infraestructura construida, para mitigar los efectos adversos que el desarrollo urbano ha implicado con la biodiversidad.

**Tabla 1.** Definición de Infraestructura Verde en diversas temáticas de estudio

Definición	Descripción temática	Referencia
Una red interconectada de espacios naturales y otros espacios abiertos que conservan el ecosistema natural valores y funciones, mantiene el aire y el agua limpios, y proporciona una amplia gama de beneficios a las personas y fauna silvestre.	Disciplinas: conservación de ecosistemas Beneficios clave: conservación Escala: Región	Benedict, M. & McMahon, E. (2006) Green infrastructure. Linking Landscapes and Communities.
Red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos.	Disciplinas: Conservación ecosistemas Beneficios clave: Flujos de biodiversidad Escala: Región	Comisión Europea (2014) Construir una infraestructura verde para Europa
Infraestructura polifuncional que utiliza sistemas naturales (o sistemas producto de ingeniería que imitan procesos naturales) para mejorar la calidad ambiental y proveer servicios sociales, económicos, culturales y ambientales. La I.V. es utilizada como componente de un sistema de manejo y aprovechamiento sustentable de agua.	Disciplinas: Diseño urbano Beneficios clave: Manejo de agua pluvial Escala: Urbana	IMPLAN Hermosillo. (2019). Manual de lineamientos de diseño de infraestructura verde para municipios mexicanos.
Estrategia de planificación que requiere posicionar al territorio como un sistema en el que interactúan escalas como el barrio, la ciudad y la región con sus respectivas infraestructuras, y en el que los espacios verdes desempeñen un papel necesario como punto de ordenamiento.	Disciplina: Desarrollo regional Beneficios clave: Recreación y cultura Escala: Urbana Regional	Valdés, P. & Foulkes, M. D. (2016). La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional. Aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana.
Plantea la re-concepción de los elementos del paisaje urbano y rural, apuntando a la conectividad de los ecosistemas, la conservación de la naturaleza y la multifuncionalidad, con el objeto de mantener y aumentar la provisión de servicios ecosistémicos (SE), generando mayores beneficios sociales, económicos y ecológicos. Además, este tipo de infraestructura insiste en la conectividad y multifuncionalidad, ya que se basa en el principio de que un paisaje integrado entrega muchos más beneficios que la suma de sus partes aisladas	Disciplina: Planificación urbana Beneficios clave: Corredores biológicos Escala: Ciudad, barrio	Riveros, A., Vásquez Fuentes, A., Ludeña, B. y Vergara, J. (2015). Infraestructura verde urbana: tipos, funciones y oportunidades para el desarrollo de corredores verdes urbanos en Santiago de Chile.

Fuente: elaboración propia con base en información de los autores citados.

La Comisión Europea (2013), establece que la IV es una herramienta eficazmente probada para aportar soluciones naturales con beneficios ecológicos, económicos y sociales, cuyos múltiples beneficios deben ser integrados de manera consciente en la planificación y desarrollo del territorio, donde se incorporan espacios verdes y otros elementos del territorio que se encuentran tanto en entornos rurales como urbanos.

Con el enfoque de la planificación urbana, buscando asegurar la función del territorio para atender las necesidades de la sociedad en general, la IV guarda un carácter predominantemente espacial definida por principios de red, diversidad, multiescalar y servicios multifuncionales, como un instrumento que busca integrar el crecimiento urbano, bienestar social y protección del ambiente natural, haciendo énfasis en los servicios ecológicos y sociales que proporcionan los espacios verdes para la regulación climática, mitigación de contaminantes en el aire (material particulado, ruido), como refugio de biodiversidad nativa, además de proveer espacios de recreación y esparcimiento para los habitantes de las ciudades, incidiendo en la oportunidad para replantear las formas en los conglomerados urbanos se relacionan con su entorno (Aguilera, et al., 2018; Vásquez, 2016).

Para el presente estudio, se considera el concepto de Infraestructura Verde como un sistema espacial que conecta de elemento naturales y semi naturales del paisaje, inmersos en diversas escalas de la ciudad y su contexto rural, considerando las múltiples funciones socio ambientales y ecosistémicos que ofrecen estos espacios, integrando una herramienta que permita orientar la gestión del desarrollo sustentable, adaptable a condiciones particulares de los diferentes territorios y ecosistemas. (Valdés & Foulkes, 2016; Vásquez, 2016; Flores-Xolotzi, 2019, Torres, et al., 2020)

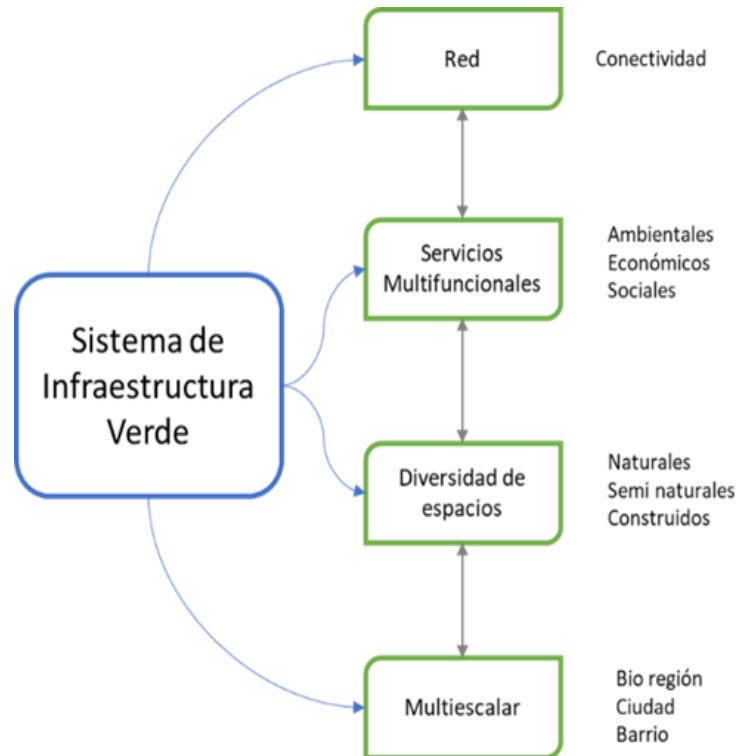
En la definición de los sistemas de infraestructura verde, se plantean dos enfoques de análisis. El primero, atiende la identificación de los elementos que conforman y dan sentido territorial al sistema, concebido como instrumento de planeación urbano – ambiental (SEDATU, SEMARNAT, GIZ, 2019). Mientras que el segundo enfoque, hace referencia a las temáticas sobre desarrollo sustentable y la implementación de acciones específicas, tales como: gestión del agua, movilidad, accesibilidad y calidad del espacio público, así como conservación y restauración de biodiversidad (Suárez, et. al., 2011).

Tomando en cuenta el primer enfoque, los elementos que conforman la infraestructura verde deben considerar cuatro aspectos clave para su definición, mismos que pueden ser evaluados por técnicas de análisis espacial:

- Red: El sistema debe mantener una conexión espacial, que permita flujos sociales, ambientales y biológicos, vinculado a espacios verdes que son factor en la provisión de servicios ecosistémicos en el territorio.
- Multifuncional: Los espacios verdes proporcionan diversas funciones estructurales de la ciudad como la recreación, servicios ecosistémicos para la mitigación y adaptación ante el cambio climático, siendo espacios que proporcionan simultáneamente beneficios sociales, ambientales y económicos.
- Diversidad: Los espacios que la conforman el sistema tienen origen natural, como son: ríos, humedales y bosques; además de espacios construidos, tales pueden considerar: canales, jardines, plazas y parques, entre otros.
- Multi escalar: El nivel de escala para la intervención urbana, es un aspecto primordial para definir la infraestructura verde, concibiendo desde escalas territoriales amplias con

enfoques de conservación de biodiversidad regional, a nivel ciudad con objeto de desarrollar redes de espacios verdes multifuncionales de soporte al ambiente urbano, y una escala local o de barrio para implementación.

**Figura 3.** Aspectos que definen el Sistema de Infraestructura Verde



Fuente: Elaboración propia en base a Sedatu (2019)

Desde la conceptualización de la Infraestructura verde, a partir de su funcionalidad vinculante a la planificación sustentable y resiliencia territorial, así como su carácter espacial. Se busca partir del carácter de red del modelo territorial para definir un Sistema de Infraestructura Verde (SIV), a partir de la diversidad de elementos, la multiescalaridad que los ámbitos urbanos tienen en relación a su entorno rural implícitos para el ordenamiento y planificación territorial, además de la diversidad de funciones y servicios ecosistémicos implicados en los diversos componentes y su naturaleza.

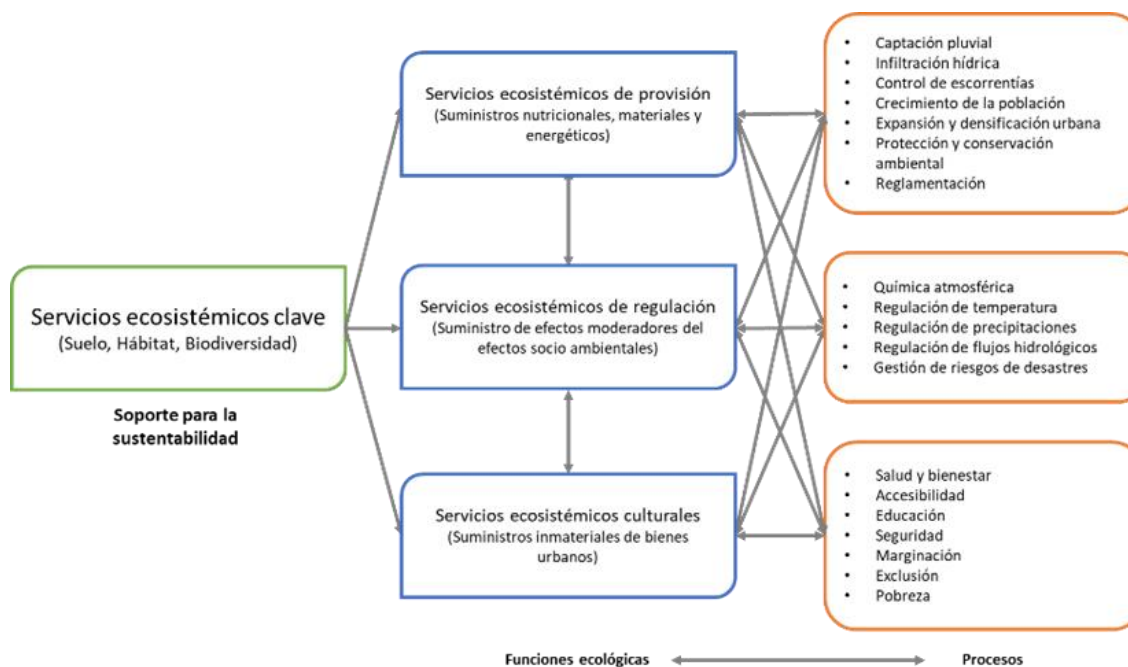
### **4.1.3. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS COMPONENTES DE LA INFRAESTRUCTURA VERDE.**

Como aspecto clave de la infraestructura verde, se establecen los servicios ecosistémicos que parten del entendimiento de las múltiples funciones y beneficios que proveen los elementos del paisaje desde una perspectiva sistémica, compleja y diversa, considerando además las distintas escalas y ámbitos de análisis en la infraestructura verde. Correspondiendo principalmente a las funciones ecológicas clave, que proporcionan aquellos componentes del paisaje que interactúan en un sistema de infraestructura verde, lo que genera valor para el beneficio directo que obtienen las ciudades y su entorno, en términos ambientales, sociales y económicos (Ahern, 2007).

De acuerdo al tipo de funciones y beneficios socio ecológicos que aportan, los servicios ecosistémicos se pueden clasificar desde el enfoque temático que sea de interés, correspondiendo a las funciones ecosistémicas en el ámbito urbano servicios de: a) Provisión, referentes al abasto de alimentos, oferta hídrica, suministro de materias primas y recursos energéticos; b) Regulación, considerando la reducción de contaminación atmosférica, sumideros de carbono, moderación de escorrentías, regulación climática, entre otros; y c) culturales, relacionado con el hábitat y la provisión de espacios para la recreación, promoviendo la salud física y mental, el desarrollo cognitivo, además de promover la cohesión social (EEA, 2013).



**Figura 4.** Servicios ecosistémicos clave, funciones y relaciones



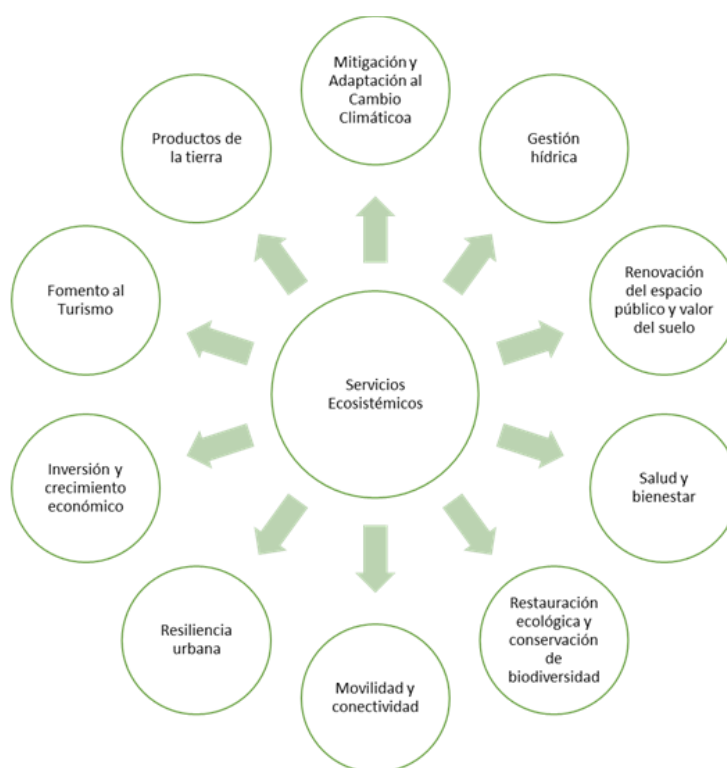
Fuente: Elaboración propia en base a Vilchis (2019)

En conjunto los servicios ecosistémicos, que proveen los componentes del paisaje integrados en un Sistema de Infraestructura Verde, con un carácter multifuncional, diverso, conectado y multiescalar, sustentan y desarrollan un soporte esencial para sustentabilidad de los sistemas socio ecológicos de las ciudades, constituyendo un contexto espacial específico para aportar en la comprensión de las relaciones de producción urbana, que permitan avanzar en el diseño de estrategias para el proceso de planificación, diseño e implementación de políticas públicas para el desarrollo urbano sustentable (Ahern, 2007; EEA, 2013; Vásquez, 2016).

La integración de los beneficios que aporta cada elemento del territorio en la conformación de un SIV, puede ser concebido desde su naturaleza, como componentes de los sistemas naturales o de la infraestructura urbana, así como sus relaciones de acuerdo los contextos que se producen en territorios altamente transformados en las ciudades y áreas agrícolas, siendo de relevancia

para su carácter temático de estudio e implementación, así mismo a su escala de actuación y análisis, vinculado a la diversidad de componentes y las funciones que estos pueden generar en ámbitos territoriales de diversa magnitud.

**Figura 5.** Servicios ecosistémicos de un Sistema de Infraestructura Verde



Fuente: Elaboración propia en base a EEA (2014)

#### **4.1.4. ELEMENTOS DE INFRAESTRUCTURA VERDE DE ACUERDO CON SU ESCALA DE ANÁLISIS.**

Entendiendo que los elementos de la infraestructura verde se plantean como una red interconectada de componentes del paisaje que interactúa aportando beneficios que se complementan y dan mayor capacidad de resistencia ecosistémica al territorio, estos sin embargo

observan funcionalidades y desarrollos diferenciados por su escala de estudio, teniendo referencia en la naturaleza de sus elementos, las necesidades y posibilidades de actuación en distintas disciplinas, teniendo como base a los beneficios que proporciona la infraestructura verde, la diversidad de elementos considerados a distinta escala conciben diferentes ámbitos de actuación (EEA, 2011; CEA, 2014).

Retomando el enfoque de Valdés & Foulkes (2016), con la finalidad de promover el acceso y conexión a los servicios ecosistémicos, los elementos que conforman la infraestructura verde orientan el uso eficiente y sustentable del territorio en distintos niveles de concepción espacial y temporal, estableciendo para su análisis y entendimiento, niveles a escala regional, urbana y local.

Es así como, el Centro de Estudios Ambientales (2014) establece para la escala Regional, una mayor prioridad para el sistema natural, considerando aquellos espacios de mayor valor ambiental, paisajístico y patrimonial, donde las conexiones forman el soporte necesario de los procesos ecológicos bio-regionales, fundamentales para la protección del hábitat, la restauración ambiental y restitución de la conectividad de la biodiversidad.

Referente a la escala urbana, la infraestructura verde integra tanto elementos naturales, como construidos, los cuales tienen potencial de actuación biótica y aporte a la biodiversidad urbana, considerando también aquellas superficies que permiten la permeabilidad del suelo, y que contribuyen a la estructuración de los espacios verdes urbanos.

El nivel de mayor detalle es la escala local que también puede denominarse de barrio, en ella se orientan acciones técnicas de la infraestructura verde, buscando atender temáticas específicas del espacio urbano relacionadas a aspectos como gestión de aguas pluviales, aumentar la cobertura vegetal y los espacios de esparcimiento, además de contribuir a aspectos favorables para la

movilidad urbana (IMPLAN León, 2020).

En referencia a la multiescalaridad, es posible concebir un punto intermedio entre escalas de actuación de IV, para atender ámbitos territoriales de mayor diversidad, como las áreas metropolitanas, en las cuales se interactúan las escalas de nivel regional y urbana. Permitiendo destacar el potencial de espacios específicos del paisaje para la planificación urbana, como grandes espacios naturales y de valor ecológico, áreas de cultivo, conjuntos vegetales de galería asociados a cursos y embalses hídricos, así como su relación a espacios construidos propios de los entornos urbanos, tales como vías de comunicación, equipamiento para la recreación y espacios públicos, cuya gestión y planificación territorial conjunta, es necesaria para garantizar la conservación de los beneficios ecosistémicos que suministran a entornos de mayor complejidad.

**Tabla 2.** Tipologías de componentes potenciales infraestructura verde y sus escalas asociadas

<b>Escala local o de barrio</b>	<b>Escala urbana</b>	<b>Escala regional</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calles arboladas</li> <li>• Techos y muros verdes</li> <li>• Parques de bolsillo</li> <li>• Jardines privados</li> <li>• Plazas urbanas</li> <li>• Espacios comunes verde en pueblos o aldeas</li> <li>• Derechos de vía</li> <li>• Rutas peatonales y ciclistas</li> <li>• Cementerios</li> <li>• Espacios abiertos institucionales</li> <li>• Estanques y arroyos</li> <li>• Pequeños bosques</li> <li>• Áreas de juego</li> <li>• Reservas naturales locales</li> <li>• Áreas libres de escuelas</li> <li>• Campos deportivos</li> <li>• Cunetas (preferiblemente sin pavimento)</li> <li>• Loteos</li> <li>• Terrenos baldíos urbanos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entornos comerciales</li> <li>• Parques urbanos</li> <li>• Canales urbanos</li> <li>• Bienes comunes urbanos</li> <li>• Parques forestales</li> <li>• Parques rurales</li> <li>• Frentes de agua continuas</li> <li>• Plazas municipales</li> <li>• Lagos</li> <li>• Grandes espacios recreativos</li> <li>• Ríos y llanuras aluviales</li> <li>• Terreno abandonado</li> <li>• Bosques comunitarios</li> <li>• Minas abandonadas (desuso)</li> <li>• Tierras agrícolas</li> <li>• Vertederos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parques regionales</li> <li>• Ríos y llanuras aluviales</li> <li>• Litorales</li> <li>• Senderos estratégicos y de largo recorrido</li> <li>• Bosques comunitarios</li> <li>• Embalses</li> <li>• Redes de carreteras y ferrocarriles</li> <li>• Cinturón verde designado y brechas estratégicas</li> <li>• Tierra agrícola</li> <li>• Parques Nacionales</li> <li>• Designaciones de paisajes nacionales, regionales o locales</li> <li>• Canales</li> <li>• Tierras comunales</li> <li>• Campo abierto</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia en base a EEA (2011)

Para ejemplificar la relación entre escalas y las tipologías asociadas, podemos referir la propuesta de infraestructura verde para la ciudad española de Vitoria- Gasteiz, siendo un referente de éxito en Europa y el resto del mundo, así como su reconocimiento por la Comisión Europea dada a la labor realizada en la ciudad para la conservación del medio ambiente. El planteamiento para materializar un Sistema de Infraestructura Verde en Vitoria-Gasteiz, se plantea desde un proceso de transformación urbana de forma gradual, referente al carácter, gestión y mantenimiento desde distintos ámbitos como: la gestión del agua, el espacio público, los espacios verdes, entre otros., que configuran la ciudad. Destacando la particularidad de los espacios y su evaluación periódica mediante una participación social integral (Centro de Estudios Ambientales, 2014: IMPLAN León 2020).

Este proceso de transformación de la ciudad es abordado en distintas dimensiones, partiendo de un concepto espacial de “Anillo Verde”, orientado al desarrollo urbano-territorial cuya finalidad busca atender de forma integral los problemas de la periferia de la ciudad, que presentaba un estado general de degradación en la zona. Constituido por un conjunto de parques de alto valor ecológico y paisajístico, que se interconectan por una serie de corredores eco-recreativos con fines ambientales y sociales, estos vinculados a tramos de riberas fluviales, sendas arboladas, hasta espacios degradados en los cuales se implementan distintas prácticas de infraestructura verde para el acceso a los mismo desde cualquier ubicación dentro de la ciudad (CEA, 2014; IMPLAN León, 2020; Ojeda, 2020).

**Figura 6.** Componentes de la infraestructura verde de Vitoria-Gasteiz



Fuente: (Centro de Estudios Ambientales, 2014)

Retomando los aspectos de la escala y tipologías vinculadas a la infraestructura verde, si bien las definiciones planteadas permiten tener una referencia para la identificación y reconocimiento de sus componentes, en su aplicación particular es factible que sean retomados para escalas intermedias o mixtas, en la atención de necesidades y objetivos temáticos que se presentan en los distintos ámbitos territoriales, propios de las realidades urbanas y su complejidad particular.

#### **4.1.5. INFRAESTRUCTURA VERDE A ESCALA METROPOLITANA**

En contexto con el desarrollo urbano moderno, el cual ha experimentado un crecimiento expansivo de las ciudades, como resultado de los fenómenos demográficos como la migración del campo a la ciudad y el crecimiento poblacional sostenido, dinámica que ha superado los límites político-administrativos de los gobiernos, generando sistemas urbanos que se relacionan funcionalmente en forma sistémica e integrada, delimitando territorios complejos que constituyen la escala metropolitana (CONAPO, 2018; Cervera, 2019; Tomas, 2017). Esta realidad metropolitana actual, debería implicar un ajuste de escala de la organización y planificación de las ciudades, en la búsqueda de atender la problemática de la complejidad que se atribuyen a estos territorios funcionales. Sin embargo, la fragmentación de atribuciones de los gobiernos en estos territorios, mantienen gestiones tradicionales, que limitan las funciones y capacidades para dar soluciones a la realidad metropolitana contemporánea (Díaz, 2018; Riveros, et al., 2015)

Es esta relación entre la planificación y desarrollo de sistemas de infraestructura verde, donde se puede atribuir a la escala metropolitana como el ámbito idóneo para una comprensión integral de la ciudad, vinculado a su realidad territorial funcional, en el que se reconocen las áreas periféricas de los principales conjuntos urbanos y los suelos no urbanizados entre los sistemas de ciudades, como parte misma de la conformación del territorio metropolitano, y por tanto parte de la ciudad. Además de constituir la mayor parte de la superficie en la escala metropolitana, es a partir de su reconocimiento y aprovechamiento, que los espacios naturales en el territorio, conforman la base para la planificación integral de la ciudad (Salvador, 2003; UE, 2014).

Vinculada a la planificación urbana regional de las zonas metropolitanas, la infraestructura verde está conformada por más que los espacios verdes dentro de la ciudad, teniendo una función

conectora entre el diseño, la ordenación y la gestión de los espacios exteriores. De acuerdo con lo que señala Salvador Palomo (2003), el interés de los espacios naturales dada su condición estructural para el desarrollo de la ciudad, constituyendo un sistema que se conciba como un todo comunicado y continuo, que en el conjunto de la diversidad se genere un valor mayor.

Es en este sentido, que la escala metropolitana se puede considerar como el ámbito que es más propicio para el desarrollo del ordenamiento urbano y la concepción de la infraestructura verde, dado que los paisajes ecológicos y espacios naturales, al igual que la naturaleza de las zonas metropolitanas, trascienden los límites administrativos y requieren un manejo integral. Siendo fundamental dicho aspecto para lograr aprovechar de forma integral la riqueza del territorio, considerado la escala metropolitana desde el enfoque de la infraestructura verde, como dimensión espacial en la que se adecuan holísticamente las condiciones para la planificación de la ciudad (Salvador, 2003).

Es así como buscando reconocer el carácter sistémico de la infraestructura verde, la escala metropolitana es adecuada para abordar la complejidad territorial que enmarca a las ciudades contemporáneas, permitiendo un análisis integral de las relaciones entre las ciudades y su entorno natural. Esta integración espacial de las dimensiones regional y urbano, es factible identificar con mayor completitud la estructura territorial de los ámbitos urbanos actuales y rompiendo de alguna manera con la dicotomía urbano – rural, integrando los aspectos que definen la infraestructura verde (red, multifunción, diversidad y multiescalar), mediante la comprensión conjunta del paisaje para la orientación de visiones conjuntas que den atención a las temáticas del desarrollo sustentable y resiliencia de las ciudades.



## **4.2. TIPOS DE ANÁLISIS Y DATOS ESPACIALES UTILIZADOS EN LA DEFINICIÓN DE INFRAESTRUCTURA VERDE**

Para el análisis de sistemas de infraestructura verde, no se tiene una metodología ni carácter único, por lo que se han planteado distintos tipos de análisis que utilizan diversos datos para su definición. Así se tienen enfoques mixtos que se apoyan de la evaluación cualitativa por medio de matrices para la valoración de los servicios ecosistémicos de los elementos de infraestructura verde, y su identificación mediante distintas técnicas de mapeo de información a partir de información referente al uso de suelo, la georreferenciación de inventarios de áreas verdes, la detección y fotointerpretación de imágenes aéreas y/o satelitales, entre otras, que son aplicados mediante la combinación de técnicas o de manera particular, de acuerdo a la escala de análisis requerida y las disponibilidad de información, además de la finalidad temática (Ojeda, 2020; Hernández-Rojas & Sanabria-Marín, 2020).

La identificación de infraestructura verde, ocupa un lugar destacado en la planificación urbano territorial, planteada desde una aproximación eminentemente espacial, que se hace evidente mediante procedimientos de modelado y mapeo, para analizar y evaluar el potencial de los elementos del paisaje en cuanto a las dimensiones que definen la infraestructura verde, evaluando el valor ecológico de los componentes por sus servicios ecosistémicos, la distribución de los componentes clave del paisaje, así como su diversidad y conectividad, relacionadas a la accesibilidad, conexión y flujo de biodiversidad en el territorio (Aguilera, et al., 2018; Ojeda, 2020, EEA, 2014).

Para el entendimiento de la configuración espacial de los sistemas de infraestructura verde, se parte de la comprensión de los procesos ecológicos relacionados a los patrones del paisaje,

donde la conectividad de estos es un factor clave para su integración dinámica. La descripción y comprensión de esta configuración es retomada desde el modelo de mosaico aplicado en la ecología del paisaje, considerando tres elementos fundamentales: parches, corredores y matriz. Donde un parche es un área relativamente homogénea, aislada y que difiere de su entorno. Los corredores corresponden a coberturas lineales, de características particulares de para el flujo de la biodiversidad. La matriz se considera la cobertura que predomina en el paisaje, respecto al grado de conectividad y continuidad, conformando áreas que ejercen control sobre la dinámica del paisaje (Ahern, 2006).

Desde el planteamiento para la escala metropolitana, se tiene como referencia la propuesta metodológica para la definición de la infraestructura verde en Luanda, Angola, realizado por un equipo de la Universidad de Lisboa (Amado, et al., 2020), la cual implementa un proceso secuencial en cuatro fases, para el mapeo y análisis espacial del sistema mediante herramientas de sistemas de información geográfica, que permiten la visualización de las características geográficas, que determinan espacialmente aquellos elementos que integran la infraestructura verde, consolidados a partir de aspecto esenciales para la identificación de las condiciones, relación y múltiple funcionalidad de los espacios verdes, contribuyendo sistemáticamente como desencadenante de sostenibilidad y resiliencia de las estructuras urbanas, en enfoques tanto a niveles macro como a micro escala en el ámbito territorial de las ciudades (Aguilera, et al., 2018; Amado, et al., 2020).

**Tabla 3.** Ejemplos de tipos de análisis para la definición de Infraestructura Verde

Autor	Proceso
Green Infrastructure Center (2018)	I. Fijación de metas de la comunidad, II. Revisión de los datos locales, III. Generación de los mapas o activos ecológicos, IV. Evaluación de riesgos de los activos, V. Oportunidades sobre los riesgos y metas propuestas, VI. Implementación de oportunidades.
Esri (2016)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificación de áreas con valores ecológicos, culturales y escénicos.</li> <li>• Generación áreas núcleo.</li> <li>• Generación de corredores o conexiones entre áreas.</li> </ul>
Aguilera, Rodríguez & Gómez (2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis espacial de coberturas y usos de suelo</li> <li>• Evaluación desde dimensiones de multifuncionalidad, conectividad ecológica, permeabilidad o accesibilidad a la población y valor ecológico</li> <li>• Selección de áreas susceptibles a integrar una IV</li> </ul>
Liquete, et al. (2011)	Análisis: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectividad ecológica</li> <li>• Multifuncionalidad de los ecosistemas</li> <li>• Servicios o beneficios ecosistémicos para la conservación natural</li> <li>•</li> </ul>
Remolina (2011)	Generación de áreas verdes para integrarse a una IV mediante revisión de las denominaciones y clasificaciones de los elementos de conservación en Planes de Ordenamiento Territorial.

Fuente: Elaboración propia en base a Hernández-Rojas & Sanabria-Marín (2020)

El proceso comprende una primera fase de análisis de la información, recopilando y procesando datos correspondientes al área de estudio, considerando variables fundamentales (biofísicas, sociales y legales) que integran las tipologías explícitas de los elementos naturales y artificiales del paisaje y sus funciones. En la fase dos, se realiza la integración de variables espaciales evaluando el potencial cultural, natural y paisajístico, para priorizar aquellas áreas relevantes para la conservación o restauración ecológica, acorde con su importancia relativa y el riesgo de su potencial pérdida, identificando y clasificando la valoración de áreas que requieren ser protegidas o rehabilitadas.

En la tercera fase, se propone el diagnóstico del sistema, mediante la intersección de las variables integradas, resultando en contornos espaciales primarios de infraestructura verde, como áreas clave con función de anclas. Finalmente, la propuesta se define en una cuarta fase que establece una infraestructura verde primaria a escala regional, identificando limitantes para definir niveles complementarios relacionados con la disponibilidad de información relativa a elementos a escala local.

Teniendo como referencia las propuestas metodológicas y la información utilizada en la identificación y definición de infraestructura verde. Es viable la utilización de los conjuntos de datos disponibles por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, correspondiente al inventario de elementos naturales y culturales a nivel nacional, integrados por el conjunto de datos espaciales topográficos, en escalas 1:50 000 y 1:20 000, así como otros conjuntos de datos temáticos (uso de suelo y vegetación, hidrología, edafología, etc.) en escala 1:250 000 para complementar la base de información espacial. Dicha integración permite identificar los principales elementos que conforman la infraestructura verde en diversas escalas, así como su análisis de conectividad estructural, con lo cual se define el Sistema de Infraestructura Verde a escala de la región metropolitana de interés.

## 5. MARCO DE REFERENCIA PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA VERDE

### 5.1. VINCULO CON POLITICAS INTERNACIONALES

Para impulsar la implementación de infraestructura verde en la planificación de las ciudades y sus regiones, en el marco del desarrollo sostenible, desde la Organización de las Naciones Unidas se han establecido acciones de carácter global para orientar políticas en atención a metas globales para la calidad de vida, en desarrollo urbano, la conservación de ecosistemas, así como la atención de problemáticas compartidas como las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, y el cambio climático.

En el año 2015 la Asamblea General de las Naciones Unidas aprueba la Agenda 2030, como un plan de acción para transformar y dirigir el desarrollo sostenible, estableciendo 17 objetivos que implican un compromiso común para la protección de las personas, el planeta y la prosperidad. De estos denominados Objetivos del Desarrollo Sostenible, se reconocen cuatro con características de aplicación para el desarrollo de infraestructura verde (ONU, 2015; IMPLAN León, 2020).

**Tabla 4.** Objetivos del Desarrollo Sostenible vinculados al desarrollo de Infraestructura Verde

<b>Objetivos del Desarrollo Sostenible</b>	<b>Aplicación para la Infraestructura Verde</b>
6. Agua limpia y saneamiento	Gestión y regulación de recursos hídricos.
11. Ciudades y comunidades sostenibles	Regulación micro climática, Reconversión del espacio público y bienestar, Reducción de riesgos.
13. Acción por el clima	Reducción de riesgos, secuestro de carbono, incremento de la resiliencia de ecosistemas frente al cambio climático
15. Vida de ecosistemas terrestres	Conectividad ecológica y preservación de la biodiversidad

Fuente: Elaboración propia en base a IMPLAN León (2020)

En el ámbito de la Nueva Agenda Urbana (ONU, 2016), se establece un marco de referencia para orientar y promover la configuración de las ciudades hacia el fortalecimiento de su planificación y diseño, con un enfoque urbano-territorial integrado con el medio ambiente. Concibiendo la creación de espacios urbanos sobre la base de la resiliencia, que fomenten su conectividad y distribución para la mejora de la calidad, seguridad, inclusión, accesibilidad y múltiple funcionalidad de las ciudades en su conjunto territorial. Estos aspectos resaltan la importancia de incorporar las soluciones basadas en la naturaleza, para el diseño de infraestructura pública y del espacio urbano, incluyendo las edificaciones y el impulso de la eficiencia en el consumo de recursos, para la productividad y crecimiento sostenible de la economía urbana, con el principio de proteger el medio ambiente como medio para proveer y asegurar la resiliencia de las ciudades frente a los efectos del cambio climático y la contaminación ambiental, además de promover la configuración de paisajes urbanos atractivos, que mejoren la habitabilidad y calidad de vida de los conglomerados urbanos (IMPLAN León, 2020).

Ante la relevancia actual del cambio climático entorno al desarrollo sostenible y la resiliencia de las ciudades, en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26), se han identificado necesidad clave de adaptación del hábitat para la protección de comunidades y ecosistemas naturales, teniendo en cuenta los posibles efectos devastadores y las afectaciones que inminentemente impactarán a distintos territorios aún ante los esfuerzos para la mitigación de emisiones (UNFCCC, 2021). Situación que implica necesariamente un trabajo conjunto para la conservación y restauración de ecosistemas, que funcionen como sistemas de defensa mediante la infraestructura urbano-territorial, integrando ciclos y procesos naturales en las ciudades, a partir de los cuales se generen aportes en la resiliencia de los espacios urbanos, para la regulación de fenómenos extremos climáticos, la gestión de recursos hídricos (captación,

infiltración, reutilización y tratamiento), así como un manejo integral del paisaje urbano, funcional en beneficio de la protección de hogares y medios de vida en las ciudades (IMPLAN León, 2002).

Es a partir de los acuerdos y políticas a nivel global, en que se sientan compromisos compartidos para mejorar las condiciones en que se construyen los entornos urbanos, correspondiendo al impacto que generan en la transformación del territorio y su condición para garantizar el derecho de los habitantes urbanos a una adecuada calidad de vida, dando paso a nuevos paradigmas del desarrollo urbano, integrando territorios, funciones y relaciones más allá de los límites preestablecidos de la ciudad y las dinámicas regionales en los países.

## **5.2. MARCO NORMATIVO Y REFERENCIAL EN MÉXICO PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA VERDE**

Referente a al vínculo para el desarrollo de Infraestructura Verde con el marco legal dirigido a la preservación, restauración y protección al ambiente en el territorio de la República Mexicana, este tiene su fundamento en el artículo 4º. de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (1917), en el cual se hace manifiesto al derecho a un medio ambiente adecuado para el desarrollo y bienestar de las personas, así como el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, además del derecho a la movilidad sostenible, como generadora de accesibilidad, eficiencia, inclusión, igualdad y seguridad, aspectos que son de interés para llevar a cabo el desarrollo de infraestructura verde.

En atención al precepto constitucional, se estipulan diversas leyes y normas para la regulación y

planificación urbano-territorial, así como para la preservación del medio ambiente y los recursos naturales, mismas que son abordadas sectorialmente sin lograr establecer claramente su actuación conjunta en las competencias tanto del ordenamiento territorial y desarrollo urbano, como en la uso sustentable de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente en beneficio de los sectores del desarrollo.

Destacando los principios para la implementación y desarrollo de Infraestructura Verde, se pueden destacar las bases normativas que tienen injerencia temática de interés para orientar un planteamiento referencial desde los lineamientos para la planeación ecológica y territorial de los elementos que integran los Sistemas de Infraestructura Verde vinculados a los asentamientos humanos y su desarrollo.

**Tabla 5.** Leyes del orden público vinculadas al desarrollo de infraestructura verde

<b>Ley</b>	<b>Temática</b>	<b>Aspectos vinculados a la IV</b>
Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	Planeación, regulación y gestión de asentamientos humanos y ordenamiento territorial	Normas técnicas básicas e instrumentos de gestión para ordenar el uso del territorio y los asentamientos humanos en el país, estableciendo las competencias de cada orden de gobierno al respecto
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Lineamientos referidos a la Regulación Ambiental de los Asentamientos Humanos	Disposiciones normativas para la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente
Ley de Aguas Nacionales	Gestión integrada de los recursos hídricos, el equilibrio ecológico y la sustentabilidad	Reglas para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, preservando su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral Sustentable
Ley General de Cambio Climático	Disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático.	Políticas públicas para la adaptación al cambio climático e implementación de medidas estratégicas para la mitigación de sus efectos
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	Regular y fomentar el manejo integral y sustentable de los territorios forestales	Conservación, protección, restauración, producción, ordenación, cultivo, manejo y aprovechamiento de ecosistemas forestales del país y sus recursos

Fuente: Elaboración propia en base a Decretos publicados en el Diario Oficial de la Federación, IMPLAN Hermosillo (2017), IMPLAN León (2020)



Este sistema normativo, sectorialmente establece Normas Oficiales (NOM) y Normas Mexicanas (NMX) en la que se especifican aspectos a considerar en los elementos que estructuran la Infraestructura Verde en el territorio, relativo a temas como: a) especificaciones de obras hidráulicas, b) eficiencia energética, c) protección de especies nativas, d) límites de contaminantes para aguas tratadas. Además de directrices para la gestión, procedimientos y certificación para el aprovechamiento de los recursos naturales. Estos criterios son retomados en la elaboración de políticas y estudio del ecosistema urbano territorial, necesarios para generar los procesos de transformación de los modelos de desarrollo urbano, que promuevan la restauración y conservación de ambientes urbanos sustentables (IMPLAN León, 2020; IMEPLAN Hermosillo, 2017).

De forma más específica para el desarrollo de IV, se han plasmado mediante el desarrollo de proyectos y manuales enfocados a la implementación y lineamientos de diseño planificado de IV (Suarez, et al., 2011; IMPLAN León, 2020; IMEPLAN Hermosillo, 2017), presentando alternativas normativas claras para la regulación, estableciendo criterios definidos en la implementación de infraestructura verde en una escala municipal, vinculados al diseño, planeación y gestión de entornos urbanos, incorporando sistemas de vegetación, técnicas constructivas que permiten la permeabilidad y captación pluvial. Dando un marco de referencia para la gestión de los servicios ecosistémicos urbanos que ayuden a mejorar las condiciones del espacio público, aportando a la regulación climática local y la prevención de riesgos hidrometeorológicos.

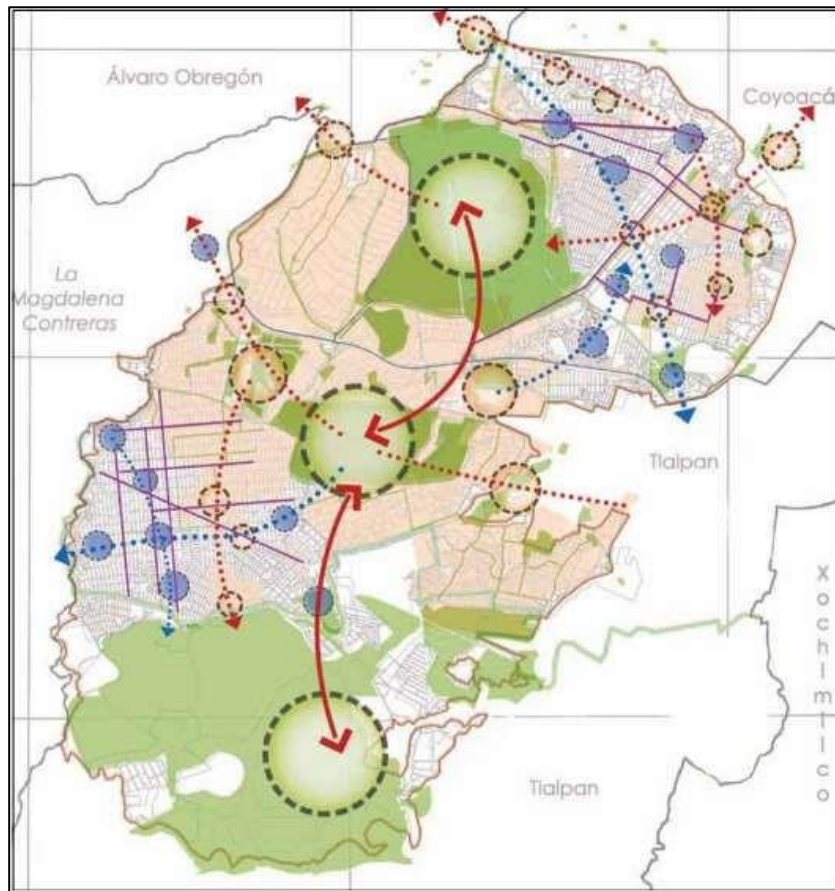
### **5.2.1. INFRAESTRUCTURA VERDE Y CORREDORES ECOLÓGICOS DE LOS PEDREGALES. CIUDAD DE MÉXICO**

Al sur de la Ciudad de México, se localiza la denominada reserva ecológica del Pedregal de San Ángel, con 237 ha, la zona está conformada por suelos volcánicos de alta porosidad, dándoles características importantes para actuar como regulador hidrológico, permitiendo la recarga del acuífero de la cuenca del Valle de México, constituyendo un ecosistema con alta variedad de especies endémicas de flora y fauna. La extensión de la reserva, abarca los límites de la ciudad universitaria de la Universidad Nacional Autónoma de México, así como las colonias de las inmediaciones, incluyendo usos habitacionales y comerciales, presentando problemáticas de la dinámica urbana de la ciudad (Suarez, et al., 2011; IMPLAN León, 2020).

El documento “Infraestructura verde y corredores ecológicos de los pedregales: ecología urbana del sur de la ciudad de México”, plasma una de las primeras estrategias en el país en la que se plantea la implementación de infraestructura verde dentro del contexto urbano, con un enfoque de diseño que promueva la recuperación de servicios ambientales, así como la atención a problemas de gestión hídrica, movilidad y conservación de biodiversidad (Suarez, et al., 2011).

La propuesta realizada, plantea en el desarrollo de pequeñas intervenciones enfocadas a la conectividad de espacios verdes prioritarios y la integración del paisaje, considerando las características biológicas, sociales y ambientales que guarda el territorio altamente urbanizado, centrando el conjunto de infraestructura verde en ubicaciones estratégicas que mejoren el potencial de los servicios ambientales, logrando una transformación eficiente de espacios con calidad para el desarrollo de la vida pública, la biodiversidad y el paisaje urbano con gran potencial para dirigir la sustentabilidad de la ciudad.

**Figura 7.** Esquema del Sistema de Infraestructura Verde de los pedregales de San Ángel



Fuente: Suárez, et al. (2011)

### **5.2.2. PLAN MUNICIPAL DE INFRAESTRUCTURA VERDE. MÉRIDA**

Con un gran dinamismo demográfico y en su configuración urbana, la el Ayuntamiento de la ciudad de Mérida, pública en 2017 el Plan Municipal de Infraestructura Verde, como el primer instrumento en la temática para la ciudad y pionero en el ámbito del país, con el objetivo de promover una nueva perspectiva del espacio público, específicamente en el manejo de espacios arbolados.

Dentro del planteamiento, se elaboran una serie de herramientas para la gestión del arbolado urbano, propuestas de proyectos para interconexión de infraestructura verde, programas de arborización, así como acciones encaminadas a fortalecer el marco legal para el manejo del arbolado urbano y las construcciones, incluyendo bases conceptuales de infraestructura verde. En 2019 se realiza una actualización al plan, buscando reforzar los principios del sistema y orientar sus objetivos a las estrategias para la mitigación de los efectos del cambio climático (IMPLAN León, 2020; Ayuntamiento de Mérida, 2019).

**Figura 8.** Estructura del contenido del Plan Municipal de Infraestructura Verde



Fuente: Ayuntamiento de Mérida (2019)

### **5.3. ASPECTOS DE LA GESTION URBANO-TERRITORIAL EN LA ZONA METROPOLITANA PUEBLA – TLAXCALA Y SU POTENCIAL PARA EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA VERDE**

#### **5.3.1 INSTRUMENTOS DE PLANIFICACIÓN TERRITORIAL EN LA ZMPT**

De acuerdo a los establecido por el artículo 115 constitucional en México, el ámbito de gobierno al que corresponde la autonomía para realizar acciones la gestión territorial se atribuye en

primera instancia a los municipios, mediante la elaboración e instrumentación de planes municipales de desarrollo urbano, así como la aplicación de otros instrumentos referentes a la gestión de los servicios, reducción de riesgos y regulación del suelo, teniendo también atribuciones compartidas con otros municipios, además de con los gobiernos Estatales y Federal, en situaciones de mayor complejidad ante fenómenos de conurbación y ámbitos metropolitanos, donde la diversidad política, histórica, cultural y económica, se suman para realizar adecuadamente una planificación y regulación coordinada de los territorios urbanos.

La Zona Metropolitana Puebla Tlaxcala, se inserta en la complejidad de los tres ámbitos de concurrencia para su gestión y planificación integrada, dado que la legislación vigente no tiene un reconocimiento jurídico de estos conjuntos territoriales, para una adecuada actuación se ha planteado desde la cooperación integral, mediante la conformación de comisiones metropolitanas que buscan atender las necesidades y demandas que se generan con el proceso de metropolización (Castillo, 2016). En atención a esta visión coordinada, se ha elaborado un instrumento actualizado, para diagnosticar la conformación de la ZM como un centro urbano que se desarrolla a partir de la predominancia de la actividad industrial automotriz, con aspectos funcionales a nivel regional para la provisión de servicios profesionales, turísticos, financieros y educativos, mismos que conforman ciertas ventajas competitivas dentro del territorio en vinculación con una realidad urbana global.

La Actualización de Plan de Desarrollo de la Zona Metropolitana Puebla – Tlaxcala (PDZMPT, 2013), establece las condiciones bajo las cuales promover políticas públicas de integración metropolitana, con metas para alcanzar un desarrollo sustentable en términos de conservación del medio ambiente, promover el ordenamiento equilibrado del territorio, así como la inclusión

social que distribuya los beneficios de la ciudad de forma integral. Es así, que del análisis del territorio, se destaca la relevancia del sistema ambiental como la base en la cual es posible impulsar el desarrollo metropolitano, al ser la fuente que provee los recursos naturales necesarios para el soporte del hábitat, determinante en la calidad de vida y aportando identidad regional al paisaje urbano, este último, enmarcado entre rasgos montañosos que conforman una amplia cuenca que dota de recursos naturales a las ciudades, como ríos, mantos acuíferos, bosques, además de condiciones climáticas favorables para la ventilación del dosel urbano, beneficiando la limpieza del aire.

Si bien la aproximación del PDZMPT (2013) establece un panorama compartido y plantea una cartera de proyectos de impacto metropolitano, su instrumentación y normativa mantienen aspectos desvinculado de actuación estatal en ambas entidades que la conforman, avanzando con distintos enfoques en la planificación y gestión urbana, desarrollando diversos instrumentos de forma independiente para cada Estado. En el aspecto del ámbito metropolitano limitado su ámbito administrativo se destacan los instrumentos del Estado de Puebla, y con mayor relevancia al ordenamiento ecológico los planes elaborados para el Estado de Tlaxcala.

Para el caso del Estado de Puebla, estos instrumentos han implementado una mayor aproximación en la planificación urbano-territorial a nivel municipal, impulsada por la primacía que tiene la ciudad de Puebla en la región y la actualización de su plan de desarrollo urbano municipal, cuya representación mediante la carta urbana del municipio de Puebla, establecen la zonificación para orientar el crecimiento urbano, ordenando usos y destinos del suelo, así como la asignación de densidades y proyectos estratégicos para la gestión del desarrollo urbano municipal (IMPLAN Puebla, 2016). Integrando aspectos para la gestión de espacios nos

urbanizados y restringidos, se han elaborado otros instrumentos como el Inventario Municipal de Áreas Verdes (IMAV, 2015), el cual implementa un registro de espacios designados como área verde dentro de la gestión del ámbito municipal, aportando conceptualmente al reconocimiento de elementos como: Áreas Naturales, Barrancas, Parques, Jardines, Riberas, entre otros, que forman parte del paisaje urbano. Si bien la visión desde el contexto urbano del municipio de Puebla se plantea en un ámbito metropolitano, su alcance es limitado al interior de la zona urbana, así como al ámbito administrativos del municipio y del territorio estatal, lo que hace que sus alcances, sean parcialmente atendidos territorialmente, manteniendo una concepción de espacios fragmentados cuya atención restringe el actuar integrado de los ecosistemas urbanos en la metrópoli.

En cuanto al Estado de Tlaxcala, con una visión territorial que abarca la totalidad de su ámbito administrativo, por medio del Programa de Estatal de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (2018), se dispone de un análisis integral del territorio que contempla el ámbito metropolitano, retomando las características de las cuencas hidrográficas, unidades de gestión ambiental definidas en el ordenamiento ecológico estatal, así como áreas naturales, uso de suelo y productividad. Aspectos que son asociados a la dinámica de crecimiento demográfico y de la mancha urbana, para la determinación de zonas de urbanización y preservación ambiental, acorde a la regionalización del territorio estatal. Si bien, este instrumento dentro de su análisis integra la relación funcional del territorio interestatal, mantiene en sus resultados una visión que se atiende exclusivamente dentro de los límites del ámbito administrativo del estado.

### **5.3.2 APROXIMACIONES PARA LA GOBERNANZA METROPOLITANA EN LA ZMPT**

La operación de la planificación y gestión metropolitana requiere la coordinación intermunicipal y concurrencia de los demás ámbitos de gobierno, buscando una actuación integral dentro de la complejidad que implican los territorios metropolitanos. En México el logro de los objetivos para lograr acciones para el desarrollo integral de estos ámbitos urbanos, se han visto parcialmente implementados ante la falta de consolidación de un marco legal adecuado a esta instancia territorial diversa (IMEPLAN, 2019).

Una aproximación para atender los requerimientos coordinados en la Región Metropolitana del valle entre Puebla y Tlaxcala, se plantea con la creación del Consejo para el Desarrollo de la ZMPT, estableciendo acuerdos entre los gobiernos de ambos estados, con alcance para el planteamiento de una cartera de planes, estudios y proyectos de infraestructura y equipamiento de impacto metropolitano, mismos que se enmarcan dentro del ámbito del desarrollo sustentable, y que por medio de su evaluación y análisis, permiten implementar medios de financiamiento con participación de la federación y ambas entidades, consolidando el fondo metropolitanos de la ZMPT (Castillo, 2016).

Los alcances de la coordinación y colaboración entre ambos estados para la gestión territorial de la ZMPT, han tomado en cuenta la participación federal desde la aportación de recursos para el desarrollo urbanos y ordenamiento territorial atribuidos desde el fundamento legal, sin embargo mantiene excluidos a los municipios en la visión conjunta del territorio, siendo necesario el impulso de mecanismos que permitan la implementación de acciones eficientes y eficaces en la coordinación, planificación y gestión integral del desarrollo metropolitano, donde la participación de municipios y estados sea la base para llevar a cabo los procesos participativos



necesarios encaminados a la gobernanza metropolitana (Castillo, 2016).

Teniendo en cuenta tanto los instrumentos de planificación urbano-territorial vigentes en la ZMPT, así como los aspectos normativos correspondientes para su instrumentación desde los distintos ámbitos de gobierno, se suma la necesidad de conformar una gobernanza metropolitana que atienda integralmente el desarrollo de la región, donde la conceptualización y análisis de la infraestructura verde, permite una aproximación para la integración coordinada del territorio desde su carácter sistémico. Permitiendo una visión territorial que supera los ámbitos administrativos municipales y estatales, impulsando los alcances de cooperación conjunta necesaria para superar los límites que impiden actualmente una adecuada planificación urbana – regional a escala metropolitana.

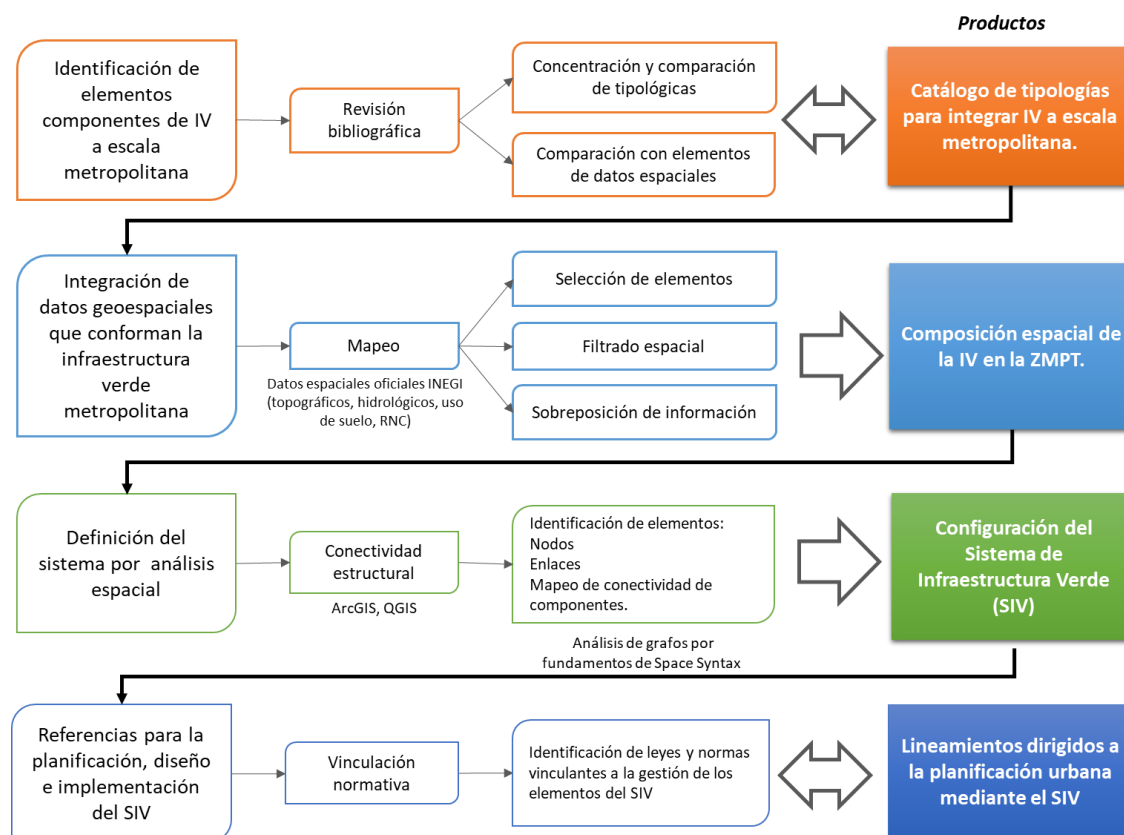
## **6. MARCO METODOLÓGICO**

### **6.3. MÉTODOS**

El presente estudio se presenta con un enfoque mixto. Partiendo con un carácter descriptivo cualitativo en la identificación y determinación de componentes del paisaje adecuados a escala metropolitana, mediante la revisión y selección de tipologías y elementos del paisaje que estructuran la infraestructura verde en escalas regional y urbana, así como su vinculación con los conjuntos de datos disponibles para el área de estudio en la ZMPT. Seguido de un enfoque espacial - cualitativo, en la integración y análisis de datos espaciales asociados a la composición y configuración de la estructura espacial del Sistema de Infraestructura Verde (SIV), realizando el procesamiento necesario mediante herramientas de análisis espacial, dentro de plataformas

digitales de Sistemas de Información Geográfica, lo cual es complementado asociando a los elementos identificados las referencias normativas que dirigen los lineamientos para la planificación del SIV.

**Figura 9. Esquema Metodológico**



Fuente: Elaboración propia.

Se partirá entonces con un primer producto correspondiente al catálogo de tipologías de IV vinculadas a la escala metropolitana, determinadas mediante la revisión y análisis de correspondencia en la recopilación bibliográfica de diversos documentos referentes para la planificación de IV, los cuales será comparado con los atributos de conjuntos de datos espaciales para su selección, procesamiento y edición para conformar la base geoespacial con fuentes de información disponibles en la estructura de datos espaciales del territorio en México.

Una vez obtenidos los conjuntos de datos espaciales oficiales, para su procesamiento estas serán seleccionados, filtrados y sobrepuestos, conformando un conjunto integrado de capas de información, del cual posteriormente se realizará el análisis espacial con herramientas de Software como ArcGIS o QGIS, que permita caracterizar y generar un modelo del Sistema Metropolitano de IV (SMIV) fundamentado desde el análisis de su conectividad espacial de sus elementos.

En complemento de apoyo para la planeación del SMIV, se plantea integrar las referencias normativas, a partir de las cuales se permita establecer las referencias de apoyo al diseño, planificación e implementación desde el ámbito legal aplicable a cada tipo de elementos que estructuran el modelo, contribuyendo a dirigir los lineamientos que impulsen acciones en contribución a la sustentabilidad y resiliencia a partir de la estructuración de la IV en el marco de la planificación ecológica y urbano – territorial de la región metropolitana.

**Tabla 6.** Resumen metodológico por objetivo

Objetivo	Resultado	Información	Fuente	Técnica de recolección	Método
Reconocer y conformar una base geoespacial con los elementos que integran la Infraestructura Verde en la ZMPT.	Contar con un catálogo de tipologías de apoyo para la identificación e integración de conjuntos de datos espaciales que conforman la infraestructura verde en la escala metropolitana.	Componentes de Infraestructura verde a escalas: metropolitana, urbana y regional.  Capas de información geoespacial: Áreas naturales, Red Hidrológica, Espacios urbanos abiertos, Redes de infraestructura urbana, Usos de suelo y Vegetación	Guías, estudios y planes de infraestructura verde.  Estructura de datos espaciales de México (INEGI, CONANP)	Recopilación bibliográfica.  Obtención y procesamiento de datos geoespaciales.	Análisis comparativo en matriz de tipologías.  Selección, sobreposición y filtrado de datos espaciales en ArcGIS y QGIS.
Analizar la estructura a partir de la conectividad de elementos del paisaje, para la definición del sistema de infraestructura verde en la ZMPT.	Identificar el Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde, desde el reconocimiento de su estructura y el análisis de su conectividad.	Modelo del SMIV:  Nodos (parches), corredores y tramas  Conectividad estructural basada en grafos.	Conjuntos de datos espaciales de territorio (INEGI, CONANP)	Procesamiento en SIG y mapeo de información	Selección por localización, filtrado por atributos, clasificación.
Aproximar los lineamientos normativos que aporten a la planificación, diseño e implementación del SIV, vinculados a la instrumentación de la Planificación Territorial.	Analizar las referencias normativas vinculantes al desarrollo de infraestructura verde en los elementos del SMIV.	Lineamientos normativos de apoyo a la planificación urbana desde la composición del SMIV.	Elementos del SMIV para la ZMPT  Leyes, normas y políticas en México	Consulta de documentos normativos.	Revisión de referencias normativas vinculadas a los tabulados de elementos de la IV.

Fuente: Elaboración propia

## 6.2 MAPEO DE INFRAESTRUCTURA VERDE

Posterior a la identificación de tipologías que integran el catálogo de elementos que conforman la infraestructura verde a escala metropolitana, se estructura por medio de la obtención de conjuntos de datos espaciales disponibles en fuentes oficiales, principalmente los del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), apoyándose de otras como la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y demás estancias gubernamentales que generan información geoespacial en México, permitiendo concentrar las capas de información de aquellos elementos que conforman el SMIV, para su caracterización y análisis.

Se plantean trabajar múltiples escalas de información de forma conjunta con la finalidad de tener el mayor nivel de detalle de los elementos del paisaje en el ámbito de la Zona Metropolitana, la información disponible se encuentra disponible para las escalas: 1:20 000, 1:50 000 y 1:250 000, las cuales se considerando adecuadas para ser utilizadas en la representación del territorio y su estudio a nivel metropolitano (Amado, et al., 2020), obteniendo con ello una base espacial primaria, la cual puede ser complementada mediante información generada a partir de su procesamiento y análisis de elementos de la IV, lo que permite reconocer la diversidad, relaciones y estructura en la composición sistémica del paisaje de las ciudades y su entorno.

El uso de las fuentes de datos del INEGI, se debe la ventaja de su disponibilidad para consulta, descarga y uso de forma libre, además de la factibilidad que presenta dicha información para el monitoreo temporal de los elementos del territorio, pues dispone de versiones periódicas de actualización, siendo que, al ser parte de la información de interés nacional, su uso es de observancia obligatoria para la generación, monitoreo y actualización de información espacial en el ámbito territorial mexicano (LSNIEG, 2015).

La obtención de la información se realiza en las versiones más recientes de actualización de acuerdo a la cobertura espacial de cada escala, disponible en formato shape (\*.shp), su integración en una cobertura homogénea será tratada mediante las herramientas de software GIS, donde se realizará el resto del procesamiento para la exploración, selección, filtrado y edición de información, para su análisis y representación de resultados.

Con el objetivo de complementar la información de utilidad para analizar y caracterizar el sistema de infraestructura verde, se realizará el cruce de información con distintas capas de información temática, la cual cuenta con las mismas características de los datos base que hace posible realizar

el procesamiento directamente a las capas base generadas. Complementado los atributos y diversidad de los distintos aspectos, que son de utilidad para análisis, caracterización y definición del sistema de infraestructura verde.

### **6.3. ANALISIS DE CONECTIVIDAD**

Los análisis para la definición de infraestructura verde, se han implementado desde los estudios de la ecología del paisaje (Aguilera, et al., 2018; Ojeda, 2020), de lo cual se retoma el aspecto de conectividad para la definición sistémica que estructura la característica del paisaje que permite generar flujos ecológicos dentro del territorio, siendo parte central de las condiciones para la implementación de estrategias para la conservación de biodiversidad y con una respuesta efectiva para hacer frente a los efectos de la pérdida de espacios verdes y del cambio climático en los paisajes altamente transformados (Saura, 2013).

La descripción de los principales enfoques metodológicos para analizar la conectividad del paisaje, como: índices exploratorios, estructuras de grafos, o modelos de poblaciones espacialmente explícitos, hacen uso de diversas técnicas y tipos de información para la caracterización de conexiones entre elementos del paisaje, con énfasis en su utilidad práctica para el estudio del hábitat, para la conservación de especies y la planificación territorial en escalas amplias de actuación. Desde estos aspectos, es posible evaluar diferenciadamente e inmerso en un marco de análisis integrado, la estructura de los principales parches o nodos del paisaje y su relación espacial por medio de elementos conectores potenciales para mantener los flujos ecológicos, que consolidan la base para el estudio de alternativas de mejor eficiencia para la gestión del territorio.

Es así como se entiende a la conectividad como aquella característica de la superficie en el territorio, la cual ayuda a determinar las condiciones de accesibilidad y el alcance potencial de intercambio en los flujos ecológicos, cuya condición favorable se traduce en mejorar la estabilidad y capacidad de recuperación del hábitat frente a perturbaciones, que incrementan la posibilidad de su persistencia en ámbitos multiescalares (Crooks & Sanjayan, 2006).

Desde su aspecto funcional, la conectividad busca medir las características de propagación o difusión de flujos ecológicos, siendo que cada proceso y especies presentan distintas capacidades de movilidad, donde la condición del paisaje en el territorio es funcionalmente determinante de la sensibilidad de la matriz para limitar o promover los movimientos de procesos ecológicos y su intensidad a través un territorio determinado. La complejidad introducida por la particularidad de las diversas especies para su análisis de conectividad funcional, hace necesario considerar alternativas de planificación operativa, como el caso de la conectividad estructural, considerando un enfoque simplificado que permita dar cuenta de la configuración y distribución espacial de los elementos del paisaje, sin profundizar en aspectos particulares de los flujos para una especie o proceso en concreto, considerando básicamente la continuidad física del paisaje para garantizar la conectividad en la cual se posibiliten los flujos ecológicos elementales, así como la capacidad de movilidad dentro del territorio (Saura, 2013).

Es importante considerar que estos análisis de conectividad estructural deben considerarse iniciales para una planificación más detallada desde la visión funcional con mayor relevancia ecológica que sea adecuada para los procesos particulares que actúan en el paisaje. Sin embargo, la primera aproximación estructural busca integrar e identificar las zonas del paisaje que tienen relevancia en para la conectividad territorial, permitiendo orientar el estudio detallado y la

planificación vinculada al desarrollo desde la perspectiva de la conservación y adaptación de los espacios habitables.

### **6.3.1 ANALISIS EXPLORATORIO**

Partiendo de la base de datos geoespacial generada del sistema de infraestructura verde metropolitano, se podrá realizar distintos procesamientos de consulta y selección de los datos asociados, los cuales pueden ser realizados por medio de herramientas disponibles en software como ArcGIS y QGIS para el análisis de información vectorial.

Una vez integrada la base geoespacial, esta puede ser analizada desde parámetros referentes a su composición espacial, de acuerdo con la diversidad de tipologías que integran el Sistema de Infraestructura Verde en el ámbito estudiado, identificando aspectos relacionados a sus características de origen, para el reconocimiento de coberturas consolidadas y potenciales, de acuerdo a la condición actual que presenta cada elemento del paisaje.

En este sentido, los elementos considerados como consolidados son aquellos que tienen características de cobertura y función definidas, que se reconocen como parches o nodos del paisaje, tales como: espacios naturales y, culturales o construidos. Mientras que los que observan un carácter potencial, son aquellos elementos del paisaje no catalogado con un carácter de cobertura definido, como son redes eléctricas, vías de comunicación y cursos de agua, considerando su derecho de vía para complementar sus características lineales, reconociéndolos como corredores de la infraestructura verde.

Lo referente a los parámetros considerados para la descripción de la composición espacial, busca



obtener información espacial de la diversidad, cobertura y distribución, de las tipologías de la infraestructura verde. Para realizar el procesamiento de estos datos, se plantea el uso de herramientas de software para el análisis de formatos vectoriales, que permitan trabajar directamente la información integrada, sin alterar su origen y las relaciones entre los elementos (Ojeda, 2020). Teniendo con esto aproximaciones de la composición del sistema de infraestructura verde, que destaca la diversidad de sus elementos, su clasificación en la red estructurante, aspectos que permiten la inferencia de su funcionalidad y valoración exploratoria del modelo integrado en la base geoespacial.

### **6.3.2 ANÁLISIS DE CONECTIVIDAD POR GRAFOS**

A partir de la teoría de grafos, se conforman estructura compuestas por redes de nodos y enlaces que son adecuadas para analizar la conectividad en distintos conjuntos de relaciones espaciales (Pascual & Dunne, 2006, en Saura, 2013; Grubestic, et al., 2008). La aplicación de técnicas de análisis de conectividad por grafos, aporta herramientas, procesamientos e índices que permiten caracterizar el paisaje de forma espacial, logrando obtener una evaluación de la importancia de los elementos que lo configuran, además de aquellos que potencialmente mejorarían la conectividad dentro del territorio, siendo de utilidad para dirigir decisiones para la planificación territorial, orientadas a la conservación y resiliencia del paisaje (Pascual-Hortal & Saura, 2006).

Por medio de grafos, es posible la representación del paisaje por medio del modelado del conjunto de elementos y su interconexión, funcionando para el análisis de acuerdo a los objetivos, escalas y nivel de detalle en diferentes campos de interés. Su representación

representada por nodos como unidades espaciales delimitadas espacialmente, en el caso del estudio correspondiente a los componentes de la infraestructura verde, caracterizadas por sus atributos tipológicos, extensión, entre otros, de interés para su valoración ecológica o de gestión. Siendo entonces los enlaces, aquellos elementos que relacionan funcionalmente los flujos ecológicos entre nodos, los cuales se caracterizan de acuerdo a las variables de distancia, barreras o costo de desplazamiento a través de los tipos de cubiertas que configuran la matriz del paisaje en un territorio determinado (Saura, 2013).

En lo referente a la planificación en escalas regionales, como la metropolitana, reconociendo las redes prioritarias de corredores que la integran estructuralmente, no suele requerir grandes niveles de detalle como los que presentan modelos para el análisis demográfico o de procesos biológicos específicos. Siendo que los procesamientos por estructura de grafos, han observado resultados espacialmente útiles para la valoración y priorización de los diferentes elementos del paisaje para su planificación, desde el mantenimiento y potencialidad de su conectividad ecológica (Saura, 2013). Lo cual es un aspecto de gran relevancia en la consolidación de un sistema de infraestructura verde (SIV), desde la configuración estructural de sus elementos y relaciones. Así, el análisis de la conectividad de la infraestructura verde, permite contar con una herramienta adecuada para la definición del sistema de la IV desde el reconocimiento de su composición estructural.

Apoyándose de la base de información geoespacial integrada para la ZMPT, el análisis de su estructura se fundamenta a partir de los fundamentos de Space Syntax (Batty, 2014; Hillier, et al., 1976; Klarqvist, 2015; Suárez, 2021), para el estudio de conectividad apoyándose en plataformas de cartografía automatizada en Sistemas de Información Geográfica (ArcGIS, QGIS),

por medio de los cuales es posible seleccionar y clasificar los distintos componentes de la sistema, obteniendo resultados para la representación en mapas de los tipos de coberturas (parches o nodos) y conectores (enlaces), los cuales permiten configurar la trama del paisaje, indicando su conectividad potencial basada en teoría de grafos, señalando los corredores prioritarios funcionalmente, así como zonas clave de atención en el sistema. El análisis plantea caracterizar la conectividad entre los diferentes espacios verdes entre las zonas urbanas, diferenciando los elementos naturales y culturales, así como los relacionados a la gestión hídrica (ríos, humedales, canales, etc.), sumando la accesibilidad entre espacios por medios de los elementos del SIV, además de la integración de zonas potenciales del SIV entre y dentro del sistema urbano de la ZMPT (vías de comunicación, redes de energía, matriz de sendas urbana).

La generación del modelo, constituye un instrumento de importancia para caracterizar la conectividad del SIV, apoyando su definición espacial, localizando potencialidades y zonas prioritarias desde la conectividad, que busca obtener una herramienta que permite la planificación, gestión y promoción de la infraestructura verde entre espacios urbanos y naturales, entendiendo que una conexión más eficiente de espacios proveedores de servicios ecosistémicos, aporta a mejorar las condiciones de soporte y bienestar de los habitantes, tanto de las ciudades, como de sus entornos (Torre & Matos, 2017).

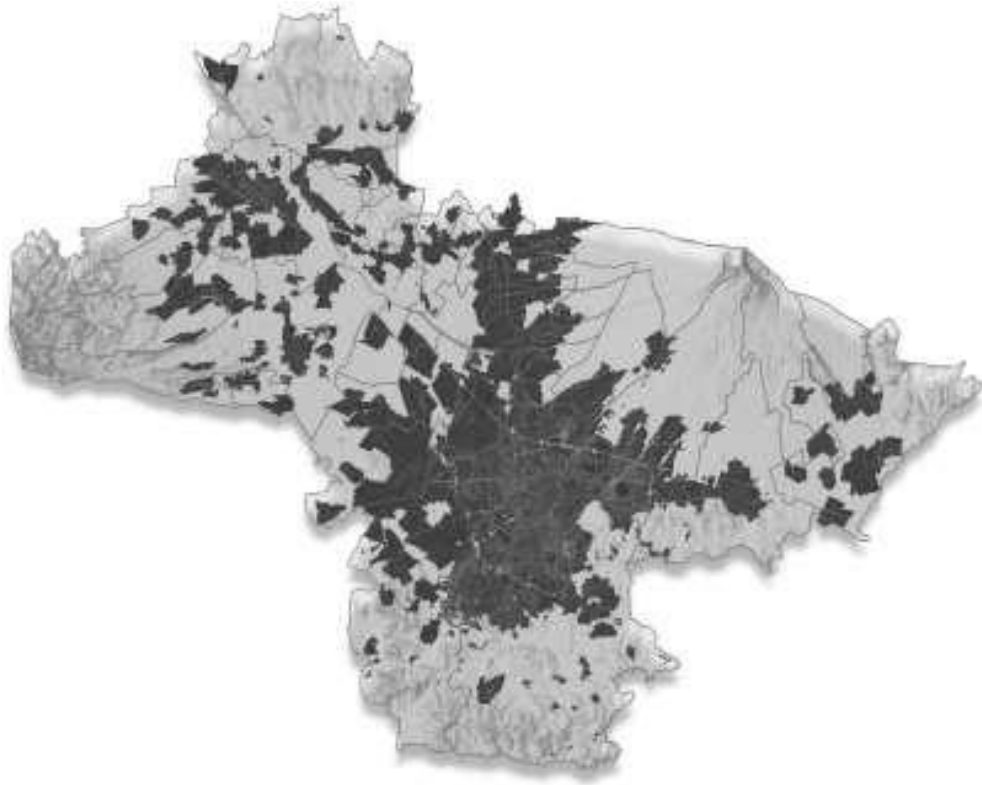
## **7. DESARROLLO DEL ESTUDIO**

### **7.1. ÁREA DE ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN**

La Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala se ubica al oriente de la región centro de México, entre los 18° 50' y 19° 25' de latitud norte y a 97° 55' y 98° 40' de longitud oeste. Con un carácter interestatal, de acuerdo al Sistema Urbano Nacional (2018) se conforma por 39 municipios, 20 del estado de Tlaxcala y 19 de Puebla, con una extensión de 2 392 km<sup>2</sup>. Forma parte de la Megalópolis de la Zona Metropolitana del Valle de México, el sistema de ciudades que la configuran, establece vínculos funcionales entre los núcleos urbanos y su entorno, así como con otras regiones territoriales, afirmando la vocación industrial y de servicios de la metropolización que concentra cerca de un tercio de la población del país, consolidándola la región central, como un territorio estratégico del desarrollo urbano-territorial de México (PDZMPT, 2013).

En cuanto a su dinámica de crecimiento, para el año 2015 la ZMPT contaba con una población de 2.94 millones de, previendo que para el año 2025, alcance alrededor de 3.22 millones de habitantes (INEGI, 2020), si bien disminuye la tendencia de crecimiento de la última década (1.8% a 1.2%), la proyección demográfica la mantiene en el cuarto lugar en cuanto a tamaño de población a nivel nacional, así mismo, el municipio de Puebla en su carácter de ciudad central de la ZM, se consolida como los municipios con mayor número de habitantes del país, con 3 millones al 2018 (SUN, 2018), denotando su conformación mono céntrica que se expande en una urbanización difusa y polinuclear en el proceso de metropolización.

**Figura 10.** Delimitación de la Zona Metropolitana Puebla - Tlaxcala



Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (2021)

La evolución histórica que consolida la ZMPT, observa una expansión urbana que sextuplica su extensión en el periodo de 1980 a 2010, cuyo modelo de desarrollo somete una presión sobre el medio natural, observado en la pérdida de suelos naturales, el aumento del estrés hídrico de la región, la contaminación y disminución de ríos y cuerpos de agua, así como afectaciones en la calidad del aire y la biodiversidad por contaminación ambiental.

La configuración física y ambiental, además de las relaciones del sistema de ciudades que conforman la ZMPT, da apertura al posible crecimiento urbano entorno a los ejes viales que conectan al norte con los municipios del estado de Tlaxcala, así como al poniente y oriente, en los municipios de Puebla, que de vinculan a la autopista México – Veracruz.

La estructura urbana de la ZM, centraliza su jerarquía en la ciudad de Puebla, aportando aproximadamente un tercio de los empleos industriales de la zona, y más de la mitad de la movilidad que se realiza hacia y desde su interior, concentrando los principales equipamientos de tipo educativo, comercial y de salud, sumando también los servicios profesionales y financieros. Distribuyendo servicios de nivel regional en los municipios periféricos del núcleo urbano, con predominancia al poniente.

A nivel regional, la ZMPT se localiza territorial y funcionalmente, con ventajas destacables en infraestructura, industria, comercio y servicios. Situación que es de atención, dado que se suma una tendencia de crecimiento al norte que posibilita la integración con la Zona Metropolitana Tlaxcala – Apizaco, lo que aumentaría su influencia hasta la región norte de los estados de Tlaxcala y Puebla.

Para la identificación de los elementos que conforman la infraestructura verde, se parte de las tipologías planteadas a distintas escalas y desde las diferentes temática relacionadas con el ámbito de la ciudad y su entorno (EEA, 2011; Vásquez, 2016; Amado, et al., 2020), como una primera aproximación general de las tipologías involucradas en la conformación de un sistema de infraestructura verde a escala metropolitana, misma que sea adecuada para las particularidades de la zona metropolitana de estudio.

## **7.2 REPORTE DE RESULTADOS OBTENIDOS**

En los siguientes apartados, se presenta el reporte de los resultados obtenidos en la elaboración de la presente AFE/tesis, correspondiente a los objetivos planteados en la formulación del

estudio. Como primer aspecto, se definieron los elementos que serán retomados para conformar la IV al nivel de escala de estudio metropolitana, por medio de la revisión de documentos referentes en la clasificación de tipologías para el desarrollo de IV, mediante un análisis comparativo de componentes, teniendo como resultado un "catálogo de tipologías de componentes para la IV metropolitana", con el cual se cruzó la identificación de elementos en diccionarios de datos espaciales para indicar las necesidades información geoespacial a obtener de las fuentes oficiales de México, permitiendo integrar una "base espacial integrada para la cobertura geográfica del ámbito territorial de la ZMPT".

Una vez integrada la base de información geoespacial, en el segundo apartado se realizó el análisis de las capas de información para su estructuración, a partir de la exploración de sus atributos y relaciones que permitieron el reconocimiento de la composición sistémica de los elementos del territorio, siguiendo los principios de la metodología de Sapce Syntax, para la definición de estructuras de conectividad y obtención de los modelos de representación en enfoques del medio natural y urbano, definidos como: "Sistema Natural de Infraestructura Verde" y "Sistema Urbanos de Infraestructura Verde", que conjuntamente constituyen una trama integral, definiendo el "Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde de la ZMPT".

Complementando la aproximación espacial para orientar acciones de planificación urbana – territorial, apoyada en el modelo de del SMIV, se incluyeron las principales referencias normativas (federales o estatales) vinculadas a los componentes reconocidos, los cuales permitan orientar la instrumentación de programas y políticas, asociados al diseño e implementación de proyectos relacionado a la sustentabilidad urbana y resiliencia territorial a partir del enfoque de la IV.

A partir de los resultados obtenidos, se integra la base conceptual, espacial y normativa, mediante la cual es posible definir lineamientos para orientar el desarrollo de la ZMPT, desde el enfoque de la IV para aportar en la gestión territorial multiescalar, reconociendo las características y elementos que permitan atender las necesidades para la recuperación y conservación del soporte medio ambiental para dotar de resiliencia y sustentabilidad urbana a la región.

### **7.2.1 INTEGRACIÓN DE BASE GEOESPACIAL DE IV METROPOLITANA**

Para la integración de la base geoespacial mediante la cual se identificaron los componentes de Infraestructura Verde para generar su mapeo y análisis a escala Metropolitana, se inició mediante la revisión de aquellos elementos que han sido considerados de importancia a las escalas territoriales a nivel de ciudad y región, mediante lo cual se integran las principales tipologías a considerar para su reconocimiento, consolidando a partir de información secundaria, un catálogo de tipologías mediante la comparación y correspondencia de elementos del paisaje para la integración territorial de la IV a escala metropolitana.

Con la finalidad de identificar los elementos de la infraestructura verde dentro del ámbito territorial de México, una vez realizada la comparación de tipologías en estudios de planes, estrategias y propuestas de evaluación de infraestructura verde en diferentes escalas, estos fueron agrupados revisando su concordancia con los elementos considerados en diccionarios de datos de conjuntos

espaciales obtenidos de fuentes de información geoespacial oficial, producida principalmente



por INEGI, así como los polígonos de áreas naturales protegidas de CONANP, complementando la identificación de elementos referentes a espacios naturales, áreas de cultivo, cursos de agua, áreas verdes públicas e infraestructura urbana. Mediante lo cual se indican los conjuntos de datos a obtener para el reconocimiento de la estructura del Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde en la ZMPT.

Una vez relacionadas las fuentes y bases de información geoespacial, se obtuvieron los conjuntos de datos directamente del repositorio disponible en el sitio <https://www.inegi.org.mx/default.html>, en el apartado Datos, tema Mapas, donde se recopilaron distintas capas de información temática de datos: Topográficos en escalas 1:20000 y 1:50000, Vías de comunicación (Red Nacional de Caminos, edición 2020) en escala 1:50000, Hidrografía (Red Hidrográfica edición 2.0, 2010) en escala 1:50000, y Uso de suelo y vegetación (serie VI, Conjunto Nacional) en escala 1:250000.

Detallando los elementos considerados para el catálogo de tipologías consideradas para la integración territorial de IV, en las siguientes matrices se muestran los principales elementos del paisaje retomados, agrupando comparativamente aquellos correspondientes a las capas de información contenidas en los conjuntos de datos obtenidos, de acuerdo con la definición de sus elementos de acuerdo con los diccionarios de datos espaciales asociados en su documentación técnica.

**Tabla 7.** Matriz de comparativa de consulta bibliográfica para el catálogo de tipologías de infraestructura verde

Autor	Amado, et al., 2020	Vásquez, 2016	Flores-Xolocotzi, 2019	Hernández-Rojas & Sanabria-Marín, 2020	Ahern, 2007	Agencia Ambiental Europea (EEA), 2011	Riveros, et al., 2015	Ojeda-Revah & Ochoa, 2018	Centro de Estudios Ambientales, 2014	IMPLAN León, Guanajuato, 2020
<b>Escala</b>	Multiescalar	Escala ciudad y regional	Escala Ciudad	Escala municipal	Escala ciudad	Escalas urbana y regional	Escala ciudad y regional	Multiescalar	Ámbito urbano y periurbano	Macro escala (Regional, municipal)
<b>Tipologías</b>	Áreas protegidas	Áreas silvestres protegidas, Parques nacionales			Áreas patrimoniales, parques nacionales, reservas naturales, áreas de vegetación nativa	Parques nacionales, Designaciones de paisajes nacionales, regionales o locales	Áreas silvestres protegidas, Parques Nacionales	Áreas naturales protegidas	Espacios naturales protegidos	Áreas Naturales Protegidas
	Red Hidrológica	Ríos, canales urbanos, Lagunas, Frentes de agua continuos		Humedal, bosque de galería	Ríos, canales, drenaje, vías fluviales, humedales	Ríos y llanuras aluviales, lagos, embalses, canales, frentes de agua	Ríos, canales, Lagos, Frentes de agua continuos	Cursos de agua naturales	Acuífero, ríos y arroyos, balsas y humedales y red de saneamiento	Ríos, arroyos, cauces pluviales, corredores riparios, parques lineales, barrancas
	Áreas de alto valor ambiental	Bosques urbanos, Cinturón verde		Arbustal denso, Bosque abierto, bosque de galería, Arbustal abierto, Bosque denso		Parques forestales, Bosques comunitarios, Cinturón verde designado	Bosques urbanos, Cinturón verde, cerros, cordones montañosos	Lugares ecológicamente especiales, vegetación riparia, chaparral	Lugares de importancia comunitaria, orla forestal	Cuencas y microcuencas, Continuos forestales (matorrales, bosques, selvas)
	Sistema costero	Bordes costeros y playas					Bordes costeros y playas	Matorral costero		
	Áreas propensas a inundación	Llanuras de inundación					Llanuras de inundación			Zonas de riesgo de inundación
	Áreas permeables	Fajas de resguardo en alta tensión	Terrenos baldíos con vegetación	Tierras desnudas y degradadas, Herbazal denso, Pastos arbolados, Mosaico de pastos con espacios naturales	Lotes vacantes, cementerios	Terreno abandonado, campo abierto	Fajas de resguardo en alta tensión, campo abierto	Remanentes de vegetación natural		
	Taludes deslizables						Fallas geológicas	Áreas de riesgo		Zonas de riesgo de deslizamiento, fallas geológicas
	Área agrícola		Espacios agrícolas	Mosaico de cultivos		Tierras agrícolas	Tierras agrícolas		Matriz agrícola	Área de frontera agrícola, terrenos agrícolas
	Suelos de alto valor	Bosques		Pastos limpios, Plantación forestal		Bosques comunitarios, tierras comunales	Bosques comunitarios, territorio de propiedad común		Anillo verde	
	Espacios urbanos abiertos	Parques Intercomunales, Plazas	Espacios públicos: parques, jardines, plazas y deportivos ajardinados, cementerios	Instalaciones recreativas, Zonas verdes urbanas,	Parques, jardines comunitarios, campos deportivos	Parques urbanos y rurales, Parques regionales, Grandes espacios recreativos, bienes comunes urbanos	Parques Intercomunales, Plazas, grandes espacios recreativos, eriazos	Parques públicos, Camellones, glorietas, cementerios, jardines Espacio Público	Zonas verdes urbanas: Espacios verdes urbanos y parcelas vacantes	Parques metropolitanos y parques urbanos
	Huertos urbanos		Viveros forestales, huertos	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales		Tierras agrícolas		Agricultura urbana	Anillo agrícola	
	Patrimonio natural y construido	Parques naturales				Plazas	Parques naturales		Parques del anillo verde	
	Red vial	Red de carreteras y ferrocarriles, senderos estratégico y de larga distancia	Corredores verdes (avenida, calles, vías de tren)		Carreteras	Senderos y brechas estratégicas, redes de carreteras y ferrocarril,	Red de carreteras y ferrocarriles, senderos estratégico y de larga distancia		Sendas urbanas, vías verdes e itinerarios ecológicos	Rutas y senderos
	Áreas construidas		Espacios privados: jardines y azoteas verdes		Cementerios, campus escolares	Entornos comerciales, minas abandonadas, vertederos	Minas abandonadas, vertederos, acueductos y gasoductos		Vías ciclistas y espacio público liberado	Áreas de interés cultural

Elaboración propia en base a fuentes citadas.

**Tabla 8.** Matriz de correspondencia entre tipologías y elementos de conjuntos de datos espaciales

Capa de Información	Descripción DD	Fuente	Escala	Elementos	Elementos del catálogo bibliográfico
Área Natural Protegida	Área con protección oficial, en la que el ambiente original no ha sido alterado significativamente por la actividad del hombre.	Datos topográficos; Uso de Suelo y Vegetación, INEGI	1:50 000; 1:250 000	Área de protección de flora y fauna; Área de protección de recursos naturales; Monumento natural; Parque marino nacional; Parque nacional; Reserva de la biosfera; Zona sujeta a conservación ecológica	Áreas protegidas, Áreas silvestres protegidas, Parques Nacionales, Área natural protegida, Áreas de alto valor ambiental, Bosques, Continuo forestal, Suelos de alto valor, Parque natural.
Canal	Cauce artificial empleado para irrigación, transporte de aguas residuales o conducción en sistemas de abastecimiento o en sistemas de generación de energía eléctrica.	Datos topográficos; Red hidrográfica, INEGI	1:20 000; 1:50 000; 1:250 000	Con revestimiento: el cauce tiene un revestimiento de material. Sin revestimiento: el cauce es de tierra.	Red hidrológica, canales urbanos, canales
Corriente de agua	Flujo de agua superficial que depende de la precipitación pluvial y/o afloramiento de aguas subterráneas.	Datos topográficos; Red hidrográfica, INEGI	1:20 000; 1:50 000; 1:250 000	Arroyo: es una corriente natural de agua que normalmente fluye con continuidad, pero que a diferencia de un río, tiene escaso caudal, que puede incluso desaparecer durante el estiaje. Río: es una corriente de agua que fluye con continuidad. Posee un caudal determinado, rara vez constante a lo largo del año y desemboca en el mar, en un lago o en otro río.	Red hidrológica, Ríos, arroyos, cauces pluviales, corredores riparios, barrancas, Cursos de agua naturales
Cuerpo de agua	Extensión de agua limitada principalmente por tierra.	Datos topográficos; Uso de Suelo y Vegetación, INEGI	1:50 000; 1:250 000	Lago: depósito natural de agua, alojado en una depresión de la superficie terrestre, sin comunicación directa con el mar. Vaso: depósito natural que contiene agua. Cenote: depresiones kársticas de colapso que presentan en su fondo un lago. Poza: concavidad en la que hay agua detenida o estancada. Vaso del Bordo: cuerpo de agua retenido en forma artificial por un muro de tierra. Vaso de la Presa: cuerpo de agua retenido en forma artificial por una cortina construida.	Lagunas, Frentes de agua continuos, Lago, Humedal
Pantano	Terreno con agua estancada, de poca profundidad y fondo cenagoso, que puede presentar vegetación hidrófila.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Terreno con agua estancada, de poca profundidad y fondo cenagoso, que puede presentar vegetación hidrófila	Lugares ecológicamente especiales
Terreno sujeto a inundación	Extensión de tierra que se anega temporalmente, hasta que la infiltración y/o evaporación la desecan.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Extensión de tierra que se anega temporalmente, hasta que la infiltración y/o evaporación la desecan.	Áreas propensas a inundación, Llanuras de inundación, Zonas de riesgo de inundación
Área pública /Área urbana abierta	Área con o sin vegetación, de acceso público, dedicada al esparcimiento, decoración, conservación y/o eventos cívicos.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Jardín: cuenta con plantas y flores de ornato para el esparcimiento. Parque: cuenta con plantas y flores de ornato y otros atractivos para el recreo. Plaza: espacio público amplio y abierto, situado en un lugar habitado destinado para actividades de convivencia ciudadana.	Espacios urbanos abiertos, Espacios públicos: parques, jardines, plazas, grandes espacios recreativos, Camellones, glorietas, Parques metropolitanos y parques urbanos, Espacios arbolados
Área de cultivo	Terreno con presencia de actividades humanas, realizadas para la obtención de productos agrícolas	Datos topográficos; Uso de Suelo y Vegetación, INEGI	1:50 000; 1:250 000	Terreno con presencia de actividades humanas, realizadas para la obtención de productos agrícolas	Área agrícola, huertos urbanos, espacios agrícolas, Mosaico de cultivos, Tierras agrícolas, Área de frontera agrícola, terrenos agrícolas, agricultura urbana
Cementerio	Sitio destinado para la inhumación.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Sitio destinado para la inhumación.	Espacios urbanos abiertos, áreas permeables, áreas construidas
Instalación deportiva o recreativa	Área acondicionada, con carácter permanente, para la práctica de actividades deportivas o recreativas.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Campo de golf: Para la práctica del golf. Campo de tiro: Para la práctica de tiro. Centro vacacional: Para actividades recreativas y de descanso. Diverso: Para la práctica de deportes diferentes. Estadio: Para la celebración de competencias deportivas. Hipódromo: Para competencias de carrera de caballos. Lienzo charro: Para la práctica de la charrería. Plaza de toros: Para corridas de toros. Zona de campamento: Para la práctica de campamento. Zoológico: Para la conservación y exposición de animales salvajes.	Espacios urbanos abiertos, áreas permeables, áreas construidas
Instalación diversa	Área que contiene un conjunto de edificaciones o estructuras destinadas a diferentes usos, exceptuando el industrial y habitacional.	Datos topográficos INEGI	1:20 000	Invernadero: donde se reproducen y se cultivan plantas de ornato y de otro tipo para su distribución. Jardín botánico: donde se reproducen y cultivan plantas para su estudio.	Espacios urbanos abiertos, huertos urbanos, viveros forestales, áreas permeables, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales, áreas construidas
Rasgo arqueológico	Lugar en donde se han encontrado manifestaciones culturales históricas.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Pinturas rupestres: donde existen pinturas sobre rocas, realizadas por culturas autóctonas. Pirámide: construcción prehispánica. Sitio arqueológico: donde se localizan vestigios culturales prehispánicos. Zona arqueológica: donde existen edificaciones y diversos elementos prehispánicos.	Patrimonio natural y construido, área construida
Camino	Vía de transporte terrestre no pavimentada para tránsito de vehículos, personas y animales.	Datos topográficos; Red Nacional de Caminos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Terracería: con terraplén y revestimiento, para el tránsito permanente de vehículos. Brecha: sin terraplén ni revestimiento, que generalmente permite el tránsito de un vehículo. Vereda: sin terraplén ni revestimiento, sólo para tránsito de personas y animales	Red vial, senderos estratégico y de larga distancia, Rutas y senderos
Carretera	Vía de transporte terrestre pavimentada, diseñada para tránsito de vehículos automotores.	Datos topográficos; Red Nacional de Caminos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Vía de transporte terrestre destinada para el tránsito vehicular y/o peatonal.	Red vial, Red de carreteras,
Vialidad	Superficie del terreno destinada para el tránsito vehicular y/o peatonal.	Datos topográficos; Red Nacional de Caminos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Primer Orden: agrupación de vialidades tales como: avenida, boulevard, calzada, circuito, circunvalación, eje vial, periférico y viaducto. Segundo Orden: agrupación de vialidades tales como: ampliación, continuación, corredor, diagonal y prolongación. Tercer Orden: agrupación de vialidades tales como: calle, callejón y retorno. Cuarto Orden: agrupación de vialidades tales como: andador, cerrada, pasaje, peatonal, privada y otro.	Corredores verdes (avenida, calles, vías de tren)
Conducto	Tubería empleada para transportar fluidos (excepto agua), o sólidos en suspensión.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Subterráneo: bajo la superficie del terreno. Superficial: sobre la superficie del terreno.	Gasoducto
Línea de transmisión	Conjunto de cables aéreos, empleados para conducción de energía eléctrica.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Conjunto de cables, generalmente aéreos, empleados para conducción de energía eléctrica.	Áreas permeables, áreas construidas
Vía férrea	Vía de transporte terrestre, con dos rieles paralelos fijados mediante durmientes sobre los cuales transitan trenes.	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	En construcción: que está en un proceso de construcción. En operación: que está en servicio o puede usarse. Fuera de uso: que no está en uso.	Red vial, red de ferrocarriles, Áreas permeables, áreas construidas
Zona arenosa	Terreno cubierto con material granular suelto (arena).	Datos topográficos INEGI	1:20 000; 1:50 000	Arenal: en terreno sensiblemente plano. Dunas: en terreno con presencia de montículos.	Área permeable

Elaboración propia

Partiendo de la base conceptual para determinar las capas y fuentes de información a utilizar en la integración de elementos de IV dentro del ámbito de la ZMPT, se comenzó la integración de aquellos conjuntos de datos de acuerdo a su disposición y cobertura espacial por escala, además del análisis exploratorio de las capas a integrar. Lo que permitió comenzar a validar los elementos identificados para el ámbito territorial estudiado, determinando casos en los que fue necesario auxiliarse de información complementaria para determinar coberturas de Áreas Naturales Protegidas, mismas que se consultaron en las bases de datos de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), tanto para las denominadas a nivel federal, como estatal.

**Tabla 9.** Resumen de conjuntos de datos y capas integradas para el reconocimiento de IV

Conjunto de datos geospaciales	Fuente	Escala de información	Capas de Interés
Carta Topográfica	INEGI (2016-2020)	1:20 000; 1:50 000	Acueducto, Área de cultivo, Área pública (Jardín, Parque, Plaza), Camino, Canal, Carretera, Cementerio, Conducto, Corriente de Agua, Cuerpo de agua, Estanque, Instalación Deportiva o recreativa, Línea de transmisión, Malpaís, Pantano, Rasgo arqueológico, Vía férrea, Vialidad
Uso de suelo y vegetación	INEGI (Serie VI, 2016)	1:250 000	Agricultura, Vegetación, Agua, Urbano construido, Área desprovista de vegetación, Sin vegetación aparente,
Red Hidrológica	INEGI (2010)	1:50 000	Canal en Operación, Canal en Construcción, Canal Fuera de Uso, Corriente de Agua Intermitente, Corriente de Agua Perenne, Línea Central, Cuerpo de Agua.
Áreas naturales protegidas	CONANP (2019)	1:1 000 000	Reserva de la biosfera, Parque Nacional, Monumento Natural, Área de protección, Santuario, Áreas destinadas voluntariamente a la conservación
Red Nacional de Caminos	INEGI (2020)	1:50 000	Red Vial. Vías de transporte terrestre destinada para el tránsito vehicular y/o peatonal.

Elaboración propia

Una vez exploradas las capas de información geoespacial, tanto en sus características espaciales para su mapeo como en los atributos que las conforman, en una primer procesamiento para su integración se realizó la unión de conjuntos de capas correspondientes a los conjuntos de datos topográficos donde su cobertura está integrada de acuerdo a la nomenclatura empleada por INEGI (1999) para la cobertura de cartas en sus escalas 1:20000 y 1:50000, procesamiento realizado con las herramientas de procesamiento vectorial en QGIS, mismo procedimiento se empleó para unir los

polígonos de Áreas Naturales, los cuales a su vez, se combinaron con los datos de uso de suelo y vegetación buscando obtener información complementaria sobre las condiciones de cobertura vegetal en la composición de los principales espacios naturales dentro de la región.

Para conformar una cobertura dentro del ámbito territorial de la ZMPT, se realizó el filtrado de los elementos para identificar solo aquellos que se ubican dentro del ámbito espacial de estudio buscando mantener su aspecto de continuidad y visualización a la escala de trabajo, realizando distintos métodos de selección de elementos por localización y por jerarquías consideradas en sus atributos que permitieran una lectura cartográfica adecuada para el reconocimiento de patrones y relaciones espaciales.

**Tabla 10.** Procesamiento de capas para la integración de la estructura espacial de la IV en la ZMPT

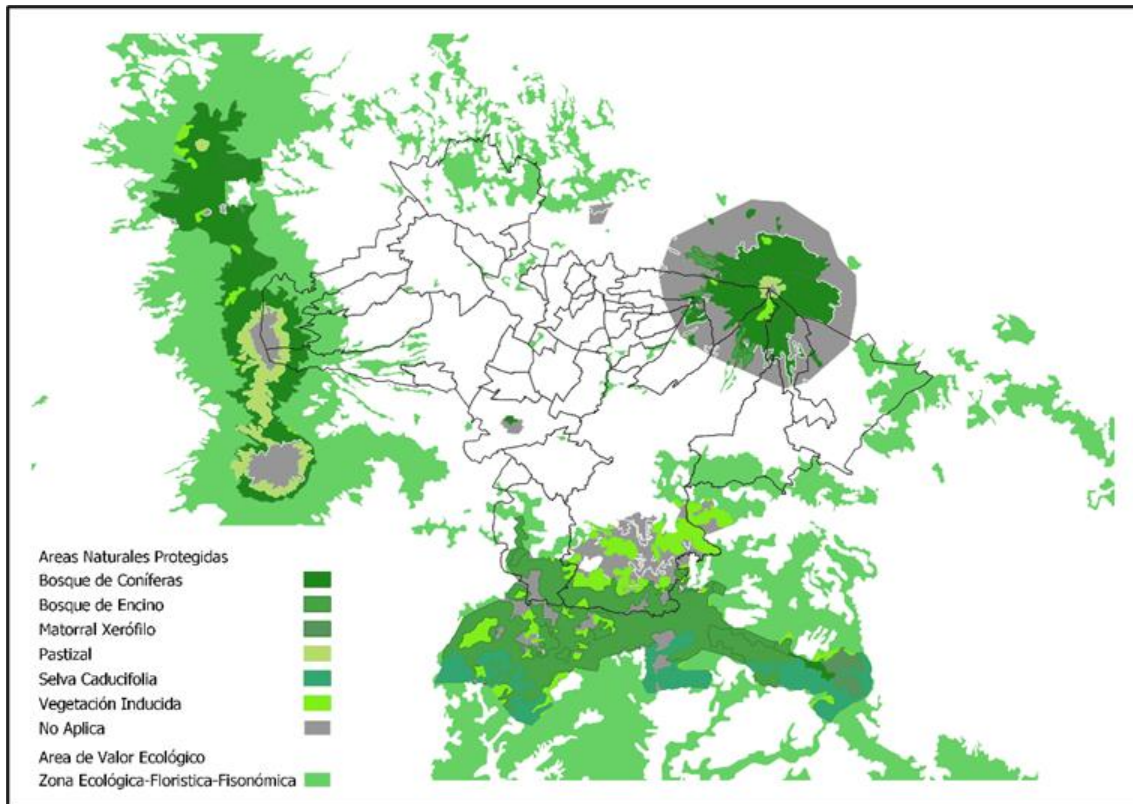
Conjunto de datos	Fuente	Capas de información geoespacial	Procesamiento	No. Capas
Áreas Naturales Protegidas	Áreas Naturales Protegidas, Conanp; Áreas Naturales Protegidas Estatales, Municipales, Ejidales y Privadas, Conabio; Uso de Suelo y Vegetación, INEGI	182ANP_Geo_ITRF08Mayo_2021; anpest15; usv250s6v	Unión, Selección por localización, Intersección	3
Hidrografía	Red Hidrográfica 50KINEGI	RH18Aa_hl; RH18Ab_hl; RH18Ac_hl; RH18Ad_hl; RH18Ae_hl; RH18Af_hl; RH18Ag_hl; RH18Ah_hl; RH18Ai_hl; RH18Aj_hl	Unión, Selección por localización, Edición (clasificación), Filtrado	10
Área agrícola, bosque cultivado	Uso de Suelo y Vegetación, INEGI	usv250s6a	Selección por localización, Filtrado	1
Área de valor ecológico	Uso de Suelo y Vegetación, INEGI	usv250s6v	Selección por localización, Filtrado	1
Área urbana	Datos topográficos 50K, INEGI; Uso de Suelo y Vegetación, INEGI	localidad50_a (E14B32, E14B33, E14B42, E14B43, E14B44, E14B52, E14B53); usv250s6v	Unión, Selección por localización	8
Área pública (urbana)	Datos topográficos 20K, INEGI	area_urb_ab20_a (e14b32b, e14b32c, e14b32d, e14b32e, e14b32f, e14b33a, e14b33d, e14b33e, e14b33f, e14b42a, e14b42b, e14b42c, e14b42e, e14b42f, e14b43a, e14b43b, e14b43c, e14b43d, e14b43e, e14b43f, e14b44a, e14b44b, e14b44d, e14b44e, e14b52c, e14b53a, e14b53b, e14b53c, e14b53d, e14b53e)	Unión, Selección por localización	30
Instalación diversa/Instalación Deportiva	Datos topográficos 20K, INEGI	ins_diversa20_a/ins_deportiv20_a (e14b32b, e14b32c, e14b32d, e14b32e, e14b32f, e14b33a, e14b33d, e14b33e, e14b33f, e14b42a, e14b42b, e14b42c, e14b42e, e14b42f, e14b43a, e14b43b, e14b43c, e14b43d, e14b43e, e14b43f, e14b44a, e14b44b, e14b44d, e14b44e, e14b52c, e14b53a, e14b53b, e14b53c, e14b53d, e14b53e)	Unión, Selección por localización, Filtrado	30
Red vial	Red Nacional de Caminos, INEGI	red_vial_geo	Selección por localización, Filtrado	1

Elaboración propia

Los resultados de cada capa de información permiten identificar los principales elementos del paisaje, que conforman las estructuras naturales y de infraestructura urbana, a partir de las cuales se pueden reconocer las características de las principales tipologías que integran la infraestructura verde en la ZMPT.

Es así que en cuanto a los elementos que conforman los parches o nodos en la estructura del sistema de IV, los de mayor cobertura e importancia ecológica, corresponden a las Áreas Naturales Protegidas y de Valor Ecológico (Figura 11), correspondiendo a bosques naturales localizados en las principales montañas del sistema fisiográfico del Eje Volcánico Transversal, así como lomeríos y serranías que se desarrollan en la periferia al norte y sur del Valle Puebla – Tlaxcala, siendo los elementos naturales de mayor extensión y cuya importancia ecosistémica para el territorio, se destaca por su diversidad en grupos vegetales, ecosistemas endémicos de la región, además de su función hidrológica en la cuenca alta del río Balsas (ENOT, 2021).

**Figura 11.** Reconocimiento de las Áreas Naturales Protegidas y de Valor Ecológico en la ZMPT



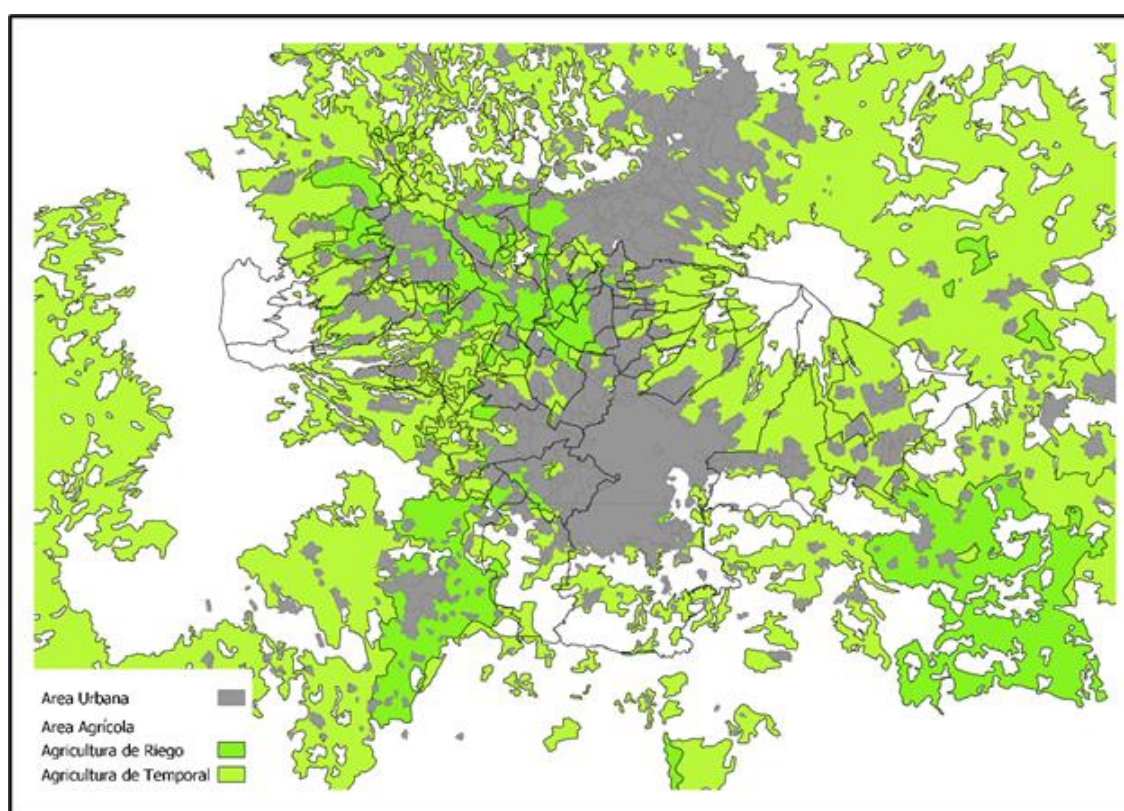
Elaboración propia con datos de INEGI y CONANP

Dentro de los elementos de la infraestructura verde, los espacios libres que ocupan la mayor porción del territorio, son las Áreas Agrícolas, constituyendo las zonas que delimitan la periferia urbana y la principal reserva territorial para su crecimiento, siendo a su vez en este proceso el principal cambio de uso de suelo que genera presión hacia los espacios naturales. Su diversidad y función ecosistémica está condicionada a la disponibilidad de flujos hídricos que doten de riego a los cultivos, siendo que estos pueden mantenerse en producción durante casi la totalidad del ciclo anual que corresponde a la agricultura de Riego, mientras que aquellos que dependen para su producción de las condiciones de precipitación de acuerdo a las condiciones climáticas de la región, corresponden a la agricultura de temporal.



El patrón de crecimiento urbano en la ZMPT de sur a norte, a fragmentado la continuidad periférica de las zonas de cultivo cuya principal característica corresponde a la agricultura de temporal, con una porción de riego al poniente de la ZM que se relaciona con las principales corrientes de agua y una menor continuidad del Área Urbana, pero que marca una mayor tendencia de crecimiento hacia el poniente (Figura 12).

**Figura 12.** Reconocimiento de las Áreas Agrícolas en la región de la ZMPT

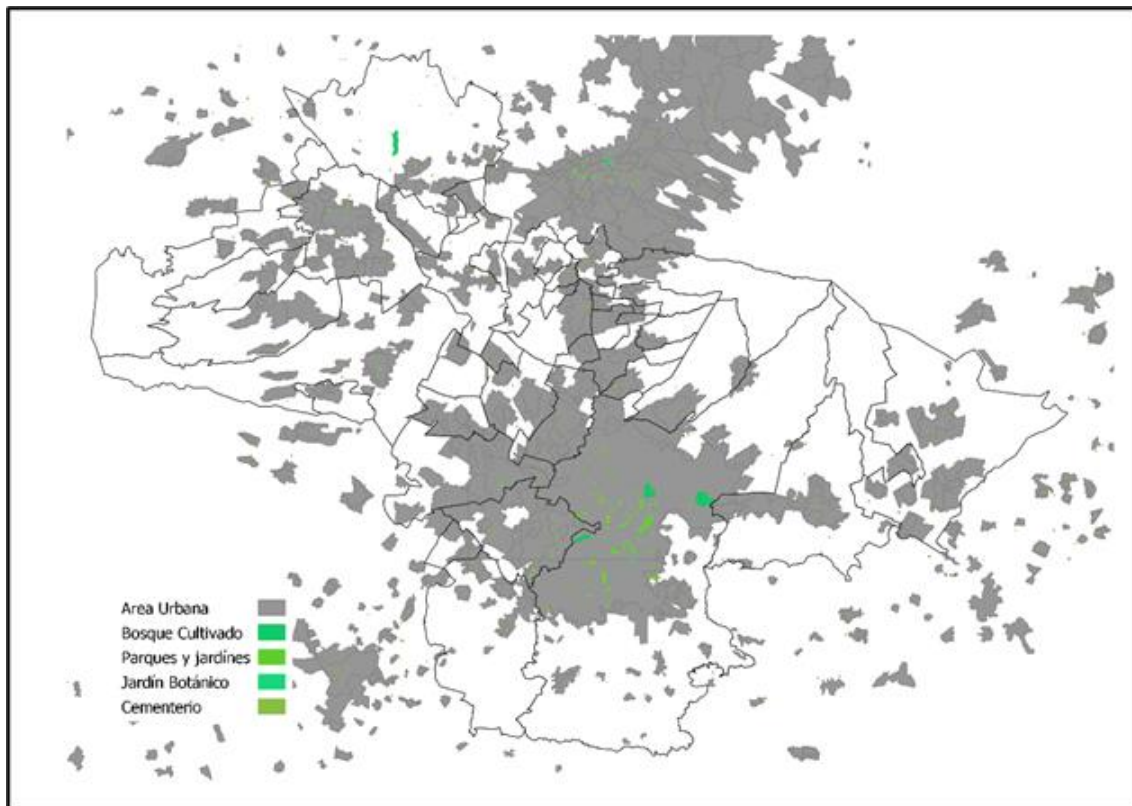


Elaboración propia con datos de INEGI

En cuanto a los parches verdes al interior del Área Urbana, se tiene una distribución marcadamente concentrada en el sector sur - oriente de la Ciudad de Puebla, donde destacan los espacios de mayor extensión y diversidad (Figura 13).



**Figura 13.** Reconocimiento de Áreas Verdes Públicas en la ZMPT



Elaboración propia con datos de INEGI

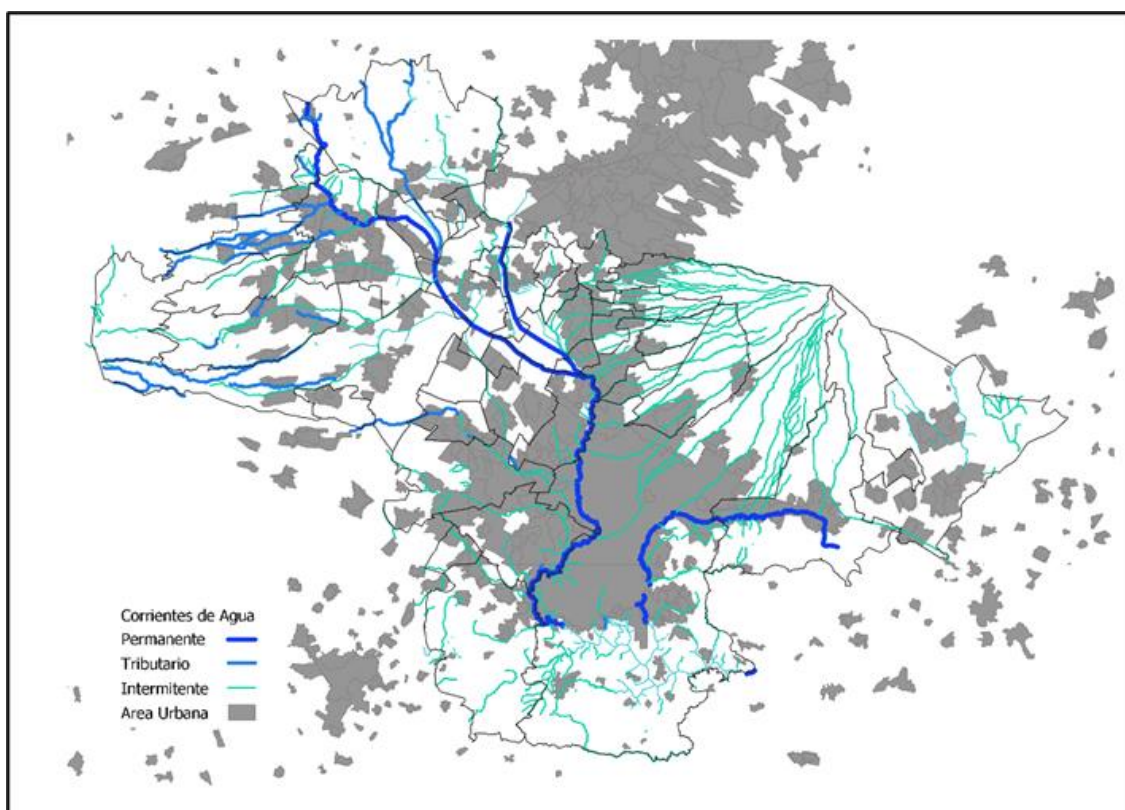
Aunque su cobertura y continuidad en el ámbito metropolitano es escasa, los espacios verdes urbanos, tienen una función relevante para dotar de servicios ecosistémicos al interior de las ciudades, permitiendo establecer nodos que mantienen flujos de biodiversidad desde el exterior de las áreas urbanas.

La conectividad entre los distintos espacios del territorio metropolitano, dado la alta fragmentación por el crecimiento de las áreas urbana, la temporalidad de los procesos en los campos agrícolas y la dinámica decreciente en la cobertura y calidad de los espacios naturales, hace que elementos lineales del paisaje como corrientes hídricas e infraestructura urbana, tengan relevancia en la conexión entre diversas áreas, permitiendo a mantener flujos entre y a través de los cuales es

posible generar sinergias en la continuidad ecológica del territorio.

Es así, que los elementos naturales que corresponden a la estructura de corredores de IV está conformada por la red hidrológica de la cuenca en la que se desarrolla la ZMPT (Figura 14), cuya composición está ligada a los afluentes montañosos, en su mayoría intermitentes, que alimentan los principales ríos que recorren desde los espacios naturales, las zonas agrícolas y se adentran en el área urbana, transportando en ellos las formas en que se ha relacionado a las actividades humana y los recursos naturales de su entorno.

**Figura 14.** Reconocimiento de corredores hídricos en la cuenca de la ZMPT



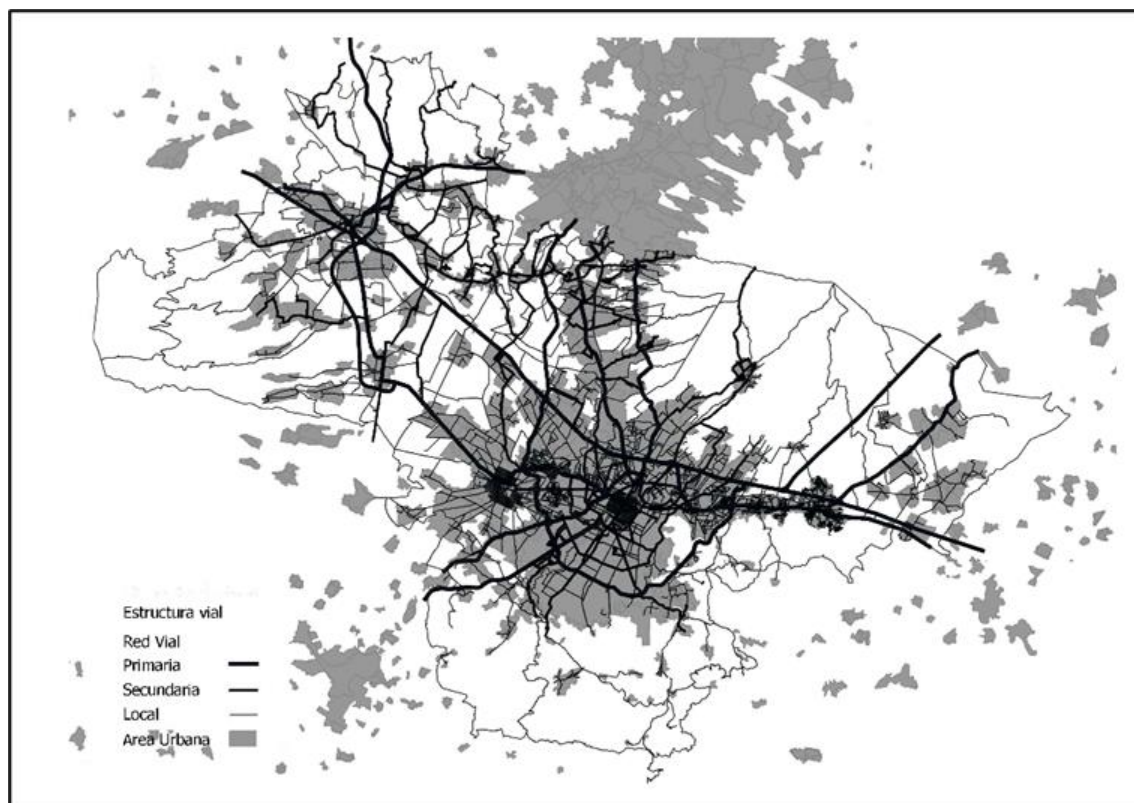
Elaboración propia con datos de INEGI

Otro elemento de interés para la conectividad de los flujos ecológicos en el territorio metropolitano, son las redes de infraestructura, principalmente la estructura de vialidades, dado que conforman la

mayor extensión de conectores entre el sistema urbano, implicando territorialmente elementos que segmentan los espacios naturales dado el impulso que tienen en la expansión de los núcleos urbanos (Figura 15).

Sin embargo, su naturaleza para conectar distintos espacios y la densidad de estos elementos en la ciudades y densidad, hace de la estructura vial un componente prioritario en la estructura de la IV, dado su potencial e interés para el diseño, relación y acceso a espacios públicos, que permita impulsar la implementación de alternativas para la movilidad sustentable tanto dentro de la ciudad, como entre el sistema de ciudades que integran la ZM.

**Figura 15.** Reconocimiento de la estructura vial principal en la ZMPT



Elaboración propia con datos de INEGI

Es así, que desde la conformación de la base geoespacial de tipologías que componen la estructura básica de IV en la escala territorial de la ZMPT, se puede realizar una primera aproximación desde el análisis exploratorio de la información espacial disponible, permitiendo una integración territorial de elementos por medio de los cuales se generen modelos territoriales en los cuales sea posible analizar la estructura y las relaciones que conforman el Sistema de Infraestructura Verde.

### **7.2.2 RECONOCIMIENTO DEL SISTEMA DE INFRAESTRUCTURA VERDE EN LA ZMPT**

Es a partir del análisis exploratorio e integración de la información geoespacial del territorio, obtenida de los conjuntos de datos temáticos disponibles en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, así como otras fuentes oficiales para complementar el detalle de las características en cuanto a cobertura espacial, que se logra conformar el mapeo de los componentes de la infraestructura verde en el ámbito territorial de la ZMPT, representando e identificando las tipologías que estructuran modelos territoriales tanto del ámbito natural, como de la infraestructura metropolitana.

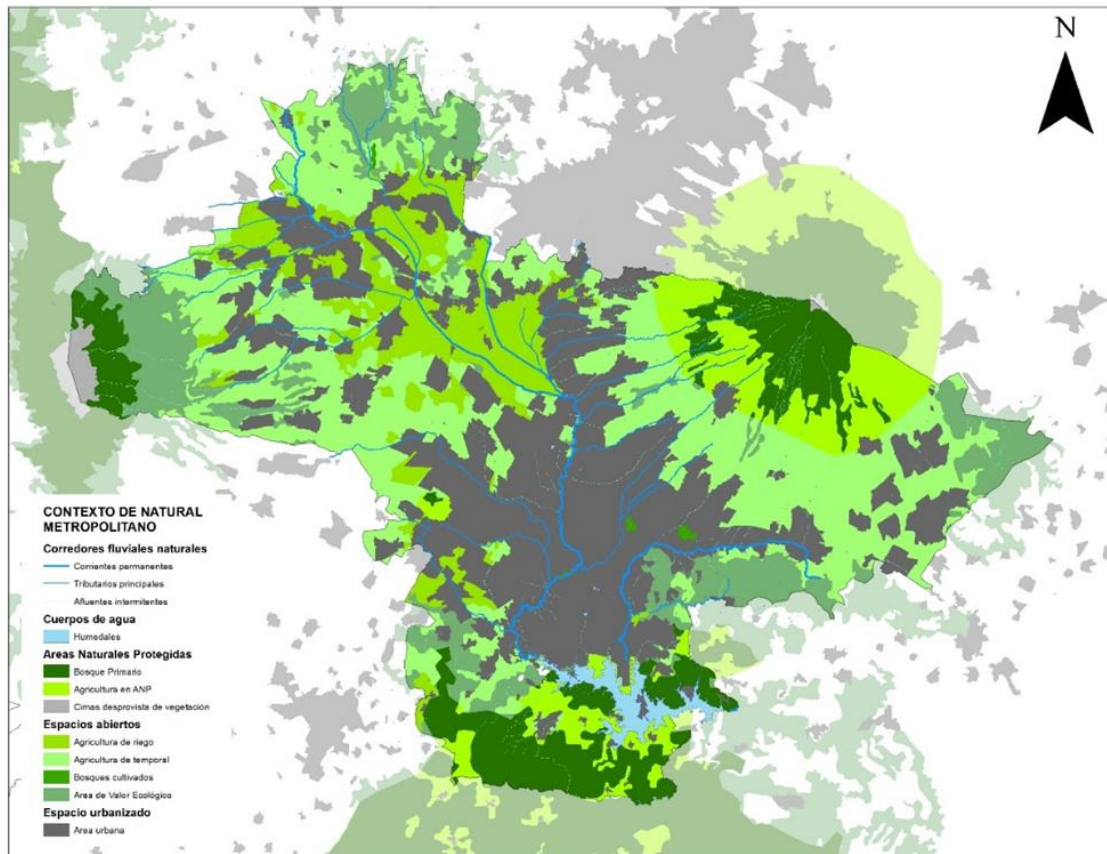
Con base en las capas de información, de acuerdo a su ámbito temático se reconocen las tipologías clave que se presentan dentro del ámbito metropolitano de la IV, agrupando y clasificando para su análisis los componentes que se relacionan dentro del contexto natural con enfoque dirigido a la planificación ecológica regional, y en otro aspecto se destacan los elementos del contexto de la infraestructura metropolitana cuyo enfoque busca determinar relaciones al interior de las áreas urbana, con respecto de los espacios verdes y los elementos conectores que generan conectividad tanto al interior, como entre los espacios exteriores a las ciudades.

Con respecto a los anterior, las capas de información obtenidas de los conjuntos de datos

geoespaciales sobre recursos naturales en México, que genera INEGI como parte de la información de interés nacional, nos da la posibilidad de integrar dicha estructura de información espacial referida a la cobertura territorial del área de estudio, contando con información tabular asociada con la cual es posible clasificar, filtrar y representar temáticamente los datos espaciales, mismos que al estar integrados en un sistema de referencia espacial común, pueden ser sobrepuestos e intersecados, cruzando por localización los datos de interés para generar nueva información a partir del análisis espacial.

De lo anterior se desprende en primera instancia, el mapeo y caracterización del contexto natural (Figura 16), destacando los elementos principales que integran territorialmente la red de recursos naturales de acuerdo a su naturaleza, como son, corrientes y cuerpos de agua, los tipos de coberturas presentes en las Áreas Naturales Protegidas y espacios de Valor Ecológico, además de los diversos espacios abiertos destinados a actividades agrícolas y silvicultura, que se contextualizan con las Áreas Urbanas que se desarrollan en la ZM.

**Figura 16.** Contexto Natural de la IV en la ZMPT



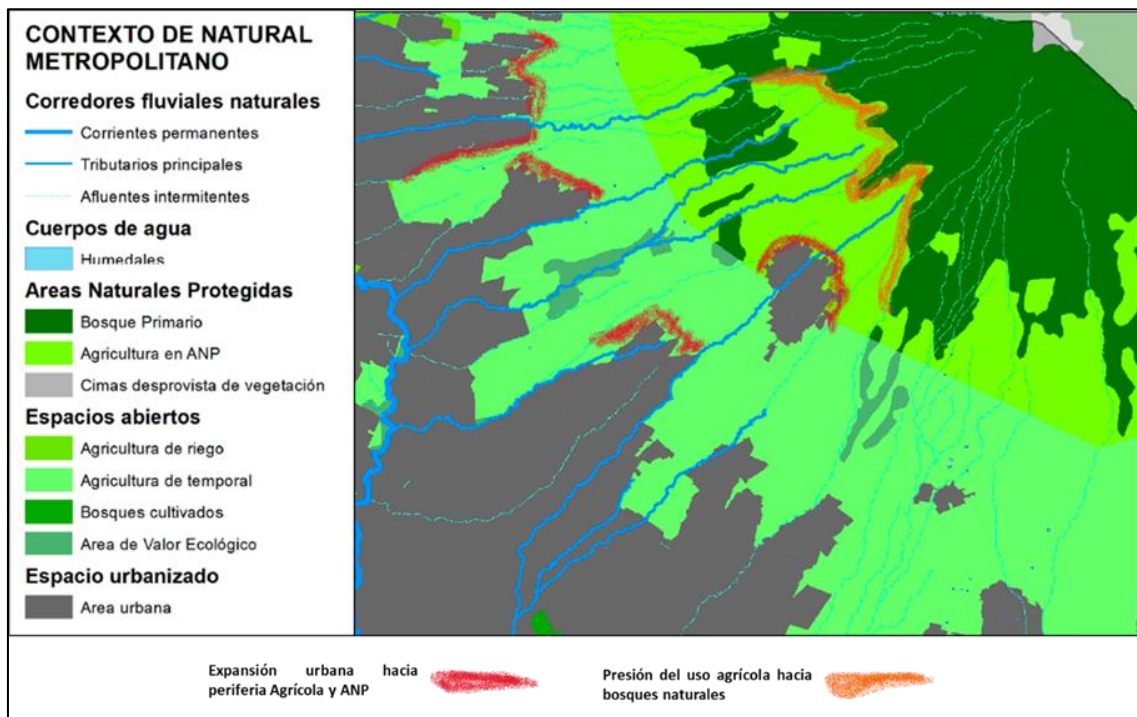
Elaboración propia

Es desde este aspecto, que es posible destacar las principales tipologías con mayor valor para la planificación y ordenamiento ecológico en la ZM, reconociendo la configuración de aquellos elementos naturales que están vinculados al origen de los corredores que alimentan las principales corrientes hídricas y enmarcan la dinámica de flujos en cuenca, siendo elementos clave del paisaje para la conectividad entre la diversidad de espacios, al interactuar a través de estos.

En otro ámbito, por medio de esta representación se logran identificar patrones de la expansión urbana hacia la periferia agrícola, mismas que a su vez generan una presión hacia las áreas de bosques naturales exteriores situados en el contexto de los grandes nodos naturales de las elevaciones que predominan en la región (Figura 17).



**Figura 17.** Aspectos destacados en la caracterización del contexto natural de la IV en la ZM



Elaboración propia

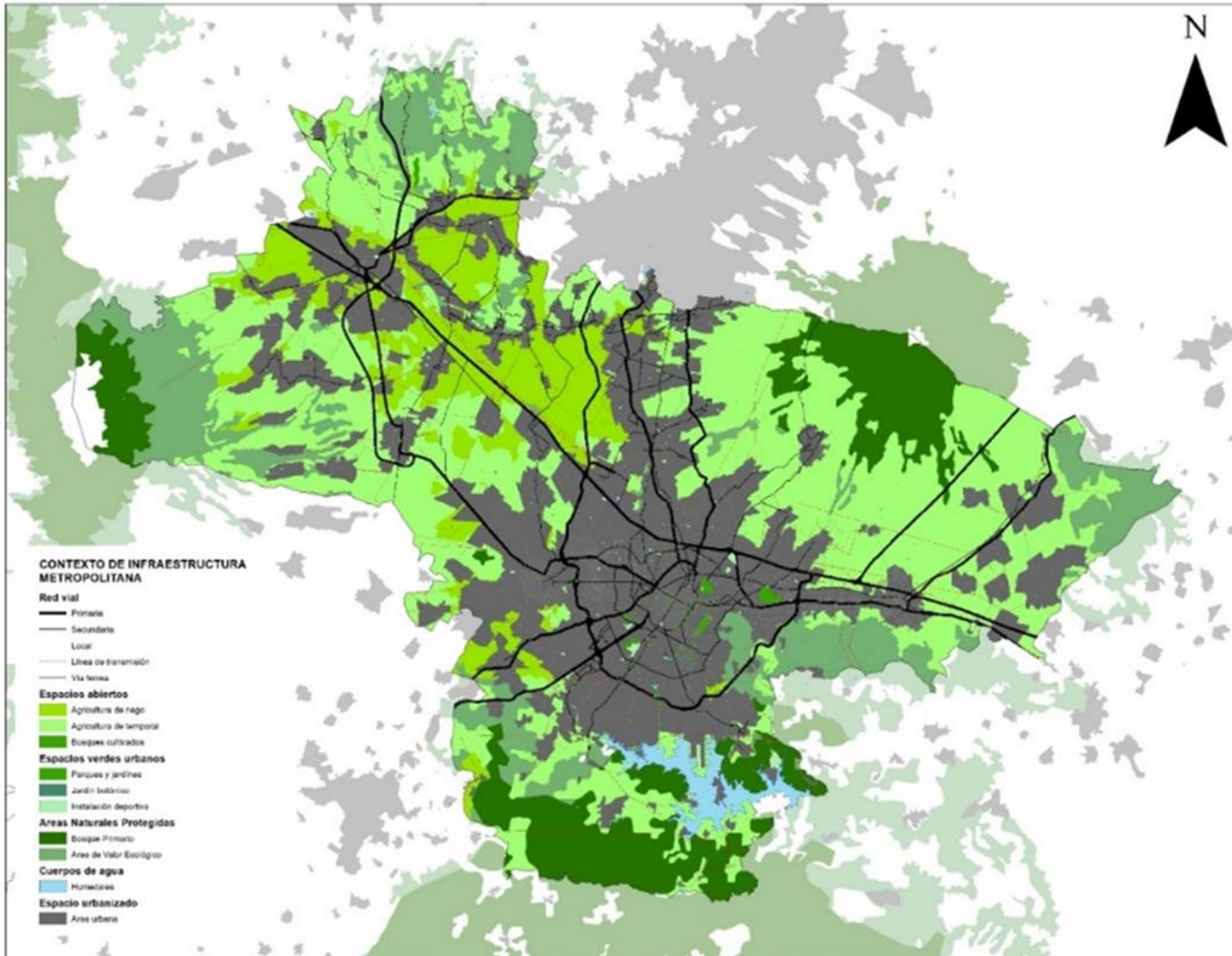
Desde el contexto de la Infraestructura Metropolitana, esta se asocia principalmente a las redes de vialidades, transporte y de transmisión de energía, las cuales estructuran en gran medida las forma y desarrollo del sistema urbanos en la ZM, enmarcando una jerarquía de elementos radiales al principal centro urbano, que es la Ciudad de Puebla y su área conurbada, integrando la diversidad de espacios verdes al interior de las áreas urbanas (Figura 18).

De acuerdo con las principales características en este ámbito del paisaje metropolitano, se incluyen como aspecto relevante la diversidad de espacios verdes de carácter público al interior del área urbana, denotando su mayor densidad y extensión en la primacía del sistema de ciudades, al igual que su concentración en cierto sector con respecto a las periferias (Figura 19). Los elementos de infraestructura permiten establecer también, relaciones en cuanto a los ejes primarios que de

acuerdo a su función tienden a segmentar de los diversos espacios, algunos ejes de importancia regional también actúan como estructuradores del crecimiento urbano delimitando y dirigiendo la forma del desarrollo de la mancha urbana, además de aquellos relacionados espacialmente a los parches verdes urbanos con potencial de estructurar conectores verdes al interior de las ciudades.

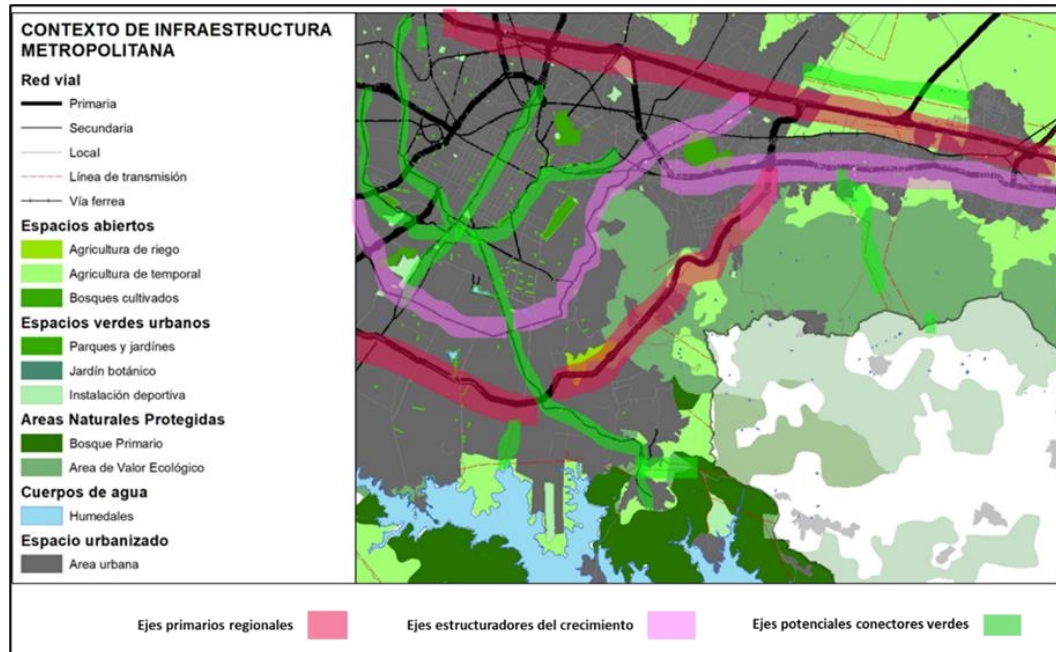


Figura 18. Contexto de Infraestructura Urbana en la IV de la ZMPT



Elaboración propia

**Figura 19.** Aspectos destacados en la caracterización del contexto urbano de la IV



Elaboración propia

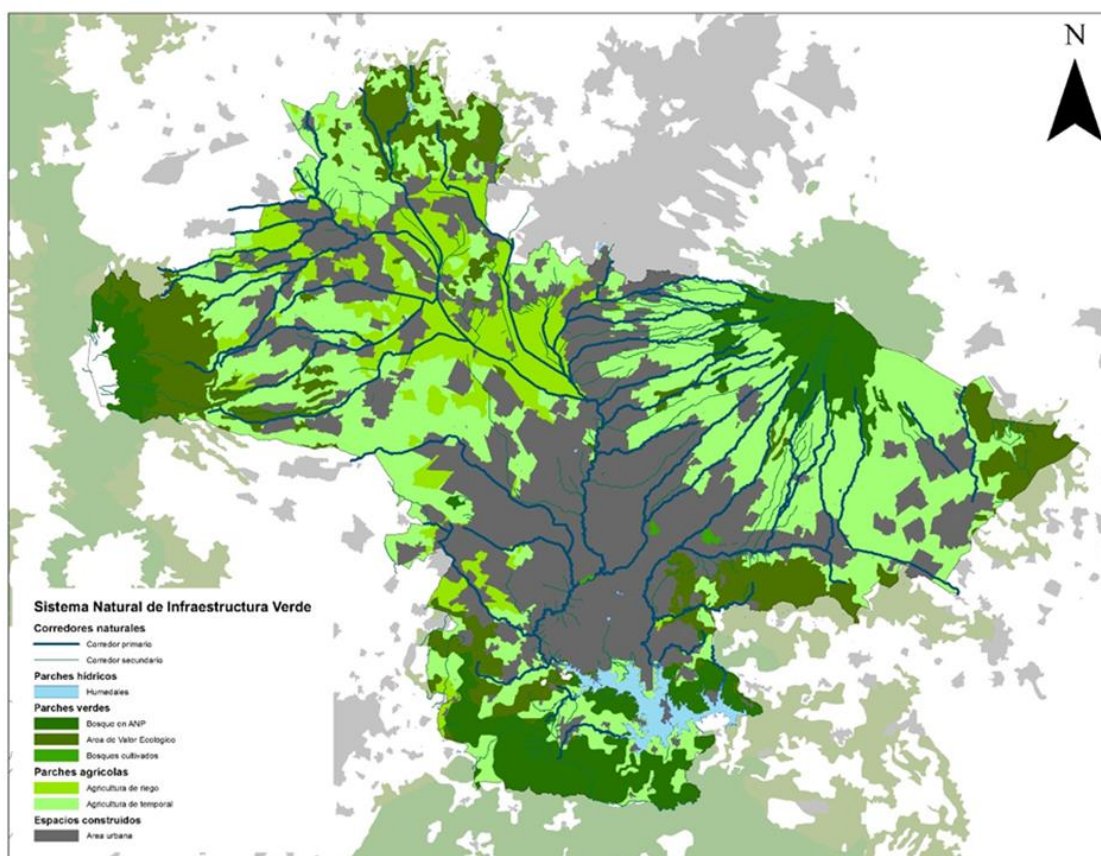
Considerando los contextos anteriores, con la finalidad de mantener la organización del ámbito natural y de la infraestructura dadas las diversas funciones que guardan las tipologías de Infraestructura Verde reconocidas para la planificación del territorio, estos mismo son retomados en el análisis de la conectividad entre sus componentes para definir las estructuras que conforman el Sistema de Infraestructura Verde en el ámbito territorial de la ZMPT.

La definición del Sistema de Infraestructura Verde, se plantea desde la característica de red de espacios interconectados, para lo cual se retoman los principios de análisis espacial de la estructura de redes de la metodología de Space Syntax, básicamente en cuanto a la concepción de Conectividad y Profundidad Axial, por medio de los cuales se establecieron los principales elementos para establecer una conexión entre los componentes del paisaje metropolitano, de acuerdo a sus funciones para posibilitar el los flujos en el ecosistema urbano.

Retomando en una primera aproximación los aspectos del contexto natural, la determinación de la conectividad considero aquellos ejes naturales, correspondiente a la red hidrológica, los cuales se jerarquizaron de acuerdo a aquellos que presentan una mayor profundidad axial (Suarez, 2021), es decir una longitud total que conforman las principales ramificaciones que alimentan los flujos permanentes del sistema. Así como tienen una mayor relación espacial con otros elementos del paisaje, siendo este el aspecto que les atribuye un mayor grado de conectividad al que se le atribuye también mayor diversidad.

El resultado de esta primera definición, se denominó Sistema Natural de Infraestructura Verde (Figura 20), en el cual se contextualizan las Áreas Urbanas y su relación con los espacios naturales exteriores y la periferia agrícola, considerando también por su valor ambiental los principales humedales que forman parte de la estructura hidrográfica en la ZM.

**Figura 20.** Sistema Natural de Infraestructura Verde

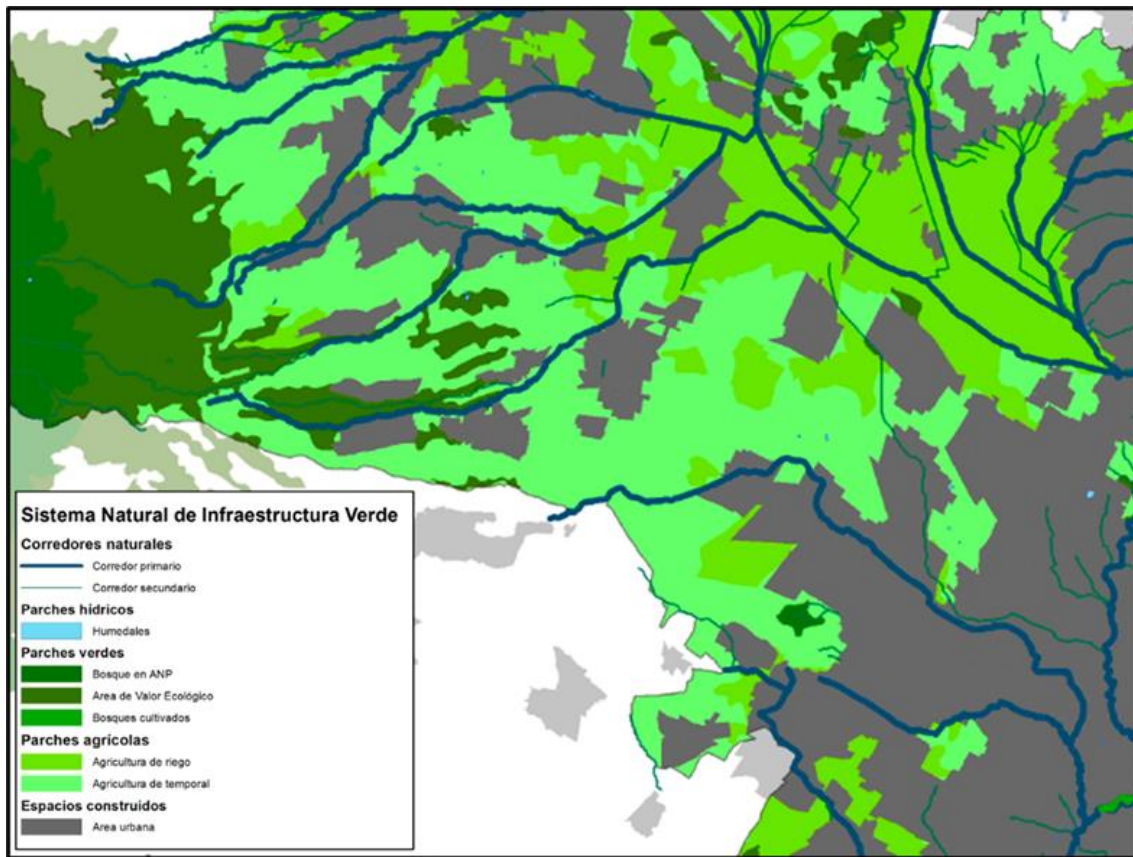


Elaboración propia

La continuidad espacial de los flujos ecológicos en este contexto, es generada por la estructura de corrientes de la red hidrográfica, cuyos cauces representan los corredores naturales que permiten en gran medida los flujos de biodiversidad en el territorio metropolitano, desde su origen en las laderas volcánicas y serranías que rodean el valle, penetrando en las zonas agrícolas y las áreas urbanas (Figura 21), los corredores hídricos son el medio en el cual se relaciona el entorno natural y los espacios verdes de las ciudades, adquiriendo un carácter preponderante para la continuidad de las funciones ecológica de especies y recursos, teniendo un papel clave en la planificación ecológica de la metrópoli y de la región.



**Figura 21.** Corredores naturales y su conectividad con distintos espacios al poniente de la ZMPT

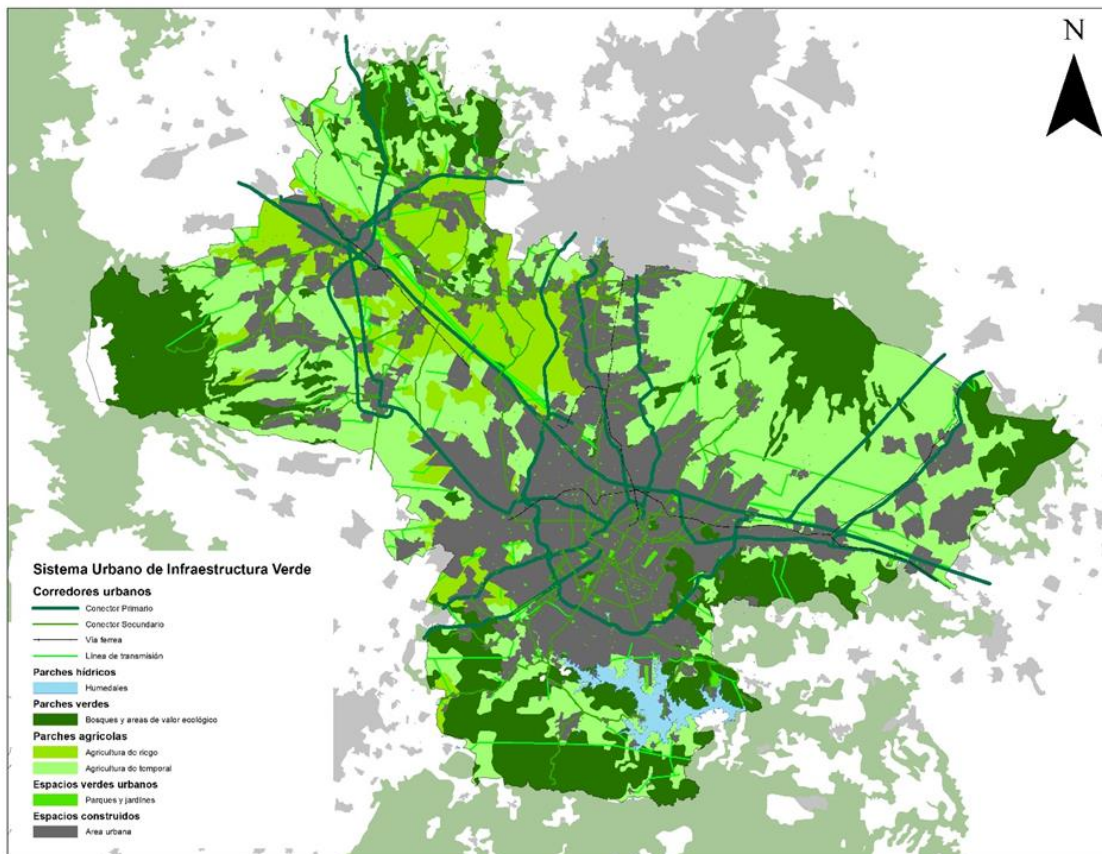


Elaboración propia

En cuanto a los aspectos del contexto de la infraestructura metropolitana, este considera tanto los espacios naturales y agrícolas de la periferia urbana, así como la diversidad de áreas verdes urbana públicas al interior de las áreas urbanas, los cuales son relacionados mediante corredores urbanos que son conformados por la estructura de la red vial de acuerdo a su clasificación jerárquica, tomando en cuenta otros elementos como las vías férreas en cuanto a transporte y las líneas de transmisión eléctricas, siendo elementos auxiliares que permiten aumentar la densidad de la matriz de conectores potenciales, para la configuración de la matriz espacial en este contexto (Figura 22).

Este Sistema Urbanos de Infraestructura Verde, se estructura teniendo como base la jerarquía de la red vial, cuya conformación tiene implícitos aspectos de profundidad axial de sus elementos, como de conectividad, al relacionar tanto las ciudades que conforman el sistema urbano, como los espacios naturales exteriores. Configurando también redes interiores al área urbana, relacionando las áreas verdes interiores, además de los elementos complementarios los cuales representan las principales alternativas para tener una mayor densidad de conectores y funcionalidad entre la diversidad de espacios dentro de la ZM.

**Figura 22.** Sistema Urbano de Infraestructura Verde

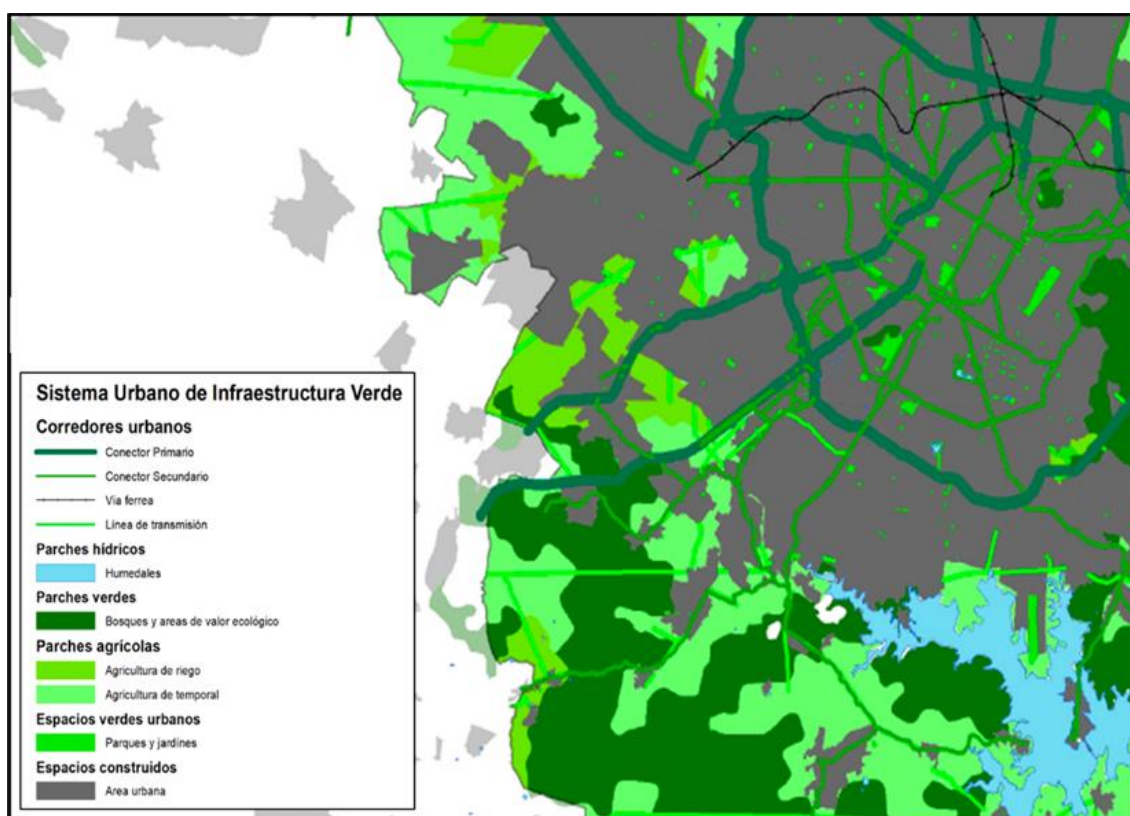


Elaboración propia

Si bien la gran densidad de elementos que integran esta red de conectores urbanos permite

prácticamente conectar la totalidad de áreas verdes públicas y los conjuntos urbanos periféricos al núcleo urbano principal, su representación por jerarquía busca denotar un sistema primario a partir del cual se integren a nivel regional las opciones para implementar corredores verdes desde la movilidad, generando nuevos espacios verdes que promuevan la conectividad ecológica entre la periferia y el interior de las áreas urbanas.

**Figura 23.** Corredores urbanos del Sistema Urbanos de Infraestructura Verde al sur de la Ciudad de Puebla



Elaboración propia

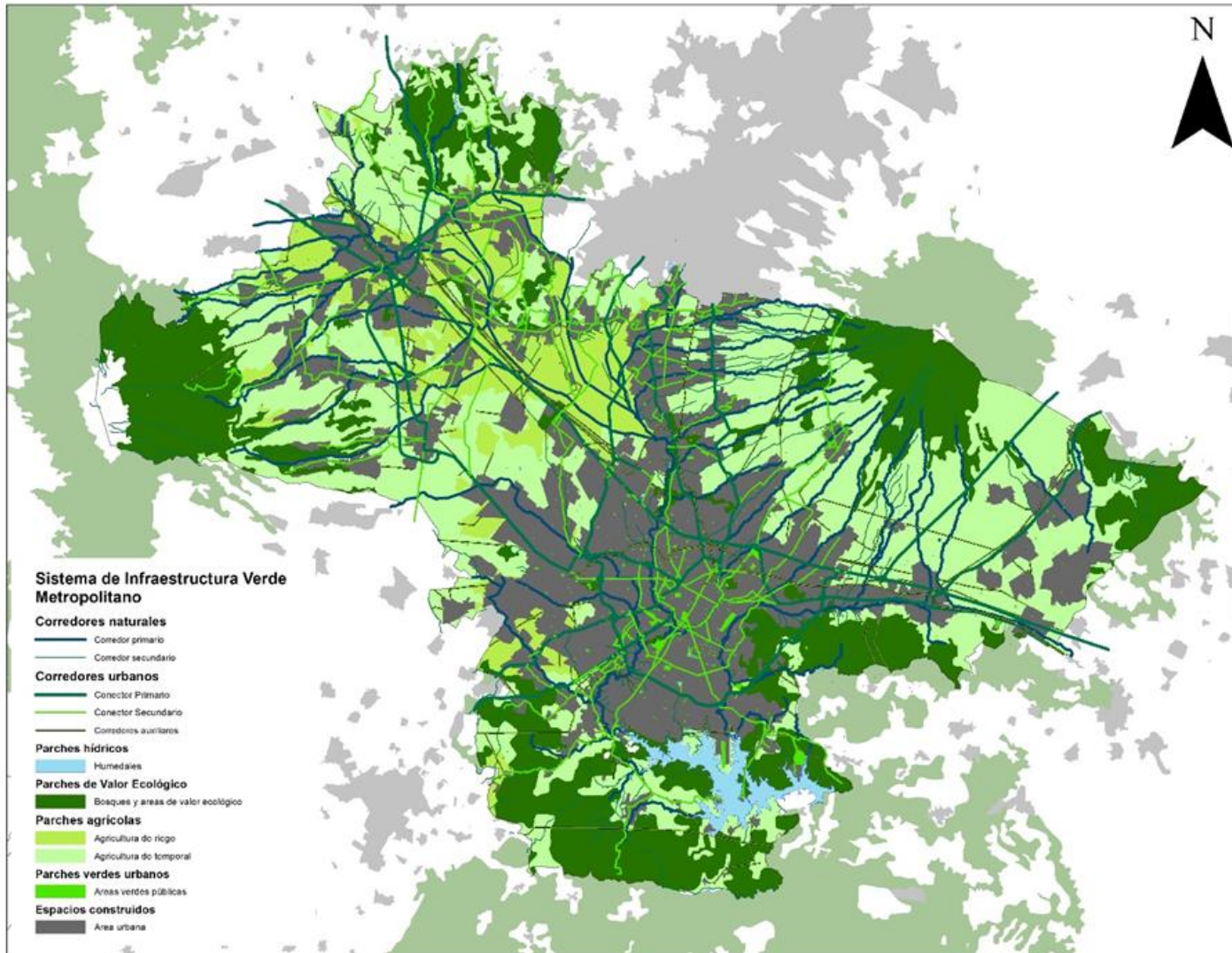
La integración de los SIV reconocidos en el ámbito de los bienes ambientales y la infraestructura metropolitana, dan cuenta de la definición estructural del Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde (SMIV) en la ZMPT, en el que se identifica la configuración de los espacios

naturales clave del entorno regional, observando patrones de cambio entre coberturas de la periferia agrícola con la expansión de áreas urbanas, así como la segmentación y reducción de las grandes áreas verdes por la forma del crecimiento urbano. En cuanto al interior de las ciudades, en estas se identifican diversos espacios verdes públicos, que dotan de servicios ecosistémicos de forma aislada y con una distribución tanto en las periferias urbanas, como en cuanto a la extensión de sus elementos en diferentes zonas del sistema urbano.

A pesar de que la configuración urbana ha impulsado la fragmentación de los espacios verdes exteriores e interiores, el sistema cuenta con una trama de corredores tanto naturales como de infraestructura urbana, los cuales por sí mismo establecen relaciones entre las diversas áreas del territorio, permitiendo la conectividad y continuidad de flujos en su recorrido, lo cual estructura dos tipos de redes por las cuales es posible construir o conservar conexiones para la restauración y conservación de los flujos ecológicos en la ZM. Estos elementos, además de reconocer una amplia trama de conectores que aseguren la continuidad ecológica, pueden orientar acciones de planificación ecológica y urbana en el territorio, promoviendo la dotación de una infraestructura que impulse la sustentabilidad y resiliencia del desarrollo metropolitano.



Figura 24. Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde

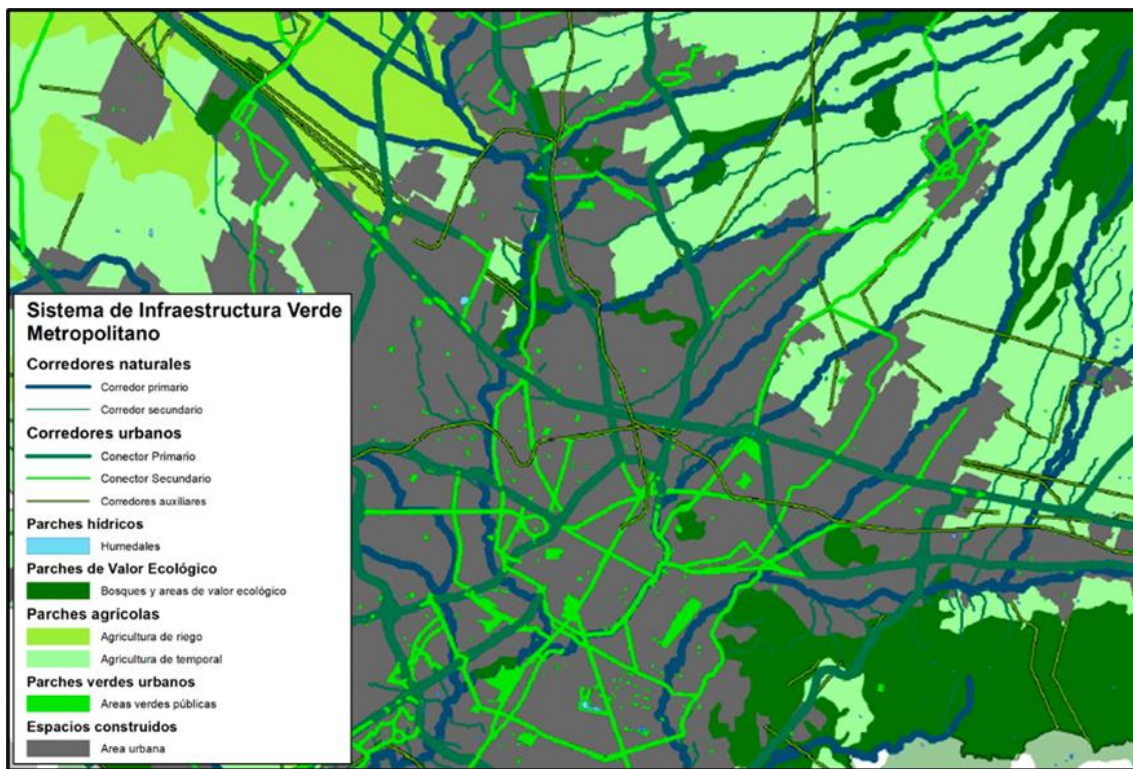


Elaboración propia

El modelo espacial que conforma el SMIV, tiene en su definición dos ámbitos temáticos principales en su estructura; desde el punto de vista de los corredores naturales y los grandes espacios verdes de la periferia, estos se asocian con mayor énfasis a la configuración de la cuenca, considerando aspectos en que los bienes naturales de mayor valor ecológico se relacionan con los espacios verdes al interior del área urbana (Figura 24). Mientras que, respecto a los conectores urbanos, estos guardan una relación preponderante con la forma de crecimiento de los núcleos urbanos, dotando al sistema de mayor densidad en la matriz de conectores de IV, lo que representa una variedad de alternativas para la implementación de corredores y construcción de nuevos espacios verdes, así como el impulso de diversos modos de movilidad desde una visión integral del territorio con la configuración del paisaje.

De esta forma, el reconocimiento de las tipologías del paisaje que conforman la IV en el ámbito de la ZMPT conforman un modelo territorial, en el cual fue posible analizar la estructura de sus elementos y definir su carácter sistémico en base a la conectividad espacial de estos, señalando la funcionalidad clave de sus principales componentes, que permiten tener una continuidad de los flujos ecológicos en la región y a su vez, son vinculantes determinar aspectos dirigidos a la planificación metropolitana, teniendo con esto una base de estudio con la cual es posible señalar las condiciones que los espacios verdes dotan para el desarrollo urbano sustentable y la resiliencia territorial, siendo el punto de partida para generar un entorno metropolitano integrado en su carácter socioambiental.

**Figura 25.** Diversidad de corredores del SMIV



Elaboración propia

### 7.2.3 LINEAMIENTOS NORMATIVOS PARA LA PLANIFICACIÓN URBANA VINCULADA AL SMIV

Desde el análisis metropolitano de la estructura de la IV, se tiene una aproximación al reconocimiento de los patrones de crecimiento urbano y su relación con su entorno natural. Si bien en México la planificación territorial está regida por programas del ordenamiento territorial y desarrollo urbano en los ámbitos estatales y municipales, gran parte de estos están desvinculados del entorno metropolitano, desactualizados y gran parte de los municipios carecen de ellos (SEDATU, 2020).

El principal instrumento con una visión metropolitana corresponde al Plan de Desarrollo de la Zona Metropolitana Puebla – Tlaxcala (2013), el cual contempla una cartera de proyectos de

impacto regional, incluyendo principalmente vialidades y el inventario de áreas verdes de la ZM. Sin embargo, de acuerdo a la actualización de la Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (2016), es necesario readecuar la visión y los planteamientos de dicho instrumento, para integrarlo al marco de planeación urbano-territorial vigente (SEDATU, 2021).

Ante la incertidumbre en la aplicación de los Instrumento de Planificación Territorial disponibles, y buscando establecer un marco de referencia aplicable a una visión integrada del paisaje metropolitano, se plantea desde el ámbito de los elementos del SMIV aquellos aspectos normativos vinculantes para la planificación, diseño e implementación de la IV, que a su vez abran la posibilidad de orientar acciones del desarrollo urbano.

Para ello se elaboró una matriz, en la que se relacionan las tipologías que integran el SMIV con los principales aspectos normativos para su gestión (ANEXO), proporcionando con ello una referencia en cuanto a la vinculación con acciones de planificación urbano territorial en los siguientes aspectos.

- El reconocimiento de zonas naturales y su orden normativo de protección medioambiental, contemplando su relación en la planificación metropolitana orientada a conservar los beneficios y servicios que proporcionan a la sustentabilidad ambiental del territorio.
- La Integración de los espacios naturales periféricos con el interior del área urbana, potenciando la accesibilidad a los bienes que otorga el paisaje regional, para dotar de identidad y mejorar las condiciones del hábitat en la ZM.

- Orientar la gestión del desarrollo metropolitanos, con la visión de los instrumentos rectores vigentes, contribuyendo a la generación de sinergias para construir gobernanzas desde la concurrencia de la IV y se implementación.

Los lineamientos desde los aspectos mencionados buscan vincular instrumentos normativos para destacar acciones clave para la protección y preservación de los bienes ambientales clave del paisaje que sean vinculantes desde la planificación del SMIV.

De acuerdo con los resultados, el sistema integra ámbitos de planificación diversos que se interrelacionan para responder a los principios de Red, Multifuncionalidad, Diversidad y Multi-escala, establecidos para el desarrollo de la IV (SEDATU, 2019). En su relación con la planificación urbana, la propuesta considera los ámbitos de la conservación, protección, diseño y planeación, que se vinculen con lineamientos para instrumentar acciones orientadas con base en el reconocimiento de los componentes del SMIV (Tabla 11).

**Tabla 11.** Propuesta de lineamientos para la planificación metropolitana desde el SMIV

Ámbito de planificación	Lineamientos	Tipologías del SMIV asociadas
Conservación	Identificar los elementos clave del ecosistema metropolitano para la preservación de los bienes ambientales de la región	Área Natural Protegida, Áreas de Valor Ecológico, Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Áreas de Cultivo
	Retomar el seguimiento de programas de manejo para la administración de Áreas Naturales Protegidas	Área Natural Protegida, Áreas de Valor Ecológico, Áreas de Cultivo (en ANP)
	Reconocer los espacios de valor ecológico en la región, incluyéndolos en los planes de conservación ecológica	Áreas de Valor Ecológico, Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Áreas de Cultivo
Protección	Recuperar los ecosistemas degradados, como parte de las acciones de interés metropolitano para la gestión ambiental sustentable.	Área Natural Protegida, Áreas de Valor Ecológico, Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Áreas de Cultivo, Red Vial, Vía Férrea
	Considerar las riveras de ríos y barrancas, como espacios para promover la progresividad del espacio público	Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Red Vial
	Implementar el resguardo de derechos de vía en la infraestructura metropolitana para la gestión de riesgos y la dotación de espacio público para la movilidad.	Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Red Vial, Vía Férrea, Línea de Transmisión
Diseño	Consolidar la red de corredores y conectividad de los espacios verdes en el sistema metropolitano	Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Red Vial, Vía Férrea, Línea de Transmisión, Área Natural Protegida, Áreas de Valor Ecológico, Espacios Verdes Urbanos
	Reconvertir el diseño de la red vial para impulsar la configuración de calles integrales que favorezcan la movilidad sustentable	Corrientes de Agua, Red Vial, Vía Férrea, Línea de Transmisión
	Integrar los elementos del paisaje en el diseño del espacio público, aprovechando los beneficios que otorgan al bienestar territorial	Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Red Vial, Vía Férrea, Área Natural Protegida, Áreas de Valor Ecológico, Áreas de Cultivo, Espacios Verdes Urbanos
Planeación	Aprovechar las oportunidades generadas en corredores y espacios verdes para orientar la localización de nuevos nodos de desarrollo urbano	Corrientes de Agua, Red Vial, Vía Férrea, Espacios Verdes Urbanos
	Implementar la creación de instancias intermunicipales de planeación, con una visión integral del ecosistema metropolitano	Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Red Vial, Área Natural Protegida, Áreas de Valor Ecológico, Áreas de Cultivo
	Fomentar la planeación, diseño e implementación de proyectos de IV que promuevan alternativas para el desarrollo sustentable y resiliencia territorial de la ZM.	Corrientes de Agua, Cuerpos de Agua, Red Vial, Vía Férrea, Línea de Transmisión, Área Natural Protegida, Áreas de Valor Ecológico, Espacios Verdes Urbanos

Elaboración propia

Complementando la integración del modelo territorial obtenido, este último análisis busca aproximar una instancia instrumental del SMIV mediante la cual el vínculo normativo permita por una parte validar el carácter que tienen los elementos considerados con las regulaciones con respecto a los ámbitos propuestos para la definición de los lineamientos.

Y por otra parte, ante la incertidumbre territorial en la que se enmarcan las regiones metropolitanas, además de que propiamente el SMIV no está contemplado en la normativa vigente como un Instrumento de Planificación Territorial, la relación que guarda entre sí los lineamientos

propuestos con el marco normativo de referencia, busca un medio viable para impulsar acciones alineadas a un actuar integral con los componentes del paisaje regional, buscando la construcción de ciudades comunes, desde múltiples enfoques que atiendan la planificación ecológica, la dotación y distribución de espacios que den cabida al derecho a la ciudad, con una visión integradora del territorio.

La propuesta en su conjunto es factible de establecerse como una herramienta de apoyo para la gestión de la ZMPT, al tener sustento en los principios establecidos en los instrumentos rectores vigentes para el desarrollo territorial en México (SEDATU, 2011).

## 8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la elaboración del estudio, logran señalar la existencia de bienes ambientales y elementos propicios para conservar la conectividad ecológica de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, identificando componentes clave del paisaje para atender la problemática ambiental de fragmentación espacial, dando cuenta en las características observadas de estos componentes la definición de un Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde, como base espacial en la cual se identifiquen las relaciones y los beneficios que aportan los bienes ambientales existentes para la planificación sustentable y resiliencia de las regiones metropolitanas.

Esta referencia espacial y normativa sirven de punto de partida para estudios y evaluaciones a mayor detalle de los bienes ambientales reconocidos, aportando al seguimiento del desarrollo ambiental de la región, evaluando las condiciones del paisaje y las amenazas que desde su estructura espacial pueden ser identificadas para su integración en la elaboración e implementación de planes de desarrollo urbano de diversos ámbitos en la región metropolitana.

Los alcances de este estudio observan en una primera instancia la integración territorial en la planificación ecológica de las regiones metropolitanas, que retoman los planteamientos expuestos por Palomo (2003), en el entendimiento de las ciudades y sus entornos naturales, reconociendo las relaciones y beneficios que estos últimos dotan para la sustentabilidad de los territorios. Principio que es también considerado desde la visión actual de las políticas para el ordenamiento territorial y el desarrollo urbano en México, plasmadas en la Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial (SEDATU, 2021), la cual tiene su base en la conformación de



Sistemas Urbano Rurales (SUR) vinculados a la realidad urbana del país altamente relacionada a la conformación de sistemas metropolitanos.

Con respecto a la resiliencia urbana, el reconocimiento de las características naturales del paisaje y su relación con la localización de los asentamientos humanos, permite identificar zonas de riesgo ante fenómenos naturales y antropogénicos, lo cual permite dar atención a la incertidumbre de la producción de la vulnerabilidad territorial (Sánchez, 2021), donde la conformación de corredores de Infraestructura Verde, representan alternativas desde las soluciones basadas en la naturaleza, que aportan a una gestión y prevención de riesgos adecuada para dotar de resiliencia a asentamientos humanos.

Parte de la atención a las problemáticas ambientales presentes en México, se deben a la disociación que guardan los elementos del paisaje con los Instrumentos de Planificación Territorial (Checa-Artasu, 2019), la propuesta busca aproximar la atención a dicha deficiencia, mediante la vinculación normativa con la estructura del Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde, potenciando la funcionalidad del modelo para su implementación como herramienta de gestión territorial metropolitana y la incorporación de los bienes ambientales clave en la instrumentación de planes y políticas para el desarrollo sustentable del territorio.

Los principales hallazgos de la propuesta, logra cualitativamente el reconocimiento de los bienes ambientales de mayor valor para la estructuración de un Sistema de Infraestructura Verde, los cuales sirven de base para validar la integridad del paisaje en la conformación de una red de corredores asociados tanto al ámbito natural como urbano (construido), los cuales dan soporte a la conexión ecológica del territorio metropolitano.

Desde la definición de tipologías a la escala de estudio, de acuerdo con las fuentes de

información disponible, se destaca la identificación de los principales rasgos del territorio, cuya clasificación caracteriza la estructuración del SMIV en grandes parches naturales y parches verdes urbanos, constituyendo nodos conectados por redes de corredores naturales y de infraestructura urbana, bordeados por un área periférica agrícola de transición entre los espacios naturales y construidos de la ZMPT.

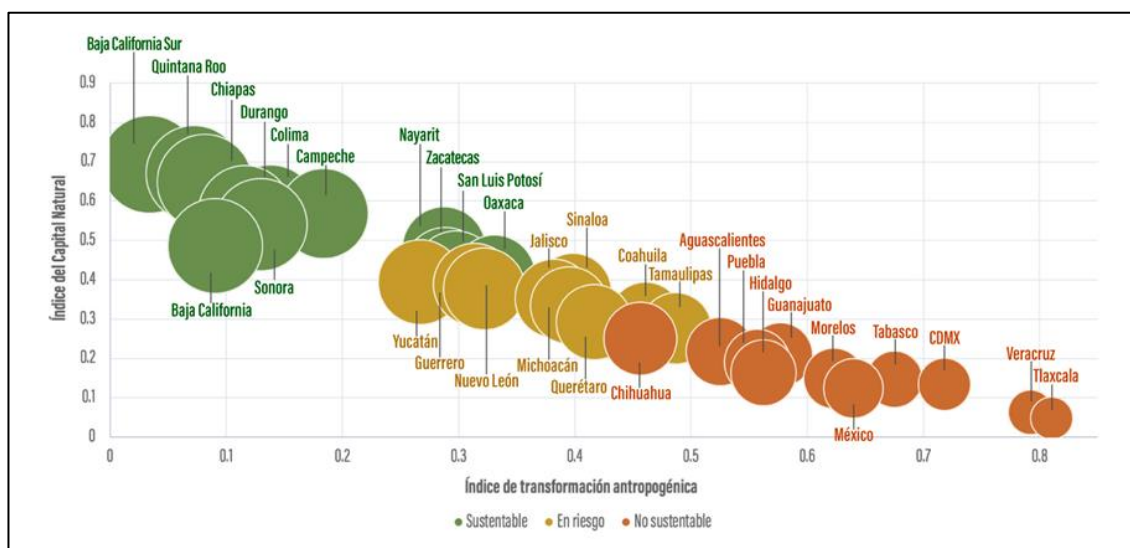
Siguiendo esta categorización, se identifican aquellos espacios naturales primarios en la región metropolitana que corresponden a los sistemas naturales clave, como nichos a partir de los cuales se desarrolla el sistema de infraestructura verde, cuyo desarrollo al interior del territorio genera una relación y continuidad, a través de espacios seminaturales y construidos, como son las áreas agrícolas y urbanas, dotándoles de relevancia en su desarrollo en los contextos de la preservación ecológico y de planificación urbana.

Los aspectos del análisis espacial de la estructura del SMIV, destacan ciertos patrones sobre la condición, distribución y relaciones entre los elementos que integran el paisaje metropolitano, donde la tendencia de crecimiento disperso de la mancha urbana tiene una marcada incidencia hacia la periferia, amenazando la conservación de espacios abiertos de gran valor ecológico en la región. En cuanto a la distribución de espacios verdes al interior del área urbana, estos dan cuenta de la fragmentación del ecosistema metropolitano, sin embargo, su conexión muestra potencial con la estructura de redes naturales y de infraestructura para recuperar la conectividad de los bienes ambientales en la región.

Las tendencias de desarrollo urbano marcan la relación que guarda la región metropolitana con la calidad del capital natural (Figura 26), haciendo imperativo el reconocimiento de un SIV que permita promover acciones para revertir la forma en que se ha desarrollado la construcción de

la ZMPT, y así recuperar su potencial como alternativa de desarrollo sustentable dentro del sistema urbano del centro del país. Sentando una base de análisis para identificar necesidades de información a incorporar en la generación de modelos espaciales en distintas escalas de actuación para la planificación territorial.

**Figura 26.** Condición del Capital Natural de los Estados mexicanos



Fuente: Conabio (2020)

Respecto a la metodología, la aproximación que logró la conformación y reconocimiento de un Sistema de Infraestructura Verde dentro del ámbito metropolitano, teniendo relevancia a partir de la información con la cual se concibe el modelo, además de las herramientas y métodos para su análisis.

El primer aspecto considerado en el planteamiento metodológico, referente al uso de información disponible en la estructura de datos espaciales oficial, resulta favorable de acuerdo a la escala de trabajo al estar referida espacialmente a un marco nacional y agregación en distintas escalas de detalle, lo que permite su uso en prácticamente cualquier ámbito

metropolitano del país.

Destaca también el origen de la información, al ser elaborada de forma oficial por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, se tiene un sustento de la representatividad y completitud de la misma, dando así cumplimiento desde la propuesta al uso obligatorio de la información comprendida dentro de Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.

Si bien los conjuntos de datos espaciales disponibles, son accesibles de forma libre para su uso, es necesario conocer su estructura para la construcción de los modelos que permitan identificar adecuadamente la Infraestructura Verde de acuerdo al nivel de detalle que se requiera. Por lo que es recomendable explorar el contenido de la información, así como otras fuentes de datos con las cuales sea viable complementar los productos generados de acuerdo con la escala de interés.

El contar con una base oficial, resulta de gran relevancia al disponer de un inventario nacional de elementos del territorio con una periodicidad y metodología validada, siendo primordial aprovechar el trabajo realizado en su producción a nivel nacional para la caracterización y análisis, tanto en múltiples escalas de estudio, como en temáticas relacionadas a comprender las dinámicas territoriales. Contando de esta manera con insumos que resultan confiables y eficaces para la representación de los elementos del paisaje en el ámbito metropolitano, el cual puede ser replicado a mayor detalle para el desarrollo de estudios locales o de áreas específicas para la planificación de Infraestructura Verde en la región.

Es así como los métodos empleados para la conformación del modelo para definir el SMIV, tratan de establecer una base de trabajo actualizable y replicable en diversos contextos del territorio mexicano para la composición y análisis de IV, ya que las herramientas empleadas

tienen funcionalidad para el procesamiento, integración y actualización de la información, factible de adecuarse a las particularidades de diversos ámbitos territoriales de interés.

La definición del SMIV desde los métodos de análisis basados en los principios de Space Syntax, logra establecer los elementos y relaciones de conectividad primarias asociadas a la relación entre los componentes del paisaje, identificando aquellas estructura que de acuerdo a su configuración espacial observan mayor grado de continuidad (profundidad), además de guarda una relación integral con diversos espacios detonando su conectividad, siendo estos los factores que definen las estructuras principales en el paisaje metropolitano, consideradas para impulsar una configuración funcional de IV valorada desde su conformación espacial.

Sin adentrarse en la evaluación de las condiciones de los ecosistemas para valorar los flujo de biodiversidad, un análisis empleando paquetes como DephMap X, o el PlugIn de Space Syntax para QGIS, podría validar algunos de los resultados obtenidos en la propuesta, sin embargo las características incluidas en dichas herramientas computacionales, no permiten integrar espacios cóncavos (el espacio privado, nodos) en su análisis, por lo que sería necesario plantear aspectos combinados en su configuración (Suárez, 2021), lo que implica desde el ámbito de la geomática un nicho de investigación por desarrollar.

Los modelos obtenidos con el estudio dan cuenta de la funcionalidad potencial de la estructura espacial de los bienes ambientales que interactúan con la infraestructura urbana como indicativos de la forma de desarrollo que ha generado la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, siendo parte de su identidad territorial. Si bien, gran parte de las propuestas de IV, tienen en su configuración espacial implícita esta identidad, como los anillos o periferias verdes, en la propuesta de la región metropolitana no se expresa con claridad un espacio o patrón

característico, sin embargo, los componentes clave del sistema denotan la naturaleza volcánica del paisaje y sus funciones ecológicas, asociadas a las relaciones socioambientales en el territorio.

Partiendo de esta aproximación, se considera relevante el reconocimiento de la composición primaria del SMIV para detonar una identidad de la región del Valle Puebla-Tlaxcala, donde se visualicen los bienes comunes que promuevan una apropiación social del territorio, sentando un punto de partida en atender los conflictos socioambientales que afectan el desarrollo de la región, y que han puesto de manifiesto un riesgo para lograr mejorar las condiciones de calidad de vida de su población.

Como aporte para impulsar una gestión y gobernanza integral de la ZM, la gestión del vínculo normativo busca establecer posibilidades de instrumentar los lineamientos de planificación, diseño e implementación de SMIV, como un mecanismo para solventar la deficiente actuación que impera para orientar de forma conjunta la conservación, protección, diseño y planificación del espacio público, de tal forma que se tengan alternativas para construir modelos de organización compartida entre los actores, con una visión orientada a dotar de sustentabilidad urbano ambiental y resiliencia territorial desde la valoración del paisaje metropolitano.

Los pasos a seguir para consolidar la implementación normativa identificada para los elementos del sistema, debe buscar su inclusión en la promoción e implementación de futuros Instrumentos de Planificación Territorial, tomando en cuenta su correspondencia con los objetivos de las políticas de desarrollo territorial vigentes en el país, es pertinente validar la propuesta por las instancias estatales y municipales, que integran el comité metropolitano de la ZMPT, como parte de la promoción de acciones conjuntas de gobernanza metropolitana e

inclusión del paisaje en las acciones de ordenamiento territorial.

Respecto de la metodología propuesta para la integración del modelo espacial, un ámbito idóneo para su validación es la exploración de su funcionalidad en distintos ámbitos urbanos del territorio nacional, necesario para valorar su implementación desde las fuentes de información y escalas de actuación diversas, que den paso a una revisión de la base de referencia generada, además de la actualización de los conjuntos de datos disponibles incluyendo aquellos de un carácter local, como son: glorietas, espacios abiertos, camellones (bandejones), etc.

En cuanto al análisis para validar la estructura del modelo, así como aspectos del estado ecológico de los componentes de SMIV, el mapeo generado identifica los elementos y zonas de interés como base a partir de la cual realizar evaluaciones en temáticas más detalladas, referentes al estado de los ecosistemas y su conectividad ecológica, monitoreo y seguimiento de amenazas, entre otros., permitiendo explorar distintas técnicas tanto en el aprovechamiento de los datos tabulares asociados a las capas de información como la integración de otros métodos y fuentes de información para el análisis espacial.

Como se mencionó anteriormente, profundizar en el análisis planteado en los principios de Space Syntax es un campo de estudio adecuado para lograr la implementación de metodologías mixtas que permitan una valoración conjunta de la estructura espacial del paisaje, validando las formas de relación conjunta que guardan los espacios cóncavos y convexos para validar a mayor detalle la estructura territorial en su complejidad.

Para cerrar la discusión, queda precisar que el enfoque planteado para definir un SIV en un ámbito metropolitano, se plantea como un punto de partida para impulsar acciones necesarias

para orientar el desarrollo de las ciudades en un entorno cada vez mas complejo ante los retos que el proceso de urbanización que se ha manifestado en sistemas urbanos que han dejado de lado su relación con su entorno natural. Representando un área de oportunidad para promover alternativas desde distintas temáticas del desarrollo urbano regional para la gestión metropolitana orientada a lograr condiciones de sustentabilidad y resiliencia territorial, necesarias para impulsar formas de organización y relaciones socio territoriales que garanticen mejores condiciones de vida ante los retos de una realidad inminentemente metropolitana.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

Aguilera Benavente, F., Rodríguez Espinosa, V. M., & Gómez Delgado, M. (2018). Definición de infraestructuras verdes: una propuesta metodológica integrada mediante análisis espacial. *Documents d'analisi geografica*, 64(2), 313. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.419>

Amado, M., Rodrigues, E., Poggi, F., Pinheiro, M. D., Amado, A. R., & José, H. (2020). Using different levels of information in planning green infrastructure in Luanda, Angola. *Sustainability*, 12(8), 3162. <https://doi.org/10.3390/su12083162>

Ascher, F. (2004). *Los nuevos principios del urbanismo*. Madrid: Alianza

Batty, M. (2004). *A new theory of space syntax*. Ucl.ac.uk. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/211/1/paper75.pdf>

Bennett, A. F., Crooks, K. R., & Sanjayan, M. (2010). The future of connectivity conservation. En K. R. Crooks & M. Sanjayan (Eds.), *Connectivity Conservation* (pp. 676–694). Cambridge University Press.

Castillo Ramos, I. (septiembre 23, 2016). *La importancia de la gestión para el desarrollo de la Zona Metropolitana Puebla–Tlaxcala*. La Jornada de Oriente. <https://www.lajornadadeoriente.com.mx/tlaxcala/la-importancia-la-gestion-desarrollo-la-zona-metropolitana-puebla-tlaxcala/>

Caparrós-Martínez, J.L., Milán-García, J., Martínez-Vázquez, R.M. & de Pablo Valenciano, J. (2021) Green Infrastructures and Grand Environmental Challenges: A Review of Research Trends by Keyword. *Agronomy*, 11, 782. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040782>

Checa-Artasu, M. M. (2019). Paisaje y políticas públicas en México. Una relación por resolver. *REVISTA NODO*, 13(25), 65–77. <https://doi.org/10.54104/nodo.v13n25.154>

Crooks, K. R. & Sanjayan, M. A. (2006) Connectivity Conservation: Maintaining Connections for Nature. En: Crooks & M. Sanjayan (Eds), *Connectivity Conservation* (pp. 1-20). Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511754821.001>

De Las Heras Gutiérrez, D., Adame Martínez, S., Cadena Vargas, E. G., & Campos Alanís, J. (2019). Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial. *Economía Sociedad y Territorio*, 89–122. <https://doi.org/10.22136/est20201441>

Del Pozo, S. (2015) *CIUDADES SUSTENTABLES: NECESIDAD DE INDICADORES SOCIALES Y AMBIENTALES PARA LA GESTIÓN DE LA VEGETACIÓN URBANA*. Arboricultura Urbana- GESTION DEL ARBOL URBANO-, Blogspot.com. Recuperado el 10 julio de 2019, de <http://arboriculturaurbana.blogspot.com/2015/04/ciudades-sustentables-necesidad-de.html>

Dennis, M., Barlow, D., Cavan, G., Cook, P., Gilchrist, A., Handley, J., James, P., Thompson, J., Tzoulas, K., Wheeler, C. P., & Lindley, S. (2018). Mapping urban green infrastructure: A novel landscape-based approach to incorporating land use and land cover in the mapping of human-dominated systems. *Land*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.3390/land7010017>

Flores-Xolocotzi, R., & González-Guillén, M. de J. (2010). Planificación de sistemas de áreas verdes y parques públicos. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 1(1), 17–24. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322010000100003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322010000100003&lng=es&tlng=es).

Giannotti, E., Vásquez, A., & Velásquez, P. (2020). *Propuestas para un sistema de áreas verdes para ciudades sostenibles y saludables*. <https://doi.org/10.34720/FJET-F303>

Grubestic, T. H., Matisziw, T. C., Murray, A. T., & Snediker, D. (2008). Comparative approaches for assessing network vulnerability. *International Regional Science Review*, 31(1), 88–112. <https://doi.org/10.1177/0160017607308679>

Hernández-Rojas, C. C., & Sanabria-Marín, R. (2019). Characterization of Green Infrastructure at the local level with geographical information system, Tunja (Colombia). *Revista facultad de ingeniería*, 29(54), e10294. <https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10294>

Hillier, B., Leaman, A., Stansall, P., & Bedford, M. (1976). Space Syntax. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 3(2), 147–185. <https://doi.org/10.1068/b030147>

- Lee, G., Hwang, J., & Cho, S. (2021). A Novel Index to Detect Vegetation in Urban Areas Using UAV-Based Multispectral Images. *Applied Sciences*, 11(8), 3472. <https://doi:10.3390/app11083472>
- Montiel Alvarez. T. (2015). Ebenezer Howard y la Ciudad Jardín. *ArtyHum, Revista digital de Artes y Humanidades*, 9. 118-123. <https://www.aacademica.org/teresa.montiel.alvarez/15>
- Muvuna, J., Boutaleb, T., Mickovski, S. B., Baker, K., Mohammad, G. S., Cools, M., & Selmi, W. (2020). Information integration in a smart city system—A case study on air pollution removal by green infrastructure through a vehicle smart routing system. *Sustainability*, 12(12), 5099. <https://doi.org/10.3390/su12125099>
- Neira, M. (Marzo 19, 2018) *Health Must Be Number One Priority for Urban Planners*. Urban Wellbeing. <https://newcities.org/the-big-picture-health-must-be-number-one-priority-for-urbanplanners/>
- ONU-HABITAT. (2016). *Habitat III. Nueva Agenda Urbana*. Nairobi: Organización de las Naciones Unidas. <http://habitat3.org/wp-content/uploads/NUA-Spanish.pdf>
- Ornelas D. J., Castillo R. M. & Hernández C. C. (2010) *La Zona Metropolitana Puebla- Tlaxcala: situación actual y posibilidades de desarrollo*. México: Universidad Autónoma de Tlaxcala [http://www.ciisder.mx/images/libros/ciisder\\_la\\_zona\\_metropolitana\\_puebla\\_tlaxcala.pdf](http://www.ciisder.mx/images/libros/ciisder_la_zona_metropolitana_puebla_tlaxcala.pdf)
- Pascual, M. y Dunne, J. A. (2006). *Ecological networks: linking structure to dynamics in food webs*. Oxford University Press.
- Pascual-Hortal, L., & Saura, S. (2006). Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation. *Landscape Ecology*, 21(7), 959–967. <https://doi.org/10.1007/s10980-006-0013-z>
- Reyes Paecke, S., & de la Barrera Melgarejo, F. (2019). Monitoreo de los avances en desarrollo urbano: análisis de los catastros de áreas verdes urbanas en el Área Metropolitana de Santiago, Chile. *Revista INVI (Impresa)*, 34(96), 129–150. <https://doi.org/10.4067/s0718-83582019000200129>

Sánchez Gómez, M. de L., & Montaña Salazar, R. (2012). Dinámica urbana y metropolización en la Región Centro de México. *Proyección*, 13. <https://bdigital.uncu.edu.ar/13424>

Sánchez Velázquez O. (2021) *Incertidumbre Territorial durante el Proceso de Desastre de Inundación de la Zona Diamante de Acapulco*. (Tesis de Maestría).

Saura, S (2013). Avances en el Análisis Espacial de Datos Ecológicos: Aspectos Metodológicos y Aplicados. ECESPA-Asociación Española de Ecología Terrestre, De la Cruz, M., Maestre, F. (Eds.) *Métodos y herramientas para el análisis de la conectividad del paisaje*. (pp. 2-46).

SEDATU, CONAPO & INEGI. (2018) *Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México*. En línea: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825006792>

Sorensen, M. & Barzetti, V. & Keipi, K. & Williams, J. (1998) *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Washington D. C.: BID <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Manejo-de-las-areas-verdes-urbanas.pdf>

Suárez M. T. (2021) *Taller Space Syntax y Caminabilidad*. Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad, Universidad Nacional Autónoma de México.

Tapia B.G. (2018) *Lineamientos de Planificación para el desarrollo de un Plan de Infraestructura Verde en la comuna de Algarrobo*. (Tesis de Magíster). <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/171047>

Torre, R. & Matos, D. (2017). *Estudio de la Conectividad de la Infraestructura Verde de Zaragoza*.

Valdés, P., & Foulkes, M. D. (2016). La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional. Aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana. *Cuaderno urbano*, 20(20), 45. <https://doi.org/10.30972/crn.2020942>

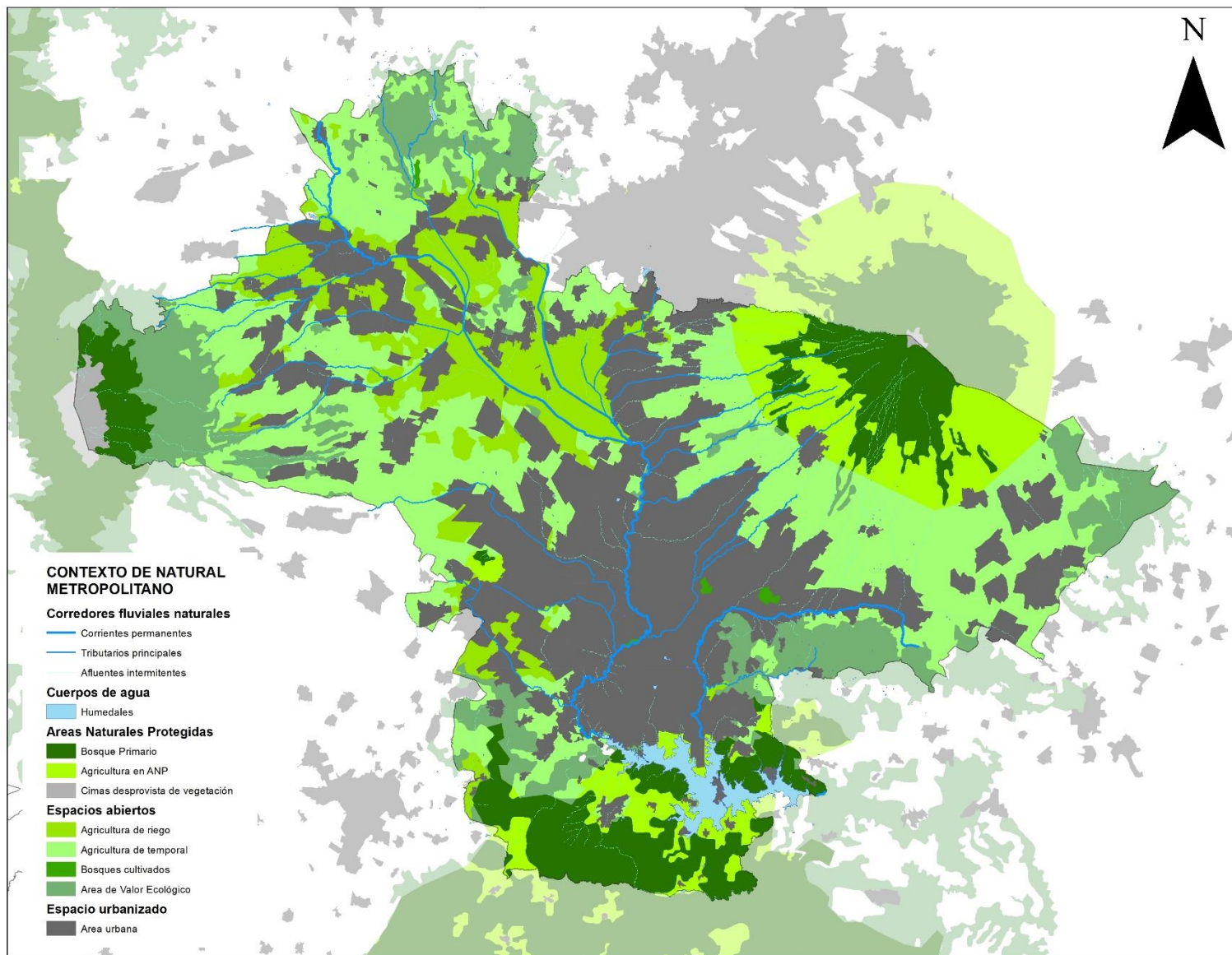
Van, T. T., Tran, N. D. H., Bao, H. D. X., Phuong, D. T. T., Hoa, P. K., & Han, T. T. N. (2017). Optical remote sensing method for detecting urban green space as indicator serving city sustainable development. *Proceedings (MPDI)*, 2(3), 140. <https://doi.org/10.3390/ecsa-4-04932>

Vásquez, A. E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, 63, 63–86. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30045600005>

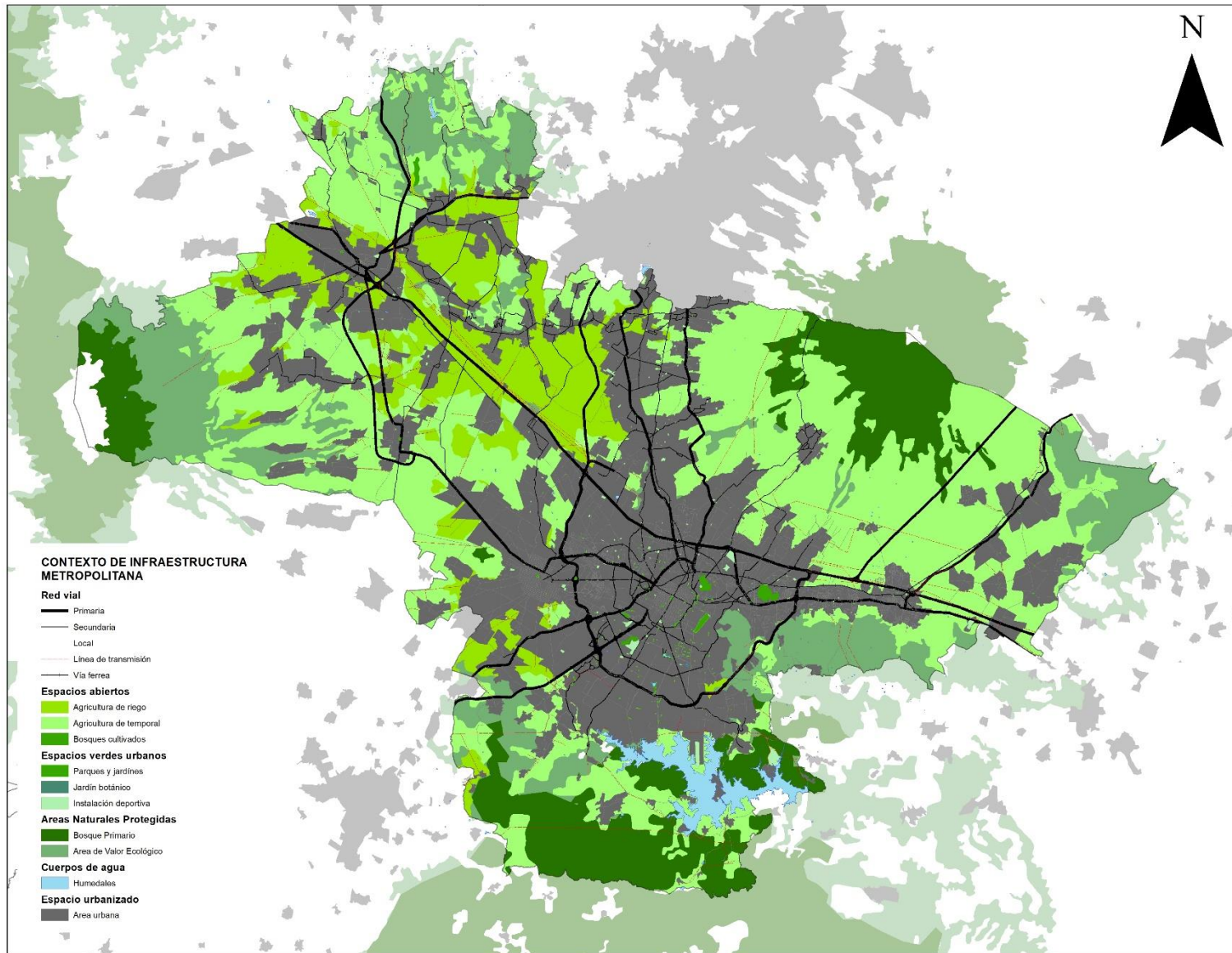
Vilchis Mata, Iván. (2019). Evaluación de tradeoffs entre servicios ecosistémicos urbanos a escala megalopolitana. *Economía, sociedad y territorio*, 19(61), 339-371. Epub 26 de mayo de 2020. <https://doi.org/10.22136/est20191376>

Xing, Y.-J., Chen, T.-L., Gao, M.-Y., Pei, S.-L., Pan, W.-B., & Chiang, P.-C. (2021). Comprehensive performance evaluation of green infrastructure practices for urban watersheds using an engineering–environmental–economic (3E) model. *Sustainability*, 13(9), 4678. <https://doi.org/10.3390/su13094678>

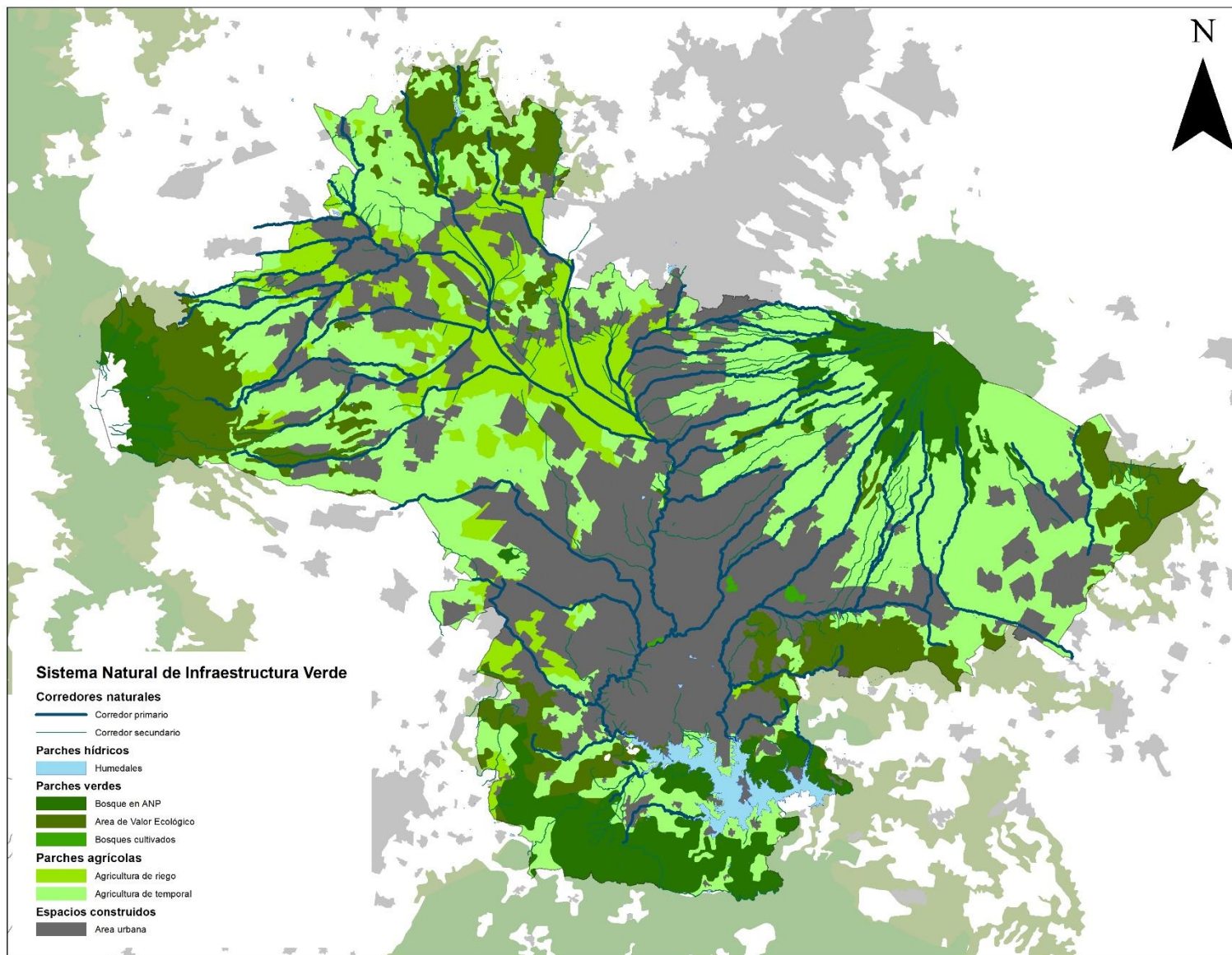
## 10. ANEXOS

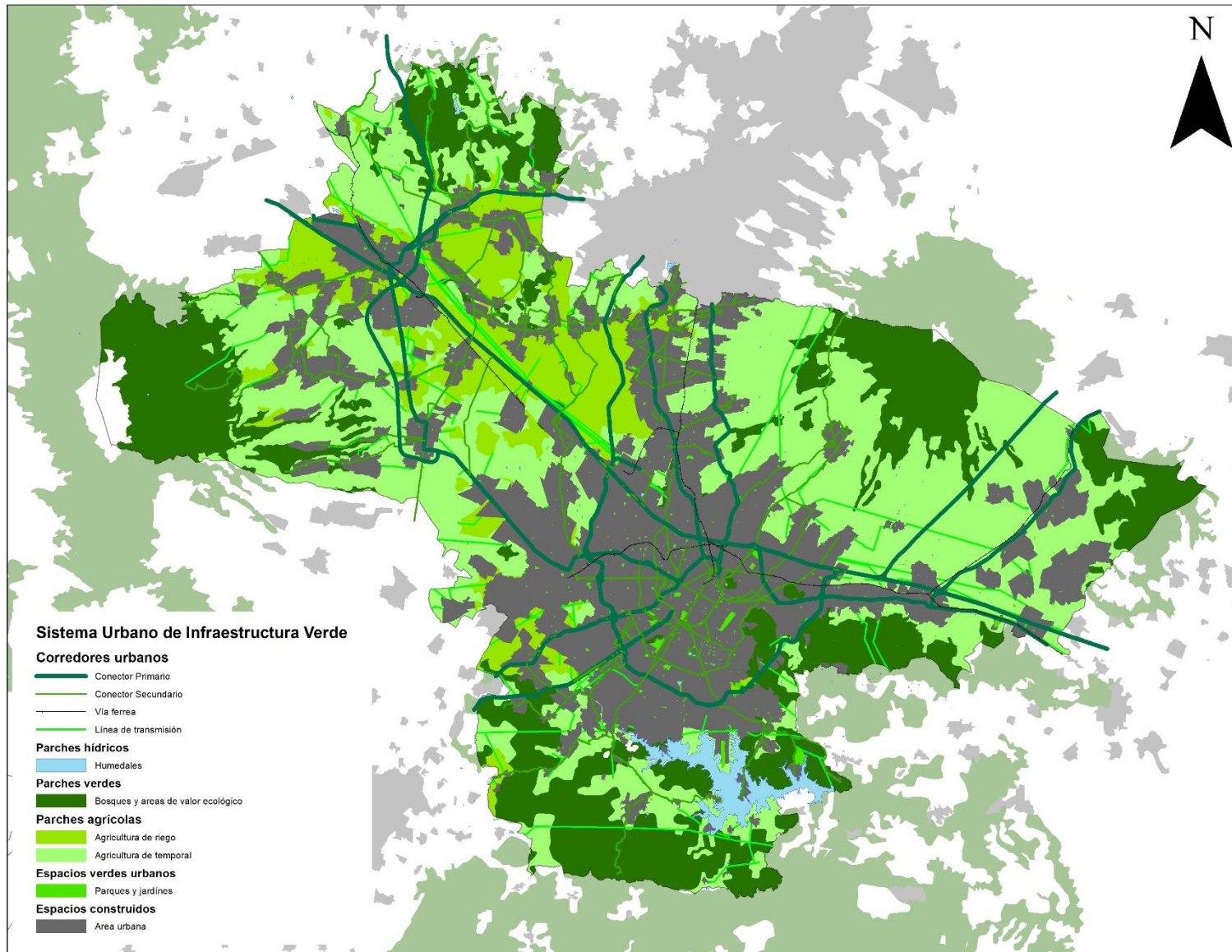




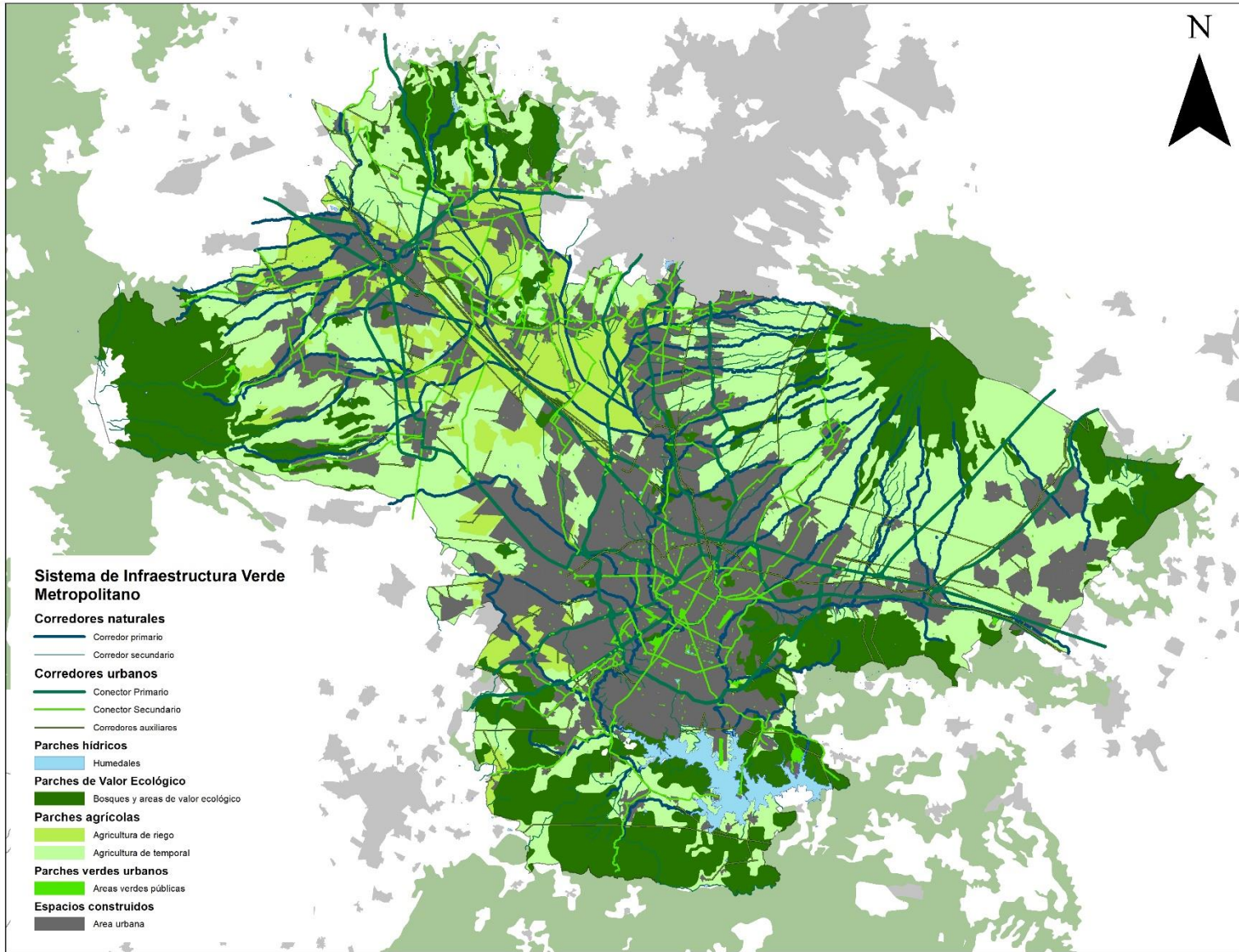












Relación normativa de los elementos del Sistema Metropolitano de Infraestructura Verde

Capa de Información	Normativa Estatal	Descripción	Normativa Federal	Descripción
<b>Área Natural Protegida</b>	Ley Para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del Estado de Puebla; Ley de Ecología y de Protección al Ambiente del Estado de Tlaxcala.	"ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS: Las zonas naturales dentro territorio estatal, en donde los ambientes originales requieren ser conservados, preservados, restaurados o aprovechados en forma sustentable debido a su importancia biótica o abiótica;"	Artículos 65 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y 72 de su Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas	"Una vez establecida un área natural protegida de competencia federal, la Secretaría deberá... coordinar la formulación, ejecución y evaluación del programa de manejo correspondiente; Las áreas naturales protegidas deberán contar con un programa de manejo ... deberá sujetarse a las disposiciones contenidas en la declaratoria del área natural protegida de que se trate, y tendrá por objeto la administración de la misma"
<b>Canal</b>	No Aplica	No Aplica	Ley de Aguas Nacionales	"Cauce de una corriente": El canal natural o artificial que tiene la capacidad necesaria para que las aguas de la creciente máxima ordinaria escurran sin derramarse. Cuando las corrientes estén sujetas a desbordamiento, se considera como cauce el canal natural, mientras no se construyan obras de encauzamiento; en los orígenes de cualquier corriente, se considera como cauce propiamente definido, cuando el escurrimiento se concentre hacia una depresión topográfica y éste forme una cárcava o canal, como resultado de la acción del agua fluyendo sobre el terreno. Para fines de aplicación de la presente Ley, la magnitud de dicha cárcava o cauce incipiente deberá ser de cuando menos de 2.0 metros de ancho por 0.75 metros de profundidad;"
<b>Corriente de agua</b>	No Aplica	No Aplica	Ley de Aguas Nacionales	"Río: Corriente de agua natural, perenne o intermitente, que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar; "Ribera o Zona Federal": Las fajas de diez metros de anchura contiguas al cauce de las corrientes o al vaso de los depósitos de propiedad nacional, medidas horizontalmente a partir del nivel de aguas máximas ordinarias."
<b>Cuerpo de agua</b>	No Aplica	No Aplica	Ley de Aguas Nacionales	"Humedales: Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional; las áreas en donde el suelo es predominantemente hídrico; y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos;"

Capa de Información	Normativa Estatal	Descripción	Normativa Federal	Descripción
<b>Área pública /Área urbana abierta</b>	Ley de Ecología y de Protección al Ambiente del Estado de Tlaxcala.	“PARQUES URBANOS: Son las áreas de uso público constituidas en los centros de población, para obtener y preservar el equilibrio ecológico en los ecosistemas urbanos, industriales, entre las construcciones, equipamientos e instalaciones respectivas y los elementos de la naturaleza, de manera que se proteja un ambiente sano, el esparcimiento de la población y de los valores artísticos e históricos y de belleza natural que signifiquen en la localidad”	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	“Protección y progresividad del Espacio Público. Crear condiciones de habitabilidad de los espacios públicos, como elementos fundamentales para el derecho a una vida sana, la convivencia, recreación y seguridad ciudadana que considere las necesidades diferenciadas por personas y grupos. Se fomentará el rescate, la creación y el mantenimiento de los espacios públicos que podrán ampliarse, o mejorarse, pero nunca destruirse o verse disminuidos. En caso de utilidad pública, estos espacios deberán ser sustituidos por otros que generen beneficios equivalentes”
<b>Área de cultivo</b>	Ley de Desarrollo Urbano Sustentable del Estado de Puebla	“Área rural. Aquélla que por sus aptitudes y características se dedica en forma preponderante a la explotación agropecuaria, forestal, minera u otra similar.”	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	“Artículo 55. Las áreas consideradas como no urbanizables en los planes o programas de Desarrollo Urbano y ordenamiento territorial, de conurbaciones o de zonas metropolitanas, sólo podrán utilizarse de acuerdo a su vocación agropecuaria, forestal o ambiental, en los términos que determinan esta Ley y otras leyes aplicables. Las tierras agrícolas, pecuarias y forestales, las zonas de Patrimonio Natural y Cultural, así como las destinadas a la preservación ecológica, deberán utilizarse en dichas actividades o fines de acuerdo con la legislación en la materia.”
<b>Cementerio/Instalación deportiva o recreativa</b>	Ley de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Tlaxcala.	“Equipamiento urbano: El conjunto de inmuebles, instalaciones, construcciones y mobiliario, utilizado para prestar a la población los servicios urbanos para desarrollar actividades económicas, sociales, culturales, deportivas educativas, de traslado y de abasto;”	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	“Equipamiento Urbano: el conjunto de inmuebles, instalaciones, construcciones y mobiliario utilizado para prestar a la población los Servicios Urbanos para desarrollar actividades económicas, sociales, culturales, deportivas, educativas, de traslado y de abasto;”
<b>Instalación diversa</b>	No Aplica	No Aplica	Reglamento de la Ley General de Vida Silvestre	“Predios o instalaciones que manejan vida silvestre en forma confinada, fuera de su hábitat natural (PIMVS). Los criaderos intensivos, viveros, jardines botánicos o similares que manejen vida silvestre de manera confinada con propósitos de reproducción controlada de especies o poblaciones para su aprovechamiento con fines comerciales.”

Capa de Información	Normativa Estatal	Descripción	Normativa Federal	Descripción
Rasgo arqueológico	No Aplica	No Aplica	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	"Patrimonio Natural y Cultural: sitios, lugares o edificaciones con valor arqueológico, histórico, artístico, ambiental o de otra naturaleza, definidos y regulados por la legislación correspondiente;"
Camino/Carretera/Vialidad	Ley de Vialidad para el Estado libre y soberano de Puebla; Reglamento de la Ley de Comunicaciones y Transportes en el Estado de Tlaxcala en materia de transporte público y privado.	"Infraestructura/Comunicaciones Viales: A la vía de comunicación para la conducción del tránsito vehicular y que está integrada por calles, avenidas, pasos a desnivel o entronques, caminos, carreteras, autopistas, puentes y sus servicios auxiliares, dentro de las zonas de Jurisdicción del Estado de Puebla;" "...las avenidas, calles, calzadas, plazas, paseos, caminos, carreteras, puentes, pasos a desnivel y otras que se ubiquen dentro del Estado de Tlaxcala y se destinen temporal o permanentemente al tránsito público."	Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	"Artículo 59...La Zonificación Primaria, con visión de mediano y largo plazo, deberá establecerse en los programas municipales de Desarrollo Urbano, en congruencia con los programas metropolitanos en su caso, en la que se determinarán: ...III. La red de vialidades primarias que estructure la conectividad, la Movilidad y la accesibilidad universal, así como a los espacios públicos y equipamientos de mayor jerarquía;"
Línea de transmisión	No Aplica	No Aplica	ESPECIFICACIÓN CFE L1000-10	"Derecho de Vía: Es una franja de terreno que se ubica a lo largo de cada línea aérea, cuyo eje longitudinal coincide con el trazo topográfico de la línea, en caso de líneas construidas como tipo lindero, el ancho del derecho de vía se debe considerar a partir del eje longitudinal del conductor. Su dimensión transversal varía de acuerdo con el tipo de estructuras, con la magnitud y desplazamiento lateral de la flecha y con la tensión de operación. (DOF-NOM-001-SEDE)." "Dentro del área que ocupa el derecho de vía... Se pueden aceptar vialidades, estacionamientos, áreas verdes y áreas de recreación, debiendo satisfacer los requisitos establecidos en la NOM-001-SEDE."
Vía férrea	No Aplica	No Aplica	Ley Reglamentaria del Servicio Ferroviario; Reglamento del Servicio Ferroviario	"Derecho de vía: la franja de terreno que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía general de comunicación ferroviaria, cuyas dimensiones y características fije la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; deberá comprender una franja de terreno de por lo menos quince metros de cada lado de la vía férrea, medidos a partir del eje horizontal de la misma, entendiéndose por éste la parte media del escantillón de vía. Únicamente en casos debidamente justificados, se podrá autorizar que sean menos de quince metros."