

Infraestructura Verde Urbana



Infraestructura Verde Urbana



TAVAPY ÑEMOHENDA,
OGA'APŌ HA TEKŌHA
Micosoekta
Ministerio de
URBANISMO
VIVIENDA Y HÁBITAT



TEKŌHA HA
AKÁRAPŪ KATUIRĀ
Micosoekta
Ministerio del
AMBIENTE Y DESARROLLO
SOSTENIBLE



TETĀ REKUÁI
GOBIERNO NACIONAL

Paraguay
de la gente

Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH)

Carlos Alberto Pereira Olmedo, Ministro de Urbanismo, Vivienda y Hábitat
Jorge Bosch, Viceministro de Urbanismo y Hábitat, Punto Focal del Proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad”
Mario Vacchetta, Director – Dirección General del Hábitat

Equipo Técnico

Martha Sánchez, **Ximena Amarilla**, **Fernando Maidana**, **Diego Sánchez**, **Rosa Pavón**, **Zaida Gavilán**, **Cynthia Yanes**, **Elena Enciso**, **Florencia Guggiari**, **Fabiana Aguilera**, **Liz Bustos**, **Pamela Vasconellos**, **Natalia Redondo**, **Arnaldo Roa**, **Laura López**, **Jorge Núñez**, **Milagro Aldana**, **Jocelyn Bogado**

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES)

Ariel Oviedo, Ministro del Ambiente y Desarrollo Sostenible
Hugo Piccinini S., Director General de Gestión Ambiental, Punto Focal Titular del Proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad”
Lourdes Bogado, Directora de Ordenamiento Ambiental, Punto Focal Alterna del Proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad”

Instituto Forestal Nacional (INFONA)

Cristina Goralewski, Presidenta del Instituto Forestal Nacional
Víctor Ecurra, Director - Dirección de Desarrollo Forestal
Martha Álvarez, Directora - Dirección de Fomento de Plantaciones Forestales

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Silvia Morimoto, Representante Residente.
Alfonso Fernández de Castro, Representante Residente Adjunto
Veronique Gerard, Oficial de Programa - Desarrollo Sostenible

Equipo de Proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas - Vías a la Sustentabilidad”

Alejandra Kemper, Coordinadora de proyecto
Irene Gauto, Responsable Técnica
Eliana Tolces, Comunicadora del proyecto

Equipo Técnico

Karen Stanley, Consultora.

Autores

Karen Stanley, **Ximena Amarilla**, **Fernando Maidana**, **Diego Sánchez**, **Rosa Pavón**, **Zaida Gavilán**, **Cynthia Yanes**, **Elena Enciso**, **Florencia Guggiari**, **Fabiana Aguilera**, **Liz Bustos**, **Pamela Vasconellos**, **Natalia Redondo**, **Arnaldo Roa**, **Laura López**, **Jorge Núñez**, **Milagro Aldana**, **Jocelyn Bogado**, **Mario Vacchetta**, **Martha Sanchez**

Colaboradores

Lidia Pérez de Molas, **Víctor Ecurra**, **Martha Álvarez**, **Germán González**, **Lourdes Elias Dacosta**, **Óscar Vera Cabral**, **Silvia Centrón**, **Irene Gauto**

Karen Stanley, **Violeta Pereira**, Planos y esquemas gráficos
Laura Villalba, Perspectivas
César Pizzurno, Archivo del Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat, Fotografías
Andrea Gavilán, Corrección de estilo
Alejandra del Puerto, Diseño y diagramación
NACTO, imagen de tapa

Este documento se ha elaborado, diseñado, diagramado e impreso en el marco del Proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad”, liderado por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), además de otras instituciones, con financiación del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). Las opiniones expresadas en esta publicación no representan necesariamente las de las Naciones Unidas, incluido el PNUD, ni los Estados Miembros de la ONU. Este documento no tiene fines de lucro, por lo tanto, no puede ser comercializado en el Paraguay ni en el extranjero. Esta publicación puede ser reproducida total o parcialmente y en cualquier forma con fines educativos o no lucrativos sin el permiso especial del autor, siempre y cuando se cite la fuente.

MUVH/MADES/PNUD/FMAM. 2021. Manual de Infraestructura Verde Urbana. Proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad”. Asunción, Paraguay. 176p.

Primera Edición
 Tiraje: 1000 ejemplares
 Abril, 2021.

Índice de figuras	4
Índice de tablas	5
Abreviaturas y siglas	5
Glosario	6
1. Introducción	8
¿Qué es el Manual de Infraestructura Verde Urbana?	
2. Objetivos	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
3. Metodología	11
4. Marco normativo nacional e instrumentos de planificación vigentes	13
5. Marco Conceptual	17
Ciudades compactas, inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles	17
Soluciones basadas en la Naturaleza e Infraestructura Verde Urbana	19
Bosques urbanos	21
Servicios ecosistémicos	22
Cuencas y subcuencas hidrográficas en la planificación urbana	23
Mitigación y adaptación urbana al cambio climático	25
6. Características espaciales y ambientales en áreas urbanas del Paraguay	28
Patrones de distribución espacial en ciudades	28
Áreas verdes urbanas en riesgo	33
Normas del espacio público y áreas urbanas ambientalmente protegidas	37
Avenidas y calles	38
Parques y Plazas	42
Áreas protegidas y Recursos hídricos	44
7. Estrategias de diseño de la Infraestructura Verde Urbana	46
Sistemas de Drenaje Sostenibles	48
7.1.1 Cuneta Verde	50
7.1.2 Pavimentos permeables	52
7.1.3 Lagunas de detención y retención	54
7.1.4 Humedales artificiales	56
7.1.5 Otros	58
Arborización urbana	61
7.2.1 Características de los árboles	62
7.2.2 Limitaciones ambientales del sitio	74
7.2.3 Arborización urbana y la fauna local	82
7.2.3 Limitaciones del entorno construido	84
7.2.4 Especies no recomendadas para las ciudades	87
7.2.5 Guía práctica de plantación y cuidado de árboles	90
Infraestructura Verde Urbana en los elementos del espacio urbano	98
7.3.1 Calles	99
7.3.2 Avenidas y paseos centrales	118
7.3.3 Ciclovías en calles y avenidas	122
7.3.4 Parques y Plazas	125
7.3.5 Estacionamientos	132
7.3.6 Loteamientos, viviendas y equipamientos urbanos	135
Configuraciones urbanas	141
7.4.1 Escala barrial	141
7.4.2 Escala urbana	148
Estudio de caso	152
7.5.1 Proyecto de Urbanización Barrio San Blas del MUVH	152
7.5.2 Che Tapyi y FONAVIS	1571
8. Plan de gobernanza para la implementación de planes y proyectos de Infraestructura Verde en proyectos del MUVH y de los Municipios	159
Estrategia de implementación para proyectos del MUVH	159
Estrategia de implementación del Plan Municipal de Infraestructura Verde	160
Conclusiones y recomendaciones	166
Bibliografía	170



Índice de figuras

Figura 1: Aplicaciones de la Infraestructura Verde en paisajes urbanos y rurales	29
Figura 2: Variaciones de la temperatura en relación con el uso del suelo	30
Figura 3: Aportes de bosque urbano antes los efectos adversos del Cambio Climático	31
Figura 4: Evolución de la población urbana y rural en el Paraguay	33
Figura 5: Evolución de la expansión urbana difusa y horizontal	34
Figura 6: Foto aérea de un asentamiento informal	35
Figura 7: Acumulación de residuos sólidos en arroyos urbanos	36
Figura 8: Entorno urbano caracterizado por el transporte vehicular y la infraestructura gris	38
Figura 9: Impactos de la urbanización en el ciclo del agua	39
Figura 10: Inundación urbana durante eventos extremos de lluvia	40
Figura 11: Falta de mantenimiento y poda adecuada a un árbol urbano	41
Figura 12: Componentes de una calle	42
Figura 13: Zonas de la vereda	44
Figura 14: Árbol de ficus ubicado incorrectamente en la franja de circulación	45
Figura 15: Tipos de cantero	46
Figura 16: Vista del Parque Carlos A. López – Asunción	47
Figura 17: Categorización de los espacios públicos abiertos	48
Figura 18: Ecorregiones del Paraguay	66
Figura 19: Tipos de formas de la copa del árbol	74
Figura 20: Tipo y densidad del follaje de diferentes especies arbóreas	77
Figura 21: Clasificación climática de Köppen	79
Figura 22: Mapa de precipitación	80
Figura 23: Mapa con distribución de tipos de suelos en Paraguay	81
Figura 24: Dimensiones insuficientes del cantero en relación con la especie arbórea plantada	89
Figura 25: Árboles urbanos en conflicto con el tendido eléctrico	90
Figura 26: Inclinación extrema del árbol	91
Figura 27: Daños causados por el ficus en las calles	92
Figura 28: Raíces aéreas y superficiales del árbol de gomero que obstruyen el paso peatonal	92
Figura 29: Raíces aéreas del Guapo y moroti envolviendo a otro árbol	93
Figura 30: Ubicación correcta de raíces en el pozo de plantación	96
Figura 31: Colocación correcta del tutor próximo al árbol	97
Figura 32: Dimensión mínima del protector para el árbol	98
Figura 33: Protectores metálicos	98
Figura 34: Protectores de listones de madera	99
Figura 35: La media sombra y la esterilla de tacuara como alternativas de protección a los árboles	100
Figura 36: Riego correcto para el árbol	101
Figura 37: Tipos de extensiones de vereda	104
Figura 38: Fotos de árboles con copas entrecruzadas	107
Figura 39: Distancias entre el árbol y los elementos construidos de la calle	108
Figura 40: Distancia entre el árbol y la señalética/artefactos urbanos verticales	109
Figura 41: Árbol plantado en la esquina de la cuadra, evidenciando una ubicación incorrecta	110
Figura 42: Esquema de volumen mínimo necesario para árboles medianos	111
Figura 43: Infraestructura Verde Urbana en paseos centrales	122
Figura 44: Ciclovía inserta en paseo central	126
Figura 45: Estacionamiento con superficie impermeable y sin vegetación	136
Figura 46: Calle inundada en Puerto Elsa	139
Figura 47: Relación entre el Factor de Infiltración del Terreno y Volumen de Ocupación	140
Figura 48: Distancia mínima entre el árbol y la vivienda	143
Figura 49: Distancias mínimas entre los árboles y el límite del terreno	144
Figura 50: Corredores verdes a partir de la plantación de árboles en los corazones de manzana	144
Figura 51: Ejemplo de zona urbanizada de media/alta densidad	146
Figura 53: Plan de Infraestructura Verde para una zona urbanizada de media/alta densidad	147
Figura 53: Ejemplo de la zona de urbanización de baja densidad	148
Figura 55: Propuesta de diseño para zonas habitacionales de baja densidad	149
Figura 55: Ejemplo de la Zona Periurbana	140
Figura 56: Limite difuso en vereda y calzada en la zona periurbana	151
Figura 57: Plan de Infraestructura Verde para zonas periurbanas	151
Figura 58: Patrones para planificar un paisaje	153
Figura 59: Elementos del Plan de Infraestructura Verde municipal	154
Figura 60: Propuesta urbana y de movilidad - Barrio San Blas	157
Figura 61: Plan de arborización - Barrio San Blas	159
Figura 62: Red de Infraestructura Verde - Barrio San Blas	160
Figura 63: Plantación de árboles en espacios públicos abiertos	161
Figura 64: Elección del sitio y preparación del suelo	162
Figura 65: Utilización de protectores para el resguardo de los plantines	162
Figura 66: Actores directos e indirectos en la fase de Ajuste Normativo	165

Lista de tablas

Tabla 1: Beneficios de la Infraestructura Verde Urbana	21
Tabla 2: Comparación de dimensiones mínimas (ancho en metros) para calles y avenidas a nivel regional	39
Tabla 3: Especies arbóreas por ecorregiones de la Región Oriental	63
Tabla 4: Especies arbóreas por ecorregiones de la Región Occidental	66
Tabla 5: Especies arbóreas categorizadas según altura	69
Tabla 6: Especies arbóreas categorizadas según la forma de la copa	71
Tabla 7: Especies arbóreas categorizadas según la densidad del follaje	72
Tabla 8: Especies arbóreas categorizadas según la caducidad del follaje	72
Tabla 9: Especies arbóreas categorizadas según velocidad de crecimiento	74
Tabla 10: Especies arbóreas categorizadas según la exigencia del suelo	78
Tabla 11: Especies arbóreas categorizadas según resistencia a la sequía	79
Tabla 12: Especies arbóreas categorizadas según resistencia a la inundación	80
Tabla 13: Especies arbóreas categorizadas según preferencia de exposición al sol	81
Tabla 14: Especies arbóreas clasificadas según las funciones que cumplen en relación con la fauna local	83
Tabla 15: Propuesta de ancho mínimo para calzada, vereda y franja de amortiguamiento en una calle	100
Tabla 16: Especies arbóreas recomendadas según el ancho de vereda	102
Tabla 17: Medidas de cantero con relación al ancho de vereda - Normativa de la ciudad de Buenos Aires	106
Tabla 18: Propuesta del ancho mínimo para calzada, vereda y paseo central en una avenida	118
Tabla 19: Especies recomendadas según el ancho del paseo central	119
Tabla 20: Categorías de tipos de suelo relacionados a la Infraestructura Verde Urbana	164

Abreviaturas y siglas

CONADERNA: Comisión Nacional de Defensa de los Recursos Naturales
FCA – UNA: Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Asunción
FONAVIS: Fondo Nacional de la Vivienda Social
INFONA: Instituto Forestal Nacional
MADES: Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible
MOPC: Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones
MUVH: Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat
NAU: Nueva Agenda Urbana
ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
OPACI: Organización Paraguaya de Cooperación Intermunicipal
PMIV: Plan Municipal de Infraestructura Verde
POUT: Plan del Ordenamiento Urbano y Territorial
POU: Plan del Ordenamiento Urbano
PDS: Plan de Desarrollo Sustentable
SAT: Servicio de Asistencia Técnica del Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat
SbN: Soluciones basadas en la Naturaleza
SEs: Servicios Ecosistémicos
STP: Secretaría Técnica de Planificación
SuDS: Sistema de Drenaje Sostenible

Glosario

Accesibilidad universal: Condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible. Presupone la estrategia de “diseño para todos” y se entiende sin perjuicio de los ajustes razonables que deba adoptarse (Ley N° 4934/13, 2013).

Agua pluvial: Agua proveniente de la lluvia o del granizo (IMPLAN Hermsillo, 2017).

Anegamiento: Acumulación temporal de aguas de lluvias en una determinada porción de territorio (Ferrando & Francisco, 2006).

Árbol: Planta perenne de tronco leñoso y elevado, cuya ramificación tiene lugar a cierta altura sobre el nivel del suelo (Ley N° 4928/13, 2013).

Área contribuyente: Proyección horizontal de toda el área de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido, directa o indirectamente, a un mismo cauce natural (Ordoñez, 2011).

Área Metropolitana: Extensión urbana continúa, que abarca más de un municipio y que tiene como cabecera un centro urbano generador de este fenómeno (Causarano, 2006).

Área permeable: Superficie del suelo provista de suelo natural y cobertura vegetal o pavimentación de cualquier tipo de materiales que permitan la infiltración de agua (IMPLAN Hermsillo, 2017).

Avenida: Vía pública de más de un carril por cada sentido de circulación y separados por medio físico o con doble línea amarilla, donde el tránsito circula con carácter preferencial con respecto a las calles transversales (Ley N° 5016/14, 2014).

Barrio: Unidad territorial dotada con ciertas características propias y distintivas que marcan una relación de particularidad frente al conjunto de la ciudad. Entre éstas destacan la conformación de una fisonomía y una morfología distintivas que definen su individualidad, la conjunción de una o más actividades prioritarias que permiten el desarrollo de una cierta autonomía funcional y, por último, el establecimiento de relaciones sociales significativas entre sus habitantes y el territorio que ocupan (Tapia et al., 2009).

Calle: Vía urbana destinada a la circulación de peatones, vehículos y animales (Ord. ASU N° 479/10, 2010).

Calzada: Parte de la vía pública destinada exclusivamente a la circulación de vehículos (Ley N° 5016/14, 2014).

Cantero: Para los efectos de este manual, se refiere a la franja de terreno dentro de la ciudad que se deja sin asfaltar con el fin de albergar en su interior un árbol (Ayuntamiento de Madrid, 2018).

Cambio Climático: Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima, observada durante períodos de tiempo comparables (Naciones Unidas, 1992).

Cepellón: Masa de tierra que se deja adherida a las raíces de los vegetales para transplantarlos (RAE, 2019).

Ciclovía: Vía destinada a la circulación de bicicletas, separada físicamente del tránsito común (Ley N° 5016/14, 2014).

Cordón: Delimitación física que separa la calzada de los demás espacios de la vía pública (Ord. ASU N° 479/10, 2010).

Cuenca y subcuenca hidrológica: Área delimitada por una línea divisoria conocida como “parteaguas”, que drena las aguas superficiales y subterráneas hacia un cuerpo de agua ubicado agua abajo, como ríos, arroyos, lagos, etc. Cada cuenca está compuesta de diversas cuencas más pequeñas, llamadas subcuencas (Cappiella et al., 2005).

Franja o cebra peatonal: Franja de seguridad señalada o marcada en la vía pública por donde deben cruzar la calzada los peatones (Ley N° 5016/14, 2014).

Ecorregión: Unidad territorial que presenta características físicas propias en términos de topografía, hidrografía, geología, fauna y flora (STP - PNUD, 2018).

Emisiones: Liberación de gases de efecto invernadero o sus precursores en la atmósfera, en un área y un período de tiempo específicos (Naciones Unidas, 1992).

Epífita: Dicho de un vegetal: Que vive sobre otra planta, sin alimentarse a expensas de esta (RAE, 2019).

Escorrentía: Agua de lluvia que corre por la superficie de un terreno (RAE, 2019).

Especie caduca o caducifolia: Especie vegetal que pierde estacionalmente las hojas, generalmente en otoño, y las renueva en primavera (Beytía et al., 2012).

Especie perennifolia: Especie vegetal que mantiene sus hojas por un período de tiempo superior a un año y las renueva en forma parcial (Beytía et al., 2012).

Estacionamiento: Sitio de parqueo habilitado por la autoridad de tránsito (Ley N° 5016/14, 2014).

Factor de Infiltración del Terreno – FIT: Es el porcentaje de suelo libre y permeable (que permite la infiltración directa de agua de lluvia) del lote. FIT = Superficie permeable / superficie total del lote (Ecosistema Urbano, 2016b).

Franja de circulación peatonal segura: Espacio en la vereda totalmente pavimentado destinado exclusivamente a la circulación de peatones. Ésta debe estar libre de obstáculos para garantizar un desplazamiento seguro (Ord. ASU N° 217/12).

Franja interna: Espacio en la vereda entre la línea municipal y la franja de circulación peatonal segura. Puede estar presente o no de acuerdo con el ancho de la vereda (Ord. ASU N° 217/12).

Franja de servicios: Espacio en la vereda próximo a la calle, destinado a la ubicación de los servicios de infraestructura, informaciones y mobiliario urbano, tales como: columnas de ANDE, postes de iluminación, medidores de ESSAP, rampas, señaléticas, semáforos, cajas de redes, canteros, teléfonos, cajas de correo, basureros, árboles, sembrado de césped y otros (Ord. ASU N° 217/12).

Gases de Efecto Invernadero: Aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos, que absorben y reemiten radiación infrarroja (Naciones Unidas, 1992).

Infraestructura Gris: Para los efectos de este manual, se refiere a métodos tradicionales de gestión del agua, empleando recursos construidos por el hombre, a menudo no permeables para el agua y diseñados para evitar que crezca ningún tipo de ecosistema en ellos. La infraestructura gris incluye medidas tales como los canales, las zanjas, las tuberías y el desagüe. Se lo llama de esta manera porque a menudo está construida en hormigón (Strosser et al., 2015).

Inundación: Masa de agua que se sale de su cauce y se dispone temporalmente fuera de él (Ferrando & Francisco, 2006).

Isla de calor: Tendencia de las ciudades de retener más calor que las zonas rurales circundantes (ONU Habitat, 2011b), ya que las zonas edificadas presentan temperaturas promedio más altas que el campo abierto que las rodea (IMPLAN Hermsillo, 2017).

Línea municipal: Línea divisoria entre el terreno privado y la vía pública (Ord. ASU N° 217/12).

Loteamiento o lotificación: Toda división o parcelamiento de inmueble en dos o más fracciones destinadas a la venta en zonas urbana, suburbana o rural, con fines de urbanización.

Mobiliario urbano: Conjunto de elementos auxiliares que se encuentran en los espacios públicos y que son necesarios para el buen desenvolvimiento de la vida urbana (Ord. ASU N° 217/12).

Movilidad activa: capacidad que las personas tienen para desplazarse usando el cuerpo, ya sea caminando o con otros medios de transporte (bicicleta, monopatín, etc.), tanto para viajes individuales o dentro de un viaje combinándolo con el transporte público (Gerike et al., 2016)

Ordenanza Municipal: Norma de obligatoria aplicación en el municipio (DGODT, 2016).

Ordenamiento territorial: Acción y práctica de disponer ordenadamente, a través del espacio de un país, de una región o de un municipio, y con una visión prospectiva, los hombres y sus actividades, los equipamientos y los medios de comunicación que utilizan, tomando en cuenta las limitaciones naturales, humanas, económicas y hasta estratégicas (Merlin & Choay, 2015; STP - PNUD, 2018).

Plan de Desarrollo Sustentable: Plan que establece los ámbitos económicos, sociales y ambientales a mediano y largo plazo, materializados a través de los Planes de Ordenamiento Urbano y Territorial (STP - PNUD, 2018).

Plan de Ordenamiento Urbano y Territorial: Plan que propone el ordenamiento territorial de un distrito en relación con los objetivos enunciados en el Plan de Desarrollo Sustentable (STP - PNUD, 2018).

Planificación Territorial: Proceso que precisa la repartición en el espacio de las poblaciones y sus actividades, con objetivos a alcanzar, recursos necesarios y etapas de realización. Despliega una visión global y transdisciplinaria del territorio para prever la construcción de los equipamientos e infraestructuras necesarias a estas poblaciones y a la eficiencia de sus actividades (STP - PNUD, 2018).

Plantación: Colocación de árboles con cierto grado de desarrollo vegetativo, en terrenos públicos o privados, con el fin de arborizar el lugar (Ley N° 4928/13, 2013).

Pavimento podotáctil o pavimento táctil: Pavimento caracterizado por la diferencia de textura que presenta en relación con el piso adyacente, destinado a constituir alerta o guía perceptible en particular por personas con discapacidad visual (Ord. ASU N° 217/12).

Periurbano: Zona transitoria entre lo urbano y lo rural, de predominio urbano, que ofrece una amplia gama de recursos tan dispares como grandes equipamientos metropolitanos, polígonos industriales, ciudades dormitorio y urbanizaciones de baja densidad de edificación con espacios de agricultura residual (Hernández Puig, 2016).

Peatón: Toda persona física que utiliza la vía pública a pie, en carro de criatura, silla de rueda o similar (Ley N° 5016/14, 2014).

Podá: Eliminación de material vegetal consistente en ramas, tallos o raíces, sin que afecte la supervivencia del árbol. Ésta puede ser caracterizada sobre la base del grado de afectación, como de carácter liviano o severo o puede ser por su fin, como de seguridad, de formación o para asegurar la provisión normal de los servicios que utilizan conductores aéreos (Ley N° 4928/13, 2013).

Precipitación: Agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie terrestre (IMPLAN Hermsillo, 2017).

Rampa: Elemento idóneo para salvar desniveles (Ord. ASU N° 217/12).

Replacación arbórea: Actividad humana dirigida a restablecer la cobertura vegetal en un área degradada, cuya vegetación se ha perdido parcial o totalmente por intervención humana o de forma natural (Ley N° 4928/13, 2013).

Resiliencia: la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas (UNDRR, 2020)

Rodales: Una comunidad de árboles de bosques, los cuales son generalmente uniformes en composición, tamaño, edad o condición de especies y son

manejados como una sola unidad (USDA, 2020).

Rustificación: Proceso de adaptación de las plantas producidas en el vivero y que serán trasplantadas al lugar definitivo donde tendrán que soportar condiciones adversas: sequías, cambios bruscos de temperatura y fuertes vientos (Ministerio de Agroindustria - INTA, 2018).

Señal de tránsito: Toda marca, signo o leyenda utilizada para regular el tránsito y brindar información al respecto a conductores y peatones, así como toda indicación realizada por la autoridad competente (Ley N° 5016/14, 2014).

Servicios ecosistémicos: beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Sistema radicular o raíz: Es la parte generalmente subterránea de la planta, que realiza tres funciones importantes: fijación o anclaje del árbol al sustrato, absorción del agua y nutrientes, y almacenamiento de productos de reserva (Beytía et al., 2012).

Suelo permeable: Es la propiedad que tiene el suelo de infiltrar el agua (IMPLAN Hermsillo, 2017).

Tala: Corte del tronco de un árbol con la intención de derribarlo (Ley N° 4928/13, 2013).

Trasplante: Traslado de árboles del lugar donde están plantados a otros sitios que reúnan las condiciones aptas para su normal desarrollo (Ley N° 4928/13, 2013).

Uso del suelo: Derecho que se le otorga a una persona para utilizar el recurso del suelo, respetando sus características y potencialidades, no solo con una función socioeconómica, sino también en el marco de una política de conservación y uso sostenible de los recursos naturales y el medioambiente (STP - PNUD, 2018).

Vegetación nativa o autóctona: Comprende aquellas especies vegetales que tienen su rango de distribución natural en una región determinada (IMPLAN Hermsillo, 2017).

Vereda o acera: Franja comprendida entre la calzada y la línea municipal destinada al tránsito exclusivo de peatones (Ley N° 5016/14, 2014).

Vía pública: Calle, avenida, carretera, ruta, camino u otro lugar destinado al tránsito de vehículos, personas y animales, que comprende la calzada, la acera, la banquina y el paseo central (Ley N° 5016/14, 2014).

Zona de biorretención: Cavidades poco profundas conformadas en el terreno que contienen plantas nativas apropiadas para el uso y cuyo objetivo es recolectar agua de lluvia que corre sobre las superficies impermeables (IMPLAN Hermsillo, 2017; Save the water, 2012).

Zona Metropolitana: Incorpora los municipios conurbados que solo tienen población urbana y los que siguen manteniendo población rural (Causarano, 2006).

1.

Introducción

1.1 ¿Qué es el Manual de Infraestructura Verde Urbana?

A nivel mundial, los **municipios** luchan para poder responder a las demandas de sus poblaciones en rápido crecimiento, especialmente en los países de ingresos bajos y medios, donde el crecimiento de la población urbana a menudo no ha sido acompañado con el desarrollo socioeconómico. Este desafío también fue reconocido por la Asamblea General de las Naciones Unidas, donde el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 11 hace un llamado para *“hacer que las **ciudades** y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” (FAO, 2018).*

Si bien las ciudades son actores claves para lograr el desarrollo sostenible, los recursos disponibles por los municipios son limitados. Por lo tanto, es importante destinarlos en intervenciones que generen múltiples beneficios a los ciudadanos y al territorio. En las últimas décadas, experiencias de diversos municipios alrededor del mundo han demostrado la utilidad y el potencial de la **Infraestructura Verde**, que es un conjunto de elementos urbanísticos y paisajísticos que toman como eje de diseño e implementación a los sistemas de vegetación, así como al manejo eficiente del suelo y agua, de manera a brindar soluciones integrales y efectivas a los problemas urbanos existentes. Por lo tanto, las intervenciones de Infraestructura Verde no solo resuelven un problema puntual, sino que generan además una serie de beneficios ambientales, económicos y sociales muy concretos.

Este manual promueve la implementación de la Infraestructura Verde como una herramienta estratégica para la **planificación** de las ciudades en el Paraguay mediante la presentación de los lineamientos técnicos de diseño, así como los **criterios de diseño urbano** y de paisaje por escala de intervención. Se toma como estrategia prioritaria intervenir los “espacios colectivos y vacíos” del municipio, de manera a crear una red ecológica urbana, a partir de las condiciones existentes, con el fin de mejorar los servicios ecosistémicos, sociales y de servicios públicos en los espacios comunitarios de las ciudades, tales como **calles, plazas o parques, urbanizaciones**, etc.

El **“Manual de Infraestructura Verde Urbana”** forma parte de uno de los productos del proyecto “Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad”, el cual es impulsado por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) e implementado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Así mismo, la elaboración de este Manual fue liderada por el Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH) y con la colaboración del Instituto Forestal Nacional (INFONA). El mismo surge a instancias del Viceministerio de Urbanismo y Hábitat del MUVH, que ha elaborado un material base y que ha sido reformulado a fin de adecuar el concepto de Infraestructura Verde a las ciudades.

Dichas instituciones ponen a disposición este Manual de manera a contribuir al desarrollo sostenible de las ciudades paraguayas a partir de la incorporación y regeneración de los sistemas naturales urbanos, en miras de apuntar a ciudades más “verdes”, y, por ende, resilientes y saludables.

El alcance del mismo es nacional y está orientado a las ciudades y zonas urbanas de todos los distritos del país, así como a los proyectos urbanos encarados por el MUVH. Se presentan de forma referencial los diferentes componentes de Infraestructura Verde adaptados al contexto paraguayo, desglosándolo tanto en las diversas técnicas utilizadas en los Sistemas de Drenaje Sostenible, y la Arborización Urbana, que incluye la descripción y selección de las especies arbóreas distribuidas por ecorregión, características, limitaciones ambientales y uso del lugar. Por ello, de manera a desarrollar un proyecto de arborización o manejo de drenaje sostenible o para la elaboración de un Plan de Infraestructura Verde Municipal, es necesaria la participación de especialistas que sustenten las decisiones tomadas y conviertan la idea a un proyecto exitoso.

El Manual es de carácter indicativo y orientativo para las municipalidades, así como para el sector privado y la sociedad civil. Para los proyectos urbanos (habitacionales, espacios públicos y equipamientos comunitarios) encarados por el MUVH será de carácter obligatorio.



2.

Objetivos

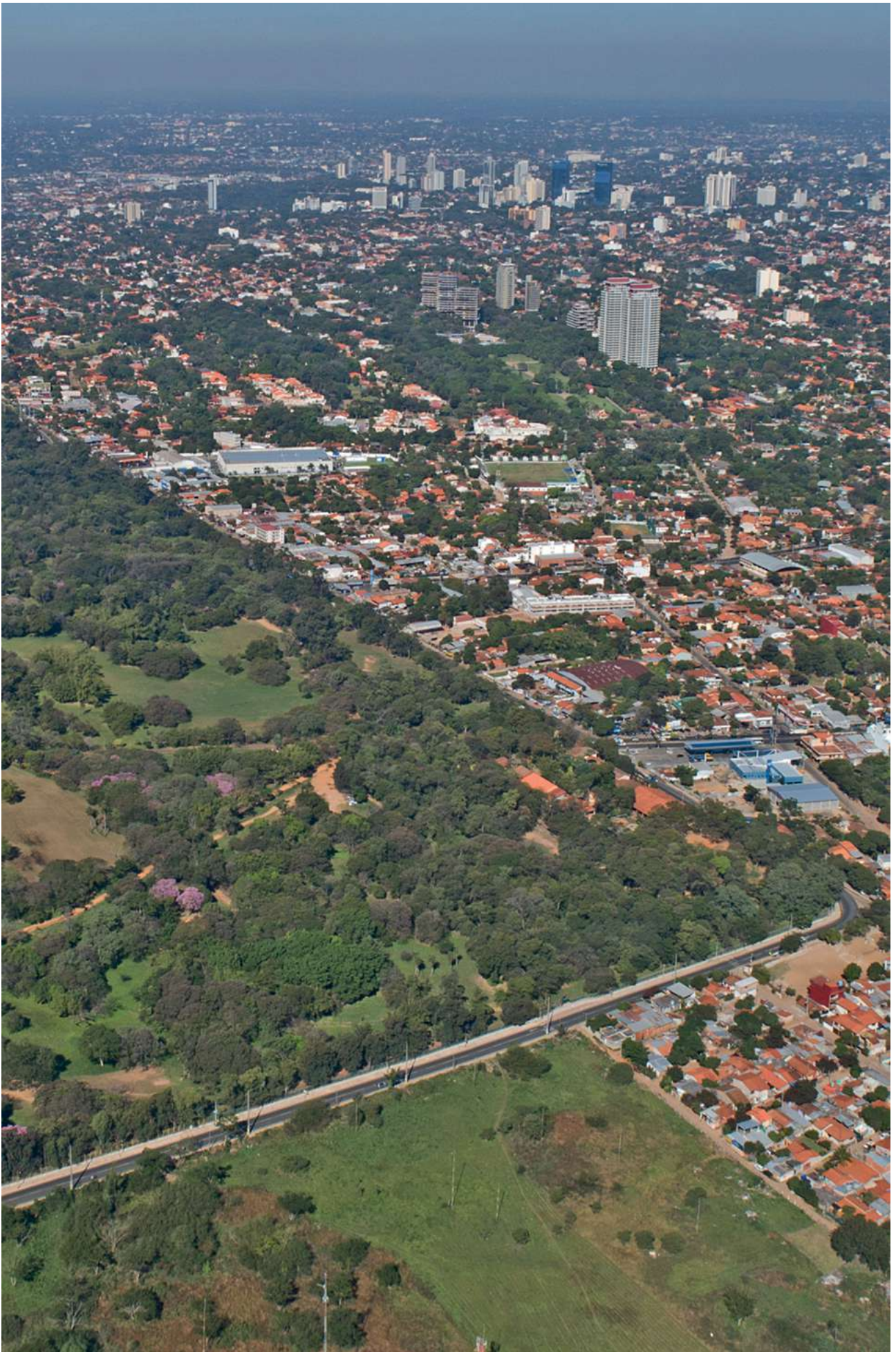
Objetivos

Objetivo general

Promover la incorporación de soluciones de Infraestructura Verde en el proceso de la planificación urbana a nivel municipal con el fin de lograr ciudades paraguayas saludables, sostenibles y resilientes.

Objetivos específicos

- Explicar las diversas características, funciones y beneficios asociados de la Infraestructura Verde en una ciudad sostenible, tanto para los administradores del municipio como para los habitantes.
- Analizar los principales desafíos para lograr una urbanización sostenible en Paraguay a partir del rol de los espacios públicos e identificar oportunidades para la implementación de soluciones de Infraestructura Verde Urbana de acuerdo con los condicionantes locales existentes.
- Proponer intervenciones puntuales de Infraestructura Verde adaptadas al contexto urbano paraguayo, tanto de **Arborización Urbana** como de **Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible**, de acuerdo con los criterios técnicos y a las características locales.
- Desarrollar estrategias de diseño que permitan guiar la implementación de intervenciones de Infraestructura Verde en las áreas donde sea necesario regenerar y potenciar los sistemas naturales dentro de las ciudades, tomando en consideración las diferentes escalas de actuación de manera a lograr los esperados beneficios.
- Formular el Plan de Gobernanza a nivel institucional para la implementación de soluciones de Infraestructura Verde tanto para los proyectos encarados por el MUVH en una primera instancia, así como la inclusión del Plan de Infraestructura Verde a nivel municipal en una segunda etapa.



3.

Metodología

Metodología

El proceso metodológico para la construcción del Manual se ha realizado en las siguientes etapas:

Elaboración del marco teórico: Se han desarrollado los conceptos teóricos del Manual. Para ello se ha realizado una recopilación y revisión bibliográfica de referencias internacionales, estudios existentes, investigaciones y trabajos académicos.

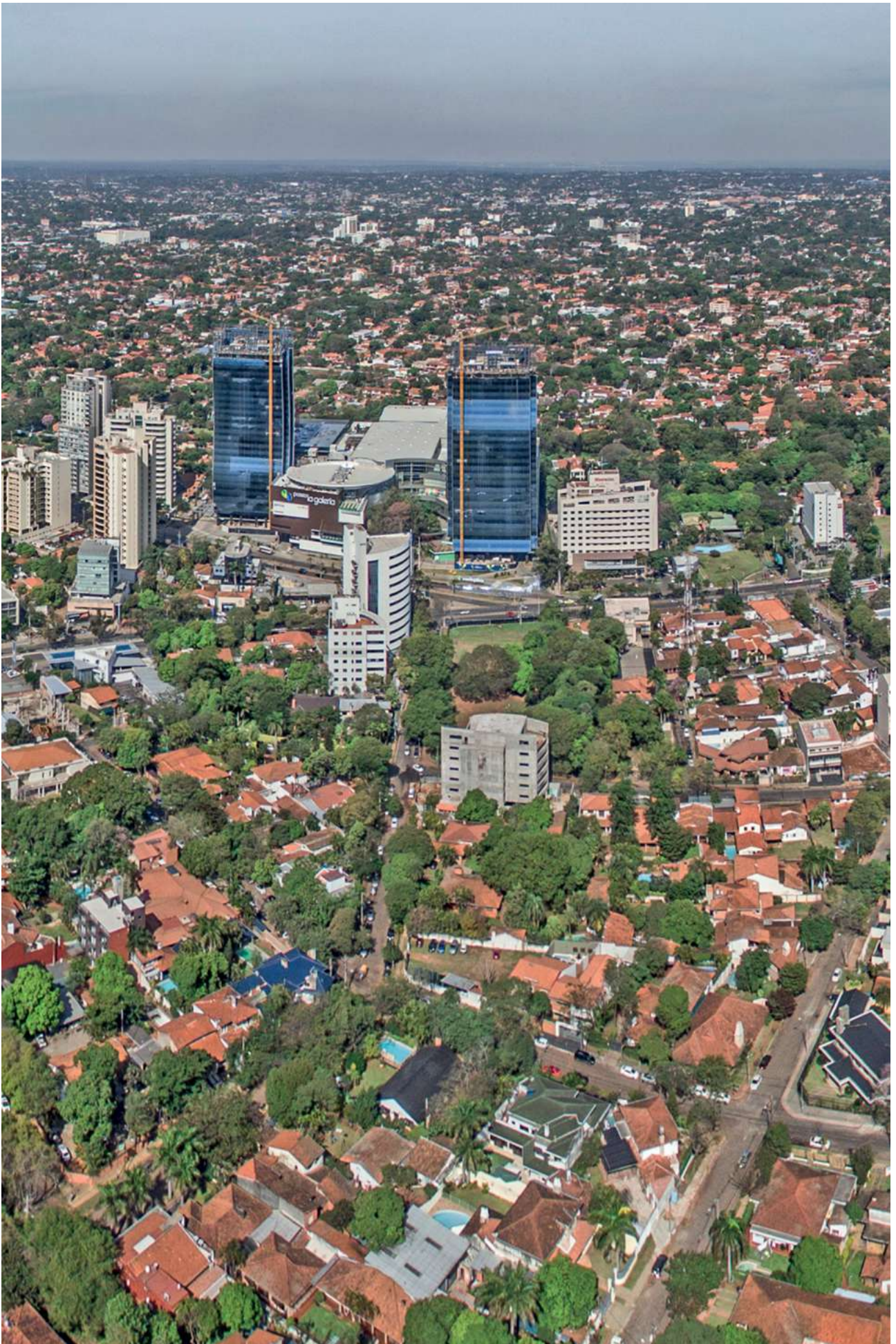
Contextualización del diagnóstico urbano y ambiental en las ciudades paraguayas: Se ha realizado la revisión de la normativa legal vigente a nivel nacional como municipal, así como políticas y planes relevantes para el tema, investigaciones y entrevistas con actores claves, a modo de describir las principales problemáticas y potencialidades en cuanto a la implementación de soluciones de Infraestructura Verde.

Visión y objetivos de la estrategia de diseño de Infraestructura Verde ajustados a las ciudades paraguayas: Se ha propuesto una visión en cuanto a los fines específicos de la Infraestructura Verde en las ciudades paraguayas, de modo a establecer objetivos claros para mitigar los principales problemas urbanos existentes y contribuir a lograr ciudades saludables, resilientes y sostenibles. De forma consensuada entre los técnicos del MUVH, se estableció que la planificación e implementación de soluciones verdes en el territorio paraguayano contribuirá a: 1) mejorar el manejo de las aguas urbanas, 2) generar sombra y disminuir la temperatura promedio en las ciudades, 3) concebir, potenciar y mantener espacios públicos multifuncionales e 4) incentivar la “movilidad activa”.

Caracterización de las soluciones de Infraestructura Verde al contexto paraguayo: Posteriormente, y en base a los objetivos trazados, se han descrito los diferentes componentes de intervenciones verdes tanto del tipo Sistema de Drenaje Sostenible (Sección 4.1) como de Arborización Urbana (Sección 4.2). Las técnicas de Sistema de Drenaje Sostenible propuestas han sido seleccionadas en función al contexto paraguayo. En cuanto a la Arborización Urbana, se ha realizado una colaboración con técnicos de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA) de la Universidad Nacional de Asunción, así como del Instituto Forestal Nacional (INFONA) a fin de elaborar las tablas referenciales que guiarán la selección de las especies de árboles considerando la ecorregión, las características del mismo, las limitaciones ambientales y el espacio urbano donde será plantado.

Elaboración de estrategias de diseño urbano para la implementación de soluciones de Infraestructura Verde: Partiendo de las características locales y las normativas vigentes se han diseñado propuestas, recomendaciones y escenarios urbanísticos que contribuyan a priorizar los espacios destinados a las personas y a la naturaleza dentro de las ciudades, detallándose para cada uno de los elementos urbanos (calle, estacionamiento, plaza, etc.) las posibles intervenciones de Infraestructura Verde, incorporando e integrando los diferentes tipos de Sistema de Drenaje Sostenible (Sección 4.1) y la Arborización Urbana (Sección 4.2), de manera a que los municipios los tomen como referencia durante el diseño y readecuación de estos espacios.

Plan de Gobernanza: Por último, se ha desarrollado una propuesta de la implementación de soluciones de Infraestructura Verde en los proyectos a ser elaborados desde el MUVH, así como para la realización de la “Estrategia Nacional de Infraestructura Verde” y de los Planes Municipales de Infraestructura Verde, como uno de los planes sectoriales del Plan de Ordenamiento Urbano Territorial, con colaboración de otras instituciones públicas nacionales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES) y la Secretaría Técnica de Planificación (STP), impulsando para ello las adecuaciones normativas e integrando a los actores estratégicos para el logro de los objetivos trazados.



4.

Marco Normativo

Marco normativo nacional e instrumentos de planificación vigentes

Esta sección presenta las leyes nacionales que regulan y establecen los criterios, estrategias y responsabilidades específicas a nivel nacional y municipal, los instrumentos de planificación vigentes y recomendaciones para ampliar la aplicabilidad de estas leyes en las ciudades, pues la mayoría de ellas están orientadas al área rural actualmente. Las principales agendas y compromisos internacionales para lograr ciudades sostenibles y hacer frente al fenómeno del cambio climático y la mitigación de sus efectos ante la población se describen en el “Capítulo 2: Marco Conceptual”.

Constitución Nacional de la República del Paraguay 1992

Garantiza a través de sus Arts. 6, 7 y 100 el derecho a una vivienda digna y a habitar en un ambiente saludable y ecológicamente equilibrado, de manera a mejorar la calidad de vida de los paraguayos. Para hacer efectivos estos derechos, el Estado promoverá planes y programas que apunten a la conciliación del medio ambiente con el desarrollo humano integral, beneficiando a los grupos de personas más vulnerables.

Ley Orgánica Municipal N° 3966/10

Presenta el marco jurídico con relación a las funciones, objetivos y alcances de los gobiernos locales. Las áreas que abarca son: 1) planificación, urbanismo y ordenamiento territorial, 2) infraestructura pública y servicios, 3) transporte público y tránsito, 4) ambiente, 5) patrimonio histórico y cultural, 6) salud, 7) educación, cultura y deporte, 8) desarrollo productivo, entre otros. Además, incluye los planes con que deben contar los municipios para la ejecución de su política local (Plan de Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Urbano y Territorial), establece los límites del territorio municipal (el cual se divide en zona urbana y rural) y define las medidas de los lotes en áreas urbanas.

Ley de protección al arbolado urbano N° 4928/13

Regula la plantación, poda, tala, trasplante y cuidado de los árboles, dentro de todos los municipios del país. La Ley no solo presenta las consideraciones para el árbol como unidad, sino que también indica lineamientos a seguir de manera a generar o fortalecer corredores ecológicos dentro de las urbes, a través de los siguientes artículos:

- **Art. 10:** La Municipalidad desarrollará y ejecutará programas de repoblación de árboles en zonas urbanas de escasa cobertura arbórea o en zonas donde se requiera el mejoramiento del ornato municipal.
- **Art. 16:** Toda actividad de repoblación deberá realizarse teniendo en cuenta la necesidad de restablecer la cobertura vegetal natural de cada zona, de acuerdo con las características ecológicas y urbanísticas, y con los planes de ordenamiento territorial y la normativa de seguridad aplicable a la zona a repoblar.

Ley de los recursos hídricos del Paraguay N° 3.239/07

Introduce el marco normativo para la gestión integral y sustentable de los recursos hídricos. Define a la cuenca hidrográfica como la unidad básica de gestión de los recursos hídricos y como elemento de la integración territorial de la República. Existen varios artículos que apuntan a las reglamentaciones sobre los cuerpos de agua y de su franja de protección en zonas urbanas, tales como:

- **Art 1:** Ordena la conservación y el restablecimiento de los bosques protectores de los cauces hídricos.
- **Art. 23:** Menciona las restricciones al dominio en relación con las “márgenes bajo dominio privado adyacentes a los cauces hídricos en ciudades” y la “zona de protección de fuentes de agua” junto con la reforestación o inclusión de bosques protectores.

En las zonas urbanas se determina cinco metros de anchura para uso público a ambas márgenes del curso de agua. Para las nacientes o fuentes de agua, no existe diferenciación entre áreas urbanas o rurales, por lo que prevé un ancho de 100 metros a ambas márgenes, en la que se condicionará el uso de suelo y las actividades que allí se realicen.

- **Art. 25:** Solicita declarar como áreas protegidas a las zonas de nacientes o manantiales de agua, los ecosistemas de humedales, las zonas de recarga de acuíferos y las zonas necesarias para la regulación del caudal ecológico de los cuerpos de agua.
- **Art. 29 y 30:** Requiere la conservación y manejo de humedales a través de un enfoque integrado y el desarrollo de planes de manejo.

Sin embargo, dichas reglamentaciones deberán aún ser ajustadas a mayor profundidad de manera a poder implementarlas efectivamente en las ciudades y en las áreas periurbanas.

Ley de creación del Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH) N° 6152/18

Crea el Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat (MUVH), en sustitución de la Secretaría Nacional de la Vivienda y el Hábitat (SENAVITAT), estableciendo su carta Orgánica, funciones y órganos que lo conforman.

Ley FONAVIS (Fondo Nacional de la Vivienda Social) N° 3637/09

Garantiza fondos anuales permanentes para la construcción de viviendas subsidiadas. Previo a esta ley se dependía generalmente de donaciones de otros países o préstamos de organismos internacionales para poder dotar a la población de viviendas. Desde su creación, el Fondo ha construido casas a un número importante de beneficiarios del segmento de la población de bajos ingresos y ha permitido el financiamiento para la compra de viviendas al grupo de clase media baja o media.

Ley de Áreas Silvestres Protegidas N° 352/94

Establece las normas generales por las cuales se regulará el manejo y la administración del Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas (SINASIP) del país. Si bien en el Art. 4 se define Área Silvestre Protegida y el Art. 7 puntualiza la definición de Zona de Amortiguamiento, es primordial especificar la metodología, estrategias y directrices de diseño a ser utilizadas por las áreas protegidas ubicadas en las áreas urbanas.

Ley de Gestión Integral de los Residuos Sólidos N° 3956/2009

Establece el régimen normativo para la producción y gestión responsable de los residuos sólidos, de manera a reducir la generación de los desechos y evitar situaciones de riesgo para la salud humana y la calidad ambiental.

Con respecto a la implantación en el territorio de espacios e instalaciones necesarios para llevar a cabo esta tarea, así como la regeneración de áreas de relleno sanitario en desuso, se menciona:

- **Art. 9:** una de las competencias del gobierno municipal es la de identificar las zonas adecuadas para la ubicación de infraestructuras a ser utilizadas para la gestión integral de los residuos sólidos.
- **Art. 29 y 30:** La disposición final de los residuos se daban a través de un sistema de disposición final permanente, mediante rellenos sanitarios. La ubicación de la misma es responsabilidad del Municipio, y el área deberá cumplir la normativa ambiental vigente y la presente Ley.
- **Art. 32:** Los municipios deberán recuperar los lugares que hayan sido utilizados como sitios de disposición final de residuos sólidos, y que actualmente no sean utilizados o se encuentren abandonados.

Plan de Desarrollo Nacional 2030

Facilita la coordinación de acciones en las instancias sectoriales del Poder Ejecutivo, así como con diversos niveles de gobierno, sociedad civil, sector privado y, eventualmente, los poderes Legislativo y Judicial. El Plan se concentra en 3 ejes estratégicos:

- 1. Reducción de la pobreza y desarrollo social**
- 2. Crecimiento económico inclusivo,**
- 3. Inserción del Paraguay en el mundo en forma adecuada.**

Las intervenciones relacionadas a la implementación de Infraestructura verde corresponden a las sub-estrategias:

1.4 Hábitat adecuado y sostenible: Combina reducción de pobreza, desarrollo social y sostenibilidad ambiental. Sus metas incluyen mejorar las condiciones de vivienda, universalizar el acceso a energía eléctrica de fuentes renovables, agua potable y saneamiento adecuado, así como erradicar las muertes atribuibles a la contaminación del aire.

2.4 Valorización del capital ambiental: Combina crecimiento económico inclusivo con sostenibilidad ambiental. Sus metas incluyen potenciar las energías renovables, la reforestación y el manejo sostenible de residuos urbanos e industriales.

Sin embargo, este plan no ha sido concebido con una visión territorial y espacios de acción específicos en cuanto a los objetivos trazados, por lo que existe una

brecha entre las líneas estratégicas propuestas y la localización y materialización de acciones tanto en las áreas urbanas como rurales.

Política Nacional de la Vivienda y el Hábitat del Paraguay (PNVH, 2018)

Establece la visión en cuanto a la política habitacional del Paraguay, así como pautas generales para la formulación de planes, programas y proyectos institucionales, en el corto, mediano y largo plazo.

Plan Nacional del Hábitat y Vivienda del Paraguay (PLANHAVI, 2012):

Articula metas de corto y largo plazo con estrategias de producción habitacional adaptada a la diversidad social y cultural y el mejoramiento del entorno. Además, incluye como ejes de acción a la participación y coordinación entre las instituciones públicas y organizaciones de la sociedad civil, así como el financiamiento de las acciones.

La incorporación de elementos de Infraestructura Verde en los desarrollos habitacionales llevados a cabo por el MUVH debe ser considerado como un elemento estratégico tanto para la Política como para el Plan Habitacional del Paraguay, de manera a que los emprendimientos urbanos estén articulados con la trama urbana existente, prioricen las intervenciones verdes en las calles y en los espacios públicos abiertos del entorno e incorporen ciclovías, a fin de alcanzar un desarrollo urbano sostenible y una movilidad activa en las áreas intervenidas.

5.

Marco Conceptual

5.1 Ciudades compactas, inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Los crecientes desafíos urbanos, tales como la dispersión urbana, el aumento masivo del tráfico vehicular, el déficit habitacional, la degradación ambiental, el cambio climático, la desigualdad social y la violencia evidencian la necesidad de repensar las ciudades con un nuevo enfoque que oriente a una planificación centrada en las personas.

Jan Gehl afirma que: *“El lugar tradicional que ocupaba el espacio urbano como sitio de encuentro y foro social para los habitantes de las ciudades se ha ido reduciendo y en algunos casos se ha llegado gradualmente a eliminarlo”*. Esta situación requiere esfuerzos para incluir a la dimensión humana dentro del planeamiento y gestión de las ciudades, a través de la reactivación y fortalecimiento de los espacios públicos y comunitarios de manera a lograr el bienestar de los peatones y de los grupos de personas más vulnerables (niños, personas mayores y personas con discapacidad) en todos los aspectos.

Alrededor de un cuarto de la población urbana mundial sigue viviendo en barrios marginales. En América Latina y el Caribe, el 24 % de la población urbana de la región todavía vive en los asentamientos informales (Naciones Unidas, 2015c). Generalmente estos asentamientos están ubicados en las zonas más frágiles de las ciudades, desde el punto de vista geográfico y medio ambiental. Por ejemplo: a la orilla de los ríos, en suelos degradados cerca de industrias y basureros, en pantanos, zonas propensas a las inundaciones y pendientes pronunciadas. El impacto de vivir en estas áreas, cuya vulnerabilidad se encuentra agravada por el cambio climático, es una continua amenaza para la vida de los habitantes (UN-Habitat, 2008; Naciones Unidas, 2015c).

Primeramente, en marzo de 2015 la construcción de la resiliencia a los desastres en las ciudades fue fortalecida a través de la implementación del **Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030**, que es el principal instrumento internacional para el tratamiento de la gestión del riesgo de desastres a escala mundial. El acuerdo establece siete metas mundiales orientadas a reducir la pérdida de vidas, medios de vida y los activos económicos (entre otros). Así mismo, resalta los esfuerzos para prevenir la creación de riesgo de desastres y presenta cuatro prioridades de acción que incluyan medidas específicas para aumentar la resiliencia de las zonas urbanas (Naciones Unidas, 2015b).

Posteriormente, en el mes de septiembre del 2015 y en consenso entre los 193 países miembros de las Naciones Unidas, fue aprobada la **Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible** y los **17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** con sus 169 metas, a fin de lograr un planeta más sostenible en términos económicos, sociales y ambientales (Naciones Unidas, s.f.).

Para la elaboración de éste se tomó como base a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), aprobados en el año 2000 y con vigencia hasta el año 2015. El Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, incluía como una de sus metas: “Haber mejorado considerablemente, en 2020, la vida de al menos 100 millones de habitantes de barrios marginales”. Este planteamiento generaba un enfoque reactivo a solucionar un problema urbano existente. Sin embargo, el mismo no contenía ningún indicador relacionado al desarrollo de las urbes, ni a las oportunidades que desde la ciudad se podrían generar de manera a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos. Recién la Agenda 2030 hace un llamado claro en cuanto a “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” (ODS 11). Existen además otros objetivos que tienen una vinculación con el desarrollo territorial y urbano, tales como:

- *“Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades” (ODS 3)*
- *“Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” (ODS 13)*
- *“Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad” (ODS 15)*

Los municipios son responsables de promover las políticas urbanas, así como adaptar e implementar los ODS dentro de las ciudades y los asentamientos humanos. El 65 % de las metas de los ODS deberán ser implementadas directamente dentro de los territorios municipales. Por lo tanto, los gobiernos municipales no pueden ser simples implementadores de la agenda nacional de ODS, sino que deben ser socios en la co-creación y definición de políticas y respuestas programáticas, así como en la implementación y seguimiento del progreso en relación con los objetivos propuestos (Kanuri et al.).

El tercer documento es la **Nueva Agenda Urbana (NAU)**, que fue aprobado en el mes de octubre del 2016 durante la “Conferencia sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible Hábitat III” en la ciudad de Quito, Ecuador. NAU es una agenda específica y destinada principalmente al desarrollo del urbanismo sostenible. Su aplicación contribuye a la implementación y la localización integrada de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus metas, incluido el Objetivo 11 (Naciones Unidas, 2017). La NAU presenta un marco estratégico para abordar temas urbanos de manera a coordinar y vincular las diferentes líneas de trabajo, tales como:

- Políticas urbanas nacionales y departamentales (nuevas y existentes)
- Legislación y marco institucional
- Planificación y Diseño Urbano
- Financiación
- Implementación local

En la actualidad, los **espacios públicos** adquieren una mayor importancia, ya que las intervenciones enfocadas en su creación o mejoramiento son unas de las estrategias más democratizadoras para lograr un desarrollo urbano sostenible, lo cual está establecido en una de las metas para el 2030 del ODS 11: *“Proporcionar acceso universal a zonas verdes y espacios públicos seguros, inclusivos y accesibles, en particular para las mujeres y los niños, las personas de edad y las personas con discapacidad”*. Los espacios públicos son lugares de propiedad estatal y uso de la población general, accesibles y agradables por todos de forma gratuita y sin afán de lucro (Naciones Unidas, 2015a). Esto incluye calles, espacios abiertos e instalaciones públicas.

Los espacios públicos de calidad (bien diseñados y administrados) son un activo fundamental para una ciudad y tienen un impacto positivo en su economía. La inversión en los mismos contribuye a la generación y potenciación de áreas multifuncionales que permiten, entre otros, mejorar la salud y bienestar, aumentar el atractivo para los turistas, proveer conectividad y acceso a las áreas verdes urbanas, animar a las personas a caminar y usar la bicicleta, etc. (ONU Habitat, 2014).

5.2 Soluciones basadas en la Naturaleza e Infraestructura Verde Urbana

En la búsqueda de lograr ciudades más sostenibles y resilientes, municipios de diversos países del mundo han decidido optar por un modelo de desarrollo urbano “verde”: han invertido en bosques, humedales y otros espacios verdes para encarar los problemas urbanos que anteriormente han sido resueltos mediante soluciones netamente de ingeniería involucrando al concreto, asfalto, metal, etc. (FAO, 2018).

Las denominadas **Soluciones basadas en la Naturaleza** (SbN; Nature Based Solutions) son actuaciones que hacen frente a un gran número de problemas, especialmente en áreas urbanas y periurbanas, que es donde el medio natural está más degradado, tomando como base elementos y procesos naturales. Este tipo de actuaciones implica la conservación o rehabilitación de los ecosistemas naturales y/o la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, 2018). Su principal objetivo es la protección del capital natural, al tiempo que evita la construcción de costosas infraestructuras, cuando la naturaleza puede aportar soluciones más económicas, duraderas e innovadoras (ASEJA y FEMP, 2019).

El Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas aboga en su edición de 2018 por Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN). Las mismas están inspiradas y respaldadas por la naturaleza y utilizan o imitan los procesos naturales para contribuir a la gestión mejorada del agua. En este contexto, el agua no es considerada como un elemento aislado, sino como parte integrante de un proceso natural complejo, el cual recibe influencias de todos los principales tipos de ecosistemas terrestres (cobertura vegetal, existencia de bosques, entre otros) y de la mayoría de los costeros (presencia de zonas húmedas) (WWAP - United Nations World Water Assessment Programme, 2018).

En la práctica, las SbN se logran mediante la incorporación de proyectos de **Infraestructura Verde**, los cuales se definen como un conjunto de sistemas vegetativos naturales y tecnologías verdes que colectivamente proveen una multitud de beneficios ambientales, sociales y económicos (Friends of the Greenbelt, F., 2017). Por ende, la Infraestructura Verde se traduce en el territorio como una 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, mejorando así la salud y resiliencia del ecosistema (Naumann et al. 2011).

Los proyectos de Infraestructura Verde permiten adaptarse a los diversos tipos de territorios urbanos y rurales, debido a su carácter multifuncional, multiescalar y multiespacial. A escala regional, se refiere al sistema de redes ecológicas integradas por zonas con alto valor ambiental, paisajístico y patrimonial, tales como: parques nacionales, grandes reservorios de fauna y flora, ríos y llanuras de inundación, tierras agrícolas, etc. (Centro de Estudios Ambientales, 2014). Las intervenciones a escala municipal y barrial buscan crear corredores ecológicos a través de una serie de elementos medioambientales.

Los proyectos de Infraestructura Verde proveen múltiples beneficios, no solo para las personas, sino también para la naturaleza y los ecosistemas. En contraste, los proyectos de Infraestructura Gris (ej. alcantarillado pluvial) se caracterizan por limitarse típicamente a un solo objetivo (ej. control de inundaciones o potabilización de agua) (Friends of the Greenbelt, F., 2017; Nauman et al., 2011). Sin embargo, es importante reconocer que la Infraestructura Verde no debe ser considerada como un sustituto para la Infraestructura Gris, sino si juega un papel distintivo en proveer otros servicios esenciales que han sido perdidos como resultado de la construcción exclusiva de las redes de instalaciones sanitarias con los métodos tradicionales (Naumann et al., 2011).

Originalmente, las áreas verdes urbanas estaban vinculadas principalmente a las funciones recreativas y paisajísticas. Sin embargo, esta visión se ha transformado en los últimos años, pues los espacios de la naturaleza son necesarios para el mantenimiento eficiente del orden urbano (Centro de Estudios Ambientales, 2014). Es por ello por lo que es necesario pasar de una gestión de parques y jardines a una gestión integral de infraestructura verde de modo a lograr la mejora y la optimización de los servicios ecosistémicos de la ciudad (ASEJA y FEMP, 2019) y convertirse en un eje estratégico en el desarrollo urbano.

Dado que los entornos urbanos y periurbanos se encuentran generalmente muy antropizados y son muy sensibles a las actuaciones que se desarrollan, la implementación de Infraestructura Verde consiste en una solución natural para minimizar estos impactos y planificar mejor el territorio (ASEJA y FEMP, 2019). En dicho contexto, la **Infraestructura Verde Urbana** se define como una red interconectada de elementos naturales y seminaturales como espacios verdes, ríos, bosques y lagos que se intercalan y conectan núcleos urbanos, que mantienen las funciones ecológicas y ofrecen beneficios a la población de las ciudades (del Pozo, 2018).

Cuando las intervenciones de Infraestructura Verde Urbana forman integralmente parte del proceso de planificación urbana, contribuyen en la transformación de ciudades en lugares más sostenibles, resilientes, saludables y agradables para vivir (FAO, 2018). Por lo tanto, es una herramienta fundamental para la creación de ambientes saludables que mejoran la salud física y psíquica de sus habitantes, a la vez que contribuye a desarrollar una economía verde y sostenible (Centro de Estudios Ambientales, 2014). La **TABLA 1** presenta los beneficios que brinda la Infraestructura Verde Urbana de manera transversal en los diversos componentes:

<p>Ambiental</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoran la calidad del agua. • Atemperan el clima urbano. • Reducen la contaminación atmosférica. Mejora la calidad del aire a través de la remoción de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. • Interceptan la lluvia, resultando en una reducción de la generación de escorrentía superficial y, por ende, del impacto negativo de inundaciones urbanas durante eventos extremos de lluvia. • Generan sombra y protegen a los edificios, resultando en la reducción del efecto de isla de calor (EPA, 2008). La colocación estratégica de árboles en zonas urbanas puede bajar la temperatura del aire entre 2 °C y 8 °C (FAO, 2018). • Aumentan la biodiversidad (fauna y flora) en las ciudades y actúan como refugios y fuente de alimento para la fauna.
<p>Social</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Incentivan la cohesión social y la igualdad, ya que son espacios de integración social, de encuentro y de socialización. • Construyen identidad y representatividad, sirviendo diferentes roles a los diferentes tipos de ciudadanos. • Estimulan el intercambio de bienes, servicios, información y comunicación. • Refuerzan las seguridad pública.
<p>Educativo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Promueven la conexión entre la producción y el consumo local de alimentos (huertos urbanos). • Promueven el acercamiento de los niños/niñas y jóvenes con la naturaleza, lo cual refuerza el aprendizaje sobre el medio ambiente y otras disciplinas.
<p>Movilidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitan la conexión de las áreas verdes urbanas con las áreas rurales y naturales, a través de corredores verdes urbanos.
<p>Económico</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Promueven el desarrollo regional y urbano, además de la creación de empleo verde, a través de inversiones en Infraestructura Verde. • Incrementan la plusvalía de la propiedad pública y privada. • Multiplican la actividad comercial.

▶ **TABLA 1:** Beneficios de la infraestructura verde urbana

Fuente: Markhem (2009), Centro de Estudios Ambientales (2014), Banco Interamericano de Desarrollo (2015) y Carrión Mena (2007)

5.3 Bosques urbanos

La Arborización Urbana contribuye a lograr ciudades sostenibles, ya que ayudan a mitigar ciertos desafíos urbanos, así como aumentar el bienestar y la calidad de vida de la comunidad. Los árboles son herramientas poderosas que proporcionan beneficios ambientales a las áreas urbanas, tales como: mejoran la calidad del aire al eliminar los contaminantes atmosféricos, mantienen frescas a las ciudades, reducen el consumo de energía y ahorran dinero al brindar sombra a edificios. Así mismo, actúan como filtros naturales y de absorción del ruido; además, mejoran el microclima y sirven para proteger y elevar la calidad de los recursos naturales: suelo, agua, vegetación y fauna (Kuchelmeister & Braatz, 1993). Muchas especies arbóreas proporcionan alimentos (frutas y hojas), contribuyendo a lograr la seguridad alimentaria y nutrición local. Finalmente, los árboles contribuyen a aumentar el atractivo estético de barrios y el valor económico de las casas y propiedades, además de beneficiar a la salud psíquica de sus habitantes (FAO, 2018).

En este contexto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda plantar al menos, un árbol por cada tres habitantes para respirar un mejor aire en las ciudades y contar con un mínimo de 9 m² de zona verde por habitante (Sorensen et al., 1998). La tendencia actual es la de impulsar la arborización con especies nativas y locales de cada distrito. Ésto trae consigo varios beneficios a nivel ambiental ya que las especies nativas cumplen un rol ecológico esencial en cada ecosistema. Sin embargo, la disponibilidad real de especies nativas bajo cultivo y con capacidad de adaptarse a las condiciones urbanas es escasa y muchas deberán pasar por un proceso de rustificación y mejoramiento para obtener variedades mejor adaptadas a las duras condiciones de las ciudades.

Un aspecto esencial dentro de las estrategias de Arborización Urbana es la priorización de áreas altamente degradadas. Generalmente en los asentamientos informales, los árboles están prácticamente ausentes. Una de las mayores dificultades es la escasa disponibilidad de tierras. En estos casos, la participación de la comunidad durante el proceso de planificación y sembrado de plantines, es indispensable para lograr satisfacer las necesidades básicas de los sectores más vulnerables, permitiendo que los recursos incluso escasos puedan aprovecharse con eficiencia (Kuchelmeister & Braatz, 1993).

Aunque cada árbol contribuye a la calidad de vida de la ciudad, la integración de árboles y bosques en las redes de espacios verdes maximizarán los beneficios y aportarán enormes contribuciones a la sostenibilidad ambiental, a la viabilidad económica y a la habitabilidad de los asentamientos urbanos. **Los bosques urbanos** se definen como redes o sistemas que comprenden todo el arbolado (rodales), grupos de árboles y árboles individuales ubicados en las áreas urbanas y periurbanas; por tanto, se incluyen bosques, árboles en las calles, árboles en los parques y jardines y árboles en las esquinas de las calles (FAO, 2018; Salbitano et al., 2017).

5.4 Servicios ecosistémicos

La sobrevivencia y el progreso de la humanidad dependen de productos (alimentos, leña, etc.) y procesos (ej. purificación de agua y aire) que la naturaleza provee. En este contexto, se define **Servicios Ecosistémicos (SEs)** como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas o de la naturaleza. *La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*, ha sido una iniciativa de las Naciones Unidas en el 2005 y clasifica a los SEs en 4 grupos (Millenium Ecosystem Assessment, 2005):

- **Servicios de provisión**, son los más directos y tangibles. Es posible encontrarlos fácilmente en nuestro alrededor ya que del ecosistema se extraen los insumos básicos (alimentos, agua dulce, madera y fibra) para fabricar y construir todo tipo de materiales, objetos y tecnología. Además, se obtienen de la naturaleza los insumos básicos para medicinas y otros químicos.
- **Servicios de regulación** de procesos naturales que afectan el clima, inundaciones, el control de pestes y enfermedades, desechos y purificación del agua, ya que los ecosistemas nos protegen contra desastres naturales, regulan la temperatura y purifican el agua y el aire.
- **Servicios culturales**, proporcionan las bases para la cultura local y fortalecen la identidad de sus habitantes. Brindan beneficios recreativos, estéticos y espirituales.
- **Servicios de soporte**, hacen posible y soportan a los otros 3 servicios mediante procesos a mayor escala como la formación de suelos fértiles, la fotosíntesis y ciclo de nutrientes.

De modo a preservar nuestra propia existencia, el bienestar y cuidado de los ecosistemas es fundamental para evitar la interrupción de la provisión de estos productos y servicios. No obstante, durante las últimas décadas, los ecosistemas a nivel mundial han sufrido importantes cambios y parte de ellos han sido destruidos debido a la actividad humana. El rápido crecimiento de la población mundial y el proceso asociado de urbanización solo aumentarán la presión sobre dichos ecosistemas. En este contexto, la Infraestructura Verde es identificada como una herramienta valiosa para responder a esta necesidad de preservación ecológica y protección ambiental. Manteniendo saludables a los ecosistemas, reconectando áreas naturales fragmentadas y recuperando hábitats degradados, la Infraestructura Verde es una solución viable y sostenible para proveer diversos servicios ecosistémicos de forma complementaria a la naturaleza (Naumann et al., 2011).

La valoración económica de estos servicios ecosistémicos es sumamente útil, pues proporciona un marco mediante el cual algunas de las funciones de los ecosistemas pueden evaluarse y, eventualmente, compararse con otras opciones de actuación (DGDCA, 2019). Por ejemplo, al elaborar una solución adecuada para los problemas urbanos (como la inundación urbana y el efecto de isla de calor), permite comparar costos/beneficios de Infraestructura Verde con la tradicional Infraestructura Gris. Las soluciones verdes tienen la ventaja de proveer múltiples beneficios, los cuales influyen de manera positiva en su valorización.

Aunque los árboles individuales ofrecen diversos servicios ecosistémicos, como la remoción de contaminantes del aire o la producción de alimentos; la integración de árboles y bosques urbanos dentro de redes de espacios verdes permiten maximizar estos beneficios (FAO, 2018). Por ejemplo, la planificación estratégica e implementación de bosques urbanos ayuda a regular los flujos de aguas urbanas mediante la captación y absorción de lluvia, creando un entorno favorable tanto para la conservación de la biodiversidad como para la recreación y actividad social de la comunidad (FAO, 2018). La literatura científica y técnica continúa demostrando y descubriendo más sobre el gran alcance de los servicios ecosistémicos que ofrecen árboles y bosques urbanos (Urban Forest Innovations Inc. and Beacon Environmental Ltd., 2015), por lo cual es indispensable su rol para lograr ciudades sostenibles.

5.5 Cuencas y subcuencas hidrográficas en la planificación urbana

Una **cuenca** es un área delimitada por una línea divisoria conocida como “parteaguas”, que drena las aguas superficiales y subterráneas hacia un cuerpo de agua ubicado agua abajo, como son ríos, arroyos, lagos, etc. (Cappiella et al., 2005; IMPLAN Hermosillo, 2017). Cada cuenca está compuesta de diversas cuencas más pequeñas, llamadas subcuencas. La topografía y el tipo de suelo son las características físicas de una cuenca que influyen en el proceso hidrológico. La superficie de una cuenca es muy variable, por lo que se diferencia entre cuencas pequeñas, medianas y grandes. Una cuenca puede abarcar diferentes municipios y, en algunos casos, cubre áreas de diferentes países, tal como la cuenca del Río Paraguay, que abarca territorios de Brasil, Bolivia, Paraguay y Argentina. Las cuencas tienen un funcionamiento territorial altitudinal, es decir que existe una relación directa entre las partes altas, cercanas al parteaguas, la zona de tránsito o intermedia y la parte baja de deposición y desembocadura, de tal forma que la parte alta afecta de manera determinante a la parte baja (Ordoñez, 2011).

Una cuenca típicamente se caracteriza por una combinación de diferentes tipos de usos de suelo (agrícola, urbano, forestal, ganadero, etc.). La cuenca ubicada en un entorno rural posee mayor interceptación vegetal, mayores áreas permeables (infiltración del suelo), menor escurrimiento en la superficie del suelo y drenaje más lento. Sin embargo, la cuenca urbana se caracteriza por un alto grado de

alteración de los procesos hidrológicos naturales debido al incontrolado proceso de impermeabilización y la construcción de desagües pluviales y la canalización de arroyos. Ésto produce una aceleración en el escurrimiento, por lo cual las inundaciones aumentan en frecuencia y magnitud (Tucci, 2007).

Aunque la gestión de los recursos hídricos es comúnmente realizada a nivel de cuenca por las instituciones pertinentes, la gestión del uso del suelo es llevada a cabo por el municipio o un grupo de municipios en una región Metropolitana (Tucci, 2007). Esta situación evidencia que en el proceso de planificación urbana municipal no se ha tomado en cuenta la proyección y gestión territorial al nivel de cuenca y subcuenca, lo cual genera un cambio de uso de suelo sin respetar las reglas básicas del manejo sostenible de los recursos hídricos. Por ejemplo, áreas de manantiales y nacientes han sido ocupadas tanto por zonas residenciales formales como por asentamientos informales. Otro ejemplo es la inundación urbana que se da en las áreas próximas a los arroyos urbanos ubicados en la cuenca baja, ya que reciben con alta velocidad la escorrentía generada en la cuenca alta y en la cuenca media, ambas caracterizadas por un suelo casi permeable. Por dicho motivo, durante la planificación urbana es importante tener en cuenta la dimensión de manejo de cuenca, típicamente diferenciando entre la cuenca alta, media y baja.

Dentro de una cuenca o subcuenca urbana, la cobertura forestal y los espacios verdes en general juegan un rol primordial en proveer servicios ecosistémicos y generar los beneficios asociados, tales como (Cappiella et al., 2005):

- Reducción de la escorrentía y la inundación
- Mejoramiento de la calidad de aire a nivel regional
- Reducción de la erosión en los arroyos
- Mejoramiento del suelo y la calidad de agua
- Provisión de hábitat
- Reducción de temperatura del aire y el agua en verano

Por ende, es importante preservar y cuidar las áreas verdes y la cobertura forestal existente, así como reforestar ciertos sectores de la cuenca. En dicho contexto, la arborización estratégica de cuencas o subcuencas urbanas es clave. Esta nueva práctica de “reforestación de cuencas urbanas” combina prácticas y conocimientos de diversas disciplinas, como hidrología, forestación, ingeniería, paisajismo, mapeo, planificación y ciencias de suelo (Cappiella et al., 2005). Por ello, la Arborización Urbana es un componente valioso en combinación con otros tipos de Infraestructura Verde como humedales, parques, nacientes, etc., para mantener o restaurar procesos ecológicos claves.

La **FIGURA 1** presenta las diferentes aplicaciones de la Infraestructura Verde para la gestión de agua a nivel de cuenca, tanto en paisajes urbanos como rurales

Infraestructura Natural para la Gestión del Agua

Invirtiéndose en ecosistemas para múltiples propósitos



FIGURA 1: Aplicaciones de la Infraestructura Verde en paisajes urbanos y rurales.

Fuente: Infografía "Infraestructura natural para la gestión hídrica", © Agua-UICN 2015

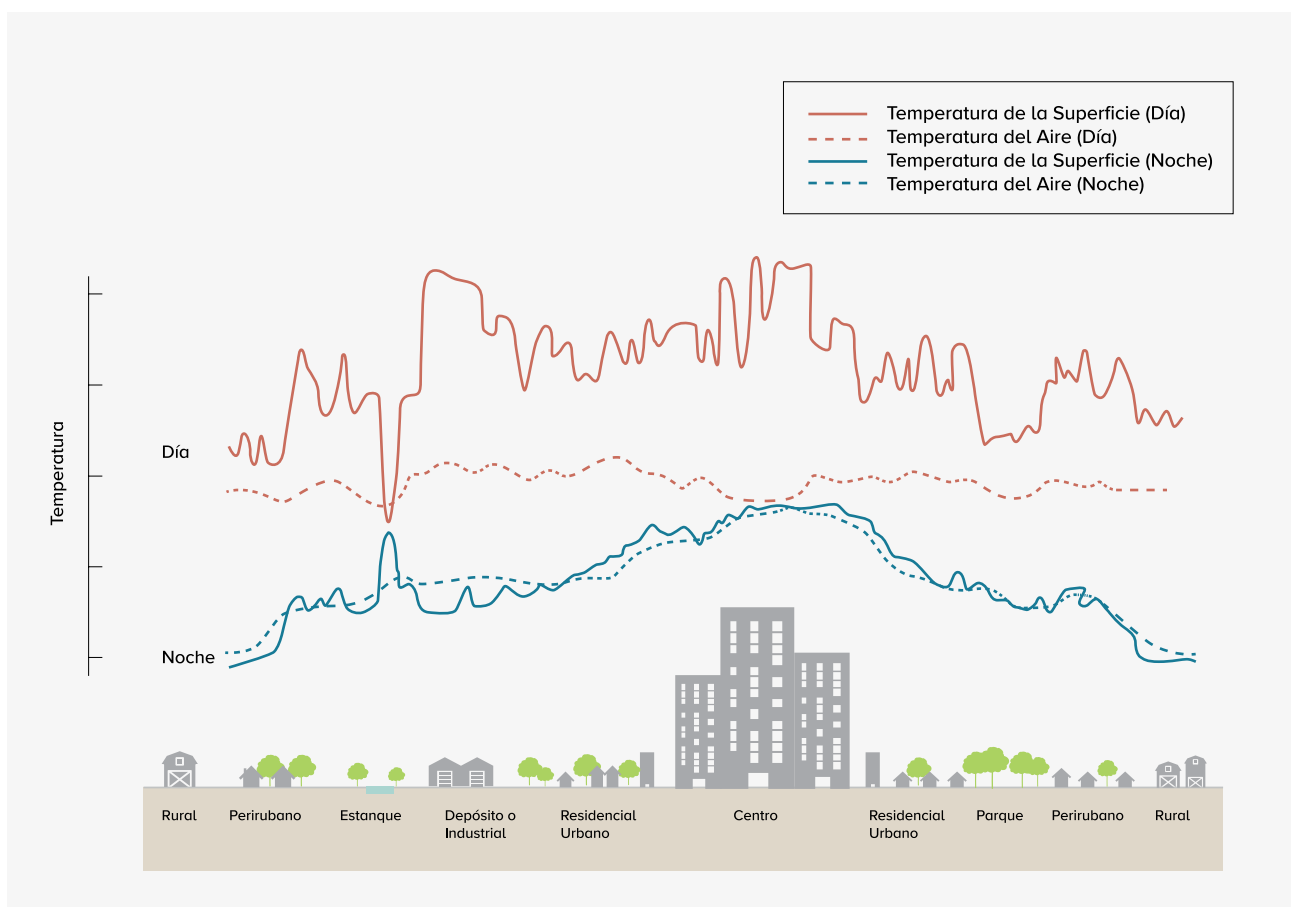
5.6 Mitigación y adaptación urbana al cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CC) define como **"efectos adversos del cambio climático"** a los cambios en el medio ambiente físico o en la biota resultantes del cambio climático que tienen efectos nocivos significativos en la composición, la capacidad de recuperación o la productividad de los ecosistemas naturales o sujetos a ordenación, o en el funcionamiento de los sistemas socioeconómicos, o en la salud y el bienestar humanos.

El CC es uno de los retos más importantes para el desarrollo y la sostenibilidad del siglo XXI. Las áreas urbanas han pasado a ocupar un papel central en el debate internacional sobre el CC (Sánchez Rodríguez, 2013), ya que en el 2010, el 50.5% de la población total del planeta vivía en ciudades y se estima que para el 2030 la cantidad de personas habitando en urbes llegará casi al 60% (ONU Habitat, 2011a). Además, la proporción de las emisiones de **Gases de Efecto Invernadero (GEI)** procedentes de las ciudades podrían estar entre un 40% y un 70%, cuyas principales fuentes de emisión están relacionadas con el consumo de combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo), transporte, uso de la energía en locales comerciales y residenciales para electricidad, calefacción, refrigeración, cocina, producción industrial y residuos (ONU Habitat, 2011b; Naumann et al., 2011). Estos números demuestran la necesidad de construir y potenciar agendas para la adaptación al CC no solo a nivel nacional o regional, sino que principalmente a nivel local. En dicho contexto, en el 2015 fue firmado el primer acuerdo vinculante mundial

sobre el clima entre 195 países en la Conferencia de París sobre el Clima (COP21), donde se establece un plan de acción mundial que pone el límite del calentamiento global muy por debajo de 2° C (Comisión Europea, s.f.).

Uno de los principales desafíos en las zonas urbanas es hacer frente a los **episodios de calor extremo**, los cuales serán más frecuentes, intensos y duraderos. Estos eventos son de mayor gravedad en las ciudades debido al efecto **“isla de calor urbano”**, que es la tendencia de las ciudades de retener más calor que las zonas rurales circundantes (ONU Habitat, 2011b). La temperatura superficial del suelo y la temperatura atmosférica varían según los diferentes usos de la tierra en el territorio (EPA, 2008). La **FIGURA 2** ilustra cómo en las áreas más céntricas o densamente construidas se concentran las altas temperaturas (particularmente durante la noche), mientras que la temperatura desciende progresivamente en las zonas periurbanas o rurales (Córdova Sáez, 2011).

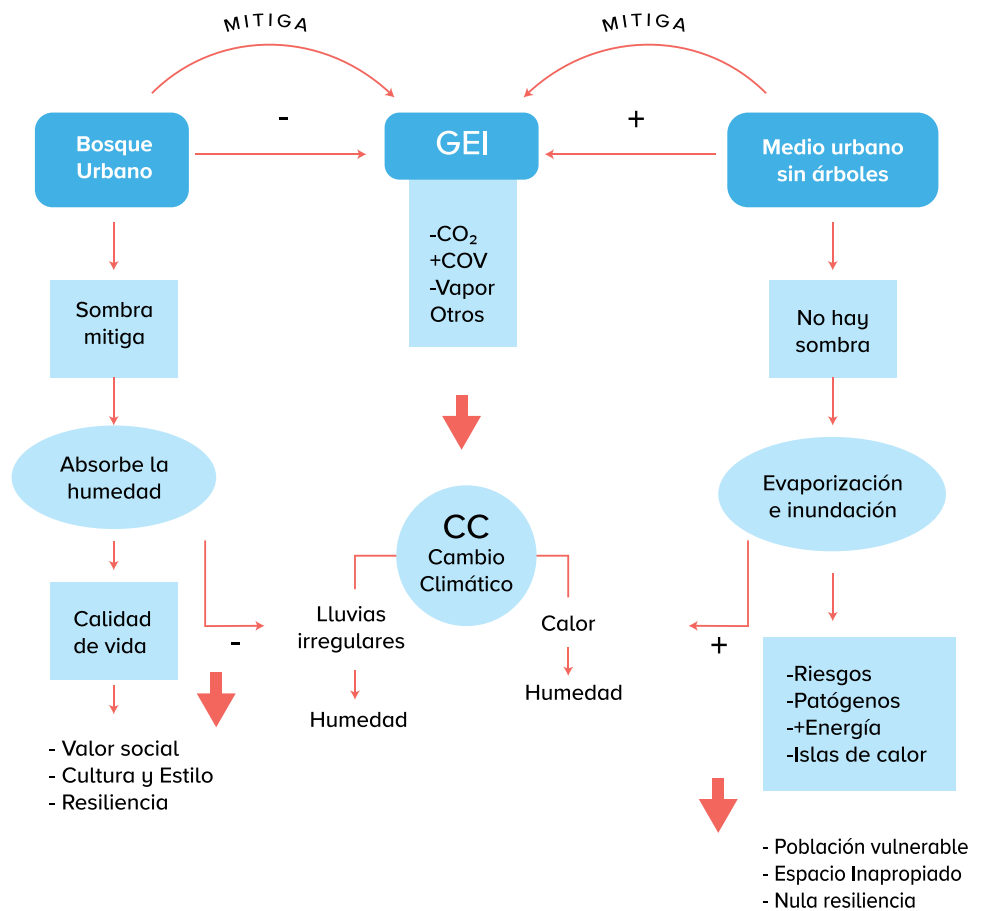


Fuente: Elaboración propia, adaptado de EPA, 2008.

FIGURA 2: Variaciones de la temperatura en relación con el uso del suelo.

Los enfoques para hacer frente a la intensidad del CC son la **mitigación** y la **adaptación**, los cuales deben trabajar de forma complementaria para lograr disminuir los efectos adversos producidos. La mitigación engloba todas aquellas estrategias dirigidas a reducir las emisiones actuales y futuras de gases de efecto invernadero que afectan directamente la intensidad y velocidad a la que aumenta y aumentará la temperatura global. Por otro lado, la adaptación es el conjunto de estrategias e intervenciones en distintos ámbitos destinadas a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales (bosques, humedales, etc.) y humanos (ciudades, sectores económicos, etc.) frente a peligros y daños derivados de nuevas condiciones climáticas (Oltra & Marin, 2013; Vásquez, 2016).

Los “planes de acción climática” de las ciudades generalmente incorporan la implementación de soluciones de Infraestructura Verde, como lo es la Arborización Urbana, en sus estrategias de mitigación y adaptación, reconociendo su capacidad para contribuir con las áreas urbanas en combatir los impactos negativos de CC (Safford et al., 2013). La **FIGURA 3** visualiza los aportes de los bosques urbanos en la mitigación y adaptación al CC, aumentando así la resiliencia frente a los efectos negativos. Por ejemplo, los bosques urbanos proveen sombra y moderan la temperatura en el entorno urbano, reduciendo así el efecto de isla de calor y disminuyendo el consumo energético de los edificios. También juegan un papel importante en disminuir el impacto de los eventos climatológicos, que son cada vez más extremos. Los árboles interceptan la lluvia, lo cual contribuye a una menor generación de escorrentía superficial y consecuentemente la reducción de inundaciones urbanas.



► **FIGURA 3:** Aportes de bosque urbano antes los efectos adversos del Cambio Climático
Fuente: Ayuntamiento de Merida, 2018a

Por ende, una gestión cuidadosa y activa de los bosques urbanos ante el cambio climático puede mejorar la resiliencia de la comunidad a los impactos que éste puede generar, permitir el desarrollo de lugares más adecuados y agradables para vivir, trabajar y ayudar a las ciudades a adaptarse mejor a este cambio (Safford et al., 2013).

6.

Características en áreas urbanas

Características espaciales y ambientales en áreas urbanas del Paraguay

6.1. Patrones de distribución espacial en ciudades

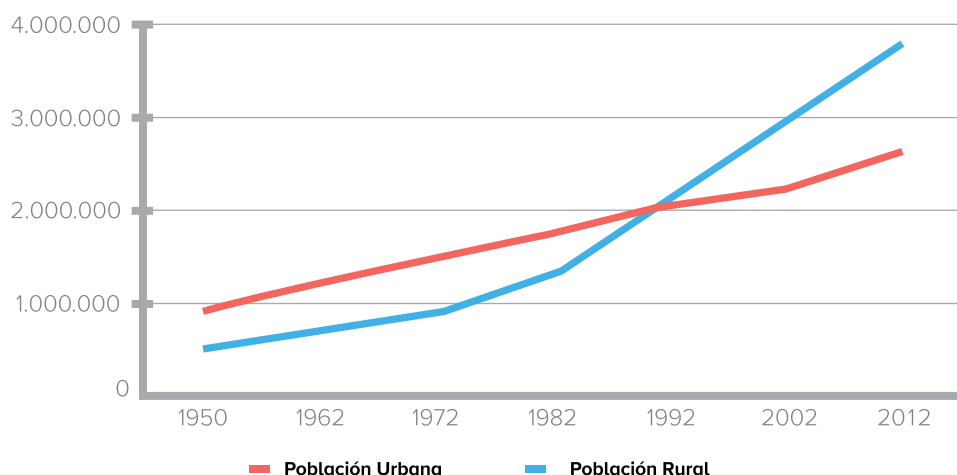
El “trazado en damero” corresponde a la configuración espacial de la mayoría de las ciudades paraguayas, el cual fue un legado de los colonizadores españoles. Originalmente, los edificios públicos de carácter político, social y económico de la época fueron ubicados frente a la plaza central y las viviendas vecinas a estos equipamientos. Actualmente, este patrón espacial se caracteriza por ser un tejido residencial urbano disperso y de muy baja densidad. Las nuevas urbanizaciones han sido guiadas por el desarrollo socio-económico de las diferentes regiones del Paraguay, pero la provisión de infraestructura y los servicios básicos urbanos no han sido considerados de manera integral en este proceso de urbanización (Stanley, 2009). A continuación, se presentan las características principales de la proliferación de este modelo de urbanización en conjunto con las deficiencias asociadas en calidad del entorno urbano y peri-urbano.

Aumento de la población en zonas urbanas

El Paraguay en los últimos años ha iniciado una serie de desplazamientos poblacionales, donde se destaca un acelerado proceso de urbanización durante las últimas cuatro décadas. Según las proyecciones realizadas por la Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censos (DGEEC), el Paraguay tendrá 7.453.695 habitantes en el 2022. Se estima que el porcentaje de población residente en las áreas urbanas en 1950 era del 35%, mientras que, en el año 2025, aproximadamente esta misma proporción de población residirá en las áreas rurales (DGEEC, 2015). La **FIGURA 4** muestra que recién en la década de los 90s, la población urbana tuvo un porcentaje mayor (50.3%) que la población rural (49.7%). A partir de ese momento, la población de las urbes paraguayas ha ido en aumento (59.2%), mientras que la población rural ha ido disminuyendo (40.8%) (DGEEC, 2012).



FIGURA 4: Evolución de la población urbana y rural en el Paraguay.



Fuente: DGEEC, 2012

En el 2002, aproximadamente el 68% de la población urbana total se concentraba en las 3 zonas metropolitanas de Paraguay: Asunción, Ciudad del Este y Encarnación¹. En dicho momento, la zona metropolitana de Asunción (ZMA) contaba con aproximadamente 1.699.940 habitantes, que representaba el 57% de la población urbana total. Así mismo, la zona metropolitana de Ciudad del Este (ZMCDE) representaba un 9% y a la zona metropolitana de Encarnación (ZME) le correspondía el 2.3% de la población urbana del Paraguay (Causarano, 2006).

Si bien Asunción y su área metropolitana continuará siendo el área más densamente poblada del país, existe actualmente una tendencia nacional hacia la urbanización, la cual se evidencia con las estimaciones del porcentaje de incremento de población urbana en Asunción y las capitales departamentales del Paraguay. Como ejemplo, se estima que Filadelfia en 2025 aumentaría su población en un 92% en relación con el año 2000. El área metropolitana de Asunción (AMA)² tiene previsto aumentar en un 84% su población, así como las ciudades de San Juan Bautista, Encarnación, Coronel Oviedo, Fuerte Olimpo y Concepción, las cuales duplicarían su población en un periodo de 25 años. Por otro lado, ciudades como Paraguari y Asunción tendrán un crecimiento casi nulo. Ambos extremos nos indican la importancia de contar con estrategias sostenibles para la urbanización, de manera a evitar la degradación y abandono de ciertos territorios ya urbanizados, así como evitar la creación de nuevas urbanizaciones siguiendo los anteriores modelos de crecimiento caracterizado por una deficiente calidad urbana.

1 Definición propuesta por (Causarano, 2006) y ajustada por (Terraza et al., 2014).

2 A excepción de Asunción. Se refiere a todas las ciudades del Departamento Central (Fernando de la Mora, Lambaré, Mariano Roque Alonso, Ñemby, San Lorenzo, Capiatá, Limpio, Villa Elisa, San Antonio y Luque)

Ciudades de baja densidad poblacional e insuficiente disponibilidad de tierras

En las áreas urbanas en Paraguay, el 97.3% de las unidades habitacionales corresponden a la tipología de vivienda unifamiliar aislada (DGEEC, 2016). Como se puede observar en la **FIGURA 5**, la utilización mayoritaria de esta tipología genera un tejido urbano difuso y horizontal, donde todo el espacio disponible en las áreas urbanas y peri-urbanas está siendo ocupado sin tomar en cuenta el ecosistema ambiental y la cuenca hidrográfica, ni considerar las consecuencias del cambio de uso de suelo.

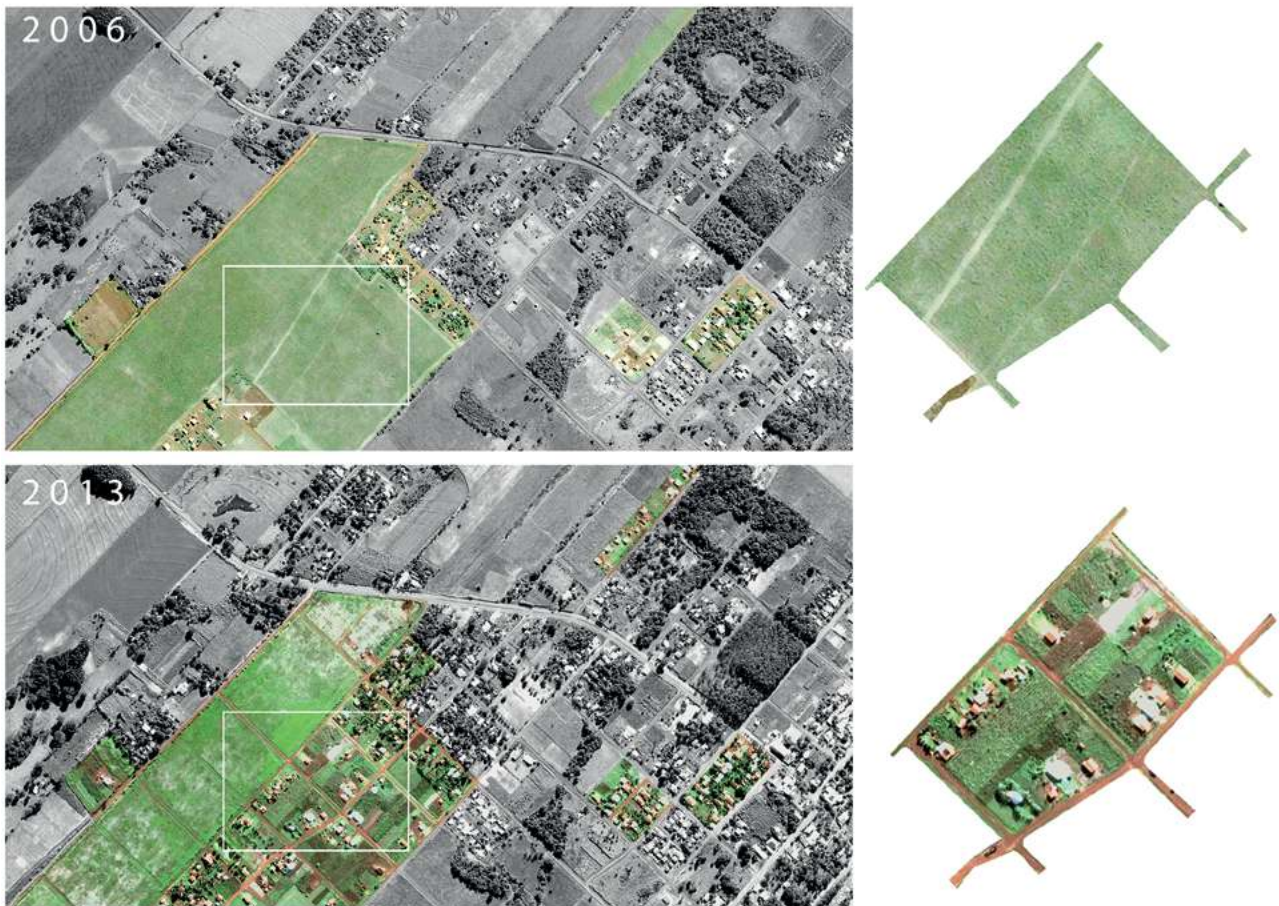


FIGURA 5: Evolución de la expansión urbana difusa y horizontal

Fuente: Elaboración propia en base de la imagen Google Earth

Actualmente el AMA cuenta con una densidad de 43 hab/ha, mientras que otras ciudades en América Latina mínimamente duplican la cantidad de personas por hectárea, tales como: Buenos Aires 143 hab/ha, Santiago 102 hab/ha y San Pablo 88 hab/ha (Terraza et al., 2014). Densidades bajas en zonas urbanas condicionan a que dichos territorios sean insostenibles desde el punto de vista ambiental, social y económico.

Adicionalmente, la ley Orgánica Municipal 3.966/10, en el Art. 227 establece que la superficie mínima del lote urbano es de 360 m². Expandiendo esta legislación a la escala urbana y metropolitana, el lote se convierte en el módulo que genera el típico tejido urbano en Paraguay. Este modelo de crecimiento urbano impone bajas densidades de 10 residencias por hectárea aproximadamente, lo cual contribuye grandemente a la expansión urbana (Fonseca, 2014). Sin embargo, se evidencia que las dimensiones de los lotes utilizados por los hogares de bajos ingresos están muy por debajo de los prescritos por la Ley Orgánica Municipal, como por ejemplo se demuestra en la foto aérea de la **FIGURA 6**.



FIGURA 6: Foto aérea de un asentamiento informal

Fuente: Karen Stanley

En Asunción y Ciudad del Este, la vivienda económica formal en un lote de 360 m² no es costeable para alrededor de un tercio de las poblaciones circundantes (Banco Mundial, 2014). Esta situación se traduce en la multiplicación de asentamientos informales en las periferias o zonas de riesgo. En los mismos, la tenencia de la tierra es ilegal y los habitantes invierten exclusivamente en la construcción de su casa, generalmente en condiciones precarias (Stanley, 2019).

Déficit en infraestructura, equipamientos y servicios urbanos

Si bien la huella residencial urbana creció horizontalmente, las ventajas y beneficios de vivir en una ciudad no acompañaron a esta expansión. En general, tanto los barrios consolidados como las nuevas urbanizaciones no cuentan con una adecuada provisión de infraestructura y servicios urbanos (agua potable, saneamiento, drenaje pluvial, transporte público urbano y gestión de los residuos sólidos), ni equipamientos urbanos (escuelas, centros de salud, plazas, centros comunitarios y productivos).

A nivel nacional, para las áreas urbanas el 99.3% de las viviendas cuenta con luz eléctrica y el 83.8% con agua corriente. Uno de los puntos críticos a ser considerados es el desagüe cloacal, pues si bien 91.4% de los baños cuentan con arrastre de agua (DGEEC, 2012), la DGEEC no distingue el porcentaje conectado a una red de desagüe cloacal y la proporción del pozo ciego, con y sin cámara séptica. Ésto significa que parte de las aguas grises están contaminando los recursos hídricos superficiales y subterráneos y potenciando la escasez de agua a las generaciones futuras. Por último, solo el 61.2% de las viviendas utilizan el servicio de recolección de basura pública o privada (DGEEC, 2012), lo cual indica que parte de la eliminación de residuos se realiza por medio de la quema de éstos o la disposición de basura a cielo abierto en cursos de agua o lugares ambientalmente vulnerables, como se demuestra en la foto de la **FIGURA 7**.



FIGURA 7: Acumulación de residuos sólidos en arroyos urbanos

Fuente: Karen Stanley

Déficit y baja calidad de espacios públicos

Las ciudades paraguayas cuentan con una baja calidad urbana y ambiental de sus espacios públicos ligados al tránsito peatonal, tales como lo son las avenidas y calles. Las vías principales de la ciudad solo cuentan con árboles plantados esporádicamente y no alineados de manera secuencial y constante. Esta situación no contribuye a convertir las principales vías urbanas en corredores verdes.

Además, se cuenta con un déficit de espacios públicos abiertos destinado para el uso recreativo de la ciudadanía. Por ejemplo, la ciudad de Asunción de acuerdo con los datos no oficiales de las fuentes existentes consultadas, solo cuenta con 2.9 m² de espacio público por habitante (Diario La Nación, 2017), mientras que la Organización Mundial de la Salud recomienda contar con un mínimo de 9 m² de zona verde por habitante (Sorensen et al., 1998). Generalmente la superficie de las plazas no es directamente proporcional con la cantidad de habitantes del sector de influencia y no existe una distribución equitativa de estos espacios en los diferentes barrios. Esta distribución se ha dado principalmente de manera fortuita y no corresponde a un proceso de planificación, ni a criterios urbanísticos relacionados a las áreas verdes urbanas. El Paraguay carece de una política para la creación y el manejo de espacios públicos en ciudades vinculada a los planes de ordenamiento urbano y territorial.

Falta de una visión territorial y articulación entre las normativas urbanas y ambientales existentes

Paraguay no ha sido capaz de articular e institucionalizar los esfuerzos para lograr una visión de su territorio, lo cual se evidencia en la falta de planificación y gestión espacial del país. Existen varios problemas territoriales que crean distorsiones y desigualdades en el desarrollo socioeconómico y, por lo tanto, afectan la competitividad nacional, tales como: las áreas urbanas dispersas, la degradación permanente y continua de los recursos naturales, el bajo nivel de cobertura de infraestructura, equipamientos y servicios debido a la distribución ineficiente del gasto público en el territorio y una débil gestión por parte del gobierno local y regional (Stanley, 2019).

Si bien varias instituciones a nivel nacional, regional y local trabajan en normativas y proyectos de planificación territorial y urbana, así como el desarrollo económico, social y protección ambiental, es imprescindible contar con un liderazgo sólido e integral, de manera a lograr una coordinación entre todos los actores públicos, privados y de la Sociedad Civil. Es necesario innovar el pensamiento sobre cuál será el futuro de las ciudades paraguayas, proponiendo políticas urbanas y territoriales que acompañen el uso eficiente del suelo y la densificación del territorio, desde una mirada integral y en armonía con el medio ambiente.

6.2 Áreas verdes urbanas en riesgo

Debido a la falta de planificación y a los patrones de urbanización expansiva en las urbes paraguayas, los sistemas ambientales en áreas urbanas han sufrido un notable proceso de degradación. Esta situación no solo afecta a la biodiversidad y a los ecosistemas naturales, sino que pone en peligro la salud, la calidad de vida de los habitantes y la futura productividad de las ciudades. Los problemas ambientales más resalantes son:

- Los suelos urbanos *infringen contra los ecosistemas de la zona*. Generalmente la expansión urbana ocurre en ecosistemas que no se clasificaron como adecuados para el desarrollo de la construcción. Por ejemplo, la expansión de Ciudad del Este afectó a los seis ecosistemas que rodean a la ciudad. El peor caso fue el ecosistema de sabanas del cerrado, los cuales absorbieron una

quinta parte (21%) del crecimiento en el área metropolitana. Del mismo modo, el ecosistema de bosque húmedo semideciduo en Alto Paraná, situado al sur de la zona metropolitana, tuvo el 16% de infracción urbana (Banco Mundial, 2014).

- Existe una *pérdida de biodiversidad en las áreas urbanas* en proceso de desarrollo, a través de la falta de preservación de áreas ecológicas sensibles en estado natural, como bosques, humedales, franjas de vegetación ribereña, nacientes, etc.
- El *uso masivo del automóvil* ante la priorización del peatón y la utilización de transportes públicos genera una ciudad dominada por la infraestructura gris (Ver **FIGURA 8**) y por las altas emisiones de la huella de carbono, que contribuyen a intensificar el cambio climático. Además, la construcción de infraestructuras viales generalmente es impuesta desde el gobierno nacional, sin realizar una coordinación mínima con otros ministerios o gobiernos municipales. La influencia de las rutas es extremadamente dominante en el proceso de urbanización y conlleva una serie de problemas urbanos, pues se crean “ciudades lineales” a lo largo de las vías que causan problemas de seguridad, falta de servicios básicos, congestión, etc.
- Los *sistemas ambientales están a menudo restringidos en las ciudades*.

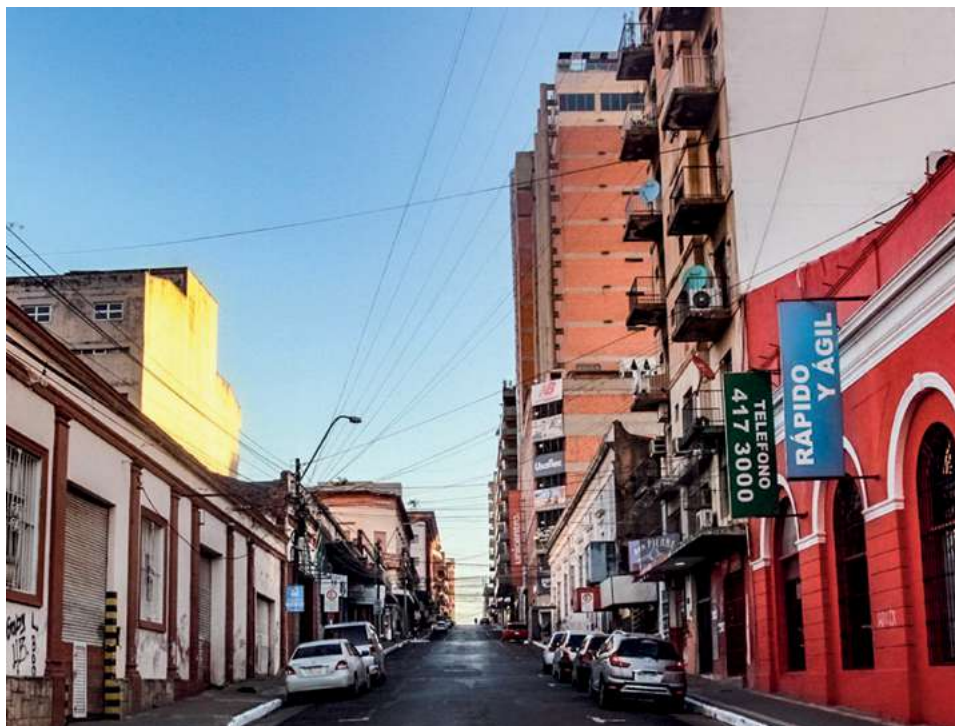


FIGURA 8: Entorno urbano caracterizado por el transporte vehicular y la infraestructura gris.

Fuente: Cesar Pizzurno

Como consecuencia, la falta de áreas verdes, espacios públicos y arborización urbana generan impactos negativos tanto para el aspecto social, ya que se limitan los territorios donde se genera la socialización, el intercambio y la integración social, evitando de esta manera la concentración de personas en espacios democráticos, así como para el aspecto climático, ya que se genera un aumento excesivo de la temperatura en ciudades.

- Presencia de suelos con *un alto grado de impermeabilización* debido a la expansión urbana y el sellado de suelo. Cuando las superficies impermeables aumentan, se acrecienta también la escorrentía, mientras que la capacidad de infiltración del agua en el suelo disminuye (Arnold & Gibbons, 1996). La **FIGURA 9** demuestra el impacto del grado de impermeabilización sobre la generación de escorrentía y la infiltración en el suelo a partir de la lluvia. En una situación natural con 0% superficie impermeable, solo 10% de la lluvia se convierte en

escorrentía superficial, mientras 50% infiltra en el suelo, de los cuales 25% a poca profundidad y 25% a mayor profundidad. En contraste, en una situación muy urbanizada con grado de urbanización de 75 a 100%, la escorrentía aumenta considerablemente, siendo ésta de 55%, mientras la infiltración se reduce a solo 15%, de los cuales 10% a poca profundidad y 5% a mayor profundidad. Esta reducción de infiltración a mayor profundidad conlleva que la capa freática baja, afectando así negativamente a los ecosistemas como humedales y zonas ribereñas, las cuales son sensibles en fluctuaciones en la capa freática pero también a los pozos de agua (CA WALUP Partnership, s.f.).

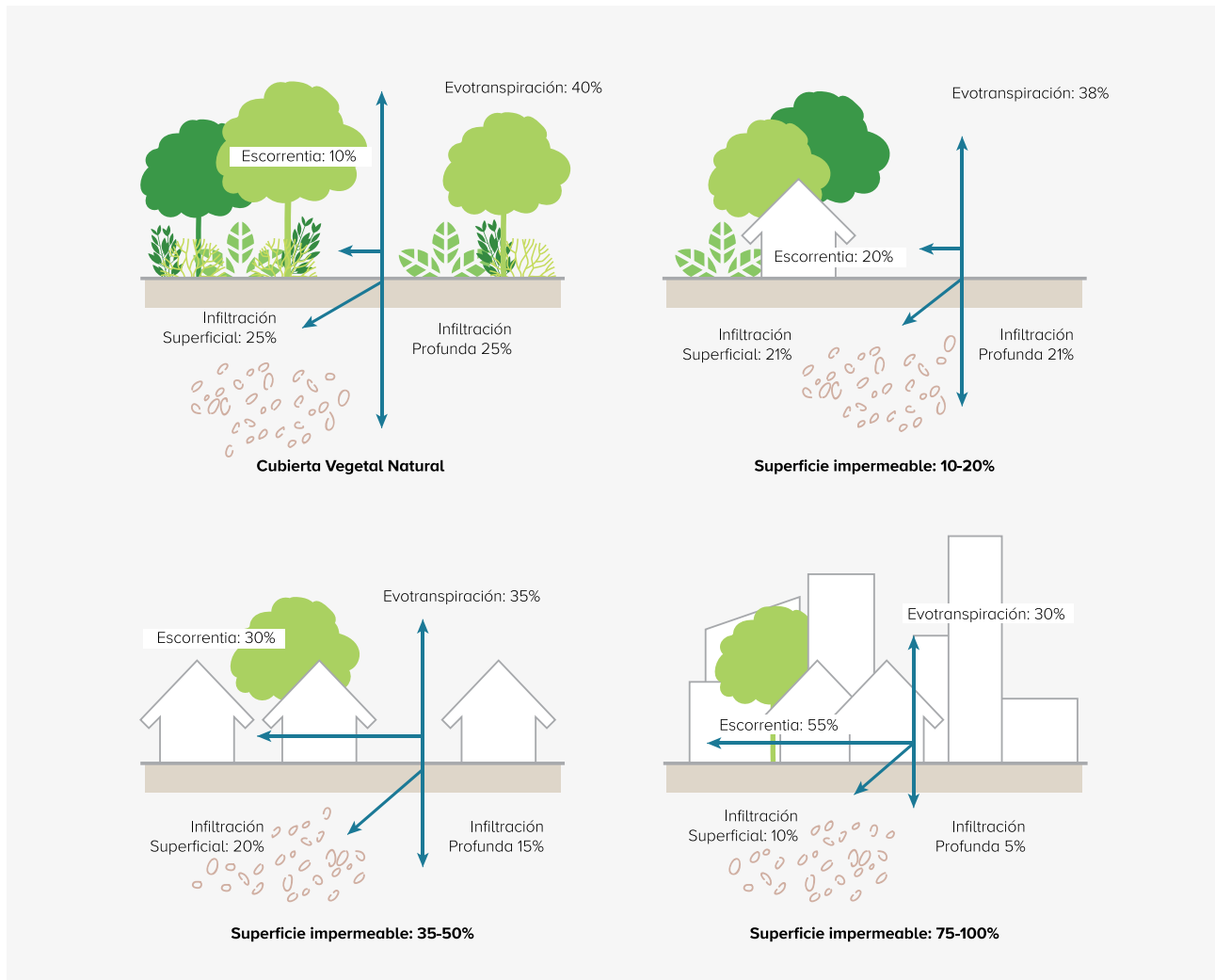


FIGURA 9: Impactos de la urbanización en el ciclo del agua

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Arnold & Gibbons, 1996

- Falta de una gestión integral de aguas urbanas. Dicha situación ha causado diversos perjuicios:

- Inundaciones urbanas, causando pérdidas humanas y materiales (Ver foto en **FIGURA 10**).
- Contaminación en ríos y arroyos urbanos, lagos y humedales.
- Deterioro de la calidad del agua.
- Reducción de la infiltración de agua de lluvia, lo cual resulta en una menor recarga de agua para los acuíferos.

- Falta de plantación, mantenimiento y poda de los árboles urbanos, así como la regeneración de árboles en caso de tala o vejez de los mismos, tanto en las propiedades privadas, como en los espacios públicos de responsabilidad municipal (Ver **FIGURA 11**). Por otro lado, existen varios espacios ociosos y



FIGURA 10: Inundación urbana durante eventos extremos de lluvia.

Fuente: René González

residuales en las áreas urbanas y periurbanas que podrían ser utilizados para la plantación de árboles de manera a preservar el ambiente, teniendo siempre en cuenta las características locales del entorno donde se encuentran.

- Paraguay se caracteriza por contar con *condiciones climáticas extremas*, situación que intensifica la problemática ambiental en las zonas urbanas. Adicionalmente, el calor reflejado en el asfalto, la ausencia de árboles o los flujos de viento en el espacio comprendido entre los edificios alineados, pueden generar diversos microclimas en las ciudades (Markham, 2009). Ésto genera una alta variabilidad temporal y espacial en cuanto a efectos adversos causados por el cambio climático en una ciudad, concentrándose el mayor impacto en las áreas vulnerables y de riesgo de las ciudades, tales como: borde de ríos y arroyos, humedales, zonas propensas a las inundaciones y pendientes pronunciadas, las cuales están ocupadas generalmente por viviendas formales o informales.

La diversidad de problemas ambientales existentes en el contexto urbano requiere que las futuras propuestas urbanas mantengan y potencien los sistemas naturales existentes e incorporen a la Infraestructura Verde Urbana como intervenciones efectivas para remediar o disminuir la problemática ambiental actual existente.



► **FIGURA 11:** Falta de mantenimiento y poda adecuada a un árbol urbano.
Fuente: Cesar Pizzurno

6.3 Normas del espacio público

El Art. 134 de la Ley Orgánica Municipal establece que los bienes del dominio público son los espacios municipales que están destinados al uso y goce de todos sus habitantes, tales como:

- Avenidas, calles, caminos, pasajes y puentes (incluye la vereda, calzada y accesorios de las vías de comunicación).
- Plazas, parques, equipamientos urbanos públicos de uso recreativo, deportivo, etc.
- Ríos, lagos y arroyos comprendidos en las zonas urbanas del Municipio.
- Fracciones destinadas para plazas, edificios públicos, calles y avenidas, resultantes de loteamientos.

El gobierno municipal debe dar prelación a la planeación, construcción, mantenimiento y protección del espacio público sobre los demás usos del suelo. Sin embargo, el Paraguay no cuenta con leyes vigentes que brinden directrices claras que permitan velar por el manejo del espacio público en áreas urbanas. A continuación, se incluye un diagnóstico en cuanto a la situación actual en Paraguay y a las normativas y dimensiones establecidas de diferentes categorías de espacios públicos.

Primero, se analizan en profundidad las medidas de **calles y avenidas**. La calle es un espacio público delimitado a ambos lados por la Línea Municipal (L.M.). Está conformada por una franja central denominada calzada vehicular y dos franjas laterales llamadas veredas (Ver **FIGURA 12**). Tanto el ancho de la calzada como el de las veredas varían de acuerdo con su categoría y a las particularidades de cada sitio, ya que el Paraguay no cuenta con una clasificación detallada de las vías urbanas con sus respectivas dimensiones. En base a la comparación de las dimensiones mínimas (ancho) de calles a nivel regional se propone en el Cap. 7 de este Manual el ancho mínimo de calzada y vereda para una calle y avenida tipo del contexto paraguayo.

Posteriormente, se examinan los diferentes tipos de **espacios verdes públicos abiertos**, cuyas funciones principales son las de recreación de la comunidad y contribución a la depuración del medio ambiente (Ley N° 8.912/87, 1987). Las ciudades cuentan tanto con los *espacios verdes a escala urbana* (como **parques, plazas y plazoletas**), así como *espacios verdes a escala regional*, donde la totalidad o una parte de un ecosistema funcional pertenece a la ciudad (tales como las áreas protegidas y recursos hídricos, como cursos de aguas y humedales).

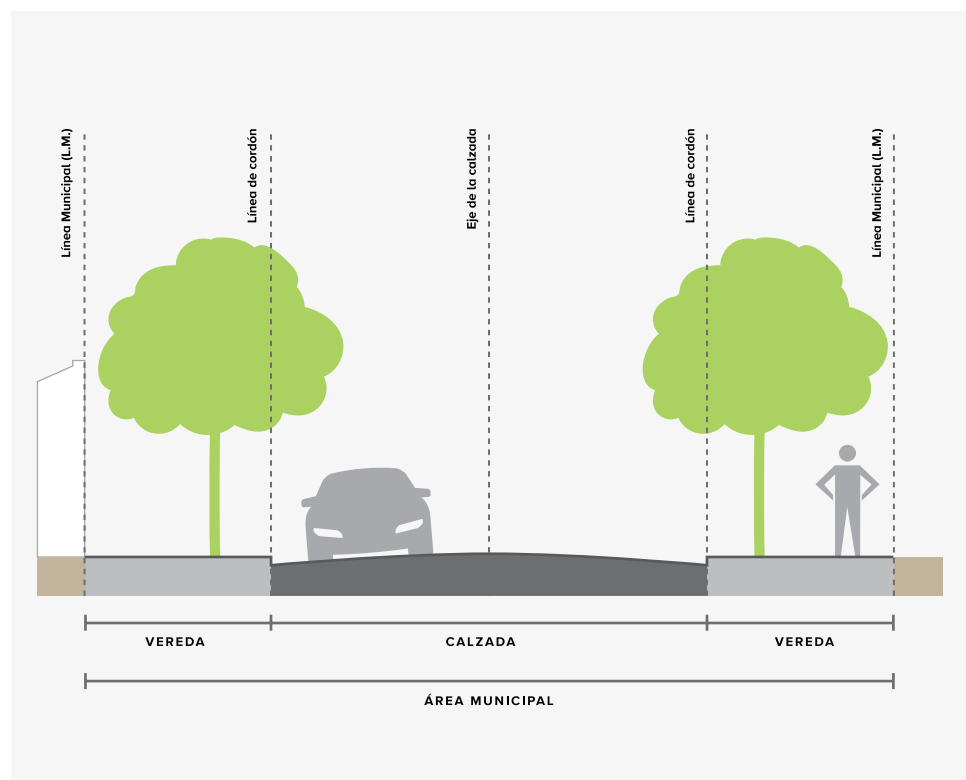


FIGURA 12: Componentes de una calle.

Fuente: Eleboración propia.

6.3.1. Avenidas y calles

El Paraguay no cuenta con una **clasificación detallada de las vías urbanas** con sus respectivas dimensiones. La Ley Orgánica Municipal establece que el ancho mínimo de una avenida debe ser de 32 m, mientras que el de una calle es de 16 m, incluyendo veredas; sin embargo, la ley no especifica los anchos mínimos de vereda y calzada, así como no considera el espacio disponible para arborización y otras soluciones eventuales de Infraestructura Verde.

Para la elaboración del Manual, las medidas para una calle tipo se basaron en una compilación de artículos de diversas normativas paraguayas existentes: Ley N° 3966/10 (Orgánica Municipal), Ley N° 4928/13 (Protección al arbolado urbano), norma INTN PNA 45 004 10 (Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos – Vías de circulación peatonales horizontales) y Ordenanzas de la Municipalidad de Asunción como N° 217/12 (Construcción y uso de veredas inclusivas) y N° 340/13 (Protección de la cobertura arbórea).

Actualmente en una calle tipo, solo el 37.5% del espacio total de la calle³ está destinado para las veredas. Como referencia, el Manual de Diseño Urbano de la ciudad de Buenos Aires recomienda destinar el 50% de la superficie a circulación vehicular y 50% a circulación peatonal (MDU, 2015). Se presenta en la **TABLA 2**, una comparación de las diferentes medidas utilizadas en ciudades y países de la región para el dimensionamiento de las veredas y calzadas, tanto para una calle como para una avenida.

	Paraguay	Manual de Vialidad Urbana, Chile	Manual de Diseño Urbano Buenos Aires, Argentina	Manual del Espacio Público del Distrito de Barranquilla, Colombia
Calle (vía local)				
Total	16	11	10.3 a 16.9	13
Calzada	-	7	5 a 13	7
Vereda	1.2 (Franja Circulación)	2	2.3 - 2.7 2.5 (arbolado)	3
Ciclovía	-	NO	SI, 2.35	NO
Avenida (vía troncal)				
Total	32	30	18.4 (min)	25
Calzada	-	14	13	14
Vereda	1.2 (Franja Circulación)	3.5	2.7	4 a 6 9 a 10m con ciclovía

TABLA 2 Comparación de dimensiones mínimas (ancho en metros) para calles y avenidas a nivel regional

Fuente: Ley N° 3.966/10 , 2010; Ord. ASU N° 217/12; NACTO, 2018; MDU, 2015; Barranquilla, 2012; INTN, 2010

Se evidencia que el ancho total propuesto para las vías urbanas del Paraguay está por encima de los estándares utilizados en la región. No obstante, no existe una medida recomendable para el ancho mínimo de la vereda, solo la exigencia de una franja de circulación de 1.2 m. En el contexto paraguayo, los espacios destinados para los automóviles son muy “holgados” y no existe una delimitación clara de los mismos. Esta situación genera el uso ineficiente del espacio, ya que las áreas destinadas al peatón y eventuales futuras intervenciones de Infraestructura Verde Urbana, incluyendo Arborización Urbana son insuficientes y generalmente su uso es mínimo.

Con respecto a las veredas, las mismas están compuestas por diferentes zonas (ver **FIGURA 13**), donde cada una de ellas cuenta con una función específica y un espacio asignado según las normativas existentes.

Las diferentes áreas se describen a continuación:

- **Franja interna (Zona de Fachada):** Espacio adyacente a la Línea Municipal (L.M.). Funciona como una extensión del edificio, pudiendo actuar como una entrada a los cafés, restaurantes y establecimientos comerciales. No es de uso obligatorio, pues depende del ancho total de la vereda (NACTO, 2018; Ord. ASU N° 217/12).

³ Calle de 16 m: se toma como premisa que el ancho de ambas veredas es de 3 m cada una.

- **Franja de Circulación (Franja libre):** Espacio destinado a la circulación de peatones y personas con discapacidad motriz; debe ser totalmente pavimentado y estar libre de obstáculos para garantizar un desplazamiento seguro. Según la Norma PNA 45 004 10, el ancho mínimo es de 1.2 m libre; sin embargo, en áreas residenciales se recomienda entre 1.8 m (circulación simultánea de 2 sillas de ruedas) y 2.4 m. A medida que aumenta la jerarquía de la vía y el flujo

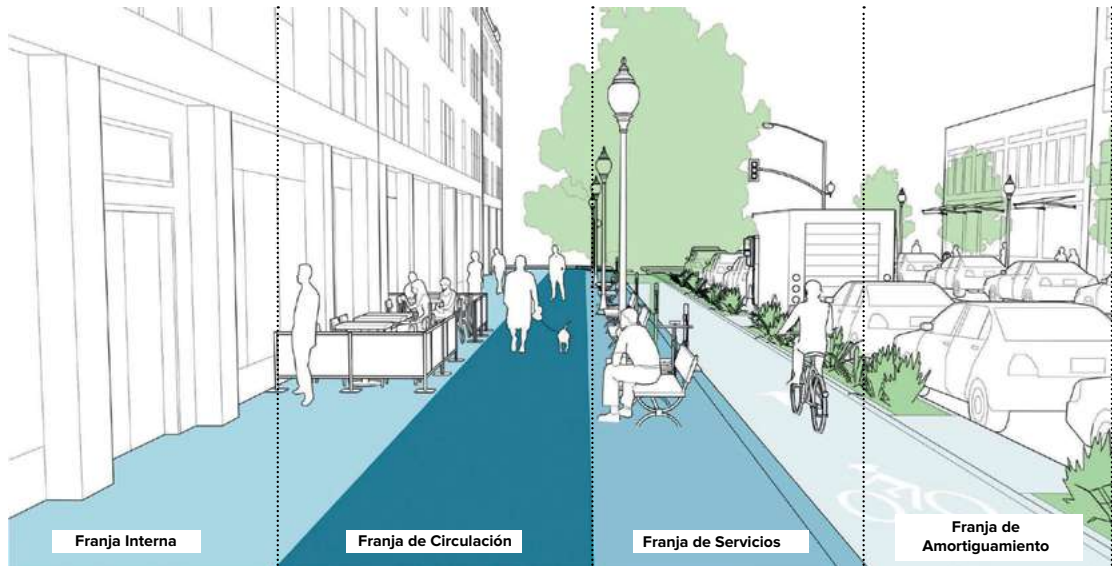


FIGURA 13: Componentes de una calle destinados al uso peatonal y de infraestructura verde

Fuente: NACTO, 2018

vehicular y peatonal, su ancho debe ser mayor. Por ejemplo, en los centros de las ciudades o en las áreas comerciales, el ancho varía entre 2.4 m y 4.5 m (NACTO, 2018; MDU, 2015; Ord. ASU N° 217/12). Como se observa en la Figura 14, los árboles no deberán ser plantados en dicha franja, ya que esto imposibilita el paso libre y sin obstáculos de los ciudadanos.

- **Franja de Servicios (Zona de mobiliario urbano):** Espacio de la vereda próximo a la calle destinado a la ubicación de árboles, infraestructura y mobiliario urbano, tales como columnas de ANDE, postes de iluminación, asientos, estacionamiento para bicicletas, rampas, señalética, etc. Así mismo, también puede contener otros elementos de Infraestructura Verde, como zonas de bioretención y cunetas verdes.

- **Cantero:** Franja de terreno ubicada en la vereda que se deja sin pavimentar, con el fin de albergar en su interior a un árbol, y forma parte de la Franja de Servicios. Generalmente, es el único espacio permeable que se encuentra en la calle que permite la interconexión entre la superficie y las capas inferiores del terreno, tales como la aportación de agua y nutrientes (Ayuntamiento de Madrid, 2018). Se diferencia del cantero individual, que está destinado a un único árbol y se trata de la tipología más comúnmente utilizada, y el cantero corrido compuesto de franjas verdes continuas, con espacio para la plantación de varios ejemplares (como se observa en la **FIGURA 15**).

Según lo establecido en las Ordenanzas de Asunción N°217/12 y N°340/13, los árboles ubicados en veredas deben estar ubicados a 30 cm del cordón y contar con un cantero de mínimamente 40 cm x 40 cm y no mayor a 1 m x 1 m paralelo al eje de la calle. Así mismo, los bordes deben estar protegidos con un cordón de 15 cm de espesor (Ord. ASU N° 217/12; Ord. ASU N° 340/13, 2013).



FIGURA 14: Árbol de ficus ubicado incorrectamente en la franja de circulación.

Fuente: César Pizzurno

- **Franja de amortiguamiento:** Espacio ubicado en la calzada, inmediatamente al lado de la vereda, que puede albergar diferentes elementos, tales como: extensiones de vereda, parklets, elementos para la gestión del agua de lluvia, tiras de estacionamiento o ciclovías (NACTO, 2018).

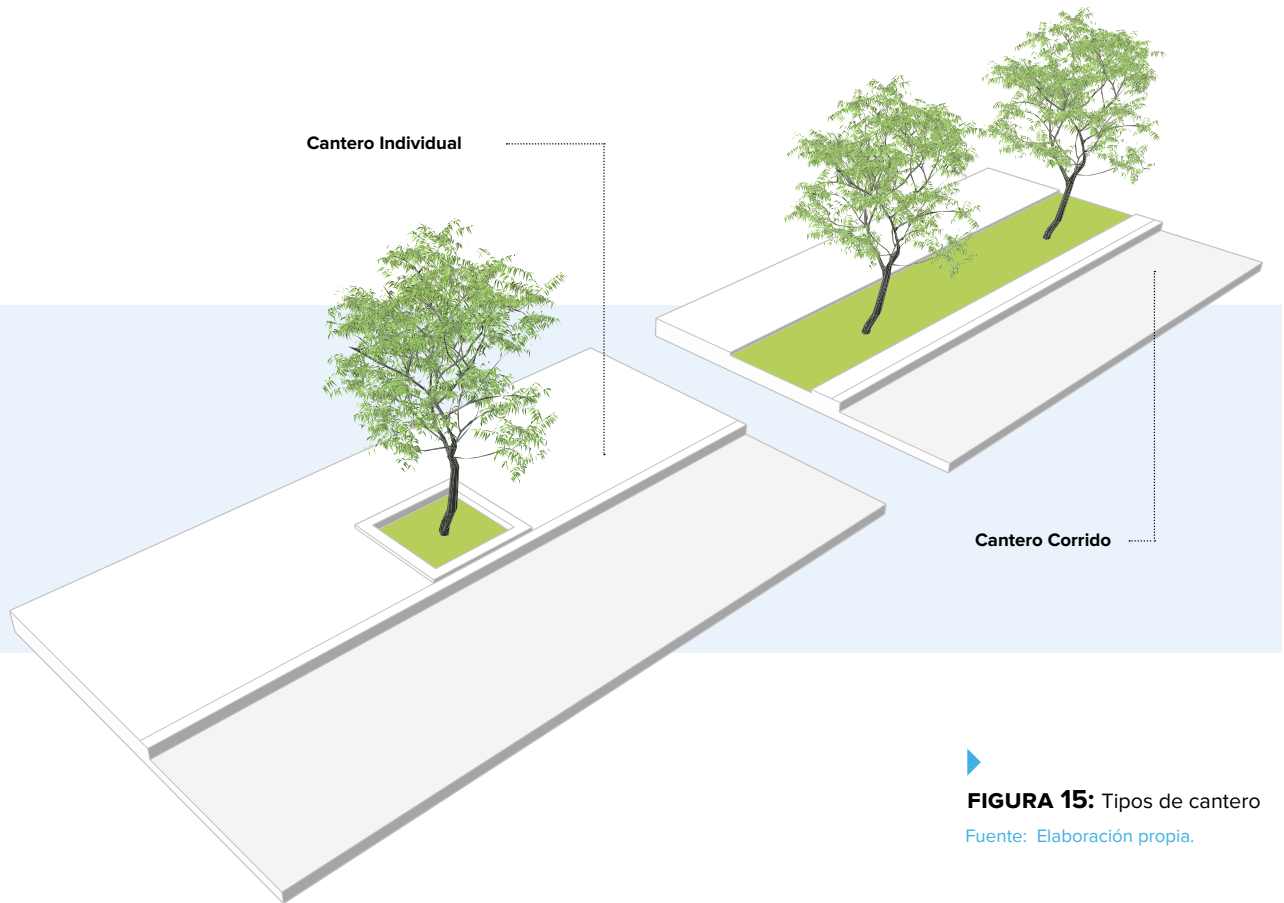


FIGURA 15: Tipos de canchero

Fuente: Elaboración propia.

6.3.2. Parques y Plazas

En cuanto a los *espacios verdes a escala urbana*, el Paraguay no cuenta con un marco normativo adaptado a la creación y manejo de los espacios públicos abiertos en las ciudades, ni una categorización de éstos. Por dicho motivo, se expone a continuación, una clasificación de los espacios verdes a escala urbana según su tamaño, así como propuesta de estándares mínimos referentes a la proporción de área verde en relación con los habitantes y la accesibilidad a pie a los espacios verdes públicos. El lograr accesibilidad a los espacios públicos es particularmente clave para aquellos ciudadanos con movilidad reducida, pero también para brindar cobertura a las necesidades de recreo de la población en general.

Para la **categorización de los espacios verdes a escala urbana**, se toma como referencia la clasificación utilizada por los municipios de Santiago de Chile y Buenos Aires, los cuales describen 3 tipologías de áreas verdes abiertas, donde cada una de ellas aporta unos servicios y beneficios distintos a los de la población.

- **Plazoleta:** Espacio público abierto de escala barrial de menores dimensiones que una plaza y de tamaño reducido. Funciona como una pieza de revalorización del espacio público en relación a grandes arterias vehiculares. Tiene una función simbólica y en muchos casos alberga monumentos o hitos de la ciudad (MDU, 2015; Beytía et al., 2012).

- **Plaza:** Espacio público de escala barrial de tamaño intermedio (de 5.000 a 15.000 m²), donde se desarrollan las principales actividades sociales, culturales y de recreo de la vida pública de la ciudad y dan cobertura a aquellos ciudadanos que tienen movilidad reducida (gente mayor, niños, etc.). A su vez, es un espacio verde que contribuye a una mayor sustentabilidad ambiental, aportando biodiversidad al entorno urbano (MDU, 2015; Beytía et al., 2012; Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, 2017).
- **Parques:** Espacio público de gran superficie que forma parte del subsistema de espacios verdes de escala metropolitana. Estos espacios son aptos para desarrollar actividades culturales, sociales, deportivas y/o comerciales y prestan importantes servicios ambientales al entorno urbano. El parque urbano cuenta con un área de hasta 15 ha y se considera parque metropolitano cuando la superficie es de 15 ha en adelante (MDU, 2015; Beytía et al., 2012).

Con respecto a la **disponibilidad de suficiente espacio verde abierto por habitante y la accesibilidad**, se recomienda establecer una normativa para el contexto paraguayo según los **estándares internacionales** referentes a la proporción de m² disponibles de área verde en relación con los habitantes, así como la accesibilidad a pie a los espacios verdes públicos. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud exhorta contar con un mínimo de 9 m² de zona verde por habitante (Sorensen et al., 1998). Además, se deberá considerar la distancia y accesibilidad a estos sitios para la implantación y correcta distribución de áreas verdes públicas. Por ello, una de las primeras medidas que deben ser realizadas por los Municipios es la cuantificación de los espacios públicos existentes, de modo a planificar, recalificar y crear zonas verdes que respondan a las necesi-

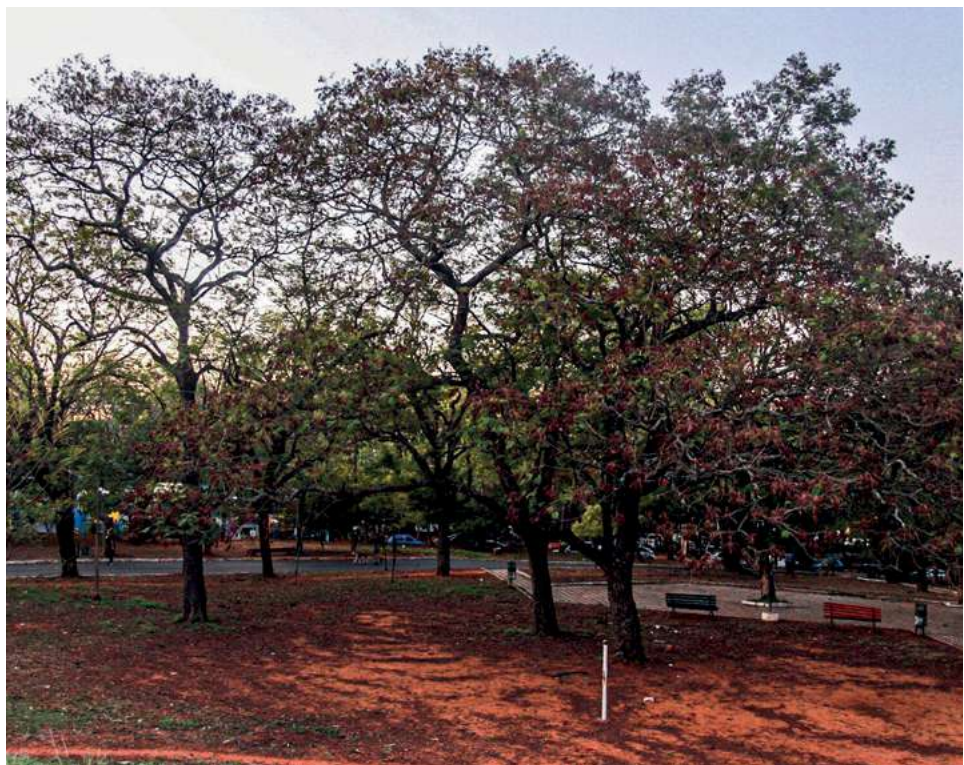


FIGURA 16: Vista del Parque Carlos A. López – Asunción

Fuente: César Pizzurno

dades locales. Como se indica en la **FIGURA 17**, el radio de influencia de las plazoletas y plazas para la población contigua es de 350 m a 400 m, lo que corresponde a una caminata de 5 minutos por parte del ciudadano para llegar a esta área verde. En cuanto a los parques urbanos, el radio de influencia para la población es de 2.000 m, mientras que para los parques metropolitanos es de 4.000 m, realizando el desplazamiento en transporte público o en bicicleta para llegar al espacio urbano (MDU, 2015). En la actualidad, la **implantación de plazas** o de **nuevos equipamientos comunitarios** está principalmente ligada a nuevas urbanizaciones. El Art. 247 de la Ley Orgánica Municipal establece que los loteamientos deberán transferir gratuitamente el 5% del terreno a favor de la Municipalidad, en concepto de vías de circulación, de plazas o de edificios públicos. Si el inmueble fuere igual o superior a tres hectáreas, la contribución será del 7% (Ley N° 3.966/10, 2010) Su ubicación es determinada por la Municipalidad según los planes y necesidades urbanísticas. Sin embargo, los barrios consolidados y con un déficit en espacio público abierto no cuentan con propuestas urbanísticas que reviertan esta situación.

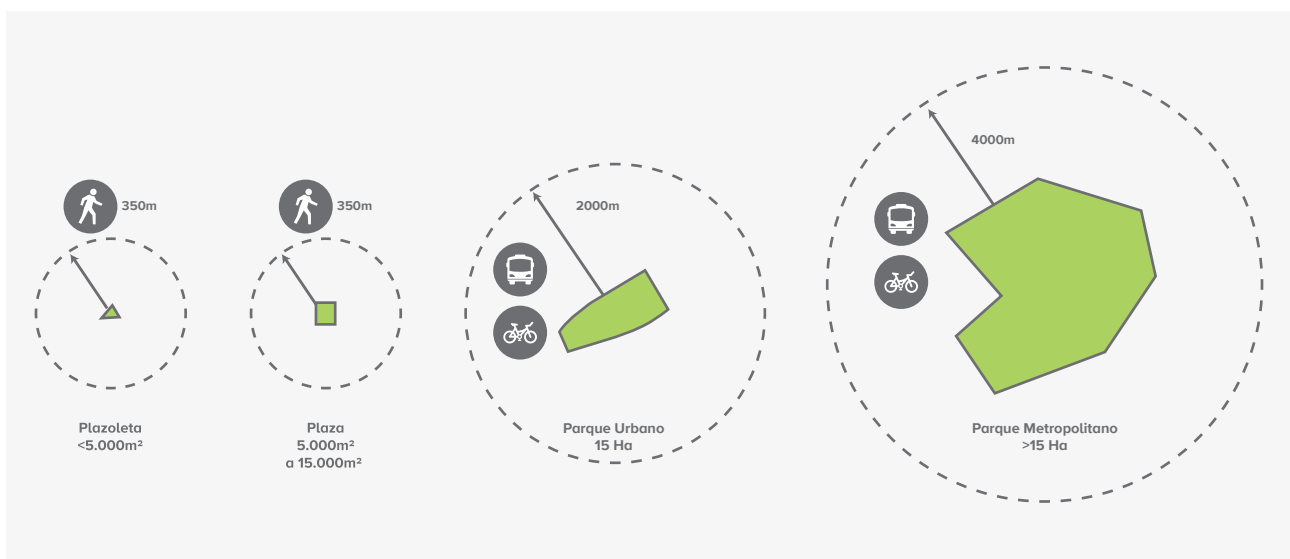


FIGURA 17: Categorización de los espacios públicos abiertos

Fuente: Elaboración propia

6.3.3 Áreas protegidas y Recursos hídricos

En cuanto a los espacios verdes de escala regional existen leyes ambientales a nivel nacional, tales como la **Ley de los Recursos Hídricos del Paraguay N° 3.239/07** y la **Ley de Áreas Silvestres Protegidas N° 352/94**. Sin embargo, dichas leyes deben ser reglamentadas de manera a facilitar su implementación efectiva en ciudades y áreas periurbanas. Mientras que la Ley de Áreas Silvestres Protegidas no presenta estrategias o directrices de diseño a ser utilizadas en las áreas urbanas, en la Ley de Recursos Hídricos si existen varios artículos donde se establecen algunas reglamentaciones para las zonas urbanas, sobre los cuerpos de agua y de su franja de protección. Por ejemplo, se deberán conservar y restablecer los bosques protectores de los cauces hídricos y, las nacientes o fuentes de agua deberán contar con una franja de protección de 100 m de ancho en ambas márgenes, en la que se condicionará el uso de suelo y las actividades que allí se realicen. Además, en ambas márgenes del curso de agua, los primeros 5 m de anchura a partir del curso de agua son destinados para uso público. Finalmente, las zonas de nacientes o manantiales de agua, los ecosistemas de humedales, las zonas de recarga de acuíferos y las zonas necesarias para la regulación del caudal ecológico de los cuerpos de agua deben ser considerados como áreas protegidas. Por ende, las normativas que involucran a los paisajes regionales vinculados a las ciudades deben ser ajustadas y coordinadas a mayor profundidad, de manera a poder implementarlas efectivamente en los territorios urbanos.



Vista de la Bahía de Asunción

Fuente: Gentileza

7.

Estrategias de diseño

Estrategias de diseño de la Infraestructura Verde Urbana

Con la implementación de Infraestructura Verde en las urbes paraguayas se busca mitigar los principales problemas urbanos existentes en el país (**Ver Capítulo 3**) y contribuir a lograr ciudades saludables, resilientes y sostenibles. Para ello, se han formulado los siguientes objetivos a fin de contribuir con las intervenciones verdes propuestas a:

Mujer utilizando servicio de bicicletas de la ciudad.

Fuente: Gentileza

- 1) **Mejorar el manejo de las aguas urbanas**, logrando una mayor infiltración de agua de lluvia, menores inundaciones urbanas, mayor resiliencia contra las sequías, mayor purificación natural, etc.
- 2) **Disminuir la temperatura** en el entorno urbano, contribuyendo a evitar temperaturas extremas en las islas de calor y **promover la generación de sombra** mediante la arborización.
- 3) **Generar, potenciar y mantener espacios públicos** multifuncionales, los cuales traen consigo beneficios a nivel económico, social, turístico y ambiental, tales como: espacio recreativo y de ocio, mayor seguridad y control social, limpieza del CO2 a través de la vegetación, aumento del valor inmobiliario a las propiedades lindantes, etc.
- 4) **Incentivar la movilidad del peatón y la bicicleta**, a través de la ejecución de infraestructuras adecuadas para su desplazamiento y disfrute. Una atención particular se dará a la seguridad peatonal, en particular a los niños y adolescentes en los entornos escolares y espacios públicos.



De manera a elaborar un planteamiento acorde a las realidades particulares de cada ciudad, se recomienda tomar como base a los objetivos descritos anteriormente e incluir la visión y soluciones específicas para los desafíos locales existentes. Además, es importante lograr la implementación efectiva de las leyes de los Recursos Hídricos (N° 3.239/07) y de Áreas Silvestres Protegidas (N° 352/94), de modo a conservar y restablecer ambientalmente a los sitios donde se encuentran tanto los recursos hídricos como las zonas protegidas comprendidos dentro de las zonas urbanas del Paraguay.

De modo a planificar y ejecutar soluciones sustentables en el territorio, se proponen intervenciones verdes de **Sistema de Drenaje Sostenible** (SuDS¹, Sustainable Drainage Systems) y **Arborización Urbana**, las cuales son detalladas respectivamente en las secciones 7.1 y 7.2. Dichos sistemas naturales no reemplazan la infraestructura gris pero se integran y se complementan.

La incorporación del concepto de Infraestructura Verde en las áreas urbanas trae consigo la necesidad de rediseñar y readecuar los diferentes elementos del espacio urbano, como calles, plazas, parques, estacionamientos, ciclovías, etc. Por este motivo, se presenta para cada uno de dichos elementos, escenarios de diseño basados en Infraestructura Verde Urbana (sección 7.3). Por último, se ejemplifican algunos diseños con soluciones de Infraestructura Verde para los tejidos urbanos típicos de las ciudades paraguayas, tanto a la escala del barrio como del municipio (sección 7.4).

7.1 Sistemas de Drenaje Sostenibles

Los *Sistemas de Drenaje Sostenible* (SuDS) son intervenciones que contribuyen a enmendar los problemas urbanos relacionados a aguas urbanas como la inundación, la falta de infiltración de agua de lluvia en el suelo, el transporte de contaminantes, etc., los cuales han surgido principalmente a raíz del proceso de la impermeabilización y la pérdida de la vegetación natural en áreas urbanas.

Su propósito es reproducir sistemas naturales para coleccionar, almacenar, depurar y transportar las aguas superficiales, principalmente la escorrentía generada durante los eventos de lluvia, antes de su descarga final en los cuerpos de agua, controlando así la velocidad del agua y eliminando los contaminantes. Uno de los objetivos es lograr que el proceso de flujo dure el máximo tiempo posible, de manera a promover la infiltración de las aguas superficiales en el suelo y, por ende, la recarga de los acuíferos y el aumento de la humedad en el suelo.

Un ejemplo de SuDS son las cunetas verdes a lo largo de una ruta asfaltada: durante un evento de lluvia, la conducción del agua transportada se caracteriza por una velocidad menor que la de un canal tradicional de drenaje impermeable y sin vegetación (Infraestructura Gris). Ésto da como resultado una mayor infiltración del agua, disminuyendo así el impacto de inundación urbana aguas abajo. Además, la cuneta verde contribuye a la biodiversidad, reduce los contaminantes y sedimentos, y mejora el aspecto paisajístico.

¹ En un principio se denominaban «sistemas urbanos de drenaje sostenible», de ahí el acrónimo SuDS. En el término ya no aparece la palabra «urbanos», porque tienen una aplicación más amplia, pero la abreviatura sigue siendo SuDS.

En la práctica, la implementación de SuDS es más efectiva cuando es diseñada y gestionada como un sistema que engloba un conjunto de componentes con diversas funciones, en lugar de intervenciones aisladas. Según el Dublin City Council (2005), las principales funciones de los componentes de SuDS son:

- **Control cercano a la fuente:** disminución del volumen de agua que entra en el sistema de drenaje mediante la intercepción de la escorrentía en los techos para su reutilización (aljibes: riego de plantas) o almacenamiento y posterior evaporación (ej. Pavimentos permeables, techos verdes).
- **Pretratamiento:** remoción de los contaminantes del agua superficial, previo a su descarga en los cuerpos de agua como arroyos o acuíferos (ej. cunetas verdes, zonas de bioretención).
- **Retención:** demora en la descarga de aguas superficiales a los cuerpos de agua, mediante la provisión de almacenamiento dentro de lagunas y humedales, por ejemplo.
- **Infiltración:** reproducción de la recarga natural de los acuíferos y aumento de humedad en el subsuelo, mediante las zonas de bioretención y el pavimento permeable.

Se presentan a continuación los componentes de SuDS considerados pertinentes para el contexto paraguayo, desglosados en fichas técnicas (definición, foto ilustrativa, funciones, beneficios, usos, etc.). Dichos elementos de Infraestructura Verde son posteriormente utilizados en los escenarios urbanísticos propuestos (sección 7.3). El proceso de planificación y diseño de SuDS requiere el acompañamiento de un ingeniero hidrólogo, ya que para calcular las dimensiones correctas en los diferentes componentes se debe considerar el régimen de lluvia, el tipo de suelo, la superficie y los usos de suelo del área contribuyente, además del espacio disponible y características del lugar. No obstante, en cada ficha técnica se han incluido las dimensiones referenciales más relevantes (como superficie, profundidad de agua, talud, etc.), encontradas en la literatura técnica.

7.1.1 Cuneta Verde

Fotos



Fig 1: Arriba: Cuneta verde seca de mayor sección, cubierta con pasto (fuente: <http://prj.geosyntec.com/npsmanual/waterqualityswales.aspx>)
Fig 2: Abajo: Cuneta verde húmeda cubierta de menor sección, cubierta con vegetación (fuente: <https://www.watershedcouncil.org/bioswale.html>)

Definición

Canales lineales anchos y poco profundos a cielo abierto, que son diseñados para recoger y transportar de manera lenta el agua de escorrentía (CIRIA, 2015). Se presenta como una alternativa para reemplazar los canales de drenaje convencionales utilizados para el transporte de aguas pluviales hacia el sistema de drenaje urbano existente o directamente a un cuerpo receptor. Los canales están cubiertos con vegetación verde, generalmente pasto o vegetación característica de humedales, para reducir la velocidad del agua.

Funciones

Sus funciones principales son la retención y transporte de agua de lluvias, pero también contribuye en el pretratamiento. Reemplaza a los tradicionales canales de drenaje compuestos de piedras u hormigón (infraestructura gris)

Tipos

Húmeda: Retiene el agua y se comporta como un humedal lineal. Se recomienda en sitios planos y mal drenados, donde puede generarse la vegetación típica de humedales (Mayor of London, 2016). Las plantas con raíces profundas son las más adecuadas, ya que resisten la fuerza del agua y ayudan a disminuir el flujo de agua (Friends of the Greenbelt, F., 2017).



Seca: Contiene además una base filtrante para permitir que infunda el agua y un sistema de drenaje subterráneo (caño perforado) para evitar anegamiento (Mayor of London, 2016).



Beneficios

Ambiental:

- Reducen el volumen de escorrentía
- Mejoran la calidad del agua
- Aumentan de biodiversidad
- Disminuyen la temperatura del entorno

Urbano y Paisajístico:

- Fáciles de incorporar en el paisaje
- Aportan una mejora a la imagen urbana

Seguridad Vial:

- Protegen a los peatones, ya que actúan como refugio para las personas en el paso de una vereda a otra.

Ubicación

Debe estar cercana al área de generación de la escorrentía (por ejemplo, a lado de una calle asfaltada o una plaza que tenga una superficie impermeable importante)

A lo largo de calles (veredas) y carreteras (CIRIA, 2015), estacionamientos o dentro de espacios públicos abiertos como plazas y parques.

Dimensiones

- Forma trapezoidal, de base ancha (entre 0.5 m y 2 m) o forma parabólica (CIRIA, 2015).
- Pendiente longitudinal suave que logra disminuir la velocidad del agua circulante, para que las partículas en suspensión puedan sedimentarse y no aparezcan problemas de erosiones (Trapote & Fernández, 2016). Se recomienda limitar la pendiente de 0.5% a 6%, y en caso de que supere más que 3% colocar adicionalmente barreras/represas en el fondo del canal (CIRIA, 2015).
- Pendiente del talud suave, teniendo máximo 1V:3H (Trapote & Fernández, 2016).
- Profundidad máxima normalmente entre 40 a 60 cm (CIRIA, 2015).
- Es importante que las dimensiones y la pendiente de la cuneta verde permitan un drenaje eficiente del agua de escorrentía, a fin de evitar la ocurrencia de agua estancada que puede resultar en la proliferación de mosquitos.

7.1.2 Pavimentos permeables

Fotos



Fig 1: Arriba: Sendero con pavimento permeable de grava reforzada (fuente: <https://www.epa.gov/soakuptherain/soak-rain-permeable-pavement>)

Fig 2: Abajo: Estacionamiento con pavimento permeable de adoquines ecologicos (fuente: http://srrcd.ca/wp-content/uploads/2017/05/Unilock_r-xxl-prim-tfs-com-1.36d91248716b912bb5ce86cabcc2394e.jpg)

Definición

Pavimentos compuestos por materiales porosos que admiten el paso de agua a través de su estructura, a la vez que ofrecen el mismo soporte estructural que los pavimentos tradicionales (IMPLAN Hermosillo, 2017). Así mismo, permiten que el agua de lluvia sea captada y retenida en capas subsuperficiales para su posterior infiltración o evacuación de manera controlada, con el fin de reducir el volumen de escorrentías (CIRIA, 2015).

Funciones

Principalmente se enfoca en el control cercano a la fuente y la retención de agua de lluvias, pero también contribuye a la infiltración. Generalmente solo captan la lluvia que cae en la superficie misma. Reemplaza a los tradicionales pavimentos impermeables.

Tipos

Continuo: La infiltración del agua se da a través de toda la superficie, siendo de un material permeable como: asfalto u hormigón poroso, césped y grava reforzada, etc. (Trapote & Fernández, 2016), como se observa en la Fig. 1.

Modular: La superficie de los bloques es de un material impermeable, mientras que los huecos, que son llenados con un material permeable (césped, grava, etc.), y las rendijas permiten la infiltración de agua. Un ejemplo son los adoquines y los adoquines “ecológicos”, como se visualiza en la Fig. 2.

Beneficios

Ambiental:

- Reducen el volumen de escorrentía.
- Aumentan la humedad de suelo necesario para la vegetación urbana.

Urbanismo y Paisajístico

- Permiten el tránsito peatonal y/o vehicular en el área que ocupan (Trapote & Fernández, 2016).
- Fácil integración en áreas densamente pobladas/edificadas.

Ubicación

Estacionamientos, veredas, calles con baja intensidad de tránsito, plazas, zonas peatonales alrededor de edificios, etc. (CIRIA, 2015).

Los pavimentos permeables no son muy efectivos en zonas que reciben mucha escorrentía o sedimentos, por la tendencia a la obstrucción de los poros (IMPLAN Hermosillo, 2017).

Si el objetivo es la infiltración, las características de suelo e hidrología local deben ser adecuadas (Mayor of London, 2016). Por ejemplo, las zonas bajas con suelos impermeables (como arcilla) o un nivel freático cercano a la superficie no son favorables para la infiltración. Se recomienda emplearlos en zonas donde el suelo tiene una capacidad de infiltración de mínimo 1.5 cm por hora (IMPLAN Hermosillo, 2017).

Dimensiones

El espesor de la capa superior (gravas o adoquinados) como del espacio subyacente depende de varios factores (uso, tipo, carga, etc.), por lo cual cada intervención requiere de un diseño específico.

7.1.3 Lagunas de detención y retención

Fotos



Fig 1: Arriba: Laguna de detención (Seco) Fuente: <https://www.highpointnc.gov/731/Best-Management-Practices-BMP-Devices>

Fig 2: Abajo: Laguna de retención (Húmeda) Fuente: <https://www.highpointnc.gov/731/Best-Management-Practices-BMP-Devices>

Definición

Estanques artificiales o depresiones en el paisaje utilizados para el almacenamiento y tratamiento de la escorrentía de agua de lluvia. La diferencia principal entre una laguna de detención y retención es que la primera está diseñada para el almacenamiento temporal del agua de lluvia, mientras que en la segunda el agua se almacena de forma permanente.

Funciones

Sus funciones principales son retención de agua de lluvias y pretratamiento, pero también contribuye en la infiltración, en caso de que el piso de la laguna sea permeable.

Tipos

Detención (“Seca”): Almacenan de forma temporal la escorrentía, por lo que durante la mayor parte del año se encuentran secas. Únicamente durante las lluvias se llena con agua de escorrentía, mientras el vaciado ocurre de manera lenta a través de una estructura de salida hacia un cuerpo de agua receptor o una red de alcantarillado pluvial (CFIA-CR, 2017).

Retención (“Húmeda”): Mantienen el agua de la escorrentía durante un período prologando de tiempo. No hay un proceso de vaciado posterior a cada lluvia, pero si es importante proveer una estructura de salida (aliviadero) para la descarga del exceso de agua de lluvia. Dado que el agua estancada puede resultar en la proliferación de mosquitos, no es apropiada su utilización en áreas residenciales.

Beneficios

Urbanismo y Paisajístico

- Aumenta el valor estético de la zona

Ambiental:

- Retiene un importante volumen de escorrentía
- Mejora la calidad de agua y elimina sedimentos
- Aumenta la biodiversidad, creando un hábitat acuático
- Disminuye la temperatura del entorno

Ubicación

- Se recomienda ubicarlas en sitios donde se acumula o circula un importante volumen de escorrentía. Pueden ser alimentadas con el caudal de los canales de desagüe pluvial o cunetas verdes.
- Plazas y parques urbanos: La laguna de detención representa una oportunidad para un uso múltiple del espacio, combinando con la función recreacional (CIRIA, 2015) en épocas secas.
- Estacionamientos (lagunas de detención compactas).
- Nuevos desarrollos y proyectos de regeneración urbana (CIRIA, 2015).
- Debido a que requieren de mucho espacio, no es factible construirlo en la vereda o en áreas altamente urbanizadas.

Dimensiones

- El dimensionamiento se da principalmente en función del área contribuyente (cuenca) y el volumen de escorrentía a ser recolectada, por lo que cada intervención requiere de un diseño específico realizado por un especialista.
- La profundidad máxima no debe ser mayor a 2 m, y por motivos de seguridad es recomendable optar por una profundidad menor (CIRIA, 2015).
- Las pendientes laterales deben ser suaves. Para áreas con pendientes mayores a 1V:4H, requieren de la construcción de escaleras y pasamanos para asistir a las personas, especialmente en los sistemas que incorporan actividades recreativas (CFIA-CR, 2017).

7.1.4 Humedales artificiales

Fotos



Fig 1: Arriba: Humedal artificial compacto ubicado en el entorno urbano
Fuente: <https://blogs.nottingham.ac.uk/blue-greencities/files/2017/09/Malmo9.jpg>

Fig 2: Abajo: Humedal artificial ubicado en un espacio público
abierto Fuente: <https://webpages.uidaho.edu/larc380/new380/pages/qualityWetlands3.html>

Definición

Son cuerpos de agua pocos profundos, con vegetación abundante y un nivel de agua muy fluctuante (LLFA, 2013), lo cual depende principalmente de la secuencia de épocas lluviosas y secas. Además de la función de retener el agua de lluvia, la alta densidad de vegetación acuática contribuye en la eliminación de contaminantes y actúa como un filtro de los sedimentos. Generalmente hay varias zonas dentro del humedal artificial con diferentes profundidades, de manera a imitar las diferentes funciones de los humedales naturales (CIRIA, 2015).

Funciones

Sus funciones principales son múltiples: retención de agua de lluvias, pretratamiento e infiltración.

Tipos

Los humedales artificiales existen en diferentes formas y entornos. Además, la vegetación acuática varía de acuerdo a la ecoregión y las características del sitio mismo. Dentro de este manual, se diferencia entre humedales artificiales compactos para entornos urbanos y extensos para entornos naturales.

Beneficios

Urbanismo y Paisajístico

- Incrementan el valor estético del paisaje

Ambiental:

- Crean un hábitat acuático de gran valor ecológico.
- Retienen y reducen la escorrentía.
- Mejoran la calidad del agua y eliminan sedimentos.
- Disminuyen la temperatura del entorno.

Ubicación

- Parques y plazas.
- Nuevos desarrollos y proyectos de regeneración urbana.

- Debido a que requieren de gran espacio, no es factible ubicarlos en la vereda o en áreas ya altamente urbanizadas.

Dimensiones

Las siguientes dimensiones son referenciales:

- La relación ideal entre la longitud y el ancho es 4:1 para maximizar la trayectoria de flujo entre entrada y salida (CIRIA, 2015). La superficie está dada principalmente en función al área contribuyente, por lo que se recomienda considerar entre 5% a 15% de la misma (LLFA, 2013). Alrededor del humedal artificial, se recomienda tener una franja de seguridad con un ancho mínimo de 3.5 m. La pendiente de la zona de transición entre dicha franja y la zona acuática debe ser muy suave siendo a lo máximo de 1V:4H (CIRIA, 2015).
- La profundidad recomendada varía en función de las diferentes zonas que existen. Se recomienda que la zona con agua permanente tenga una profundidad máxima de 1.2 m con variaciones de entre 0.6 m y 1 m. Encima del espejo de agua se recomienda tener una profundidad de 0.5 m para el almacenamiento temporal de agua durante lluvias (CIRIA, 2015). En el borde de la zona con agua permanente se inicia una zona de transición gradual hacia el borde con una máxima profundidad de 0.4 m (CIRIA, 2015), facilitando el crecimiento de vegetación ribereña.
- Es importante no compactar el suelo del fondo, de manera a promover la infiltración de agua y facilitar el desarrollo de vegetación acuática (Mayor of London, 2016).

7.1.6 Otros

Techos verdes:

Áreas de vegetación viva instaladas encima de edificaciones para interceptar agua de lluvia (CIRIA, 2015). Su función principal es el control cercano a la fuente, dado que el agua de lluvia se almacena en el suelo del techo y es absorbida por la vegetación, reduciendo así la cantidad de escorrentía vertida a la calle (Molina León, Gutiérrez, & Salazar, 2011). Otro beneficio importante es el aislamiento térmico del edificio mismo, pues contribuye también a disminuir el efecto “isla de calor” en el entorno urbano. Si bien son utilizados generalmente en viviendas y equipamientos públicos o privados, también es posible utilizarlos como parte del espacio público, siendo en este caso accesible para el uso público y cumpliendo además una función recreacional y de ocio (ej. Estacionamiento subterráneo y plaza con áreas verdes al nivel de la calle). Este componente tiene un gran valor en zonas urbanas con un alto índice de impermeabilidad, dado que permiten aumentar considerablemente la superficie verde de vegetación (IMPLAN Hermosillo, 2017).

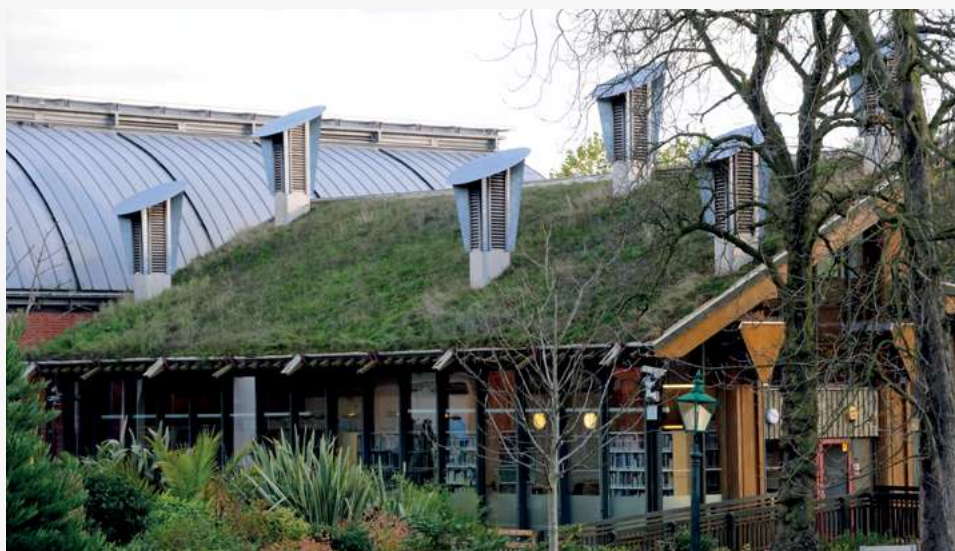


Figura: Techo Verde en el Museo Horniman, Londres
Fuente: Banco de imágenes.

Muros verdes:

Sistemas que permiten el desarrollo de vegetación en superficies verticales, generalmente soportados en paredes exteriores o interiores de edificaciones, aunque pueden ser estructuras independientes con soporte propio (IMPLAN Hermosillo, 2017). Conlleva beneficios similares a los techos verdes, siendo en primer lugar la interceptación del agua de lluvias y el aislamiento térmico, pero también favorecen al aislamiento acústico y a la filtración de contaminación del aire (Molina León, Gutiérrez, & Salazar, 2011).



Figura: (a) Muro verde en el basamento del edificio Yokohama Nomura, (b) Detalle Muro Verde
Fuente: Recuperado de
(a): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yokohama_Nomura_Building_\(Green_wall\)_05.jpg#filelinks](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Yokohama_Nomura_Building_(Green_wall)_05.jpg#filelinks)
(b): https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/86/Green_Wall_Sentier_Claye-Souilly_23.jpg

Aljibes:

Tanques/cisternas para el almacenamiento de agua de lluvia recolectada en techos de edificios o en otras superficies impermeables. La ubicación puede ser tanto subterránea como encima de la superficie (LLFA, 2013). Desde el punto de vista de drenaje urbano, su beneficio principal es retener agua de lluvia, contribuyendo así drásticamente a la reducción de vertida de escorrentía a la calle. Además, la posterior reutilización del agua almacenada para riego o usos domésticos representa también un ahorro importante en uso de agua potable de alta calidad.



Figura: Techo con sistema de recolección y almacenamiento de agua de lluvia en aljibes
Fuente: Karen Stanley

7.2. Arborización urbana

Además del mejoramiento paisajístico, los árboles ofrecen múltiples beneficios al entorno urbano, tales como: provisión de sombra, aumento de la biodiversidad, control de polución del aire, enfriamiento de las islas de calor, provisión de refugio, intercepción de lluvia, barrera acústica, etc. Para proveer los mencionados beneficios, las diferentes especies tienen diferentes potenciales y pocos árboles ofrecen todos los beneficios (TDAG, 2014). Por dicho motivo, al momento de planificar y diseñar un proyecto de arborización urbana, es importante **definir las funciones o servicios ecosistémicos deseados** de los árboles para poder identificar las especies que mejor puedan proveer dichos beneficios. Por ejemplo, si uno de los beneficios esperados es la reducción de la escorrentía de aguas superficiales por la intercepción de la lluvia, un factor importante en el proceso de selección de las especies será su potencial para captar la lluvia, lo cual está vinculado a las características físicas del árbol como la forma y la densidad del follaje (CWP, 2016). Para lograr un resultado holístico, se debe considerar:

- Calidad urbana en el lugar
- Potenciación económica en la zona
- Promoción de la salud y el bienestar
- Conservación de la naturaleza y la conectividad en hábitats naturales
- Vinculación entre la producción local de alimentos y la comunidad
- Pacificación de tráfico
- Manejo de aguas pluviales
- Control de la contaminación del aire
- Enfriamiento y refugio
- Reducción de ruido

Las **condiciones locales** del sitio donde se proyecta la arborización es un segundo factor que influye en la selección de especies (CWP, 2016). Primero, existen los **factores ambientales del sitio**, como el clima y el tipo de suelo, que tienen una gran influencia sobre el crecimiento y la salud de los árboles. Por ende, para un proyecto de arborización, es importante conocer de antemano cuáles son las principales limitaciones para que los árboles puedan sobrevivir en un sitio dado, de manera a tomar estas consideraciones en cuenta al momento de elegir qué especies de árboles son más aptas. Segundo, se deben considerar los **factores relacionados al entorno construido del sitio**, como el espacio disponible para plantar los árboles y eventuales obstáculos para el crecimiento, ya que los árboles en un contexto urbano interactúan con los elementos construidos a distintos niveles, tales como: fachadas de edificios, paso de vehículos, tendido eléctrico, letreros, peatones, y en la parte subterránea, con sistemas de alcantarillado, redes de agua y cableado (CWP, 2016).

Por lo expuesto, queda claro que la selección de especies para un proyecto de arborización en función a los beneficios esperados y a las limitaciones locales es un proceso complejo. Por ende, un análisis detallado de todos los factores que influyen, incluyendo el relevamiento del terreno y la consulta con un especialista en árboles, es primordial para que el proyecto de arborización sea un éxito. En esta sección, se presenta los diferentes factores a tener en cuenta durante el proceso de planificación de un proyecto de Arborización Urbana y la selección de especies.

7.2.1 Características de los árboles

Origen: La ecorregión es un territorio geográfico que presenta cierta homogeneidad de la flora, fauna, clima y de los suelos (Naumann & Coronel, 2008). El Paraguay cuenta con 11 ecorregiones, de las cuales 6 están ubicadas en la Región Oriental y 5 en la Región Occidental (Resolución MADES N° 614/13, 2013). El mapa de la **FIGURA 18** muestra las ecorregiones del país.

Ya que las ecorregiones se caracterizan por tener especies típicas de animales y plantas, es fundamental promover el cultivo de especies arbóreas nativas de la región, pues sus bondades son mayores a las de las especies exóticas, contribuyendo a preservar la biodiversidad de una zona específica y ofrecer alimento y refugio a una innumerable cantidad de especies de aves e insectos. Además, se adaptan mejor al clima local, son de fácil cultivo y propagación, y son más resistentes a las plagas y enfermedades (MDU, 2015). En general, las especies nativas requieren menor mantenimiento (CWP, 2016). La **TABLA 3** presenta la clasificación de las especies arbóreas recomendadas para las ecorregiones de la Región Oriental, mientras que la **TABLA 4** presenta las especies recomendadas para la Región Occidental, dando énfasis a la selección de especies nativas.

Legenda

- Límite internacional
- ▭ Límite departamental
- ▭ Límite Cuenca

Ecorregiones

- Aquidabán
- Amambay
- Alto Paraná
- Selva Central
- Litoral Central
- Ñeembucú
- de los Médanos
- del Cerrado
- del Pantanal
- del Chaco Húmedo
- del Chaco Seco

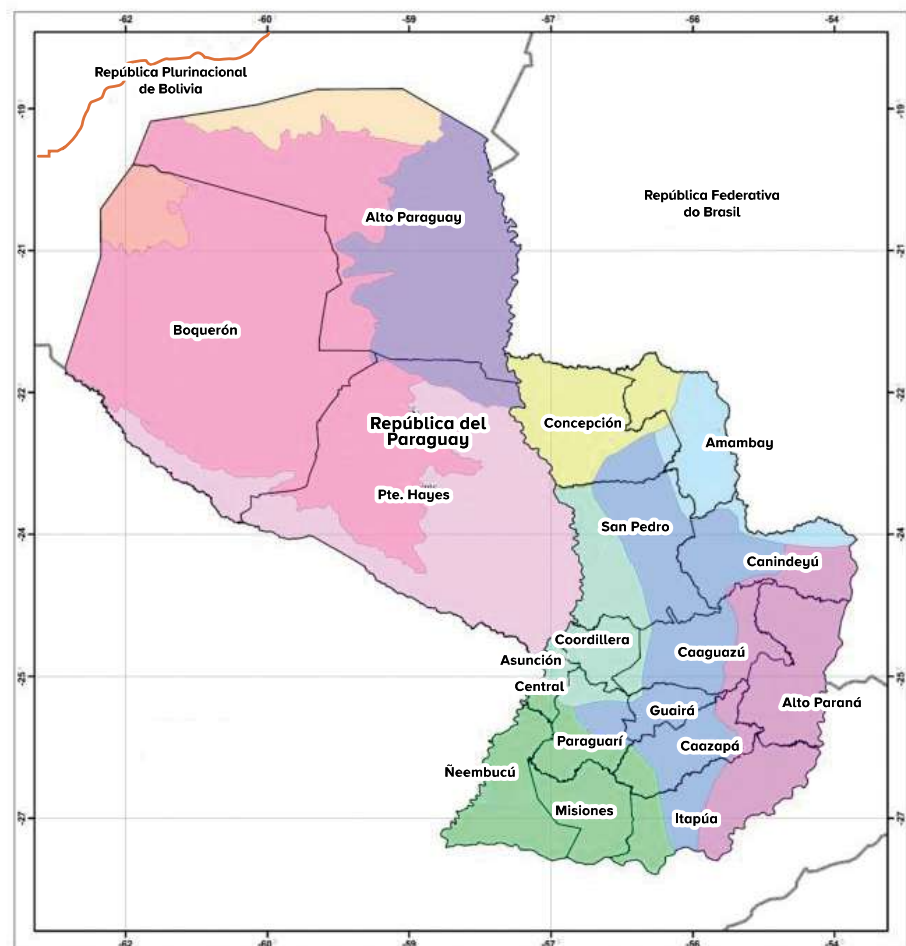


FIGURA 18: Ecorregiones del Paraguay.

Fuente: Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES)

Ecorregión Aquidabán	
Nombre Común	Nombre Científico
Guajayvi cerrado	<i>Terminalia argentea</i> Mart. & Zucc.
Inciense colorado	<i>Myroxylon peruiferum</i> L. f.
Jata'i guasu	<i>Attalea phalerata</i> Mart. ex Spreng.
Karaja vóla	<i>Talisia esculenta</i> (Cambess.) Radlk.
Karóvarã	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.
Lapacho amarillo, Tajy sa'yju	<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos
Palo blanco	<i>Calycophyllum multiflorum</i> Griseb.
Palo rosa	<i>Aspidosperma pyriforme</i> Mart. & Zucc.
Paratodo	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore
Quebrachillo	<i>Athyana weinmanniifolia</i> (Griseb.) Radlk.
Samu'ũ pytã	<i>Ceiba speciosa</i> A. St.-Hil. ex Brako
Tajy morotĩ	<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sandwith
Tajy pytã	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos
Trébol	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.
Tupã ñandy	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook. f.
Urunde'y para morotĩ	<i>Astronium fraxinifolium</i> var. <i>glabrum</i> Engl.
Ysapy'y pytã	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel
Yvyra hy'a	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.
Yvyra'yjúi	<i>Acosmium subelegans</i> (Mohlenbr.) Yakovlev
Ecorregión Amambay	
Nombre Común	Nombre Científico
Aratiku guasu	<i>Annona cacans</i> Warm.
Jaquitiba, Ka'i ka'ygua	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze
Jata'i	<i>Butia paraguayensis</i> (Barb. Rodr.) L.H. Bailey
Jata'yva	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne
Kupa'y	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.
Kuruñái	<i>Guibourtia chodatiana</i> (Hassl.) J. Léonard
Kurupa'y morosyvõ	<i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg.
Lorito pysã	<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.
Mandyju'i	<i>Cochlospermum regium</i> (Schrank) Pilg.
Morosyvõ	<i>Lafoensia vandelliana</i> Cham. & Schltl.
Paineira	<i>Eriotheca gracilipes</i> (K. Schum.) A. Robyns
Palo vino	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.
Paratodo	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore
Pequí o nuez souari	<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.
Peróva	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg.
Pimienta paraguay	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.
Quebracho falso	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.
Tajy morotĩ	<i>Tabebuia roseo-alba</i> (Ridl.) Sandwith
Trébol	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.
Yvyra katu	<i>Xylopia brasiliensis</i> Spreng.
Yvyraovi	<i>Helietta apiculata</i> Benth.

Ecorregión Alto Paraná	
Nombre Común	Nombre Científico
Aguai	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.
Aju'y morotĩ	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees & Mart.
Amba'y guasu	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch.
Cedro, Ygary	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.
Guatambu, Yvyra ñetĩ	<i>Balfourodendron riedelianum</i> (Engl.) Engl.
Incienso, Yvyra paje	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão
Jagua rata'y para	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.
Jaquitiba, Ka'ĩ ka'ygua	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze
Ka'a vusu, Yvyra Kokuere	<i>Dahlstedtia muehlbergiana</i> (Hassl.) M.J. Silva & A.M.G. Azevedo
Ka'aovetĩ morotĩ	<i>Luehea candicans</i> Mart.
Ka'aovetĩ pytã	<i>Luehea divaricata</i> Mart.
Katigua guasu	<i>Trichilia clausenii</i> C. DC.
Katigua pytã	<i>Trichilia catigua</i> A. Juss.
Laurel canela	<i>Cinnamomum triplinerve</i> (Ruiz & Pav.) Kosterm.
Loro blanco	<i>Bastardiopsis densiflora</i> (Hook. & Arn.) Hassl.
Mbavy	<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.
Ñangapiry	<i>Eugenia uniflora</i> L.
Omburã	<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.
Palmito	<i>Euterpe edulis</i> Mart.
Pata de buey	<i>Bauhinia forficata</i> Link ssp. pruinosa
Pindo	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman
Pinorã	<i>Aralia warmingiana</i> (Marchal) J. Wen
Pirero	<i>Picrasma crenata</i> (Vell.) Engl.
Pykasu rembi'u	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.
Tajy hũ	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos
Tajy sa'yju	<i>Handroanthus albus</i> (Cham.) Mattos
Tapi'aguasu'y	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.
Yrupẽ rupa, Karaja vóla	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.
Yvyra pẽpẽ	<i>Holocalyx balansae</i> Micheli
Yvyra pytã	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.
Ecorregión Selva Central	
Nombre Común	Nombre Científico
Cedrillo	<i>Trichilia pallida</i> Sw.
Cedro, Ygary	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.
Guajayví	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S. Mill.
Guaviju	<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. Legrand
Guavira pytã	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> Mart. ex O. Berg
Jagua rata'y para	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.
Kokũ	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess.) Hieron. ex Niederl.
Laurel hũ	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez
Mbavy	<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.
Ñandypa'i	<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C. Burger, Lanj. & Wess. Boer
Pata de buey	<i>Bauhinia forficata</i> Link ssp. pruinosa

Peterevy hũ	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.
Quebracho blanco falso	<i>Cyclolobium brasiliense</i> Benth.
Tajy hũ	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos
Taperyva guasu	<i>Sweetia fruticosa</i> Spreng.
Tupã ñandy	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook. f.
Urundey mi	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão
Yva poroity	<i>Plinia rivularis</i> (Cambess.) Rotman
Yvyra ju	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart
Yvyra kamby	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.
Yvyra piũ, Maria preta	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.
Yvyra pytã	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.
Yvyra ysy	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand
Ecorregión Litoral Central	
Nombre Común	Nombre Científico
Aguai	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.
Aguai guasu	<i>Pouteria glomerata</i> (Miq.) Radlk.
Aratiku	<i>Annona neosalicifolia</i> H. Rainer
Asuka revire	<i>Cordia sessilis</i> (Vell.) Kuntze
Burro ka'a	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.
Casita	<i>Sapindus saponaria</i> L.
Cedrillo	<i>Trichilia pallida</i> Sw.
Ceibo	<i>Erythrina crista-galli</i> L.
Guajayvi	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S. Mill.
Guaviju	<i>Myrcianthes pungens</i> (O. Berg) D. Legrand
Guavira pytã	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> Mart. ex O. Berg
Inga'i	<i>Inga laurina</i> (Sw.) Willd.
Jacarandá, Karóva	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don.
Kamba akã	<i>Guasuma ulmifolia</i> Lam.
Kangorosa	<i>Monteverdia ilicifolia</i> (Mart. ex Reissek) Biral
Katigua pytã	<i>Trichilia catigua</i> A. Juss.
Kokũ	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil., A. Juss. & Cambess. Hieron. ex Niederl.
Laurel hũ	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez
Manaka	<i>Brunfelsia australis</i> Benth.
Ñandypa guasu	<i>Genipa americana</i> L.
Ñangapiry	<i>Eugenia uniflora</i> L.
Ombu	<i>Phytolacca dioica</i> L.
Pakuri	<i>Garcinia brasiliensis</i> Mart.
Pakuri guasu	<i>Salacia elliptica</i> (Mart.) G. Don
Petereby morotĩ	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) A. DC.
Sapirangy	<i>Tabernaemontana catharinensis</i> A. DC.
Sibipiruna	<i>Poincianella pluviosa</i> (DC.) L.P. Queiroz
Tajy hovy	<i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.
Taruma	<i>Vitex megapotamica</i> (Spreng.) Moldenke
Tatarẽ	<i>Chloroleucon tenuiflorum</i> (Benth.) Barneby & J.W. Grimes
Timbo	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong
Villetana	<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.
Yvahái	<i>Eugenia myrcianthes</i> Nied.
Yvaporoit	<i>Plinia rivularis</i> (Cambess.) Rotman

Yvapovõ	<i>Melicoccus lepidopetalus</i> Radlk.
Yvapurũ	<i>Plinia trunciflora</i> (O. Berg) Kausel
Yvyra ju	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart
Yvyra pytã	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.
Ecorregión Ñeembucú	
Nombre Común	Nombre Científico
Arary	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.
Aratiku'i	<i>Annona emarginata</i> (Schltdl.) H. Rainer
Espinillo	<i>Annona emarginata</i> (Schltdl.) H. Rainer
Guajayvi sa'yju	<i>Terminalia triflora</i> (Griseb.) Lillo
Inga guasu	<i>Inga uraguensis</i> Hook. & Arn.
Jata'i	<i>Butia paraguayensis</i> (Barb. Rodr.) L.H. Bailey
Kurupika'y	<i>Sapium haemospermum</i> Müll. Arg.
Laurel hũ	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez
Lavón, Palo cruz	<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb.
Mbokaja	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.
Yvyra ita, Palo piedra	<i>Diplokeleba floribunda</i> N.E. Br.
Quebracho blanco	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schltdl.
Quebracho colorado	<i>Schinopsis balansae</i> Engl.
Sapirangy	<i>Tabernaemontana catharinensis</i> A. DC.
Tajy hũ	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos
Tembetary morotĩ	<i>Zanthoxylum petiolare</i> A.St.-Hil.
Urundey picha ĩ	<i>Astronium balansae</i> Engl.
Yvyra puku	<i>Salix humboldtiana</i> Willd.
Yvyra pytã	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.

TABLA 3: Especies arbóreas por ecorregiones de la Región Oriental

Fuente: Tablas elaboradas por Lidia Pérez de Molas, Germán González, Víctor Escurra e Irene Gauto

Ecorregión Médanos	
Nombre común	Nombre científico
Gũãĩgũĩ pire	<i>Salta triflora</i> (Griseb.) ADR. Sánchez
Indio kurupa'y	<i>Ximenia americana</i> var. <i>argentinensis</i> De Filippis
Jacarandá, Karóva	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart. ex A. DC.
Koronillo	<i>Schinopsis lorentzii</i> (Griseb.) Engl.
Lavón, Palo cuz	<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb.
Mistol, mbokaja'i	<i>Sarcomphalus mistol</i> (Griseb.) Hauenschild
Palo borracho, samu'ũ morotĩ	<i>Ceiba chodatii</i> (Hassl.) Ravenna
Palo papel	<i>Cochlospermum tetraporum</i> Hallier f.
Paratodo	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore
Quebracho blanco	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schltdl.
Urunde'y boli	<i>Schinopsis cornuta</i> Loes. ex Herzog
Ecorregión Cerrado	
Nombre común	Nombre científico
Guajayvi cerrado	<i>Terminalia argentea</i> Mart. & Zucc.
Jacarandá, Karóva	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart. ex A. DC.
Kurupa'y kuru	<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul
Palo lanza	<i>Phyllostylon rhamnoides</i> (J. Poiss.) Taub.

Palo rosa	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.
Paratodo	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore
Samu'ũ marrón	<i>Pseudobombax tomentosum</i> (Mart.) Robyns
Tajy pytä	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos
Tasaá	<i>Acosmium cardenasii</i> H.S. Irwin & Arroyo
Urunde'y boli	<i>Schinopsis cornuta</i> Loes. ex Herzog
Yvyra hy'a	<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.
Ecorregión Pantanal	
Nombre común	Nombre científico
Güãgũĩ pire	<i>Salta triflora</i> (Griseb.) Adr. Sánchez
Guaikuru manduvi	<i>Geoffroea spinosa</i> Jacq.
Guajayvirai	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Roem. & Schult.) T.D. Penn.
Guayakán	<i>Libidibia paraguariensis</i> (D. Parodi) G.P. Lewis
Indio kurupa'y	<i>Ximenia americana</i> var. <i>argentinensis</i> De Filippis
Inga guasu	<i>Inga uraguensis</i> Hook. & Arn.
Kamba akã,	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam. var. <i>tomentella</i> K. Schum.
Karanda'y	<i>Copernicia alba</i> Morong
Lavón, Palo cruz	<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb.
Mistol, mbokaja'i	<i>Sarcomphalus mistol</i> (Griseb.) Hauenschild
Palo rosa	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> C. Mart.
Quebracho colorado	<i>Schinopsis balansae</i> Engl.
Samu'ũ	<i>Ceiba samauma</i> (Mart.) Schumann
Saucillo, Yva he'ë	<i>Acanthosyris falcata</i> (Mart. & Eich.) Griseb.
Villetana	<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.
Yvyra ita, Palo hierro	<i>Muelleria nudiflora</i> (Burkart) M.J. Silva & A.M.G. Azevedo
Yvyra kachi, vyvra morotĩ	<i>Muelleria sericea</i> (Micheli) M.J. Silva & A.M.G. Azevedo
Ecorregión Chaco Húmedo	
Nombre común	Nombre científico
Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba</i> Griseb.
Algarrobo negro	<i>Prosopis nigra</i> (Griseb.) Hieron.
Algarrobo, Algarrobo paraguayo	<i>Prosopis hassleri</i> Harms
Aromita	<i>Vachellia caven</i> (Molina) Seigler & Ebinger
Francisco Álvarez	<i>Banara arguta</i> Briq.
Guajayvi sa'yju	<i>Terminalia triflora</i> (Griseb.) Lillo
Guayakán	<i>Libidibia paraguariensis</i> (D. Parodi) G.P. Lewis
Inga guasu	<i>Inga uraguensis</i> Hook. & Arn.
Karanda'y	<i>Copernicia alba</i> Morong
Kurupa'yrã	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan
Lavón, Palo cruz	<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb.
Manduvirã	<i>Geoffroea spinosa</i> Jacq.
Ñandyapa	<i>Genipa americana</i> L.
Palo lanza	<i>Phyllostylon rhamnoides</i> (J. Poiss.) Taub.
Paratodo	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore
Pindo	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman
Quebracho colorado	<i>Schinopsis balansae</i> Engl.

Tataré	<i>Chloroleucon tenuiflorum</i> (Benth.) Barneby & J.W. Grimes
Timbó blanco, Timbo'y	<i>Albizia inundata</i> (Mart.) Barneby & J.W. Grimes
Jakare pito	<i>Phyllanthus chacoensis</i> Morong
Yvapovõ	<i>Melicoccus lepidopetalus</i> Radlk.
Yvyra ita, Yvyra ita, Palo piedra	<i>Diplokeleba floribunda</i> N.E. Br.
Yvyra kachi	<i>Muelleria sericea</i> (Micheli) M.J. Silva & A.M.G. Azevedo
Yvyra pytã	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.
Ecorregión Chaco Seco	
Nombre común	Nombre científico
Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba</i> Griseb.
Chañar	<i>Geoffroea decorticans</i> (Gillies ex Hook. & Arn.) Burkart
Gũãĩgũĩ pire	<i>Salta triflora</i> (Griseb.) Adr. Sanchez
Guajakán	<i>Libidibia paraguariensis</i> (D. Parodi) G.P. Lewis
Guajayvirai	<i>Sideroxylon obtusifolium</i> (Humb. ex Roem. & Schult.) T.D. Penn.
Indio kurupa'y	<i>Ximenia americana</i> var. <i>argentinensis</i> DeFilippis
Jacarandá, Karóva	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart. ex A. DC.
Koronillo	<i>Schinopsis lorentzii</i> (Griseb.) Engl.
Kurupay kuru	<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul
Lavón	<i>Tabebuia nodosa</i> (Griseb.) Griseb.
Mistol	<i>Sarcomphalus mistol</i> (Griseb.) Hauenschild
Mora, Tata jyva	<i>Maclura mora</i> Griseb.
Palo blanco	<i>Calycophyllum multiflorum</i> Griseb.
Palo borracho, samu'ũ morotĩ	<i>Ceiba chodatii</i> (Hassl.) Ravenna
Palo lanza	<i>Phyllostylon rhamnoides</i> (J. Poiss.) Taub.
Palo papel	<i>Cochlospermum tetraporum</i> Hallier f.
Palo rosa	<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart. & Zucc.
Palo santo	<i>Gonopterodendron sarmiento</i> (Lorentz ex Griseb.) A.C. Godoy-Bürki
Paratodo	<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore
Pata de buey'i	<i>Chloroleucon chacoense</i> (Burkart) Barneby & J.W. Grimes
Quebracho blanco	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Schltld.
Samu'ũ	<i>Ceiba samauma</i> (Mart.) K. Schum.
Saucillo, Yva he'ẽ	<i>Acanthosyris falcata</i> (Mart. & Eich.) Griseb.
Tajy pytã	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos
Trébol	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.
Tuna	<i>Opuntia quimilo</i> K. Schum.
Tuna	<i>Quiabentia verticillata</i> (Vaupel) Borg
Urunde'y boli	<i>Schinopsis cornuta</i> Loes. ex Herzog
Urunde'y para morotĩ	<i>Astronium fraxinifolium</i> var. <i>glabrum</i> Engl.
Verde Olivo	<i>Parkinsonia praecox</i> (Ruiz & Pav. ex Hook.) Hawkins
Yvyra ita, Yvyra ita, Palo piedra	<i>Diplokeleba floribunda</i> N.E. Br.

TABLA 4: Especies arbóreas por ecorregiones de la Región Occidental

Fuente: Tablas elaboradas por Lidia Pérez de Molas, Germán González, Víctor Escurra e Irene Gauto

Altura:

La altura típicamente varía entre 2 m y 25 m según la especie (Hirons & Sjöman, 2019). La altura es una característica importante del árbol en relación con su potencial de generar sombra, como por ejemplo en las veredas de calles y las plazas, así como en el enfriamiento del entorno. Cuanto más alto sea el árbol, mayor será la superficie potencialmente alcanzada por su sombra. La **TABLA 5** presenta una categorización de las especies según su altura, diferenciando entre árboles pequeños (menos de 6 m), medianos (6 m a 15 m) y de gran porte (más de 15 m) de acuerdo con lo propuesto por Beytía (2012).

Pequeño	Mediano	Gran porte
Aratiku'i (<i>Annona emarginata</i>)	Ñandypa guasu (<i>Genipa americana</i>)	Yvyra ju (<i>Albizia niopoides</i>)
Sibiruna (<i>Poincianella pluviosa</i>)	Guavira pytã (<i>Campomanesia xanthocarpa</i>)	Guajayvi (<i>Cordia americana</i>)
Ceibo (<i>Erythrina crista-galli</i>)	Burro ka'a (<i>Casearia sylvestris</i>)	Timbo (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)
Ñangapiry (<i>Eugenia uniflora</i>)	Petereby morotĩ (<i>Cordia glabrata</i>)	Guatambu (<i>Balfourodendron riedelianum</i>)
Casita (<i>Sapindus saponaria</i>)	Inga'i (<i>Inga laurina</i>)	Aguai guasu (<i>Pouteria glomerata</i>)
Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)	Yva poroity (<i>Plinia rivularis</i>)	Laurel hũ (<i>Ocotea diospyrifolia</i>)
Pata de buey (<i>Bauhinia forficata ssp. pruinosa</i>)	Villetana (<i>Triplaris gardneriana</i>)	Urunde'y para morotĩ (<i>Astronium fraxinifolium var. glabrum</i>)
Kokũ (<i>Allophylus edulis</i>)	Guaviju (<i>Myrcianthes pungens</i>)	Tajy hũ (<i>Handroanthus heptaphyllus</i>)
Katigua pytã (<i>Trichilia catigua</i>)	Taruma (<i>Vitex megapotamica</i>)	Jacarandã (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)
Yvapuru (<i>Plinia trunciflora</i>)	Ombu (<i>Phytolacca dioica</i>)	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)
Sapirangy (<i>Tabernaemontana catharinensis</i>)	Kamba akã guasu (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	Inga Guasu (<i>Inga uraguensis</i>)
Saucillo (<i>Acanthosyris falcata</i>)	Algarrobo blanco (<i>Prosopis alba</i>)	Kurupay kuru (<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>)
Timbó blanco (<i>Albizia inundata</i>)	Kuruñái (<i>Guibourtia chodatiana</i>)	Yvapovõ (<i>Melicoccus lepidopetalus</i>)
Kokũ (<i>Allophylus edulis</i>)	Samu'ũ pytã (<i>Ceiba speciosa</i>)	Yvyra pytã (<i>Peltophorum dubium</i>)
Jata'i (<i>Butia paraguayensis</i>)	Trébol (<i>Amburana cearensis</i>)	Peterevy hũ (<i>Cordia trichotoma</i>)
Manaka (<i>Brunfelsia australis</i>)	Tatarẽ (<i>Chloroleucon tenuiflorum</i>)	Ka'aovetĩ pytã (<i>Luehea divaricata</i>)
	Manduvira (<i>Geoffroea spinosa</i>)	Quebracho colorado (<i>Schinopsis balansae</i>)
	Ka'aovetĩ morotĩ (<i>Luehea candican</i>)	Trébol (<i>Amburana cearensis</i>)

TABLA 5: Especies arbóreas categorizadas según altura

Fuente: Elaborado por Víctor Ecurra, Irene Gauto, Germán González y Lidia Pérez de Molas

Se recomienda plantar especies grandes donde es posible hacerlo de acuerdo con las características del espacio disponible, dado que la experiencia ha demostrado que dan el mejor beneficio para los diferentes servicios ecosistémicos que cumplen los árboles (Hirons & Sjöman, 2019).

Forma de la copa:










Esta característica juega un rol importante en el diseño de un proyecto de arborización y afecta en cómo el árbol va a interactuar con su entorno (Hirons & Sjöman, 2019), tanto con la vegetación y la infraestructura existente, como con el usuario que utiliza el espacio alrededor. Por ejemplo, si la función deseada es proveer sombra, la forma esférica de la copa es la más efectiva. La **FIGURA 19** presenta diferentes formas de la copa del árbol.



FIGURA 19: Tipos de formas de la copa del árbol.

Fuente: Beytía, Hernández, Musalém, Prieto, & Saldías, 2012

En la práctica, la forma del árbol obtenida puede ser diferente a la inicialmente esperada, dado que existen diversos factores, tales como: la poda, el clima y los obstáculos en el entorno, que influyen en el proceso de crecimiento de las ramas, y, por ende, la forma de la copa (Beytía et al., 2012). A modo de referencia, la **TABLA 6** muestra la categorización de las especies según la forma de la copa.

Palmiforme	Esférica	Cónica	Columnar	Extendida	Pendular	Ovoidal	Abanico	Irregular
								
Jata'i guasu (<i>Attalea phalerata</i>)	Yvapovõ (<i>Melicoccus lepidopetalus</i>)	Urunde'y para morotĩ (<i>Astronium fraxinifolium var glabrum</i>)	Mbavy (<i>Casearia gossypiosperma</i>)	Algarrobo blanco (<i>Prosopis alba</i>)	Quebracho blanco (<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>)	Lapacho amarillo (<i>Handroanthus ochraceus</i>)	Yvyra ju (<i>Albizia niopoides</i>)	Tajy pytã (<i>Handroanthus impetiginosus</i>)
Jata'i (<i>Butia paraguayensis</i>)	Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)			Tatarẽ (<i>Chloroleucon tenuiflorum</i>)		Villetana (<i>Triplaris gardneriana</i>)		Tajy hũ (<i>Handroanthus heptaphyllus</i>)
Pindo (<i>Syagrus romanzoffiana</i>)	Yva poroity (<i>Plinia rivularis</i>)			Algarrobo negro (<i>Prosopis nigra</i>)		Urunday picha ï (<i>Astronium balansae</i>)		Pinorã (<i>Aralia warmingiana</i>)
Mbokaja (<i>Acrocomia aculeata</i>)	Ñangapiry (<i>Eugenia uniflora</i>)			Kurupa'y kuru (<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>)				
Palmito (<i>Euterpe edulis</i>)	Guajayvi (<i>Cordia americana</i>)			Kurupa'y morosyvõ (<i>Anadenanthera peregrina</i>)				
Karanda'y (<i>Copernicia alba</i>)	Ceibo (<i>Erythrina crista-galli</i>)			Quebracho colorado (<i>Schinopsis balansae</i>)				
	Kokũ (<i>Allophylus edulis</i>)							

Fuente: Elaborado por Germán González e Irene Gauto



TABLA 6: Especies arbóreas categorizadas según la forma de la copa

Densidad y tipo del follaje:

La densidad de las hojas y ramas, en conjunto con la forma de la copa, influyen en el potencial que tiene el árbol en proveer sombra y refugio al entorno directo, y en la eficiencia de la intercepción de la lluvia (Hirons & Sjöman, 2019). Además, un follaje tupido resulta en una mayor intercepción de la radiación y, por ende, en la disminución de la temperatura. Sin embargo dependiendo del objetivo y del lugar de plantación un follaje ligero o moderado puede ayudar a una mejor aireación y permite el crecimiento del pasto y otras plantas por debajo del árbol. Se propone una categorización de las especies de árboles según la densidad del follaje de acuerdo a lo establecido por Beytía (2012):

- Ligera: follaje transparente permitiendo el paso de luz
- Moderada: follaje semitransparente permitiendo parcialmente el paso de luz
- Densa: follaje denso que impide el paso de la luz

La **TABLA 7** presenta la categorización de las especies relevantes para el contexto paraguayo:

Ligera	Moderada	Densa
Kokū (<i>Allophylus edulis</i>)	Sibipiruna (<i>Poinciana pluviosa</i>)	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)
Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)	Pata de buey (<i>Bauhinia forficata ssp. pruinosa</i>)	Burro ka'a (<i>Casearia sylvestris</i>)
Casita (<i>Sapindus saponaria</i>)	Guavira pytä (<i>Campomanesia xanthocarpa</i>)	Timbo (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)
Ceibo (<i>Erythrina crista-galli</i>)	Guatambu (<i>Balfourodendron riedelianum</i>)	Agua'i (<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>)
Villetana (<i>Triplaris gardneriana</i>)	Kurupay kuru (<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>)	Inga Guasu (<i>Inga uraguensis</i>)
Yvyra ju (<i>Albizia niopoides</i>)	Yvyra pytä (<i>Peltophorum dubium</i>)	Yvapovö (<i>Melicoccus lepidopetalus</i>)
Algarrobo blanco (<i>Prosopis alba</i>)	Tajy hü (<i>Handroanthus heptaphyllus</i>)	Urunde'y para morotĩ (<i>Astrotium fraxinifolium var. glabrum</i>)
Sapirangy (<i>Tabernaemontana catharinensis</i>)	Ombu (<i>Phytolacca dioica</i>)	Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)
Amba'y guasu (<i>Didymopanax morototoni</i>)	Petereby morotĩ (<i>Cordia glabrata</i>)	Guajayvi (<i>Cordia americana</i>)
Verde Olivo (<i>Parkinsonia praecox</i>)	Kamba akã guasu (<i>Guasuma ulmifolia</i>)	Ñandypa guasu (<i>Genipa americana</i>)
	Kuruñái (<i>Guibourtia chodatiana</i>)	Guaviju (<i>Myrcianthes pungens</i>)
	Samu'ũ pytä (<i>Ceiba speciosa</i>)	Taruma (<i>Vitex megapotamica</i>)
	Yvapuru (<i>Plinia trunciflora</i>)	Katigua pytä (<i>Trichilia catigua</i>)
	Aratiku'i (<i>Annona emarginata</i>)	Yva poroity (<i>Plinia rivularis</i>)
	Trébol (<i>Amburana cearensis</i>)	Inga'i (<i>Inga laurina</i>)
	Manduvira (<i>Geoffroea striata</i>)	Tatarë (<i>Chloroleucon tenuiflorum</i>)

TABLA 7: Especies arbóreas categorizadas según la densidad del follaje

Fuente: Elaborado por Víctor Ecurra, Germán González e Irene Gauto

Además de los diferentes grados de densidad es importante diferenciar entre los tipos de follaje. Existen especies de hoja caduca, semicaduca y perenne. Éste último tiene la ventaja de proveer sombra y refugio durante todo el año, además de mantener un aspecto visual atractivo en el paisaje urbano. La **TABLA 8** presenta la clasificación de las especies de acuerdo con la caducidad del follaje.

Caduca	Semicaduca	Perenne
Lapacho amarillo (<i>Handroanthus ochraceus</i>)	Yvyra pytä (<i>Peltophorum dubium</i>)	Yvapovö (<i>Melicoccus lepidopetalus</i>)
Yvyra ju (<i>Albizia niopoides</i>)	Tajy hü (<i>Handroanthus heptaphyllus</i>)	Tapi'aguasu'y (<i>Alchornea triplinervia</i>)
Saucillo (<i>Acanthosyris falcata</i>)	Kokū (<i>Allophylus edulis</i>)	Manaka (<i>Brunfelsia australis</i>)
Timbó blanco (<i>Albizia inundata</i>)	Quebracho colorado (<i>Schinopsis balansae</i>)	Yvapuru (<i>Plinia trunciflora</i>)
Trébol (<i>Amburana cearensis</i>)	Sibipiruna (<i>Poinciana pluviosa</i>)	Inga'i (<i>Inga laurina</i>)
Kurupa'y kuru (<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>)	Aguai (<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>)	Ñandypa guasu (<i>Genipa americana</i>)
Kurupa'y morosyvö (<i>Anadenanthera peregrina</i>)		Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)
Urunde'y para morotĩ (<i>Astrotium fraxinifolium var. glabrum</i>)		Cangorosa (<i>Monteverdia ilicifolia</i>)

TABLA 8: Especies arbóreas categorizadas según la caducidad del follaje

Fuente: Elaborado por Germán González e Irene Gauto



FIGURA 20: Tipo y densidad del follaje de diferentes especies arbóreas

Fuente: Banco de imágenes

Velocidad de crecimiento:

Lo deseable es que árboles puedan crecer y desarrollarse rápidamente, para así obtener lo antes posible las funciones y beneficios asociados a los mismos. No obstante, para los nuevos proyectos de arborización se necesita mucho tiempo antes de que los árboles alcancen sus dimensiones finales. Por ello, es importante tener en cuenta los tiempos de crecimiento durante la etapa de diseño. Se propone una categorización del crecimiento de las especies, siendo **rápido** (5 a 15 años), **medio** (15 a 25 años) y **lento** (más de 25 años) de acuerdo con Beytía (2012), presentado en la **TABLA 9** las especies relevantes en el contexto paraguayo:

Rápido	Medio	Lento
Sibipiruna (Poincianella pluviosa)	Casita (Sapindus saponaria)	Pakuri (Garcinia brasiliensis)
Ceibo (Erythrina crista-galli)	Tajy hũ (Handroanthus heptaphyllus)	Guavira pytã (Campomanesia xanthocarpa)
Villetana (Triplaris gardneriana)	Ombu (Phytolacca dioica)	Taruma (Vitex megapotamica)
Yvyra ju (Albizia niopoides)	Petereby morotĩ (Cordia glabrata)	Samu'ũ pytã (Ceiba speciosa)
Guatambu (Balfourodendron riedelianum)	Kamba akã guasu (Guasuma ulmifolia)	Aguai guasu (Pouteria glomerata)
Kurupa'y kuru (Anadenanthera colubrina var. cebil)	Kuruñái (Guibourtia chodatiana)	Palo santo (Gonopterodendron sarmiento)
Yvyra pytã (Peltophorum dubium)	Algarrobo blanco (Prosopis alba)	Yvapuruũ (Plinia trunciflora)
Cedro (Cedrela fissilis)	Aratiku (Annona neosalicifolia)	Trébol (Amburana cearensis)
Inga'i (Inga laurina)	Yvapovõ (Melicoccus lepidopetalus)	Aguai (Chrysophyllum gonocarpum)
Timbo (Enterolobium contortisiliquum)	Inga Guasu (Inga uraguensis)	
Petereby hũ (Cordia trichotoma)	Ñandypa guasu (Genipa americana)	
Sapirangy (Tabernaemontana catharinensis)	Guaviju (Myrcianthes pungens)	
Tatarẽ (Chloroleucon tenuiflorum)	Katigua pytã (Trichilia catigua)	
Kokũ (Allophylus edulis)	Yva poroity (Plinia rivularis)	
Tapi'aguasu'y (Alchornea triplinervia)	Guajayvi (Cordia americana)	
Urunday para morotĩ (Astronium fraxinifolium var. glabrum)	Pata de buey (Bauhinia forficata ssp. pruinosa)	
	Laurel hũ (Ocotea diospyrifolia)	
	Yvapuruũ (Plinia trunciflora)	
	Manduvira (Geoffroea spinosa)	

TABLA 9: Especies arbóreas categorizadas según velocidad de crecimiento

Fuente: Elaborado por Víctor Ecurra, Irene Gauto, Germán González y Lidia Pérez de Molas

7.2.2 Limitaciones ambientales del sitio

Clima:

Uno de los factores más determinantes para la selección de las especies arbóreas es el clima. Una caracterización mínima del clima (comportamiento de la temperatura en las diferentes estaciones, lluvia mensual y anual, ocurrencia de heladas, dirección del viento, etc.) es necesaria para identificar las especies de árboles que se adecuan al sitio de intervención. Generalmente, los árboles nativos están mejor adaptados al clima local (Markham, 2009). Además, es importante considerar que, debido al entorno urbano, las condiciones en el sitio de intervención pueden ser diferentes a las características del clima vigente en la región (Hirons & Sjöman, 2019). El paisaje urbano puede generar un microclima con sus propios extremos, por ejemplo, a raíz del calor reflejado del asfalto y concreto, de los flujos de viento en el espacio comprendido entre los edificios alineados a lo largo de una calle, del reflejo de luz y sombra de edificios, etc. (Markham, 2009).

En Paraguay existen tres tipos de climas (Ver **FIGURA 21**): Sabana tropical con invierno seco (Aw), Semiárido (Estepa) cálido todo el año (Bsh) y clima templado, sin estación seca y verano caliente (Cfa), siendo éste el predominante en gran parte del Paraguay (Pasten et al., 2011).

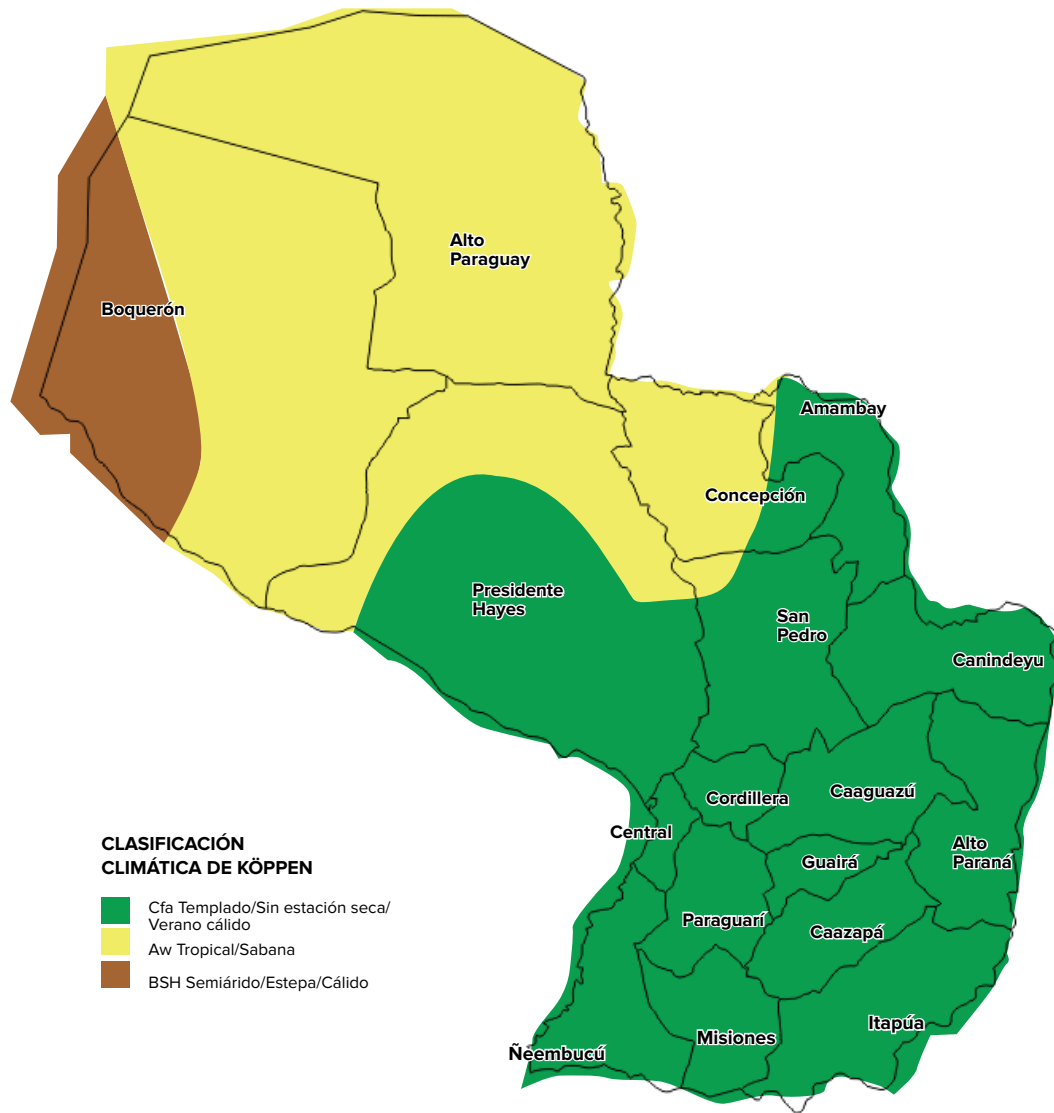


FIGURA 21: Clasificación climática de Köppen.

Fuente: Pasten, González, & Espínola, 2011

En general, el tipo de clima en Paraguay se caracteriza por veranos calurosos y lluviosos e inviernos con temperaturas bajas y menos lluvias (DGEEC, 2011). Sin embargo, tiene épocas con intenso frío durante el invierno, pudiendo caer incluso escarchas. Además, puede darse el caso contrario, que en temporadas invernales se produzca intenso calor (Naumann & Coronel, 2008). La temperatura media anual es de 23 °C y la máxima media anual es de 29 °C. El promedio registrado de las precipitaciones es de 1.700 mm en la Región Oriental y en cambio en la Occidental se hacen mínimas con 400 mm, en las proximidades de la frontera con Argentina y Bolivia (DGEEC, 2011), como se observa en la **FIGURA 22**.

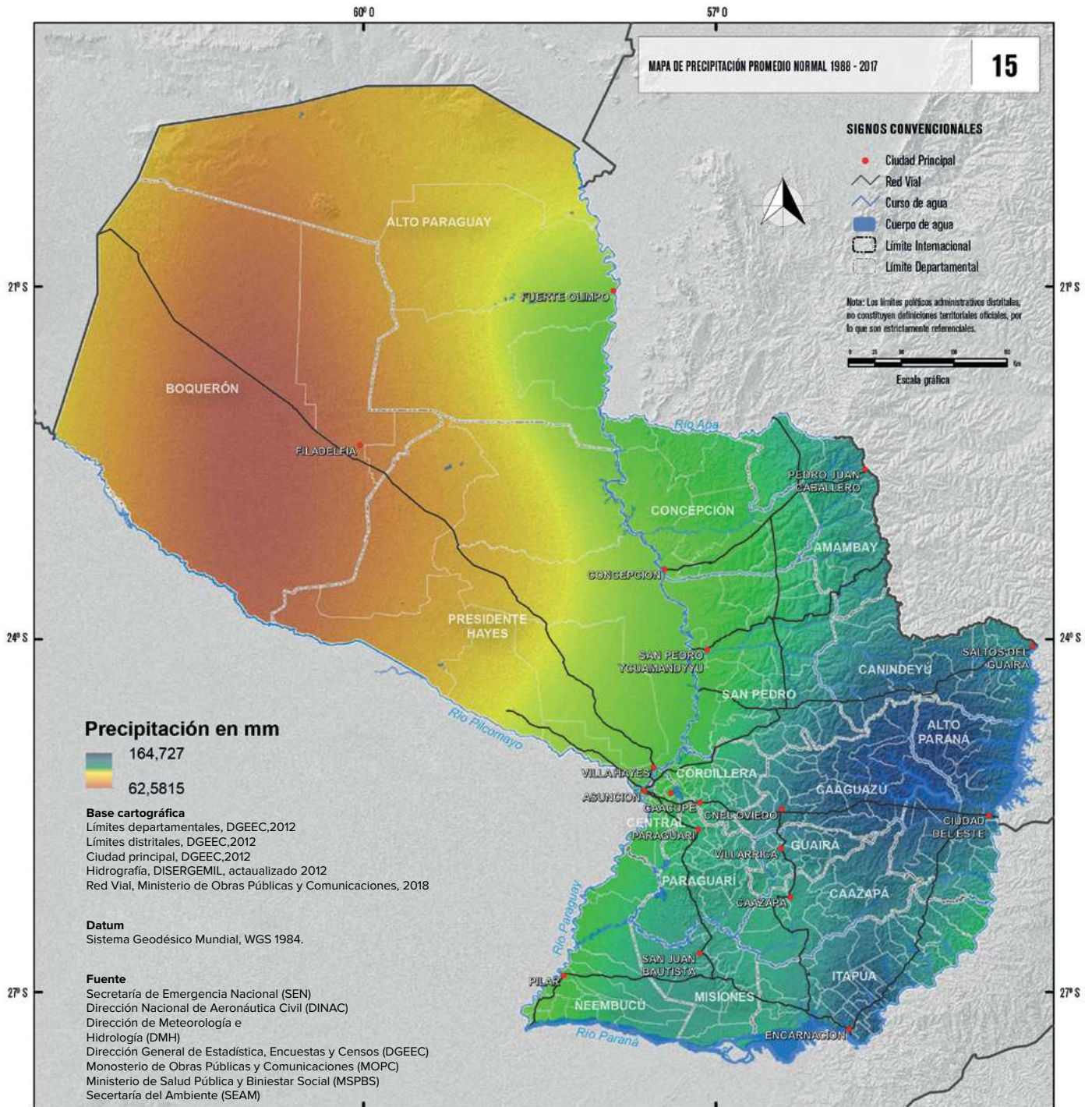
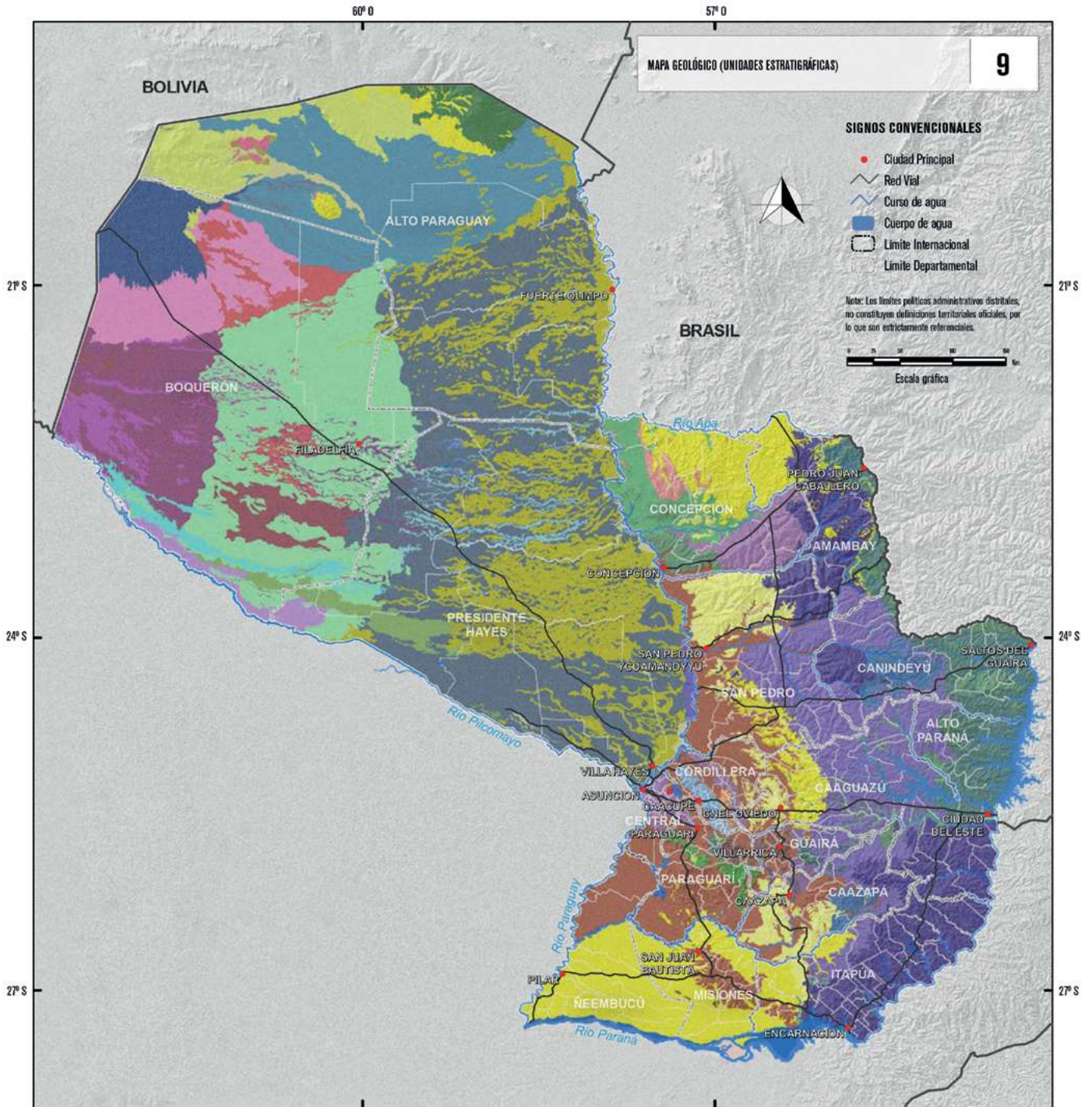


FIGURA 22: Mapa de precipitación

Fuente: SEN, 2018

Suelo:

El crecimiento exitoso y la salud de un árbol están muy vinculados a la relación entre las raíces y el suelo en el cual crecen (Markham, 2009). Por dicho motivo, una caracterización mínima del suelo (textura, pH, nutrientes, contenido orgánico, salinidad, etc.) es necesaria para identificar especies de árboles adaptadas al sitio de intervención. Si no existe dicho conocimiento sobre los suelos dentro del equipo técnico municipal, se debe buscar el aporte de especialistas para recolectar muestras de suelo, realizar pruebas de laboratorio y elaborar un análisis con recomendaciones (Hirons & Sjöman, 2019). En la **FIGURA 23** se observa la distribución de los tipos de suelos existentes en el Paraguay.



- | | | | |
|--|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Depósitos fluviales material suelto (Evaporitas) Sedimentos de esteros y depresiones inundables Arena, limo, lodo, menor proporción grava y materia orgánica Bajo chaco: Sedimentos de valle; en parte paleocauces rectiformes; en parte sedimentos de meandros recientes dentro de cauce antiguo Chaco Superior: Sedimentos de valle subcrecientes y recientes cauces antiguos Coluviones en áreas bajas, periódicamente inundable Cuerpo de agua Depósito de talud Depósitos fluviales | <ul style="list-style-type: none"> Depósitos fluviales y eólicos Depósitos glaciales Devónico inferior: Facie continental Drenaje Imperfecto Formación Acaray Formación Alto Paraná Formación Cabacua Formación Cerro Hu Formación Coronel Oviedo Formación Itapucumi Formación Misiones Formación Misiones? Formación Paraguari Formación San Miguel Formación Tacuary Formación Tapiatá | <ul style="list-style-type: none"> Formación Tobati Formación reciente aluvial Formación Ayala Formación Cariy Formación Vargas Peña Ligeramente elevado; periódicamente inundable Ripa Sedimentos de esteros y depresiones inundables; actualmente seco Sedimentos de zonas bajas; inundables en algunos meses del año, palmares Sedimentos eólicos y dunas agrupadas en seifs Sedimentos fluviales suprayacentes huellas de arena eólica | <ul style="list-style-type: none"> Sedimentos fluviales y huellas de paleocauces Sedimentos fluviales y huellas de paleocauces Sedimentos fluviales, conos de deyección antiguos (C.León) eólicos indiferenciados Sedimentos fluviales, facies de cauce principal, paleocauces de los ríos Pilcomayo y Parapiti Sedimentos fluviales, facies de inundación, paleocauces de los ríos Pilcomayo y Parapiti Sedimentos subcrecientes del río Pilcomayo Áreas más bajas de la región; periódicamente inundable. |
|--|---|---|--|

FIGURA 23: Mapa con distribución de tipos de suelos en Paraguay

Fuente: SEN, 2018

El grado de compactación del suelo es otro factor crítico para evaluar el potencial de un árbol, ya que en el contexto urbano, típicamente el suelo ha sido compactado durante el proceso de construcción. Dicha condición impacta negativamente en el crecimiento y la expansión de las raíces del árbol, resultando en un deficiente anclaje del árbol y, por ende, mayor susceptibilidad para una caída durante eventos meteorológicos con vientos fuertes (Beytía et al., 2012). Se propone una simple categorización de las especies arbóreas según la **exigencia del suelo**, diferenciando entre:

- **Rústica:** especies que se adaptan a una amplia gama de suelos, con variabilidad de texturas, amplio rango de pH, bajo contenido de materia orgánica y tolerancia a la salinidad (Beytía et al., 2012)
- **Rústica media:** especies que se adaptan a una amplia gama de suelos, siempre que tengan buen drenaje y algún contenido de materia orgánica (cercano al 4%). Prefieren suelos de pH neutro a ligeramente ácido y no resisten la salinidad (Beytía et al., 2012).
- **Exigente:** especies que requieren suelos de texturas livianas, de buen drenaje, con un pH neutro a ligeramente ácido y con alto contenido de materia orgánica (cercano a 8%) (Beytía et al., 2012).

La **TABLA 10** presenta la categorización de las especies arbóreas relevantes según la exigencia del suelo para el contexto paraguayo:

Rústica	Rústica media	Exigente
Samu'ü pytä (<i>Ceiba speciosa</i>)	Guavira pytä (<i>Campomanesia xanthocarpa</i>)	Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)
Guajayvi (<i>Cordia americana</i>)	Tajy sa'yju (<i>Handroanthus albus</i>)	Guaviju (<i>Myrcianthes pungens</i>)
Petereby morotĩ (<i>Cordia glabrata</i>)	Laurel hũ (<i>Ocotea diospyrifolia</i>)	Villetana (<i>Triplaris gardneriana</i>)
Algarrobo blanco (<i>Prosopis alba</i>)	Taruma (<i>Vitex megapotamica</i>)	
Kurupay kuru (<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>)	Casita (<i>Sapindus saponaria</i>)	
Yvyra ju (<i>Albizia niopoides</i>)	Yva poroity (<i>Plinia rivularis</i>)	
Pata de buey (<i>Bauhinia forficata</i> ssp. <i>pruinosa</i>)	Katigua pytä (<i>Trichilia catigua</i>)	
Yvyra pytä (<i>Peltophorum dubium</i>)	Ñandypa guasu (<i>Genipa americana</i>)	
Tajy pytä (<i>Handroanthus impetiginosus</i>)	Yvapovõ (<i>Melicoccus lepidopetalus</i>)	
	Inga Guasu (<i>Inga uraguensis</i>)	
	Aratiku (<i>Annona neosalicifolia</i>)	
	Timbo (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	
	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)	
	Inga'i (<i>Inga laurina</i>)	
	Yvapuru (<i>Plinia trunciflora</i>)	

TABLA 10: Especies arbóreas categorizadas según la exigencia del suelo

Fuente: Elaborado por Víctor Ecurra, Lidia Pérez de Molas e Irene Gauto

Disponibilidad de agua:

Para garantizar el crecimiento saludable de los árboles, el agua debe ser suficiente y estar disponible de manera permanente. Mientras que los árboles nativos creciendo en un paisaje natural se encuentran en suelos vírgenes y están adaptados al régimen de lluvia del lugar, en el contexto urbano el crecimiento de los árboles conlleva una situación más vulnerable debido a la escasez de agua. La causa principal es la impermeabilización en las superficies alrededor del árbol, lo cual reduce drásticamente la infiltración de agua de lluvia y, por ende, la disponibilidad de agua en el suelo para las raíces. Esta situación empeora cuando el árbol tiene acceso a un limitado volumen de suelo y/o la capacidad de captación de agua por las raíces es limitada debido a un alto grado de compactación de suelo. Por dicho motivo, es importante tomar en cuenta la **tolerancia a la sequía** al seleccionar un tipo de árbol. La **TABLA 11** presenta una categorización de las especies relevantes para el contexto paraguayo en función a su **resistencia a la sequía**.

Resistente a sequía	Moderadamente resistente a sequía	Sensible a sequía
Yvyra pytã (<i>Peltophorum dubium</i>)	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)	Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)
Kurupay kuru (<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>)	Aguai guasu (<i>Pouteria glomerata</i>)	Ñandypa guasu (<i>Genipa americana</i>)
Timbo (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	Pata de buey (<i>Bauhinia forficata</i> ssp. <i>pruinosa</i>)	Guaviju (<i>Myrcianthes pungens</i>)
Sibipiruna (<i>Poincianella pluviosa</i>)	Casita (<i>Sapindus saponaria</i>)	Algarrobo blanco (<i>Prosopis alba</i>)
Yvyra ju (<i>Albizia niopoides</i>)	Petereby morotĩ (<i>Cordia glabrata</i>)	Villetana (<i>Triplaris gardneriana</i>)
Tajy pytã (<i>Handroanthus impetiginosus</i>)	Guavira pytã (<i>Campomanesia xanthocarpa</i>)	Ceibo (<i>Erythrina crista-galli</i>)
Urundey para morotĩ (<i>Astronium fraxinifolium</i> var. <i>glabrum</i>)	Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)	Ombu (<i>Phytolacca dioica</i>)
Taruma (<i>Vitex megapotamica</i>)	Yvapovõ (<i>Melicoccus lepidopetalus</i>)	Inga Guasu (<i>Inga uraguensis</i>)
Guatambu (<i>Balfourodendron riedelianum</i>)	Kamba akã guasu (<i>Guazuma ulmifolia</i>)	
Guajayvi (<i>Cordia americana</i>)	Laurel hũ (<i>Ocotea diospyrifolia</i>)	
Samu'ũ pytã (<i>Ceiba speciosa</i>)	Yvapurũ (<i>Plinia trunciflora</i>)	
Tatarẽ (<i>Chloroleucon tenuiflorum</i>)	Katigua pytã (<i>Trichilia catigua</i>)	
Palo borracho (<i>Ceiba chodatii</i>)	Inga'i (<i>Inga laurina</i>)	
Tajy sa'yju (<i>Handroanthus albus</i>)	Yva poroity (<i>Plinia rivularis</i>)	
	Ñangapiry (<i>Eugenia uniflora</i>)	
	Peterevy hũ (<i>Cordia trichotoma</i>)	
	Trébol (<i>Amburana cearensis</i>)	
	Manduvira (<i>Geoffroea spinosa</i>)	

TABLA 11: Especies arbóreas categorizadas según resistencia a la sequía

Fuente: Elaborado por Víctor Escurra, Lidia Pérez de Molas e Irene Gauto

En caso de especies sensibles a la sequía, es importante garantizar un riego complementario a la precipitación en el sitio mismo. Principalmente, los árboles jóvenes son dependientes de provisión de riego adecuado (TDAG, 2014). Se puede organizar un programa especial de cuidado y riego o instalar un sistema fijo de riego. Se recomienda tener en cuenta en todos los proyectos de arborización urbana un sistema de regadío estable, es decir, un sistema semi automático de regadío para tener mayor porcentaje de éxito en la plantación, teniendo en cuenta la exigencia de agua que se requiere en una arborización urbana.

Anegamiento:

En sitios con un drenaje deficiente, los árboles pueden sufrir impactos negativos cuando sufren de inundaciones durante los periodos de lluvias frecuentes e importantes. Dicha situación ocasiona un prolongado período de saturación del suelo, lo cual impide la respiración de las raíces y de otros organismos en el suelo (Hirons & Sjöman, 2019). Por ende, es importante conocer si esta situación pudiera ocurrir en el sitio del proyecto de Arborización Urbana, de manera a elegir especies lo suficientemente tolerantes al anegamiento o bien, mejorar primero la capacidad de drenaje del sitio antes de plantar los árboles. Dicha limitación ambiental es particularmente relevante al momento de optar incluir árboles en los diseños de los SuDS, dado que el control de aguas superficiales es el principal objetivo. La **TABLA 12** presenta una categorización de las especies relevantes para el contexto paraguayo en función a su **resistencia a la inundación**.

Resistente a inundación	Moderadamente resistente a inundación	Sensible a inundación
Ceibo (<i>Erythrina crista-galli</i>)	Guavira pytã (<i>Campomanesia xanthocarpa</i>)	Kurupay kuru (<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>)
Villetana (<i>Triplaris gardneriana</i>)	Agua'i (<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>)	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)
Inga Guasu (<i>Inga uraguensis</i>)	Guaviju (<i>Myrcianthes pungens</i>)	Guatambu (<i>Balfourodendron riedelianum</i>)
Timbo (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>)	Guajayvi (<i>Cordia americana</i>)	Petereby morotĩ (<i>Cordia glabrata</i>)
Ñandypa guasu (<i>Genipa americana</i>)	Taruma (<i>Vitex megapotamica</i>)	Yvapovõ (<i>Melicoccus lepidopetalus</i>)
Ombu (<i>Phytolacca dioica</i>)	Casita (<i>Sapindus saponaria</i>)	Tajy pytã (<i>Handroanthus impetiginosus</i>)
Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)	Katigua pytã (<i>Trichillia catigua</i>)	Urunde'y para morotĩ (<i>Astronium fraxinifolium</i> var. <i>glabrum</i>)
Algarrobo blanco (<i>Prosopis alba</i>)	Aratiku (<i>Annona neosalicifolia</i>)	Trébol (<i>Amburana cearensis</i>)
Timbó blanco (<i>Albizia inundata</i>)	Pata de buey (<i>Bauhinia forficata</i> ssp. <i>pruinosa</i>)	Tajy hũ (<i>Handroanthus heptaphyllus</i>)
Karanda'y (<i>Copernicia alba</i>)	Sibipiruna (<i>Poincianella pluviosa</i>)	
Ceibo (<i>Erythrina crista-galli</i>)	Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)	
	Laurel hũ (<i>Ocotea diospyrifolia</i>)	
	Ñangapiry (<i>Eugenia uniflora</i>)	
	Peterevy hũ (<i>Cordia trichotoma</i>)	
	Tatarẽ (<i>Chloroleucon tenuiflorum</i>)	

TABLA 12: Especies arbóreas categorizadas según resistencia a la inundación

Fuente: Elaborado por Víctor Ecurra, Lidia Pérez de Molas e Irene Gautó

Contaminación de aire:

En el contexto urbano hay diversas fuentes de contaminación del aire (tránsito, industrias, etc.) que podrían tener un impacto negativo sobre la salud de los árboles, ya que el polvo y los contaminantes afectan la actividad fotosintética de las hojas (Beytía et al., 2012). Por ejemplo, los árboles a lo largo de una avenida con un tránsito intenso y continuo son más sujetos a los efectos negativos de la polución del aire que los árboles ubicados en una calle peatonal o en un parque urbano.

Exposición al sol:

La exposición al sol es un factor importante para tener en cuenta al seleccionar el tipo de árbol. Tanto los edificios como la vegetación existente influyen de manera significativa en la calidad y cantidad de la luz disponible para el árbol (Hirons & Sjöman, 2019). La mayoría de las especies prefieren una ubicación con una exposición completa al sol, pero existen también especies que prefieren la media sombra (Beytía et al., 2012). Para determinar la exposición al sol en el sitio, se debe tomar en consideración la presencia y la forma de estructuras y/o construcciones que puedan impedir o reducir la luz del sol (CWP, 2016). La **TABLA 13** clasifica a las especies en el contexto paraguayo según preferencia de exposición al sol.

Pleno Sol	Semi sombra	Sombra
Timbó blanco (<i>Albizia inundata</i>)	Kokū (<i>Allophylus edulis</i>)	Palmito (<i>Euterpe edulis</i>)
Tapi'aguasu'y (<i>Alchornea triplinervia</i>)	Kurupa'y morosyvõ (<i>Anadenanthera peregrina</i>)	
Kurupa'y kuru (<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>)	Manaka (<i>Brunfelsia australis</i>)	
Urunde'y para morotĩ (<i>Astronium fraxinifolium</i> var. <i>glabrum</i>)	Aguai (<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>)	
Tajy hũ (<i>Handroanthus heptaphyllus</i>)	Asuka revire (<i>Cordia sessilis</i>)	
Tatarẽ (<i>Chloroleucon tenuiflorum</i>)	Cangorosa (<i>Monteverdia ilicifolia</i>)	
Yvyra pytã (<i>Peltophorum dubium</i>)		
Taruma (<i>Vitex megapotamica</i>)		
Guatambu (<i>Balfourodendron riedelianum</i>)		

TABLA 13: Especies arbóreas categorizadas según preferencia de exposición al sol

Fuente: Elaborado por Irene Gauto y Germán González

7.2.3 Arborización urbana y la fauna local

Como ya se ha mencionado en otros apartados, el rol de la vegetación en las ciudades también es el de proveer refugio y alimento a la fauna local, a modo de lograr tener ciudades más biodiversas que respeten las especies autóctonas. Esta función es especialmente reforzada por el concepto de corredores ecológicos en la planificación urbana. Existen especies arbóreas especialmente indicadas para cumplir funciones de enriquecimiento o conservación de la fauna, siendo éstas adecuadas como sitios de nidificación, refugio o alimentación para la fauna local. Por ésto, el listado de especies locales para implementar proyectos de arborización urbana es clave para crear ciudades verdes y mejorar la calidad de vida de los residentes y el medio natural urbano. Se recomienda que, además del listado de las especies arbóreas escogidas para un proyecto de arborización, también se tenga en cuenta el listado de fauna local en cada ciudad. Hoy día existe mucha información sobre la fauna nativa, como así también especialistas que se dedican al estudio y conservación de las especies, teniendo en la mayoría de los casos a las aves como excelentes indicadores de biodiversidad.

Al incluir los listados de la fauna existente en cada ciudad o ecorregión, la selección de especies arbóreas será más eficiente y, ésto logrará conectar las áreas núcleos (áreas silvestres protegidas en ciudades o áreas verdes urbanas) mediante los corredores verdes urbanos, los cuales facilitarán el intercambio genético de las especies, lográndose así la conservación de las especies locales.

La combinación de especies arbóreas “funcionales” dará a la fauna local todo lo necesario para desarrollarse como especie. Dando un ejemplo y teniendo en cuenta que el grupo de las aves es el más estudiado en Paraguay y que son los animales silvestres urbanos más observados (como también los murciélagos y mariposas), es fundamental contar con un listado de la zona o, caso contrario, generar un listado de la fauna local en el área a arborizar.

Un punto muy importante es que la interacción de las especies (fauna y flora) cumple un rol primordial en la dispersión de las semillas, ésto a su vez favorece la germinación natural en las áreas adecuadas o en sitios, en algunos casos, más alejados de las plantas madre. Este ciclo generará mayores servicios ambientales a las ciudades.

La ubicación de los árboles a plantar también debe ser planificada, se recomienda intercalar las especies con el fin de asegurar que la fauna local pueda obtener los mayores servicios en un área arborizada. Se recomienda tener en cuenta al menos 10 especies con distintas funciones, con el fin de desarrollar un proyecto de arborización ecológica urbana.

La **TABLA 14** da una lista de 45 especies arbóreas recomendadas según su función para la fauna local, teniendo cuatro funciones principales.



#	Nombre común	Especie	Frutos comestibles	Melíferas	Dormideros/ refugios	Sombra
1	Agua'i	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>	x		x	x
2	Algarrobo blanco	<i>Prosopis alba</i>				x
3	Amba'y guasu	<i>Didymopanax morototoni</i>	x		x	
4	Aratiku	<i>Annona neosalicifolia</i>	x			
5	Casita	<i>Sapindus saponaria</i>		x		
6	Ceibo	<i>Erythrina crista-galli</i>		x		
7	Guajakán	<i>Libidibia paraguariensis</i>		x		x
8	Guaviju	<i>Myrcianthes pungens</i>	x			
9	Guavira pytä	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	x	x		
10	Inga	<i>Inga laurina</i>	x			
11	Inga guasu	<i>Inga uraguensis</i>	x			x
12	Jacarandá	<i>Jacaranda mimosifolia</i>		x	x	
13	Jata'i	<i>Butia paraguayensis</i>	x			
14	Kamba aka	<i>Guazuma ulmifolia</i>		x	x	x
15	Karaja vóla	<i>Talisia esculenta</i>	x		x	
16	Kokũ	<i>Allophylus edulis</i>				x
17	Kurupa'y kuru	<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>				x
18	Laurel moroti	<i>Ocotea diospyrifolia</i>				x
19	Manaka	<i>Brunfelsia australis</i>		x		
20	Mora	<i>Maclura tinctoria</i>	x			
21	Ñandypa guasu	<i>Genipa americana</i>	x	x	x	x
22	Ñangapiry	<i>Eugenia uniflora</i>	x	x		
23	Pakuri	<i>Garcinia brasiliensis</i>	x			
24	Pata de buey'i	<i>Chloroleucon chacoense</i>		x		
25	Peterevy hũ	<i>Cordia trichotoma</i>			x	
26	Pindo	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	x		x	
27	Quebracho blanco	<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>			x	
28	Quebracho colorado	<i>Schinopsis balansae</i>			x	
29	Samu'ũ morotĩ	<i>Ceiba chodatii</i>		x	x	
30	Samu'ũ pytä	<i>Ceiba speciosa</i>		x	x	
31	Sapirangy	<i>Tabernaemontana catharinensis</i>	x			
32	Sivipiruna	<i>Cenostigma pluviosum</i>	x	x	x	x
33	Tajy hũ	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>		x		
34	Tajy amarillo	<i>Handroanthus pulcherrimus</i>			x	x
35	Taruma	<i>Vitex megapotamica</i>	x	x	x	
36	Tatarẽ	<i>Chloroleucon tenuiflorum</i>		x	x	
37	Timbó blanco	<i>Albizia inundata</i>			x	
38	Trébol	<i>Amburana cearensis</i>			x	
39	Urunde'y para morotĩ	<i>Astronium fraxinifolium var glabrum</i>			x	
40	Urundey picha ã	<i>Astronium balansae</i>			x	
41	Villetana (pie masculino)	<i>Triplaris gardneriana</i>		x		
42	Yvapovõ (pie femenino)	<i>Melicoccus lepidopetalus</i>	x	x		x
43	Yvapurũ	<i>Plinia peruviana</i>	x		x	
44	Yvyra ju	<i>Albizia niopoides</i>			x	
45	Yvyra pytä	<i>Peltophorum dubium</i>			x	x

TABLA 14: Especies arbóreas clasificadas según las funciones que cumplen en relación con la fauna local

Fuente: Elaborado por Irene Gauto, Silvia Centrón y Lidia Pérez de Molas

7.2.4 Limitaciones del entorno construido

En un nuevo proyecto de arborización, los árboles requieren la mayor cantidad de espacio posible para lograr el máximo potencial de crecimiento y mantenerse saludables, y así proveer los beneficios y servicios ambientales inicialmente planificados (Markham, 2009). En el entorno urbano, no obstante, existen diversos elementos, como las redes de infraestructura (agua, electricidad, etc.), las construcciones y los muros, que restringen el espacio disponible para el crecimiento del árbol, tanto abajo como arriba de la superficie. El espacio disponible arriba de la superficie controla principalmente la disponibilidad de luz para fotosíntesis y el desarrollo del follaje, mientras el espacio disponible abajo influye en el crecimiento de las raíces (anclaje) y la disponibilidad de nutrientes y humedad (Markham, 2009).

En un entorno urbano, cada sitio presenta desafíos únicos para plantar el árbol correcto en el lugar adecuado y así, aumentar la cobertura arbórea, evitando los daños a la infraestructura existente (Alvarado et al., 2014). Estableciendo las distancias mínimas entre el árbol y los elementos construidos, es posible aminorar los efectos negativos de esta interacción (Beytía et al., 2012). Por ende, para las intervenciones urbanísticas de Infraestructura Verde, se busca lograr el crecimiento sostenido del árbol mediante el diseño adecuado de la infraestructura que rodea al mismo, así como el emplazamiento del árbol en relación con otros árboles y elementos urbanos construidos (CWP, 2016).

En particular, durante el diseño de **proyectos de arborización a lo largo de calles y avenidas**, el distanciamiento correcto es importante, tanto entre los árboles como con otros obstáculos. Si la distancia entre los árboles es menor al diámetro que adquirirán las copas, éstas se entrecruzarán; si es igual, se tocarán; y si la distancia es dos veces el diámetro de copa, quedará un espacio vacío igual al diámetro de copa de cada árbol, entre los que integran el arbolado (Alvarado et al, 2014). A modo de evitar futuras interacciones con otra infraestructura es necesario dialogar en una etapa temprana con los diversos servicios públicos (TDAG, 2014) para obtener los mapas existentes de las instalaciones y realizar una inspección in-situ para conocer la realidad de cómo fue construido. En la actualidad, existen diversas tecnologías para relevar la infraestructura bajo tierra, como por ejemplo, un radar penetrante para detectar cañerías. Los datos permiten ajustar el proyecto de arborización a la situación del lugar y así evitar futuros problemas.

Se presentan a continuación, las posibles obstrucciones que se originan a partir de la selección y ubicación incorrecta del árbol con relación al entorno, y a los diferentes elementos físicos que conforman la infraestructura y el mobiliario urbano de la ciudad:

Cantero:

En los casos donde la dimensión del cantero no tenga las dimensiones mínimas requeridas (Ver sección 6.3.1), la falta de espacio puede, con el tiempo, convertirse en una limitación del crecimiento del árbol. Como consecuencia, el sistema radicular buscará su espacio generando fisuras en la vereda. En la **FIGURA 24**, se observa en la primera foto la falta de espacio destinado al cantero, imposibilitando a la planta lograr un correcto crecimiento. En la segunda foto se visualiza cómo las raíces de los árboles, en su fase adulta, generan un obstáculo para la circulación de las personas en el paseo central. Ésto se debe a que las medidas del cantero son insuficientes en relación con el tipo de árbol plantado.



FIGURA 24: Dimensiones insuficientes del cantero en relación con la especie arbórea plantada

Fuente: César Pizzurno

Tendido eléctrico:

En la actualidad, es muy común observar que las líneas eléctricas cruzan entre los follajes de los árboles urbanos. Esta situación genera árboles mutilados y deformes tratando de crecer entre los cables, como se observa en ambas fotos de la **FIGURA 25**. Lo ideal es no ubicar árboles bajo los cables, a menos que éstos - en su pleno estado de desarrollo - no alcancen la altura de los mismos (Beytía et al., 2012). La mejor solución, tanto para los nuevos proyectos de Arborización Urbana como para los árboles urbanos ya existentes, es contar con una red eléctrica subterránea (CWP, 2016), pero su costo es muy elevado para una aplicación a mayor escala. Cuando el tendido eléctrico es aéreo, una alternativa atractiva consiste en localizar los árboles a un solo lado de la calle y plantar arbustos o árboles de pequeña altura debajo de la línea, mientras al otro lado se puede ubicar a los árboles de mayor porte (CWP, 2016). Si aún así se decide plantar alguna especie de gran tamaño bajo o muy cerca del tendido eléctrico, es recomendable seleccionar especies que, mediante la poda, presenten posibilidades de conducción, ramificando el follaje de tal manera que la parte central permanezca sin ramas, y las demás ramas se extiendan por ambos lados del cableado (Beytía et al., 2012).



FIGURA 25: Árboles urbanos en conflicto con el tendido eléctrico

Fuente: César Pizzurno

Redes de agua potable y alcantarillado sanitario:

En general, la infraestructura subterránea, como redes de agua potable y alcantarillado sanitario, no generan un daño o impacto negativo sobre los árboles urbanos mismos (CWP, 2016). Sin embargo, no es recomendable plantar árboles cercanos a las redes de agua potable, alcantarillado sanitario o desagüe pluvial, ya que con el tiempo las raíces se extenderán en busca de agua y pueden finalmente invadirlos, especialmente cuando hay un déficit de presencia de agua en el suelo alrededor del árbol y el mismo no está lo suficientemente regado.

Riesgos para la seguridad de los peatones

el riesgo más común de los árboles mal manejados es la caída de ramas y frutos, pero también existen situaciones en las que el árbol urbano atenta contra la seguridad de los peatones. Por ejemplo, una copa profunda y la inclinación extrema del árbol limitan la visibilidad del conductor, así como la presencia de árboles decrepitos o con estado sanitario débil, presentan un riesgo de caída del tronco convirtiéndose en un peligro para el ciudadano y las edificaciones. Para estos casos, la Ley de Arbolado Urbano (Ley Nro. 4928/13, 2013) contempla autorizaciones para



FIGURA 26: Inclinación extrema del árbol.

Fuente: César Pizzurno.

realizar podas severas o tala de árboles, tanto en terrenos privados como públicos. Un ejemplo se visualiza en la **FIGURA 26**.

7.2.5 Especies no recomendadas para las ciudades

La elección adecuada de una especie arbórea que responda a las características del lugar, así como a las limitaciones ambientales del entorno, es fundamental para evitar una serie de obstáculos e inconvenientes relacionados con la circulación y la seguridad de los peatones en las veredas. De manera a visualizar cómo se verá inserto un árbol en un contexto urbano, es importante conocer de antemano las dimensiones y características del tronco y de las raíces del árbol en su fase adulta.

Todos los árboles aportan beneficios ambientales a las ciudades, sin embargo, existen especies que causan daños, tales como: fisuras en las construcciones, veredas y murallas, perforaciones de las redes de las instalaciones sanitarias, caídas de ramas sobre avenidas o vehículos e inhibición del crecimiento de otras plantas. Además, existen árboles que pueden actuar como plantas invasoras perjudicando a los ecosistemas naturales presentes.

El **Ficus** es una especie muy arraigada en la Arborización Urbana de las ciudades paraguayas. Después de varios años de haber sido plantados, se evidenció que generan costosos y severos perjuicios a las redes de infraestructura subterránea y la vereda, por tener un sistema radicular extremadamente agresivo (Vargas & Molina, 2010). Existen 3 especies muy representativas en el contexto paraguayo:

- ***Ficus benjamina (ficus)***: Árbol exótico originario del sureste asiático. Cuenta con raíces gruesas y extensas que rompen los cimientos de murallas, construcciones, pisos de cocheras y veredas, lo cual se nota cuando las construcciones muestran fisuras (EcuRed, s.f.), poniendo en peligro la estructura.

Además, las raíces buscan el agua y terminan rompiendo las tuberías ubicadas a gran distancia del árbol plantado. Las raíces se meten en las tuberías y crecen allí hasta que las taponan. Las reparaciones de las cañerías subterráneas son muy costosas y generan una serie de problemas urbanos asociados, tales como cierres temporales de las calles para el arreglo de éstas, lo que ocasiona una mayor congestión en el tráfico (Vargas & Molina, 2010).

La **FIGURA 27** muestra dos situaciones diferentes, en la primera foto se observa varios árboles de Ficus de edad joven plantados a una distancia de 3 m aprox-



FIGURA 27: Daños causados por el ficus en las calles

Fuente: César Pizzurno

imadamente. En un futuro, estos árboles levantarán las veredas, generarán obstáculos para el tránsito del peatón y perforarán las cañerías subterráneas existentes, como se observa en la segunda foto.

- ***Ficus elastica (gomero):*** Árbol exótico originario de la India e Indonesia. Se caracteriza por tener un sistema radicular muy agresivo, por lo que afecta a todo tipo de construcciones. Además de las raíces gruesas, superficiales y agresivas, este árbol posee raíces aéreas, que se desprenden de las ramas a 5 o más metros del tronco, y que sirven de soporte a las pesadas ramas. Se recomienda plantarlo lejos de las edificaciones, avenidas y calles, porque su sistema radicular es muy superficial y en estado adulto levantan pavimentos y



FIGURA 28: Raíces aéreas y superficiales del árbol de gomero que obstruyen el paso peatonal

Fuente: César Pizzurno

muros de construcciones (Vargas & Molina, 2010). Es recomendable plantarlos en parques, como un ejemplar aislado. Como se observa en la **FIGURA 29**, las raíces del árbol de gomero han invadido todo el paseo central, evitando así el cruce de los peatones.

- ***Ficus enormis* (Guapo'y moroti):** Árbol nativo del Paraguay con crecimiento rápido y colonización muy agresiva. La especie puede crecer como planta epífita o como árbol. En algunos casos crecen como epifitas con raíces aéreas, que con el tiempo envuelven al tronco del otro árbol y lo mata lentamente por estrangulación (López, 1987). Esta situación pone en peligro al arbo-



FIGURA 29: Raíces aéreas envolviendo a otro árbol

Fuente: Banco de imágenes

lado plantado. Por esta razón se recomienda ejercer un control continuo de las arborizaciones y su extirpación en estadios iniciales de crecimiento del árbol. De esta forma se podrá controlar el desarrollo y aumento poblacional de esta especie y evitar daños severos en arborizaciones de plazas y avenidas de las áreas urbanas (Martínez & Vogt, 2017).

Otras especies con un alto impacto en las ciudades son:

***Delonix regia* (Chivato):** Es un árbol ornamental originario de la selva seca de Madagascar que se caracteriza por tener raíces gruesas, superficiales, extendidas y muy agresivas, por lo que no es recomendado para calles ni zonas verdes estrechas. Debido a esto, su sistema radicular perfora y tapa las cañerías de las redes sanitarias, levanta el pavimento en calles, y rompe las cimentaciones y muros de las viviendas y otras construcciones (Vargas & Molina, 2010). Se recomienda que las construcciones estén como mínimo a 20 m (Caldas de Borrero, 1975). En caso de optar por esta especie, deberá ser cultivada en grandes avenidas y parques.

***Leucaena leucocephala* (Leucaena):** Es un árbol originario de América del Norte, introducido en numerosos países como suplemento forrajero para el ganado. Tiene un crecimiento y una reproducción muy agresiva y es actualmente considerada una de las 100 especies exóticas invasoras más agresivas del mundo, cuya presencia debe ser manejada e incluso erradicada del país. Es una especie muy eficiente que segrega sustancias alelopáticas que impiden o inhiben el crecimiento de otras especies favoreciendo el establecimiento de rodales puros de leucaena.

7.2.6 Guía práctica de plantación y cuidado de árboles

A continuación, se presentan diversas recomendaciones y factores para tener en cuenta para la plantación exitosa de árboles, desde la planificación previa hasta los cuidados posteriores.

• Planificación y cuidados previos

- Elegir la **especie adecuada** a ser incorporada en el espacio urbano de acuerdo con las características del lugar, tomando en consideración la ecorregión donde se encuentra (Ver Sección 7.2.1) y respetando eventuales limitaciones ambientales que existan (Ver Sección 7.2.2). La selección de material para producir plantas de calidad es una de las fuentes más comunes de problemas para la arborización. Aquí se debe considerar: la altura, el grosor del cuello de la raíz, la relación parte aérea y cepellón, y plantas rustificadas o endurecidas.

Así mismo, se debe tomar en cuenta la armonía del paisaje y la identidad del barrio o zona donde será plantado, que en gran parte está definida por sus especies arbóreas (Gobierno de la ciudad de Buenos Aires, 2020).

- Para la correcta **ubicación y separación** entre los diferentes árboles a plantar, se deben considerar varios factores:

- o Área disponible
- o Mobiliario urbano existente y, en algunas ocasiones, también el planificado
- o Redes de cables eléctricos y de fibra óptica, aéreos o subterráneos
- o Tuberías subterráneas de la red de agua potable o alcantarillado sanitario
- o Cercanía a edificaciones existentes

- o Posibilidad de riego durante la primera etapa de crecimiento del árbol
- Evaluar la **época del año** en la que se realizará la plantación, preferentemente en época invernal hasta el inicio de la primavera, entre los meses de junio a septiembre. Para las especies más sensibles a las heladas, se recomienda realizar la plantación durante la primavera, de manera a que cuando llegue el invierno, las especies se encuentren más crecidas y consecuentemente posean mayor resistencia (MADES/PNUD/FMAM, 2019). Evitar la plantación en días de helada o con situaciones meteorológicas desfavorables, como fuertes lluvias, vientos (recurrente en el mes de agosto) o sequías.
- Verificar la **edad** y la **salud** de la planta. Se recomienda plantar árboles mejor desarrollados, de buen tamaño y que no tengan plagas o enfermedades. La altura mínima ideal de la planta estaría en torno a los 1 o 1,5 metros de altura, con una raíz principal bien formada (crecimiento vertical) y una buena relación de longitud y diámetro del cuello (MADES/PNUD/FMAM, 2019). Sin embargo, en Paraguay no se cuentan con viveros especializados en la producción de árboles ya crecidos de alta calidad (plantones), específicos para la utilización en urbanismo. La práctica común es que los viveros ofrezcan plantines de mucho menor tamaño, siendo lo más habitual el tamaño de 0.3 m, contados desde la base del tallo hasta la parte superior de la planta. Lo importante a tener en cuenta es contar con una buena relación de longitud y diámetro del cuello, asegurando un crecimiento radicular óptimo. Se puede así lograr plantines de alta calidad que, con un correcto proceso de rusticación, serán capaces de soportar las condiciones adversas que deben enfrentar en el ambiente urbano.

• Procedimiento para la plantación

- *Paso 1: Construcción del cantero (para calles, avenidas y paseos)*
 - o Se debe prever la ubicación y construcción de canteros en los lugares donde estarán ubicados los árboles. Se recomienda que los bordes estén al mismo nivel que la vereda, para permitir que la escorrentía generada sobre el área impermeable alrededor del cantero, pueda ser recolectada e infiltrada en el suelo. Además, se deberán evitar obstáculos que impidan la movilidad de las personas.
 - o Es importante remover escombros, materiales de obras, tierra en la superficie destinada a los canteros individuales, dejando un hoyo interior de mínimamente 1 m x 1 m x 1 m, el cual se rellena con abono o tierra negra (Ayuntamiento de Madrid, 2018b). Como alternativa para el dimensionamiento del cantero, se debe tomar en cuenta el diámetro a la altura del cuello de un árbol adulto, y así asegurar el espacio suficiente para el normal engrosamiento del tronco (Alvarado et al., 2014). Este pozo actúa como contención y protección para las raíces de los árboles, cuyo objetivo es inducir el desarrollo de las raíces a una profundidad que no afecte a las construcciones circundantes.
 - o Si durante la construcción del cantero se encuentran infraestructuras fijas o elementos difícilmente movibles, tales como tuberías, hormigón, cableados, etc., y no es posible alcanzar el volumen adecuado para el desarrollo radicular necesario, se deberá proceder a su clausura (Ayuntamiento de Madrid, 2018b).
- *Paso 2: Excavación del hoyo de plantación*
 - o La profundidad y la superficie del hoyo de plantación se define principalmente en base a la medición de la altura y del diámetro del cepellón de las raíces (Alvarado et al., 2014). Se debe excavar el hoyo de plantación, cuya dimensión referencial es de 50 cm de diámetro y profundidad (Ayuntamiento

de Merida, 2018b). Sin embargo, y considerando que es difícil definir un tamaño único de contenedor para todas las especies arbóreas, se recomienda que el tamaño del hoyo de plantación varíe de acuerdo con el tamaño del cepellón. En general se debe cavar por lo menos unas 10 veces más del diámetro del cepellón.

o En este paso se debe tener en cuenta la preparación del suelo, ya que los suelos de las ciudades tienen grandes problemas de compactación, de gran presencia de escombros y bajo contenido de nutrientes. Se debe airear el suelo y aplicar abonos al mismo, que permitan el correcto desarrollo de la planta.

- Paso 3: Preparación y plantación del árbol trasplantado

o Primeramente, se retira con mucho cuidado la bolsa o maceta donde se encuentra el arbolito. Si se observa que la tierra está muy seca, hay que humedecerla antes de retirar la bolsa. Así mismo, se debe intentar que el cepellón que rodea a la raíz no se rompa. Si esto ocurre, hay que plantar el árbol lo más rápido posible evitando que las raíces queden expuestas al viento y al sol (Ayuntamiento de Merida, 2018b).

o Posteriormente, se coloca el árbol en el hoyo, tomando a la planta por el cuello entre los dedos de forma invertida, para evitar romper el terrón de tierra que envuelve a la raíz. Se debe mantener el árbol lo más derecho posible, ubicando el nivel de cuello que tiene en la bolsa o maceta al ras del suelo definitivo (Ayuntamiento de Madrid, 2018b). Para ello es necesario rellenar el fondo hasta alcanzar el nivel suficiente para que el cepellón quede sobre el relleno a la altura necesaria, y luego se rellena el resto del hoyo. El relleno del pozo se realiza con abono orgánico o como alternativa suelo mejorado (mezcla de 2/3 tierra del lugar o vegetal y 1/3 de materia orgánica) (Beytía et al., 2012).

o No se recomienda la plantación profunda, dejando el cuello 15, 20 o 30 cm

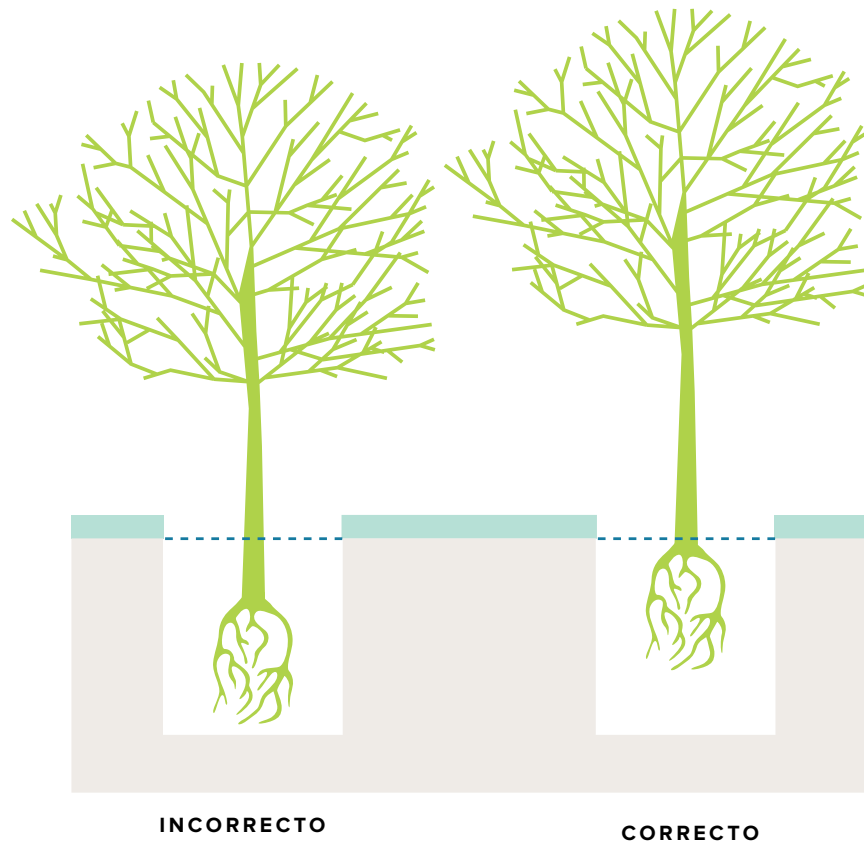


FIGURA 30: Ubicación correcta de raíces en el pozo de plantación

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Ayuntamiento de Madrid, 2018b

más bajo que el nivel del terreno. Con ello se consigue una planta bien anclada, pero la raíz queda situada en una profundidad con mala aireación y concibe plantaciones de mala calidad (Ayuntamiento de Madrid, 2018b). La **FIGURA 31** presenta la forma correcta e incorrecta de colocar las raíces de un árbol dentro del hoyo de plantación.

o Una vez rellenado el hoyo, se debe compactar la tierra presionando con cuidado alrededor de la planta, de manera a eliminar posibles bolsas de aire y permitir el contacto de las raicillas con el suelo. Al cabo de unos días se asentará el terreno con los riegos sucesivos, por lo que será necesario incorporar más tierra para alcanzar el nivel adecuado y que el terreno quede firme. El nivel de tierra final deberá ser aquel que permita la correcta recogida de agua aportada en el riego o las lluvias, aproximadamente a 5 cm a 7 cm por debajo de la cota de la vereda (Ayuntamiento de Madrid, 2018b).

• Sistemas de apoyo y protección a los arboles

Los **tutores** son elementos de soporte necesarios para garantizar el buen crecimiento del árbol, después de establecerse en su sitio definitivo. Su función es anclar y mantener en posición vertical a los árboles recién plantados, y así evitar que se doblen (Ayuntamiento de Madrid, 2018b). Además, protegen la integridad de los árboles ante el viento o en el caso de árboles expuestos a condiciones de iluminación parcial, ayudando a que no crezcan de manera favorable a la dirección de exposición. El amarre debe permitir el movimiento y una vez que el árbol se encuentre establecido, los tutores deben ser removidos (MADES/PNUD/FMAM, 2019).

En el caso que los árboles requieran tutores, los mismos se deberán instalar al momento de la plantación, de manera a no dañar las raíces, y deberán estar colocados en posición vertical a un costado justo al lado del cepellón (distancia mínima de 20 cm con respecto al árbol), para dar fuerza al joven tronco (Ayuntamiento de Madrid, 2018b). Los mismos pueden ser de madera o tacuara, pero nunca es recomendable utilizar alambres. Se recomienda que tenga 1.5 m de altura, enterrándolo 0.50 m en el suelo y sobresaliendo en la superficie

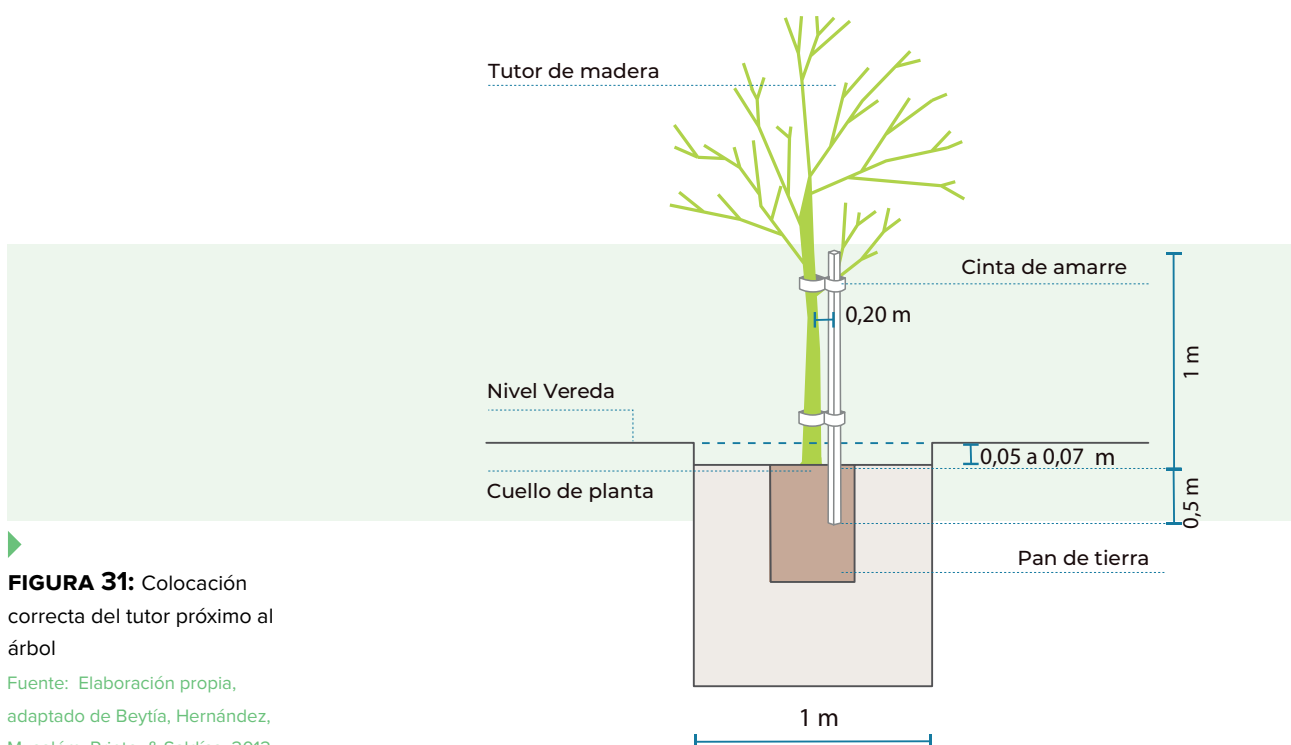


FIGURA 31: Colocación correcta del tutor próximo al árbol

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Beytía, Hernández, Musalém, Prieto, & Saldías, 2012

1 m. Los tutores deben estar sujetos al árbol con una cinta de amarre, como mínimo en 2 puntos (Ayuntamiento de Merida, 2018b). En el caso de realizar una plantación en arboles alineados en la vereda, es recomendable que todos los tutores mantengan la misma posición en toda la alineación. Por último, se recomienda una revisión periódica del tutor y del amarre de modo a evitar el estrangulamiento de los plantines.

Además, para asegurar el crecimiento de los plantines es necesario contar con **protectores**, que son cercos de diferentes materiales que rodean a los árboles,

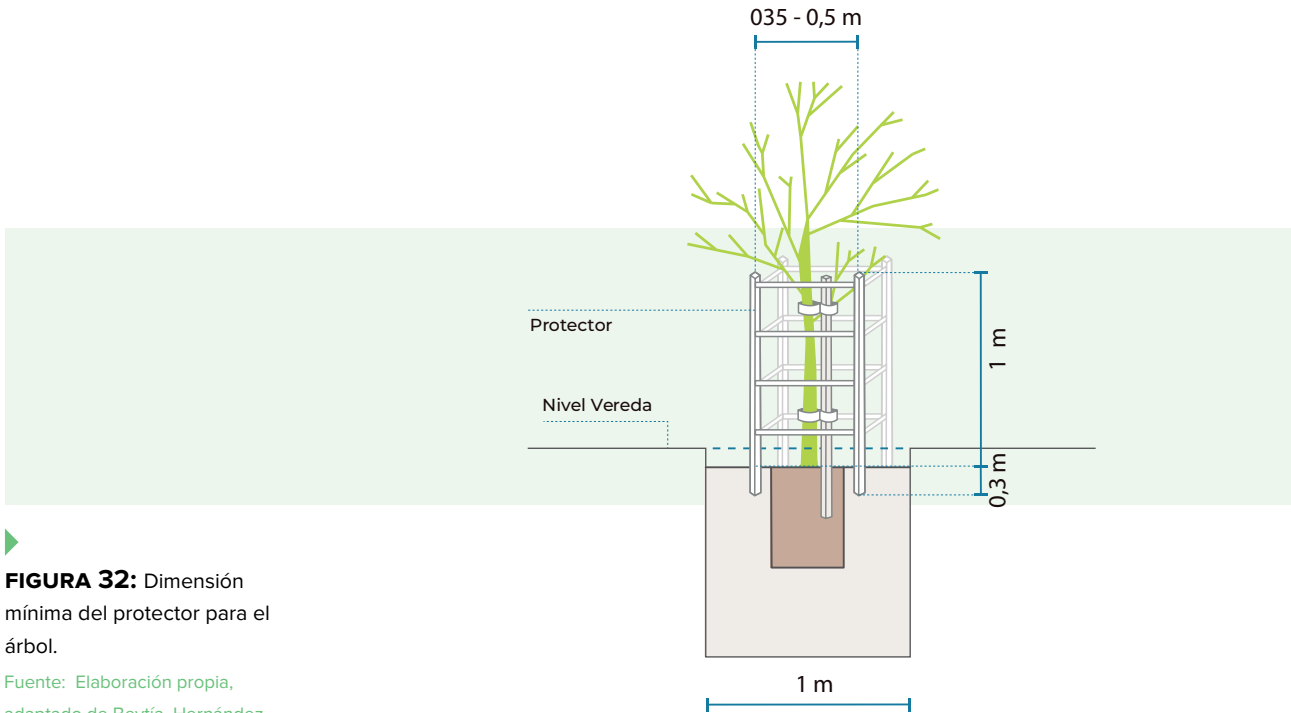


FIGURA 32: Dimensión mínima del protector para el árbol.

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Beytía, Hernández, Musalém, Prieto, & Saldías, 2012

donde su principal función es la de aislar la planta de los agentes de daño (animales, vientos, rayos del sol, vehículos o personas). Su forma puede ser cuadrangular, triangular o cónica. En cuanto a las dimensiones, es recomendable determinarla en base a la especie y tamaño del árbol. Sin embargo, como medida referencial se aconseja contar con un espacio libre interno de entre 0.35m a 0.50 m y tener una altura de 1 m, como se indica en la **FIGURA 32**.



FIGURA 33: Protectores metálicos

Fuente: César Pizzurno y Banco de imágenes.



► **FIGURA 34:** Protectores de listones de madera
Fuente: César Pizzurno.

La selección de los materiales para los protectores dependerá de factores como la disponibilidad local de los mismos, adecuación a las características y condicionantes normativas, arquitectónicas y paisajísticas del sitio y del presupuesto disponible. Entre las alternativas posibles, se encuentran los metálicos (perfiles cuadrados o redondos, varillas de \varnothing 6 o 8 mm soldadas) o de madera (postes: 4 x 4 cm y transversales: listones o alfajías cortadas de 3" x 1"). (Ver fotos en **FIGURAS 33 Y 34**).



► **FIGURA 35:** La media sombra y la esterilla de tacuara como alternativas de protección a los árboles

Fuente: Banco de imágenes y Cesar Pizzurno

Otra alternativa de protección es envolver al árbol con una esterilla de tacuara. Así mismo, cuando hay presencia de ganado o animales en el sector, se recomienda alambrear el cerco con tela de media sombra, utilizando aquellos que tengan una malla que permita pasar la luz hasta un 50%. En la foto de la **FIGURA 35** se ha utilizado una media sombra con una malla de 80%. Ésto crea un microclima no adecuado para el árbol, ya que durante su utilización se genera un súper crecimiento de las hojas debido a la filtración de los rayos del sol que hace la media sombra. Sin embargo, cuando se la retire, el árbol sufrirá estrés de exposición al sol.

• **Mantenimiento y cuidados posteriores**

Riego

En los primeros 6 meses, el riego es fundamental para que el árbol joven tenga un buen crecimiento y pueda superar el trasplante (MADES/PNUD/FMAM, 2019). Durante este periodo se recomienda regarlo una vez a la semana, evitando mucha presión (MADES/PNUD/FMAM, 2019). Los riegos se deben efectuar evitando las horas de pleno sol, y preferiblemente regar de tarde o noche para disminuir la evaporación (Alvarado et al., 2014). Como se visualiza en la **FIGURA 36**, se debe regar abundantemente y sin mucha presión, de forma que penetre en el suelo en profundidad y no solamente al pie del árbol, sino también alrededor, para ayudar a las raíces a desarrollarse en el entorno (Ayuntamiento de Madrid, 2018b).



FIGURA 36: Riego correcto para el árbol

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Ayuntamiento de Madrid, 2018c

Antes de regar, es importante controlar si el árbol efectivamente lo requiere: se debe evitar el exceso de riego para no reducir el espacio del aire en el suelo, lo cual es tan estresante como la falta de agua (Alvarado et al., 2014). Por ende, es importante no provocar acumulaciones de agua alrededor del cuello del árbol (Beytía et al., 2012).

Dado que los requerimientos hídricos son diferentes para cada especie y además fluctúan según época del año, clima local, etapa de crecimiento, no es posible dar una recomendación general sobre cantidad de agua de riego necesaria. Es recomendable que cada municipio establezca sus propios criterios de riego, tanto de frecuencia como cantidad, en base de experiencias locales, además de considerar las condiciones climáticas, el tipo de suelo (textura y estructura) y su capacidad de retención de humedad (Beytía et al., 2012).

Poda de formación

Se realiza a fin de mejorar el desarrollo y crecimiento del árbol en el entorno urbano. Para podar un árbol, primeramente, es necesario distinguir su uso, ya que es distinto el manejo de un árbol de alineación, que uno ubicado en un área verde (Beytía et al., 2012). Para los árboles en las vías urbanas, la poda debe realizarse en las ramas bajas que obstaculizan a peatones, al tránsito vial, a las señalizaciones o las que obstaculizan ventanas y fachadas.

El principio de la poda de formación es cortar siempre la periferia de la copa. Forman parte de este tipo de poda los siguientes tipos: reducción del volumen de la copa, raleo de copa, levantamiento de copa y reducción de altura de la copa. Existen otras alternativas de podas adecuadas al medio urbano que sirven como medidas de contingencia, como podas tipo desmoche, poda de reducción de riesgo, poda sanitaria y la poda direccional en “V”.

Como norma general, se recomienda no cortar ramas gruesas, con un diámetro mayor a 10 cm (Beytía et al., 2012) y realizar la poda en la temporada de septiembre a febrero, al salir de la temporada de frío, evitando así daños fitosanitarios en los árboles.

La **Ley N° 4928/13** de Protección al Arbolado Urbano establece seis tipos de podas, las cuales se aplican de acuerdo con el estado en el que se encuentra el árbol. En algunos casos se realiza para mejorar las condiciones fisiológicas y fitosanitarias de la especie vegetal, en otros para resaltar y mejorar las condiciones estéticas del individuo y atenuar su interferencia con estructuras físicas urbanas, así como para mejorar la estabilidad del árbol y eliminar riesgo de volcamiento.

Las podas de carácter liviano (seguridad, formación o mantenimiento) en terrenos privados es responsabilidad del propietario. Sin embargo, para las podas de carácter severo y tala de árboles en propiedades privadas, es necesario contar con la autorización de la Municipalidad. Con respecto a los árboles ubicados en la zona municipal (ej. calles, plazas, parques, etc.), es responsabilidad de la Municipalidad local la poda y tala de árboles, en los casos que considere pertinente.

Remoción de malezas y abono

De manera a garantizar el crecimiento del árbol joven, se recomienda abonar la tierra una vez al año y controlar periódicamente la superficie próxima al árbol, de modo a dejar libre de malezas.

7.3 Infraestructura Verde Urbana en los elementos del espacio urbano

La incorporación de Infraestructura Verde en las áreas urbanas trae consigo un rediseño y una readecuación de los diferentes elementos del espacio urbano. La “**Estrategia de diseño verde**” para las ciudades paraguayas contribuirá a:

- 1) Mejorar el manejo de las aguas urbanas**
- 2) Generar sombra y disminuir la temperatura en las ciudades**
- 3) Concebir, potenciar y mantener espacios públicos multifuncionales**
- 4) Incentivar la “movilidad activa”.**

Partiendo de las características locales y las normativas vigentes, se apunta a brindar propuestas y recomendaciones urbanísticas que contribuyan a priorizar los espacios destinados a las personas y a la naturaleza dentro de las ciudades. Para ello, se propone y se detalla para cada una de las posibles intervenciones de Infraestructura Verde, incorporando e integrando los diferentes tipos de SuDS (Sección 7.1) y la Arborización Urbana (Sección 7.2). La combinación de dichos elementos conforma corredores y redes de Infraestructura Verde en las áreas urbanas, la cual es una de las estrategias urbanas prioritarias a ser encaradas desde el MUVH en la construcción de ciudades paraguayas sostenibles. Además, se presentan diversos **escenarios urbanísticos** indicando las intervenciones de Infraestructura Verde Urbana propuestas, de manera a que los municipios los tomen como referencia durante el diseño y readecuación de estos espacios. Con esto, se busca caracterizar y ejemplificar una variedad de ubicaciones y entornos posible de las ciudades paraguayas.

Para los escenarios urbanísticos asociados a la calle, se propone soluciones diferentes tanto para un **entorno urbano** como **periurbano**. Esto se debe a las diferencias importantes entre ambos entornos, por lo cual amerita un enfoque diferente al diseñar soluciones de Infraestructura Verde Urbana. Las dos mayores diferencias encontradas son: una mayor disponibilidad de suelo permeable (sin pavimentar) y una mayor superficie disponible libre para eventuales intervenciones de Infraes-

Infraestructura Verde en un entorno periurbano. Indudablemente el entorno urbano se caracteriza por casi una completa transformación del suelo natural a superficie impermeable (techos, estacionamientos, calles asfaltadas, veredas, etc.) y un déficit de espacio disponible para eventuales intervenciones de Infraestructura Verde por la alta competencia con otros usos. Por lo anteriormente expuesto, al elaborar los escenarios urbanísticos, la estrategia de diseño para las zonas urbanas tiende a lograr intervenciones puntuales de transformación de la actual situación “gris” a “verde”, como por ejemplo reemplazar un estacionamiento por una zona de bioretención o proveer canteros y árboles dentro de una vereda existente, buscando siempre mayor infiltración de aguas de lluvias en el suelo además de obtener los otros beneficios asociados con la Infraestructura Verde. En cambio, para el entorno periurbano, la estrategia se basa principalmente en conservar y proteger la situación natural y la infiltración del suelo existente, aprovechando la disponibilidad actual del espacio para la incorporación preventiva de intervenciones de Infraestructura Verde Urbana.

Finalmente, cabe resaltar que cada uno de los elementos urbanos descriptos a continuación presenta una lista referencial de árboles adecuados a dicho entorno. Sin embargo, estas especies arbóreas se deben considerar solo como potenciales candidatos. Para la selección final de un árbol se debe, además de la función del lugar a ser plantado (Ver sección 7.2.3), se debe considerar otras variables, como ser su ubicación geográfica (ecorregión) y las limitaciones ambientales del entorno, presentado respectivamente en las secciones 7.2.1 y 7.2.2.

7.3.1 Calles

Idealmente todas las calles deben contar con una vegetación abundante en las veredas y con los componentes de SuDS, tales como superficies permeables y zonas de bioretención, lo que favorece la infiltración de aguas de lluvia. No obstante, en un contexto urbano, el espacio disponible para las intervenciones de Infraestructura Verde dentro del ancho de la calle es limitado. En particular el espacio disponible para la **Arborización Urbana** está delimitado a ciertas zonas de la vereda, siendo éstas la **franja de servicio** y la **franja de amortiguamiento**. La presencia de árboles y arbustos en alineación en dichas franjas amortigua el ruido del tráfico, provee sombra para los peatones, regula la temperatura y embellece el entorno urbano, incentivando así la “movilidad activa”. Complementariamente a las soluciones verdes, se debe prever también la construcción de **rampas peatonales** para personas con discapacidad motriz y **pavimentos podotáctiles** para guiar el camino a personas con discapacidad visual, así como la incorporación de **señalización vial horizontal (franjas peatonales) y vertical** correspondiente, de manera a garantizar la accesibilidad en base a lo establecido en la Ley N° 4934/13: *Accesibilidad al medio físico para las personas con discapacidad*, la Norma INTN: *Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos – Vías de circulación peatonales horizontales, 2010 y la Ley N° 5016/14: de Tránsito y Seguridad Vial*.

Para el diseño de una calle, las alternativas reales en cuanto a la plantación de árboles, construcción de SuDS, así como la dotación de mobiliario urbano, dependen principalmente del ancho total de la calle y el tipo de uso del entorno (local, comercial, mixto, etc.). En línea con la estrategia de diseño verde adoptada en este manual, se busca reemplazar la situación actual de una calle dominada por el tráfico de vehículos y la Infraestructura Gris por la priorización al peatón y la incorporación de soluciones de Infraestructura Verde. Por lo tanto, es necesario invertir el orden de prioridades, optimizando los espacios destinados a la movilidad activa y a la permeabilización del suelo. Para lograrlo, en primer lugar, se debe atribuir más espacio a la vereda, pues generalmente es ahí donde se dispone de la superficie necesaria para realizar estas intervenciones verdes, a costo del espacio para vehículos motorizados y el estacionamiento correspondiente.

Como se explica en Capítulo 6 (Sección 6.3.1), en el contexto paraguayo no existe una medida establecida para el ancho mínimo de la vereda, solo la exigencia de una franja de circulación de 1.2 m. Esta situación genera el uso ineficiente del

espacio, ya que las áreas destinadas al peatón y eventuales futuras intervenciones de Infraestructura Verde Urbana, incluyendo la Arborización Urbana, son insuficientes. Por dicho motivo, se propone en la **TABLA 15** las dimensiones mínimas requeridas para el ancho de la calzada, vereda y franja de amortiguamiento (ciclovía, estacionamiento en baterías, etc.) con el fin de proveer mayor espacio al peatón, así como a la implementación de las intervenciones de Infraestructura Verde propuestas a continuación.

Una segunda alternativa para dotar de mayor espacio a la Infraestructura Verde es incluir en el diseño de las calles las **extensiones de vereda**, que son ampliaciones en la franja de estacionamiento de la calzada. Además de crear mayor espacio,

Calle de 16 m	Ancho mínimo
Calzada	7 m (2 carriles de circulación de 3.5 m)
Vereda	3.3 m (2.1 m Franja de circulación + 1.2 Franja de Servicios: Infraestructura Verde)
Franja de amortiguamiento (Ciclovía, tira de estacionamiento en batería, etc.)	2.4 m (ciclovía de 2 sentidos)

► **TABLA 15:** Propuesta de ancho mínimo para calzada, vereda y franja de amortiguamiento en una calle

Fuente: Elaboración propia

contribuyen a pacificar el tránsito, mejoran la visibilidad de la zona y potencian el uso múltiple de los espacios públicos. La **FIGURA 37** presenta diferentes tipos de extensiones de vereda de acuerdo a la ubicación de ampliación: **Estrechamiento** (como se demuestra en el **Escenario 1**) cuando son ubicados en el medio de la cuadra, **portales** cuando se instala en entradas de las calles y **chicana** cuando forman una calle en forma de “S”, de manera a reducir la velocidad de los vehículos (NACTO, 2018). Todas las alternativas generan una reducción de la velocidad en los automóviles y en consecuencia ponen en primer lugar al peatón. Para el dimensionamiento de las extensiones de vereda se toma en consideración que un módulo de estacionamiento para las zonas urbanas tiene como dimensiones 2.5 m de ancho por 6 m de largo según el Manual de Carretas del Paraguay (MOPC, 2019).

Una vez que se ha creado mayor espacio para la vereda, se debe proyectar dentro de esta área los diferentes elementos físicos (árboles, SuDS, mobiliario urbano, señalización, etc.) de manera ordenada y armónica, así como también delimitar las



► **FIGURA 37:** Tipos de extensiones de vereda

Fuente: NACTO, 2018

diferentes zonas según su uso. Cada uno de dichos componentes tiene sus propias recomendaciones en cuanto a su ubicación y dimensionamiento, los cuales se ha descrito a mayor detalle para los SuDS en la Sección 7.1 y para los árboles en la Sección 7.2. También existen distancias mínimas que se deben respetar con los demás elementos físicos en la vereda, las cuales serán presentadas en el ítem: Intervenciones de Arborización Urbana.



► **FIGURA 37:** Tipos de extensiones de vereda

Fuente: NACTO, 2018

Intervenciones de SuDS

Para los **entornos altamente urbanizados**, se recomienda principalmente la implementación de SuDS que requieran de una superficie menor para su implementación, tal como el pavimento permeable (Ver **Escenarios 1 y 2**) y las zonas de biorretención con capas de infiltración (ver **Escenario 1 y Perspectiva 1**), a fin de aumentar la infiltración de las aguas de lluvia localmente en el suelo. Un beneficio importante es que estas intervenciones aumentan la disponibilidad de humedad en el suelo para los árboles ubicados en la misma vereda, favoreciendo el desarrollo de las raíces y el crecimiento de la parte superior (tallo y copa). Si bien el manual hace énfasis en el uso de los pavimentos permeables en la vereda, también es posible su utilización en la calzada (hormigón), así como en las franjas de estacionamiento (adoquines).

En los **entornos periurbanos** hay un mayor espacio disponible, por lo que se recomienda la utilización de las zonas de biorretención sin capas de infiltración (ver **Escenario 3A y Perspectiva 2**) y las cunetas verdes del tipo seco (ver **Escenario 3B**) para reemplazar a las típicas zanjas de hormigón utilizadas para drenar el agua superficial. Es importante mencionar que las cunetas verdes son especialmente útiles en los barrios y urbanizaciones ubicadas en la cuenca alta, donde la cantidad de escorrentía generada es menor. De esta manera, se busca controlar y retener el agua en lugares próximos a la fuente. En cambio, para la cuenca baja, donde los caudales generados por la escorrentía son más elevados dado que se concentra y acumula el agua de toda el área contribuyente, se requieren canales de mayores dimensiones (y en algunos casos subterráneos), para transportar el agua de lluvia, siendo para este caso lo más adecuado optar por canales tradicionales de hormigón o de piedras (infraestructura gris).

Intervenciones de arborización urbana

El éxito en la Arborización Urbana requiere tanto la selección de especies adecuadas al sitio, así como la ubicación correcta del árbol en función del espacio disponible, a las distancias mínimas entre los árboles y con los otros elementos físicos.

Especies de árboles

Para las veredas de las calles locales se recomienda seleccionar especies arbóreas de porte pequeño o mediano y de copa redonda; que no tengan mucho crecimiento, de manera a que no alcancen alturas superiores a los 6 metros. El motivo principal es evitar que los árboles en la edad adulta interfieran con el tendido eléctrico y causen el levantamiento de las vías con sus raíces (MADES/PNUD/FMAM, 2019). Otra alternativa para los nuevos desarrollos habitacionales es de optar por una vereda técnica de modo a ubicar todas las cañerías, ductos y cableados aéreos de los servicios urbanos, mientras que, en la otra acera de mayor ancho, se destina a la plantación de árboles sin interferencias por parte de la infraestructura urbana (Ver **Escenario 4**).

La **TABLA 16** presenta un listado de potenciales especies arbóreas en función del ancho de la vereda, diferenciado entre veredas angostas (1.8 m a 3.4 m) y anchas (3.5 m a 7 m).

Veredas angostas	Veredas anchas
Kamba akã guasu (<i>Guasuma ulmifolia</i>)	Sibipiruna (<i>Poincianella pluviosa</i>)
Casita (<i>Sapindus saponaria</i>)	Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)
Sapirangy (<i>Tabernaemontana catharinensis</i>)	Guaviju (<i>Myrcianthes pungens</i>)
Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)	Lapacho amarillo (<i>Handroanthus ochraceus</i>)
Kokü (<i>Allophylus edulis</i>)	Agua'i (<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>)
Inga'i (<i>Inga laurina</i>)	Tajy hũ (<i>Handroanthus heptaphyllus</i>)
Guaviju (<i>Myrcianthes pungens</i>)	Lapacho rosado (<i>Handroanthus impetiginosus</i>)
Villetana (<i>Triplaris gardneriana</i>)	Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)
	Petereby morotĩ (<i>Cordia glabrata</i>)
	Taruma (<i>Vitex megapotamica</i>)
	Tatarẽ (<i>Chloroleucon tenuiflorum</i>)

TABLA 16: Especies arbóreas recomendadas según el ancho de vereda

Fuente: Elaborado por el MUVH

Ubicación dentro de la vereda

La ubicación exacta y la distancia mínima de los árboles alineados en la vereda están condicionados por el porte en la edad madura de la especie seleccionada para la plantación (Ayuntamiento de Madrid, 2018a). Se recomienda los siguientes distanciamientos: (Beytía et al., 2012):

- Especie de porte pequeño (altura < 6 m): 4 m a 6 m de distancia
- Especie de porte medio (6 m < altura < 15 m): 6 m a 8 m de distancia

Un método alternativo para determinar la distancia adecuada entre árboles es en base al diámetro de la copa: si la distancia entre árboles es igual al diámetro de la copa, se tocarán, pero no se entrecruzan, mientras si la distancia es mayor que el

diámetro de la copa, quedará un espacio vacío igual entre los árboles (Alvarado et al., 2014).

Cuando la infraestructura existente no permita un gran desarrollo radicular, como en las *calle locales angostas (menores a 1.8 m)*, se utilizarán los arbustos tratados como árboles pequeños (MDU, 2015). Otra alternativa para las calles de tamaño reducido es la incorporación de extensiones de la vereda en la esquina (tipo PORTAL). Ésto ayuda a aumentar la seguridad peatonal y la visibilidad en la vía pública (Ver **Escenario 5**).

El no respetar las distancias mínimas entre árboles resulta en el entrecruzamiento de las copas de los mismos, como se demuestra en las fotos de la **FIGURA 38**, y tiene un impacto negativo sobre el crecimiento correcto del árbol en su edad adulta.



FIGURA 38: Árboles con copas entrecruzadas

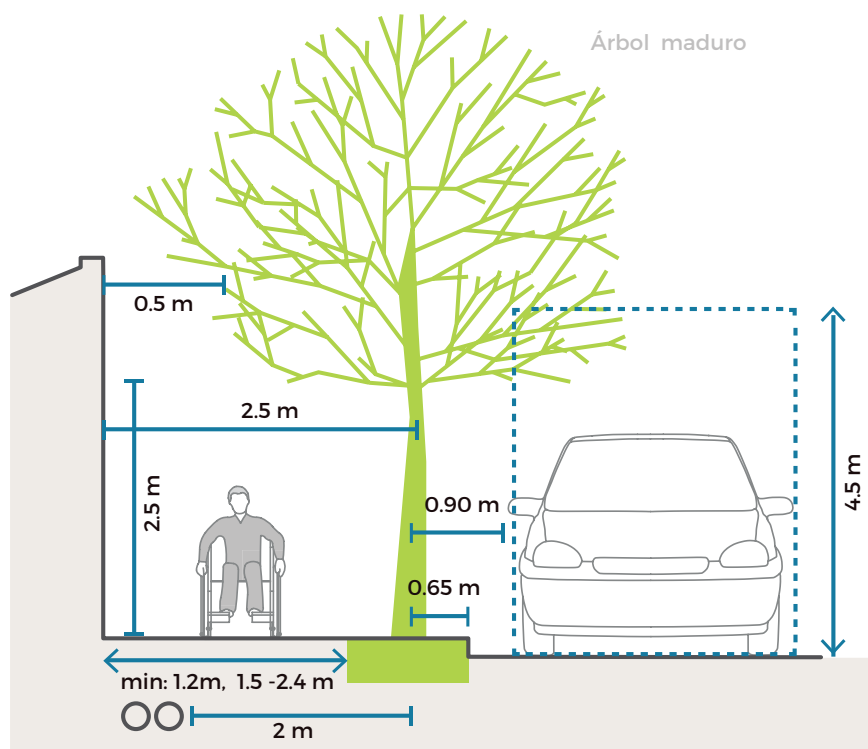
Fuente: César Pizzurno

Con respecto a la posición del árbol en relación a otros elementos que forman parte del entorno; se describen a continuación las distancias mínimas aconsejables que deben respetarse al plantar un árbol de alineación en las vías urbanas, como se demuestra de manera gráfica en las **FIGURAS 39 Y 40**.

- **Fachadas de edificios:** las copas de los árboles deben respetar, sin invadir, un espacio de 0.5 m a partir de la Línea Municipal (L.M.) considerando las fachadas o balcones de los edificios (MADES/PNUD/FMAM, 2019). Además, se debe evitar el uso de especies que invadan la zona privada en su desarrollo adulto y, en caso de que ya exista un árbol en el jardín de una parcela privada que sobrevuele la calzada, no se debe realizar la plantación del árbol en la vereda, dado que no existe espacio aéreo suficiente para el crecimiento (Ayuntamiento de Merida, 2018b).
- **Peatones:** de manera a no invadir el espacio destinado al uso peatonal, el árbol (copa y tronco) deberá mantener una altura libre de 2.5 m, medida desde el suelo hasta la primera rama estructural y no estar ubicado en la franja de circulación para peatones, personas con discapacidad o carritos para bebés, cuyo ancho mínimo deberá ser de 1.2 m, siendo un ancho recomendable entre 1.8 m y 2.4 m (INTN, 2010; MADES/PNUD/FMAM, 2019; NACTO, 2018).

- **Calzada:** la distancia entre el eje del árbol y el cordón de la calzada no deberá ser menor de 0.65 m. Así mismo, en lo posible ninguna parte del árbol debe invadir la vertical del borde de la calzada hasta una altura de 4.5 m. Por último, de contar con una ciclovía o estacionamiento en tira en la calle, es recomendable que los árboles se encuentren a una distancia mínima de 0.9 m (MADES/PNUD/FMAM, 2019; TDAG, 2014).

- **Capas subterráneas del suelo:** uno de los conflictos más frecuentes es la competencia por el espacio subterráneo, que ocurre entre el sistema radicular del arbolado y las cañerías de los servicios urbanos. De manera a prevenir la invasión de las raíces en canalizaciones o edificaciones, como para evitar problemas de anclaje al dañar las raíces en la apertura de zanjas para la instalación de servidumbre, se recomienda una distancia mínima desde el tronco a la red, de 0.75 m a 1 m para especies pequeñas, entre 1 m a 2 m para las medianas, y 2.5 m a 3 m de distancia las de gran porte. El diseño de los servicios debe ser en paralelo y fuera de la línea del cantero (Ayuntamiento de Madrid, 2018b; Beytía et al., 2012).



Ejemplo ilustrativo, sin escala

FIGURA 39: Distancias entre el árbol y los elementos construidos de la calle.

Fuente: Elaboración propia en base de TDAG, 2014 y MADES/PNUD/FMAM, 2019

- **Señalización vertical y alumbrado urbano:** Es recomendable que ninguna parte del árbol impida la visibilidad de señales verticales para el tráfico rodado. De manera a salvaguardar la visibilidad de los conductores y peatones, se presentan a continuación las dimensiones recomendadas a tomar en cuenta para nuevas plantaciones de árboles, así como para la colocación de nuevas señalizaciones o artefactos urbanos en calles con arboleda consolidada.

o **Semáforos:** la distancia mínima entre el eje del árbol y el artefacto debe ser de 4.5 m (MADES/PNUD/FMAM, 2019).

o **Alumbrado:** la distancia mínima entre el eje del árbol y el poste debe ser de 4 m, de modo a evitar interferencias en la iluminación (Ayuntamiento de Madrid, 2018b).

- o **Señalización vertical y paradas de buses:** la distancia entre el árbol y la señalética de la parada de buses debe ser de 2 m como mínimo (MADES/PNUD/FMAM, 2019; Ayuntamiento de Madrid, 2018b).

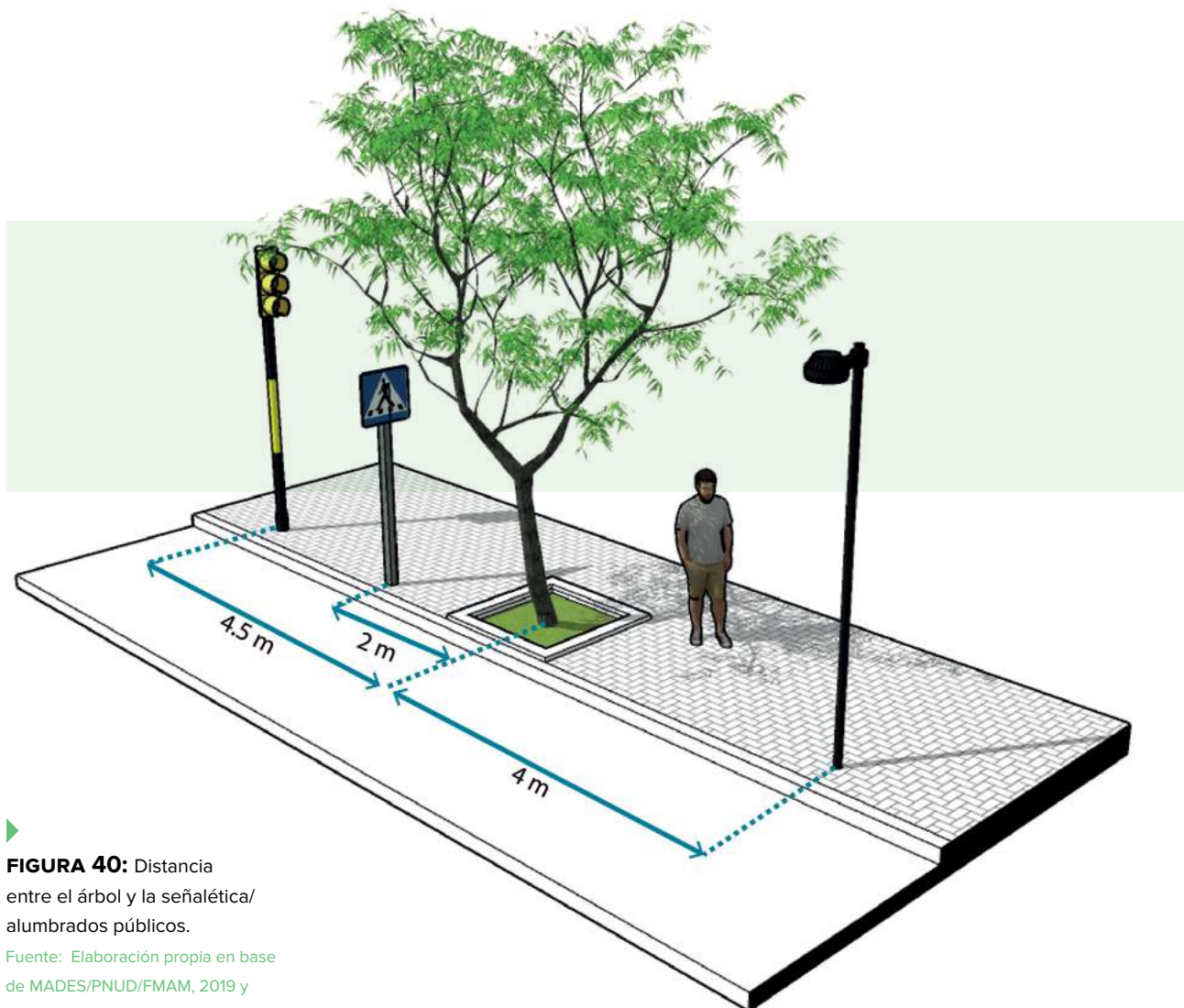


FIGURA 40: Distancia entre el árbol y la señalética/alumbrados públicos.

Fuente: Elaboración propia en base de MADES/PNUD/FMAM, 2019 y Ayuntamiento de Madrid, 2018b

Finalmente, hay situaciones o ubicaciones en donde es preferible no plantar árboles. Por ejemplo, en aquellos lugares donde la vereda es menor a 1.8 m o puntos que requieran una buena visibilidad, tales como áreas cercanas a una intersección de calles, esquinas, semáforos, luminarias, señaléticas, postes de luz o teléfono, etc. (Beytía et al., 2012). La foto en **FIGURA 41** demuestra un árbol plantado en la esquina de la cuadra, siendo éste un lugar no recomendable, pues la misma debe estar libre de obstáculos para el conductor y garantizar espacio mínimo para permitir la accesibilidad a todas las personas con la construcción de rampas peatonales.



FIGURA 41: Árbol plantado en la esquina de la cuadra, evidenciando una ubicación incorrecta

Fuente: César Pizzurno

Dimensiones del cantero

El ancho del cantero no debe tener una medida fija, sino que debe ser flexible y ajustarse proporcionalmente al ancho total de la vereda existente. Por ejemplo, en la normativa de la ciudad de Buenos Aires (MDU, 2015), la medida del cantero aumenta con relación al ancho de la vereda, como se demuestra en la **TABLA 17**.

Ancho vereda (m)	Cantero			Árboles	
	Tipo	Ancho (m)	Largo (m)	Superficie (m ²)	Porte
Menor a 1.8	Individual	0.6	0.8	0.48	Arbusto
Entre 1.8 y 2.4	Individual	0.8	0.8	0.64	Pequeño
Entre 2.4 y 3.4	Individual	1.2	1.2	1.44	Pequeño/ Mediano
Entre 3.40 y 7	Corrido	1.5	-	-	Mediano / Grande

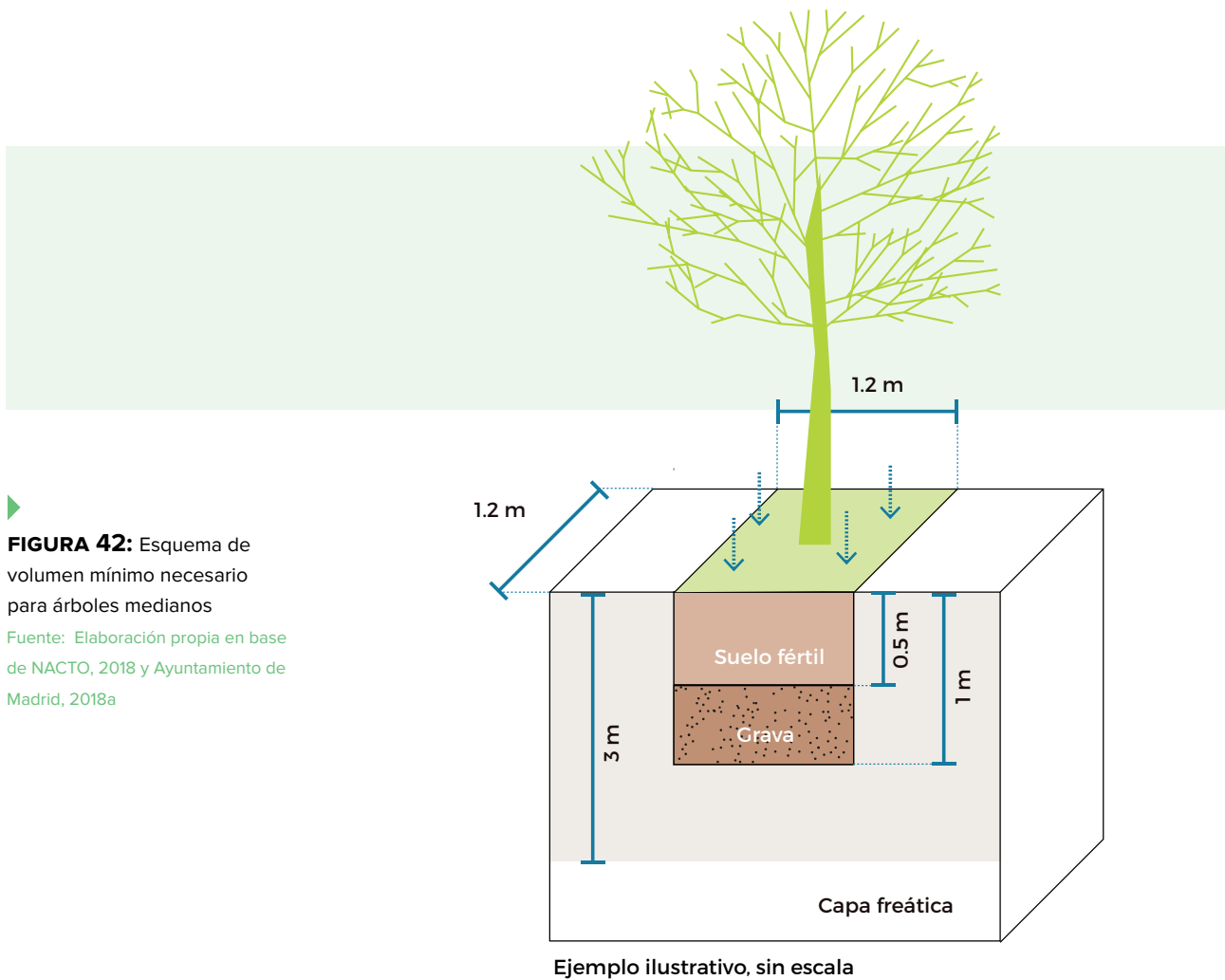
TABLA 17: Medidas de cantero con relación al ancho de vereda - Normativa de la ciudad de Buenos Aires

Fuente: Elaboración propia en base de (MDU, 2015)

Ya que, desde el punto de vista de la Infraestructura Verde Urbana, se busca una mayor superficie permeable para la infiltración del agua, es deseable que el área del cantero sea lo más grande posible, siempre respetando la distancia mínima con respecto a otros elementos y franjas y el ancho mínimo de las otras franjas de la calle (como franja peatonal).

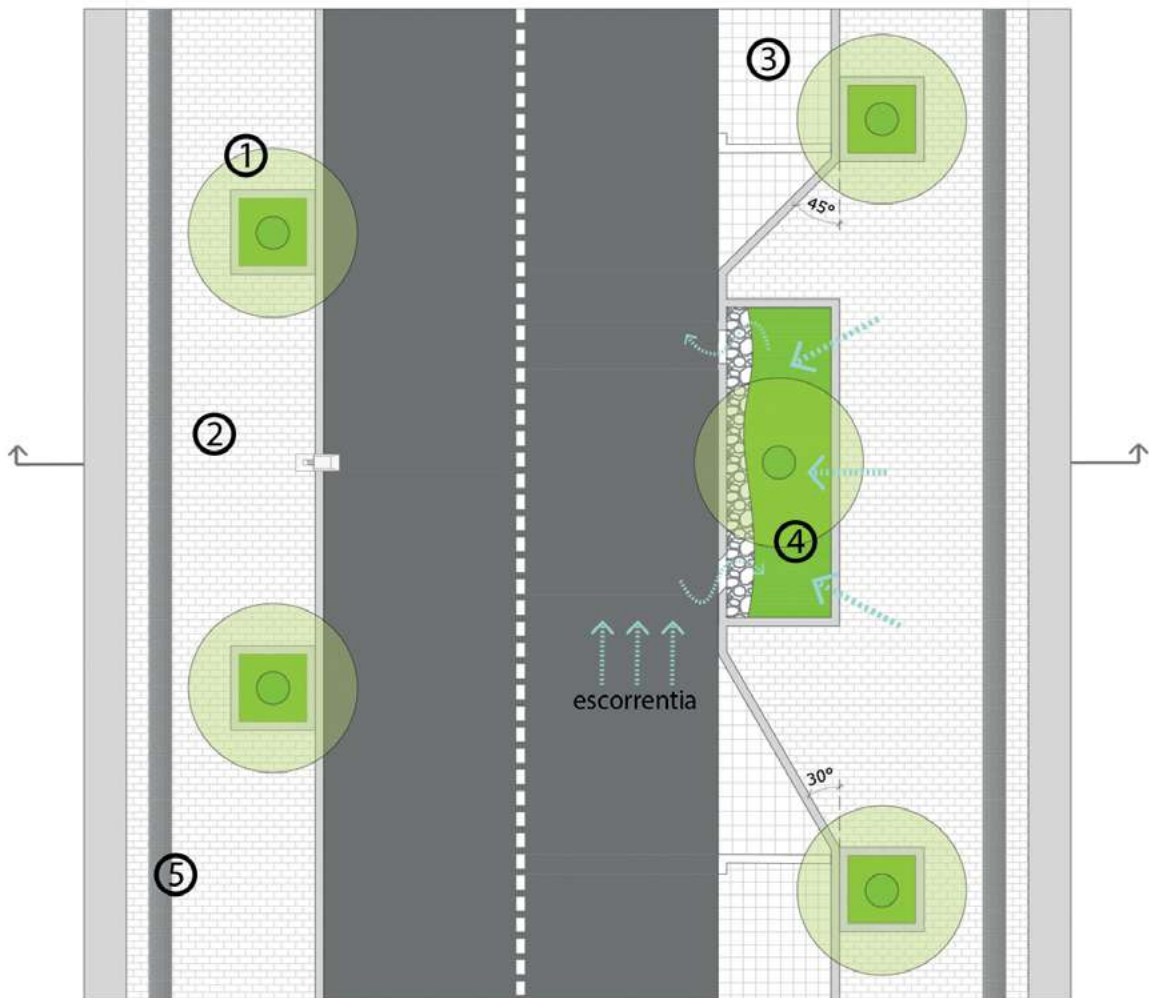
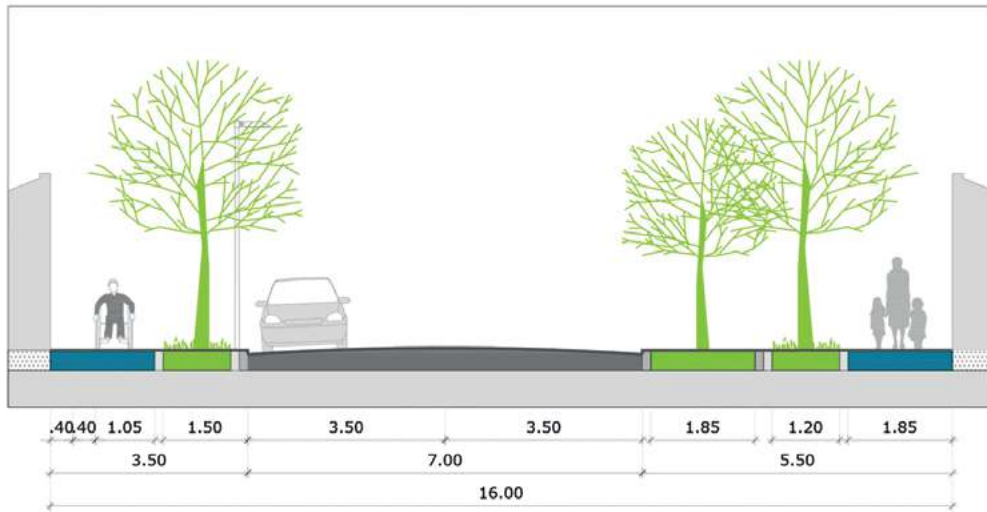
Para posibilitar el desarrollo del árbol en zonas altamente urbanizadas, donde el suelo del entorno del árbol se encuentra impermeabilizado, es necesario que el cantero cuente con una superficie y un volumen mínimo de tierra de acuerdo con el tipo del árbol. Se recomienda que el volumen mínimo de tierra útil requerida para la plantación de un árbol en el **cantero individual** sea de 1 m³ (1 m x 1 m x 1m), manteniendo siempre 0.5 m de distancia al tronco, y con al menos 1 m

de profundidad (Ayuntamiento de Madrid, 2018c). Su forma podrá ser cuadrada, rectangular o redonda. El en caso de un **cantero corrido** la forma será rectangular formando una franja verde de árboles que deberán tener un ancho máximo de 2.5 m y con una altura mínima de 1 m (Ayuntamiento de Madrid, 2018c). Como ejemplo, la **FIGURA 42** demuestra el esquema de superficie y volumen recomendado para un árbol de mediano porte. Se recomienda que durante la etapa de planificación, el municipio defina el volumen, superficie y mínimo de tierra útil, en conjunto con un ingeniero forestal de acuerdo con las especies a ser utilizadas en el proyecto de arborización.



Por último, la zona destinada a los canteros no deberá contener ningún tipo de canalización destinada a conducir servicios urbanos, sean públicos o privados (Ayuntamiento de Madrid, 2018) y su ubicación no deberá obstaculizar los accesos a los estacionamientos, comercios, paradas de transporte público, etc.

A continuación, se presenta diversos **escenarios de diseños** referenciales para la incorporación de los diferentes componentes de Infraestructura Verde Urbana en la calle, tanto para entornos urbanos como periurbanos.



Zona Urbana Escenario de diseño 1: Calle local 16m de ancho

Esta tipología se utiliza especialmente en zonas habitacionales de baja/media densidad y en zonas comerciales o servicios a escala barrial. El tráfico peatonal y vehicular es bajo a medio. El ancho de la vereda es de 3.5m y el ancho de la calzada es de 9m (2 carriles y estacionamiento).

En las veredas, se propone ampliar sectores de la misma para la construcción de zonas de biorretención con capas de infiltración, destinándose mínimamente el área originalmente destinada para dos módulos de estacionamiento. Así mismo, se proyecta la plantación de árboles en alineación ubicados en alcorques individuales y la utilización de pavimento permeable (ej. Adoquín) en la franja de circulación de servicios de la vereda, así como en el sector de estacionamiento ubicado en la calzada.

Finalmente se plantea la utilización de pavimentos podotáctiles, ubicados a 0,4m de la Línea Municipal.

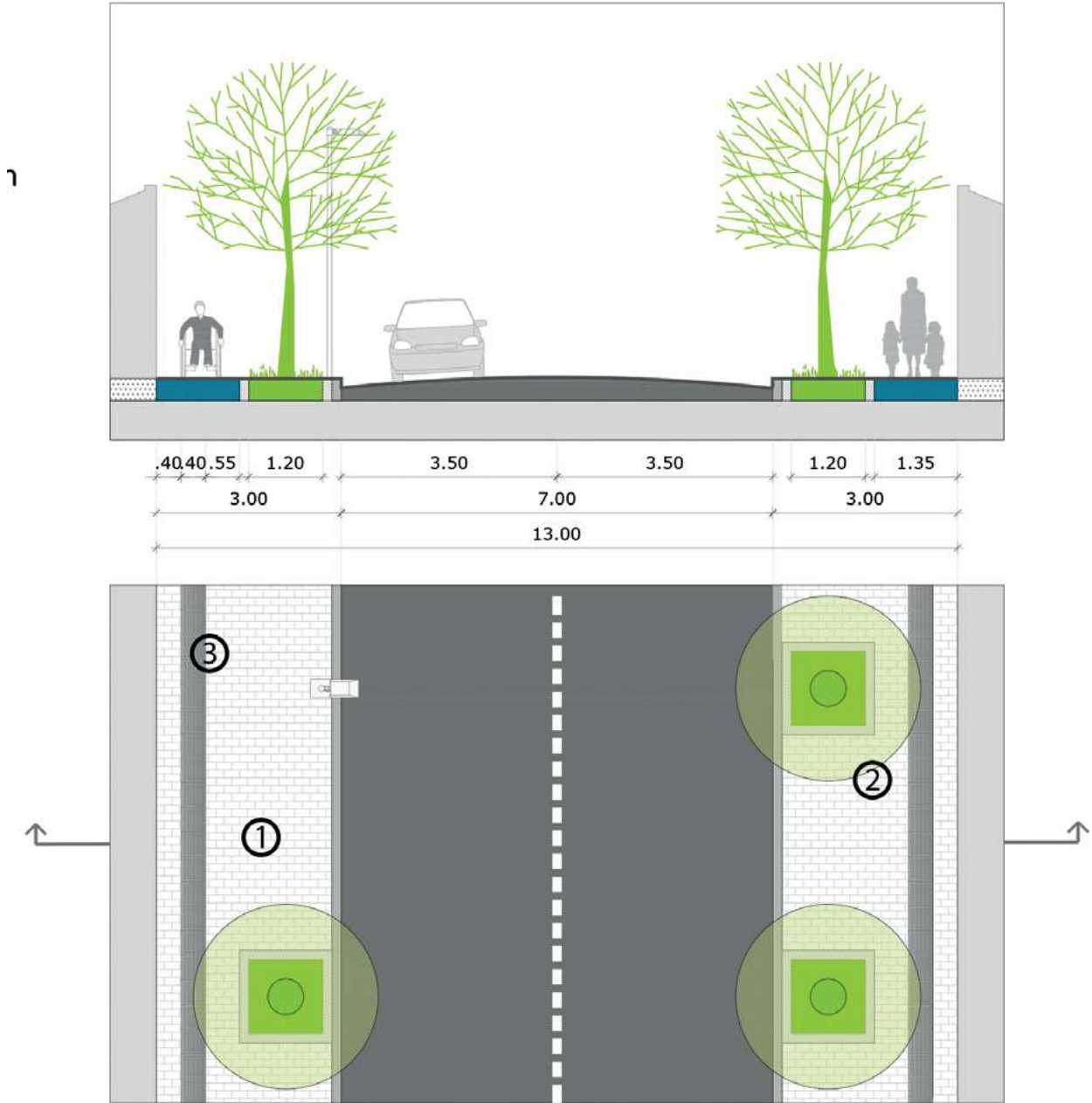
Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Arborización - Alcorque individual (ver 4.2)
2. Pavimento permeable en vereda (Ver 4.1.2)
3. Pavimento permeable en estacionamiento (Ver 4.1.2)
4. Zona de biorretención con capas de infiltración (Ver 4.1.3)

Accesibilidad

5. Pavimento podotáctil





Zona Urbana

Escenario de diseño 2: Calle local 13m de ancho

Esta tipología se utiliza generalmente en zonas habitacionales de media y baja densidad de las áreas consolidadas de las ciudades- El tráfico peatonal y vehicular es bajo, ya que es utilizado por los habitantes de la zona.

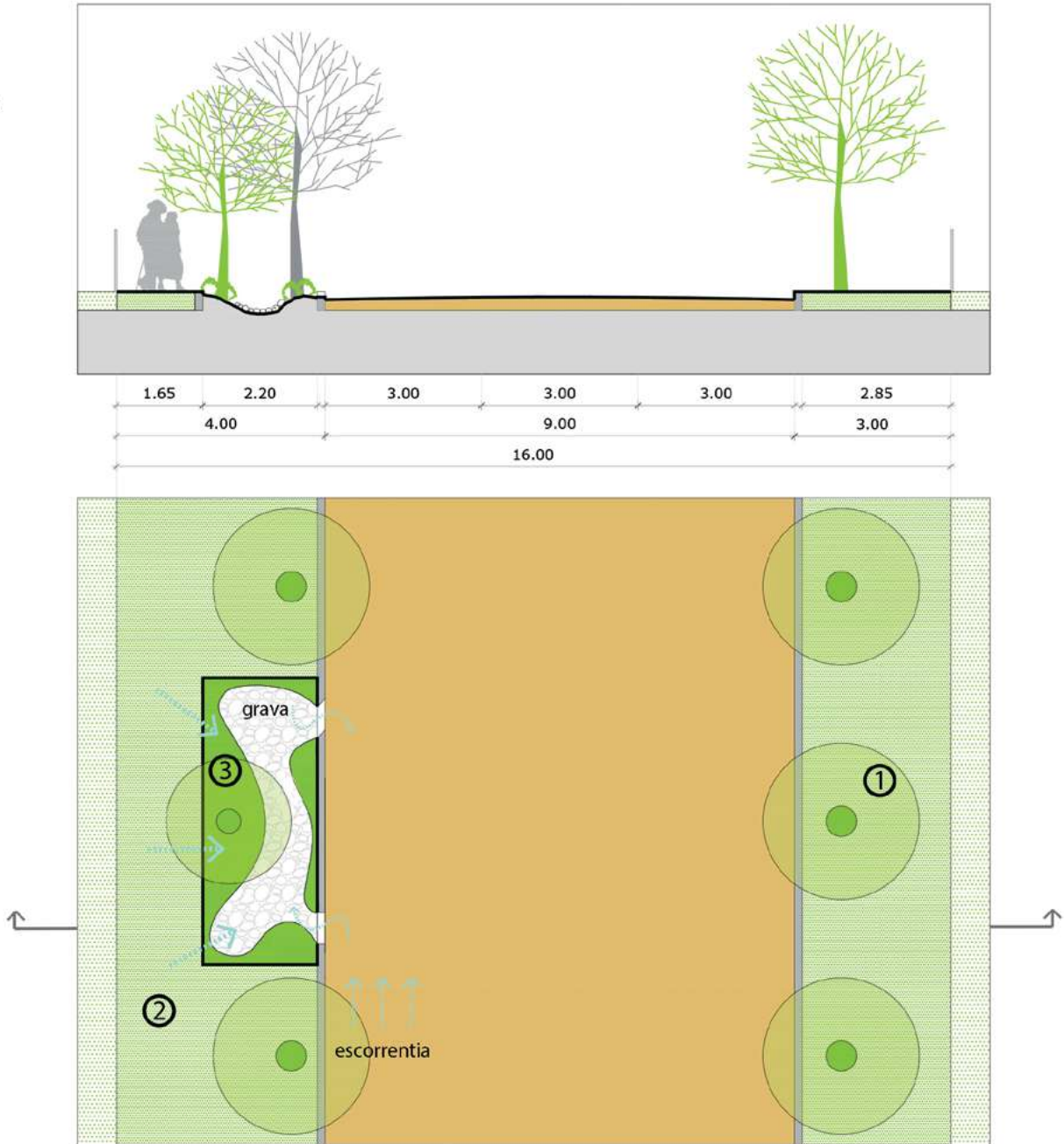
En las veredas, se propone dar énfasis a la plantación de árboles en alineación ubicados en alcorques individuales y utilizar pavimento permeable (ej. Adoquín) en la franja de circulación y de servicios. Además se plantea la utilización de pavimentos podotáctiles, ubicados a 40cm de la Línea Municipal.

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Arborización - Alcorque individual (ver 4.2)
2. Pavimento permeable (Ver 4.1.2)

Accesibilidad

3. Pavimento podotáctil



Zona Periurbana Escenario de diseño 3A: Calle local 16m de ancho

Esta tipología corresponde a las zonas habitacionales de baja densidad ubicadas principalmente en los bordes de las ciudades. El ancho de la calzada es de 9m de tipo enripiado o de tierra. El tráfico peatonal y vehicular es bajo y cuenta con una alta superficie de suelo permeable.

Se plantea la construcción de cordones, rampas peatonales e intervenciones de Infraestructura Verde Urbana, de manera a delimitar claramente los espacios para veredas y calzadas. Debido al espacio disponible y no diferenciado, se propone aumentar el ancho de una de las veredas a 4m de manera a incorporar soluciones verdes (zona de biorretención sin zanjas de infiltración o cuneta verde) para el manejo de escorrentías. Además se plantea que la otra vereda tenga un ancho de 2.85m, en la cual se realizará la plantación de árboles en alineación. Para ambas veredas, se prevé la utilización de adoquines ecológicos como alternativa de pavimento permeable en la franja de circulación y de servicios.

Alternativa

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Arborización (ver 4.2)
2. Pavimento permeable en vereda (Ver 4.1.2)
3. Zona de biorretención sin capas de infiltración (Ver 4.1.3)



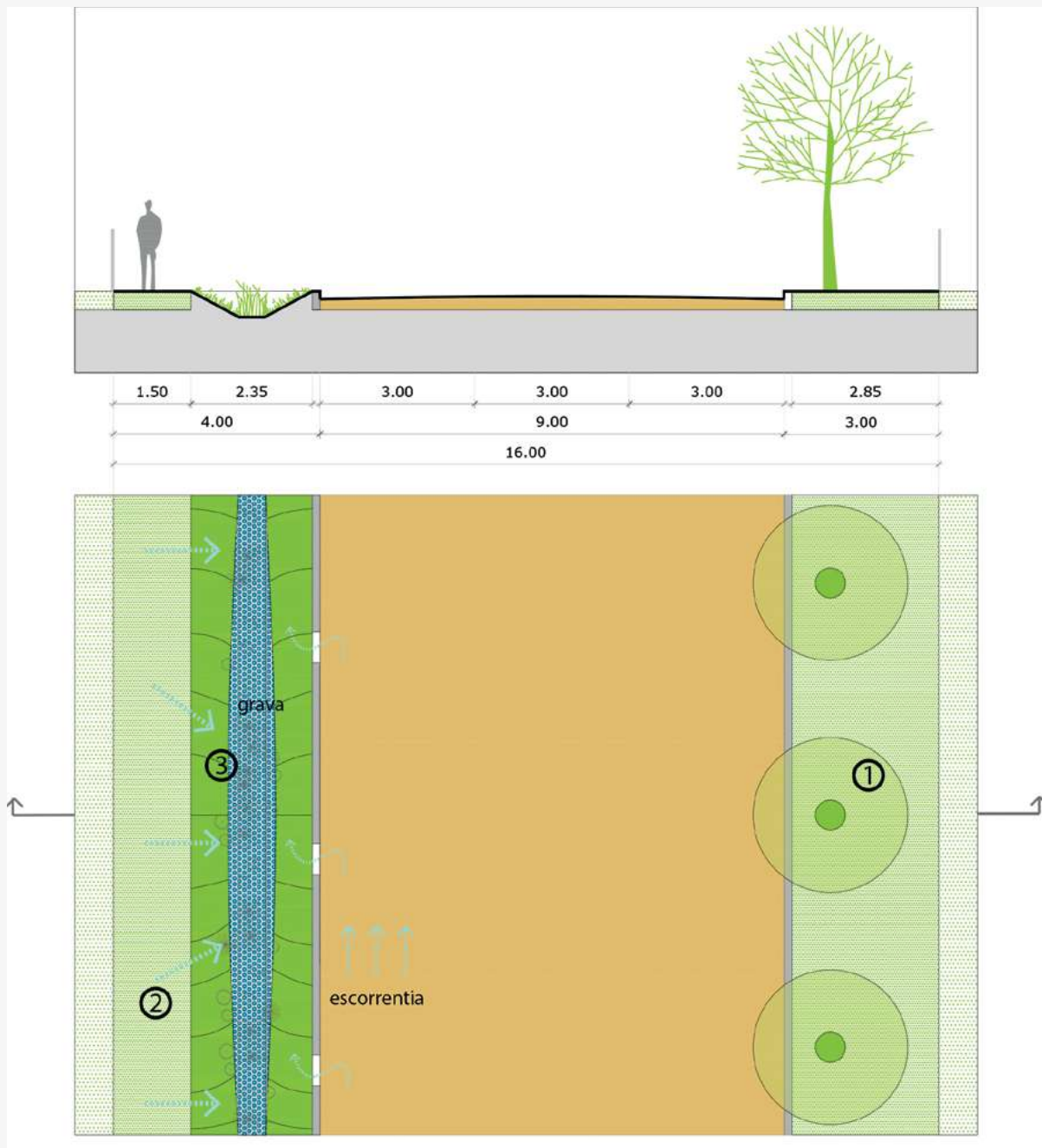
Zona Periurbana Escenario de diseño 3B: Calle local 16m de ancho

Escenario de diseño 2: Calle local 13m de ancho

Alternativa 2

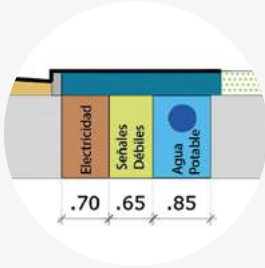
Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Arborización - Alcorque individual (ver 4.2)
2. Pavimento permeable en vereda (Ver 4.1.2)
3. Cuneta Verde (Ver 4.1.3)



Zona Periurbana
Escenario de diseño 4: Nuevos desarrollos habitacionales.
Calle local 16m de ancho

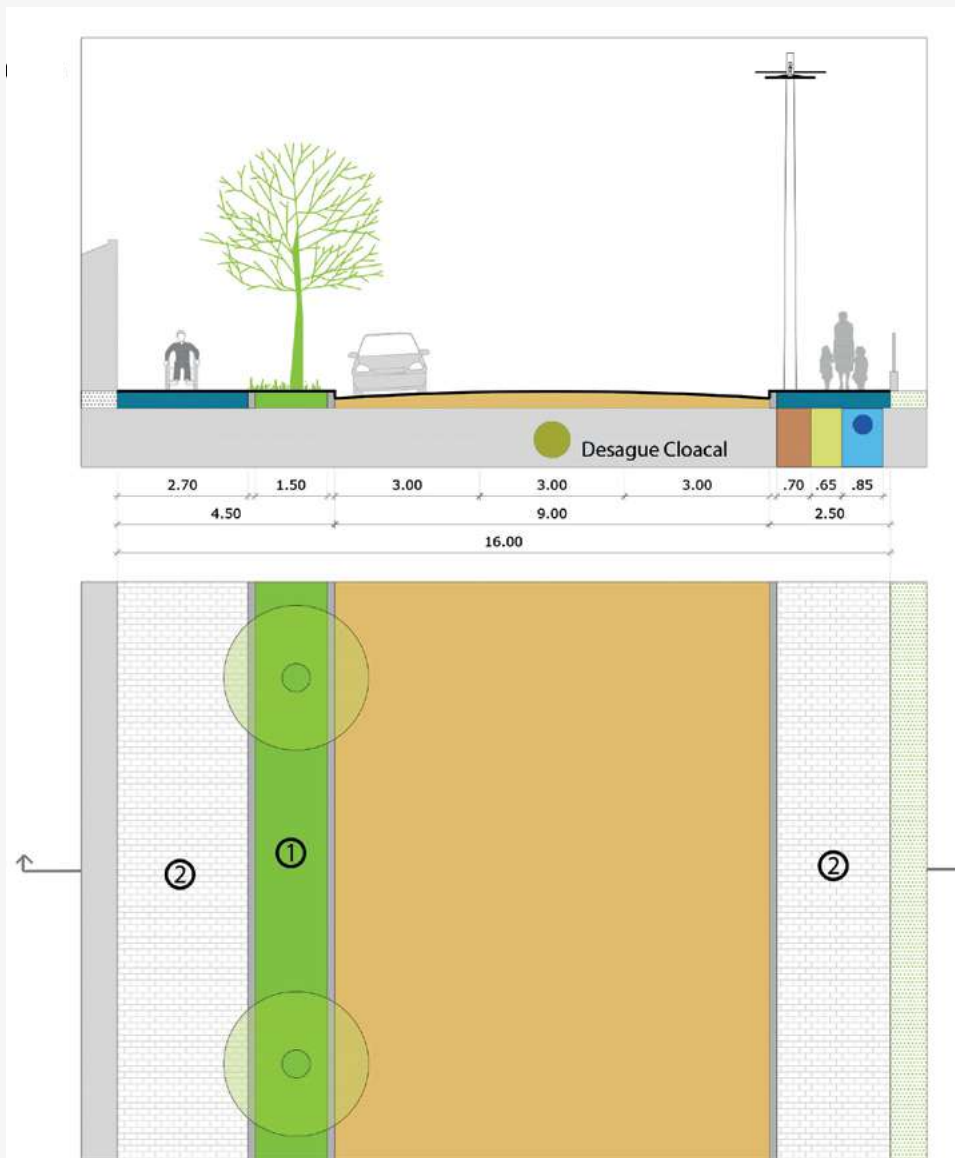
Esta tipología es utilizada en nuevos desarrollos habitacionales de baja/media densidad, donde el tráfico vehicular es bajo y las veredas son utilizadas principalmente por los residentes. El ancho de la calzada es de 9m (2 carriles y estacionamiento) y se proponen veredas de anchos diferentes, de tal modo que el desarrollo de árboles no interfiera con las redes de infraestructura urbana. Para ello, la vereda que contiene la arborización tendrá una medida mayor (4.5m) generando un mayor espacio de circulación y disfrute para los peatones, mientras que en la vereda de ancho menor (2.50m) se proyecta ubicar el tendido eléctrico, las cañerías y ductos de los servicios urbanos. Si bien la instalación del tendido eléctrico y de señales débiles es generalmente aérea, se incluyen además los anchos mínimos necesarios para en el futuro realizar una instalación subterránea de estas redes.



Propuesta de medida de canalizaciones de servicios subterráneos

Componentes Infraestructura Verde Urbana

- 1- Arborización - alcorque corrido (Ver 4.2)
- 2- Pavimento permeable (Ver 4.1.2)



Zona Urbana **Escenario de diseño 5: Calle con veredas angostas** **(menor a 1.8m)**

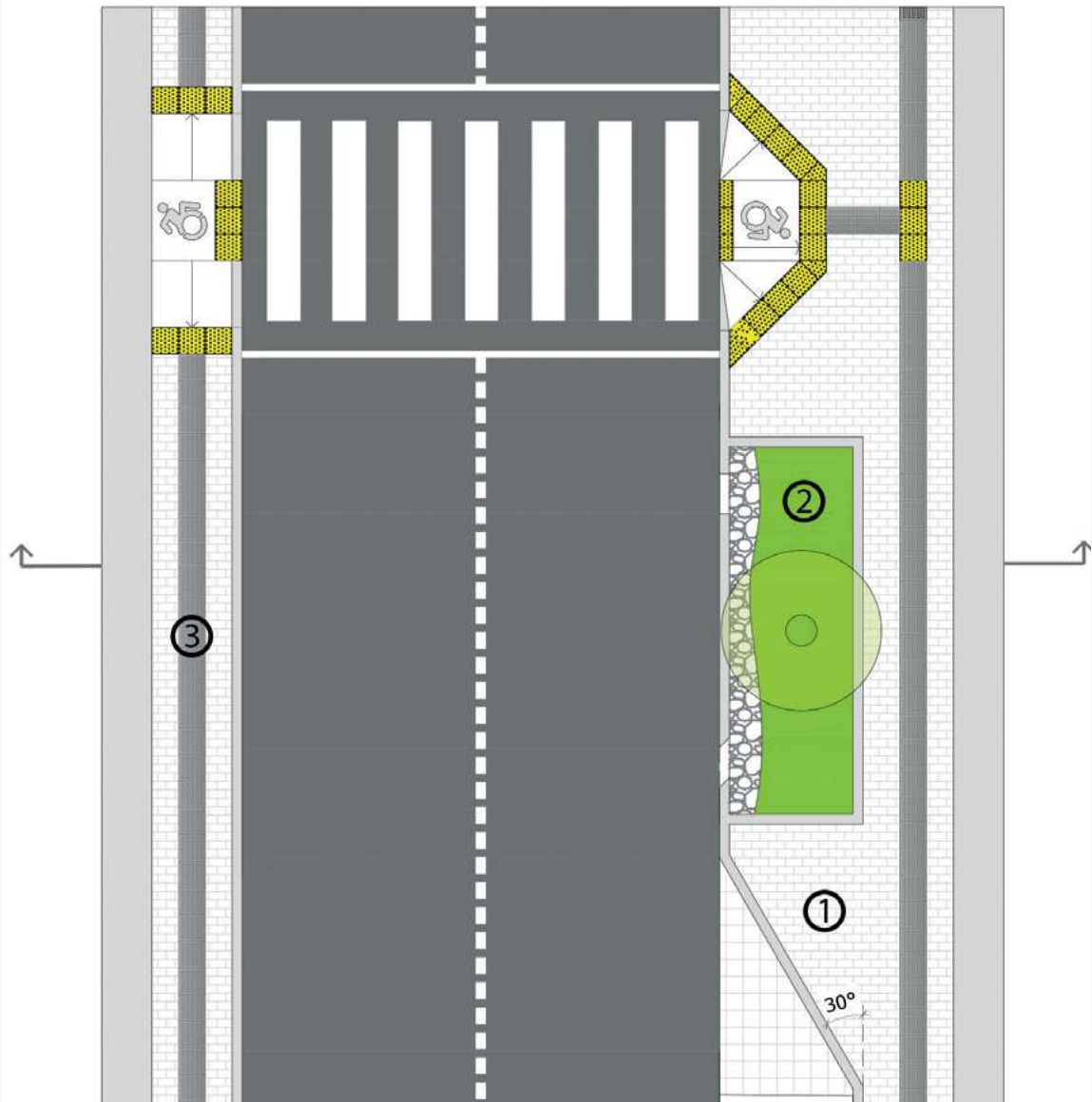
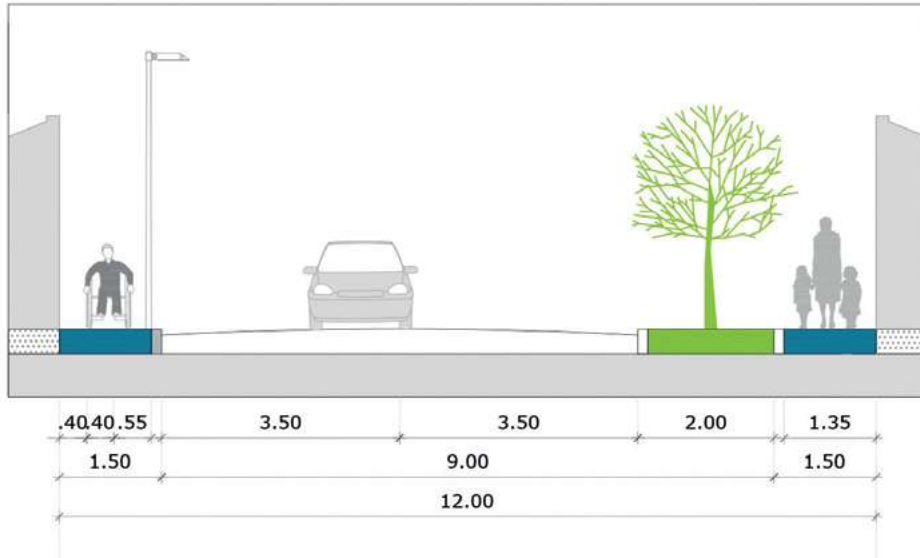
En áreas urbanas consolidadas históricamente, existen veredas que no cuentan con los anchos mínimos requeridos. Si bien no es recomendable plantar árboles en alineación en veredas menores a 1.8m es posible realizar otras técnicas para poder incluir elementos de Infraestructura Verde Urbana en estos espacios. Para ellos, se propone extender de veredas en las esquinas (tipo Portal) en donde serán construídas zonas de biorretención con capas de infiltración, reemplazando por uno a dos módulos de estacionamiento (dependiendo del espacio disponible). Además, en las murallas de las casas se podrá instalar muros verdes, los cuales tienen un gran efecto en el ánimo de las personas, además de ser bueno para la naturaleza. Por último, se plantea la utilización de pavimentos podotáctiles, ubicados a 40cm de la Línea Municipal.

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Pavimento permeable (Ver 4.1.2)
2. Zona de biorretención con capas de infiltración (Ver 4.1.3)

Accesibilidad

3. Pavimento podotáctil
4. Rampa peatonal (ancho de vereda reducido)
5. Rampa peatonal (ancho de vereda adecuado)



7.3.2 Avenidas y paseos centrales

Las **veredas de las avenidas** son espacios públicos fundamentales para promover la movilidad activa dentro de una ciudad. De manera a generar sombra y resguardo a los transeúntes en estos espacios, se recomienda optar por especies arbóreas de porte mediano o grande y de copa redonda. Es recomendable proyectar la plantación en la avenida en base de tramos variados, alternando árboles perennes con caducos, floración-follaje etc. y no utilizar una sola especie, ya que de esta forma toda la arborización está más expuesta a plagas o enfermedades, poniendo en riesgo a todo el arbolado. Así mismo, para su diseño se sugiere utilizar los lineamientos y criterios descritos en la sección de las veredas de calles (Ver Sección 6.3.1). Considerando que el ancho de la avenida es mayor, la **TABLA 18** presenta una recomendación en cuanto al ancho mínimo necesario para la calzada, vereda y paseo central con el fin de priorizar los espacios para el peatón, así como para la implementación de las intervenciones de Infraestructura Verde.

Avenida de 32 m	Ancho mínimo por sentido de circulación
Calzada	10 m (3 carriles de circulación)
Vereda	4.5 m (3 m Franja de circulación + 1.5 m Franja de Servicios: Infraestructura Verde)
Paseo Central / Ciclovía	3 m

► **TABLA 18:** Propuesta del ancho mínimo para calzada, vereda y paseo central en una avenida

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presentan las propuestas y recomendaciones urbanísticas para los **paseos centrales** de avenidas, que es el espacio público lineal ubicado entre las dos calzadas y funciona como un elemento divisor del tránsito. De acuerdo con el espacio disponible, es posible la plantación de árboles, la incorporación de mobiliario urbano, según se ilustra en la **FIGURA 43**, así como la implantación de SuDS a lo largo de la franja. Estas intervenciones aportan varios beneficios al entorno urbano: reducen el impacto acústico del tráfico y la contaminación del aire, aumentan la biodiversidad y ofrecen un entorno atractivo para la movilidad activa o descanso del peatón (MDU, 2015).



► **FIGURA 43:** Infraestructura Verde Urbana en paseos centrales

Fuente: César Pizzurno

Intervenciones de SuDS

De manera a promover la infiltración de agua de lluvia y favorecer el desarrollo de las raíces del arbolado urbano, se recomienda maximizar la superficie permeable durante la etapa de diseño. Ésto se logra mediante el uso de **pavimentos permeables** (ej. adoquín) para las zonas del paseo central que requieran ser pavimentadas, manteniendo el resto de la superficie en estado natural con cobertura vegetal (como se demuestra en el **Escenario 6**) o con la incorporación estratégica de islas de zonas de biorretención. En caso de que se decida priorizar el manejo de agua de lluvia sobre el uso peatonal de la vía, se puede optar también por una zona de biorretención continua (como se demuestra en el **Escenario 7**), con diversas entradas para la recolección de la escorrentía generada en las calzadas.

Intervenciones de Arborización Urbana Especies de árboles para el paseo central

Se recomienda optar por árboles de porte mediano o grande y de copa abierta (en forma de sombrilla) de manera a permitir la visualización al peatón y al automotor (MADES/PNUD/FMAM, 2019). Esto es posible ya que en los paseos centrales no hay presencia de cableado eléctrico, por lo cual no existe restricción en cuanto a la altura del árbol como en el caso de la vereda.

Para los **paseos centrales angostos** con un ancho mínimo de **1.5 m**, se sugiere especies arbóreas ornamentales de porte mediano, copa abierta y flores vistosas de mediano porte, las cuales deben estar como mínimo a 6 m de distancia de cada especie arbórea. **Para los paseos centrales anchos de 6 m** en adelante, se recomienda especies arbóreas ornamentales de porte grande y flores vistosas que estén como mínimo a 8 m de distancia de cada especie arbórea (de eje a eje). La **TABLA 19** presenta un listado de especies arbóreas recomendadas en función del ancho del paseo central.

Paseo central angosto (1,5 a 5,9 m)	Paseo central ancho (> 6m)
Kamba akã guasu (<i>Guasuma ulmifolia</i>)	Yvyra ju (<i>Albizia niopoides</i>)
Casita (<i>Sapindus saponaria</i>)	Guajayvi (<i>Cordia americana</i>)
Sapirangy (<i>Tabernaemontana catharinensis</i>)	Aguai guasu (<i>Pouteria glomerata</i>)
Sibipiruna (<i>Poincianella pluviosa</i>)	Laurel hũ (<i>Ocotea diospyrifolia</i>)
Pakuri (<i>Garcinia brasiliensis</i>)	Urunde'y para morotĩ (<i>Astronium fraxinifolium</i> var. <i>glabrum</i>)
Jacarandá (<i>Jacaranda mimosifolia</i>)	Cedro (<i>Cedrela fissilis</i>)
Kokũ (<i>Allophylus edulis</i>)	Inga Guasu (<i>Inga uraguensis</i>)
Inga'i (<i>Inga laurina</i>)	Kurupay kuru (<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i>)
Guaviju (<i>Myrcianthes pungens</i>)	Yvyra pytä (<i>Peltophorum dubium</i>)
Lapacho amarillo (<i>Handroanthus ochraceus</i>)	Peterevy hũ (<i>Cordia trichotoma</i>)
Agua'i (<i>Chrysophyllum gonocarpum</i>)	Ka'aovetĩ pytä (<i>Luehea divaricata</i>)
Tajy hũ (<i>Handroanthus heptaphyllus</i>)	Quebracho colorado (<i>Schinopsis balansae</i>)
Tajy pytä (<i>Handroanthus impetiginosus</i>)	Trébol (<i>Amburana cearensis</i>)
Manduvira (<i>Geoffroea striata</i>)	
Villetana (<i>Triplaris gardneriana</i>)	

TABLA 19: Especies recomendadas según el ancho del paseo central

Fuente: MUVH

Ubicación dentro del paseo central de avenida

En las plantaciones de árboles con cantero corrido, se recomienda que el ancho mínimo del paseo sea de 1.5 m (MDU, 2015). Sin embargo, en línea de la “estrategia de diseño verde”, es deseable que los paseos centrales actúen también como islas de refugio y corredores verdes para los peatones, por lo cual se recomienda tener un ancho mínimo de 1.8 m y preferiblemente 2.4 m (NACTO, 2018). Sin embargo, es posible reducir el espacio destinado al automóvil (calzadas y veredas) y contar con paseos centrales aún más anchos o “bulevares” (>6m), a fin de ampliar el espacio destinado para las veredas con árboles que ofrezcan sombra, franjas de circulación y descanso para los peatones y zonas verdes peatonales a lo largo del circuito (Ver **Escenario 6**). Por último, en todos los casos se deberán considerar las rampas y señalizaciones necesarias de manera a garantizar la accesibilidad de las personas.

Es recomendable mantener las siguientes distancias mínimas para los árboles alineados en el paseo central (Beytía et al., 2012):

- Especie de porte medio (6 m < altura < 15 m): 6 a 8 m de distancia
- Especie de porte grande (altura > 15 m): 8 a 12 m de distancia

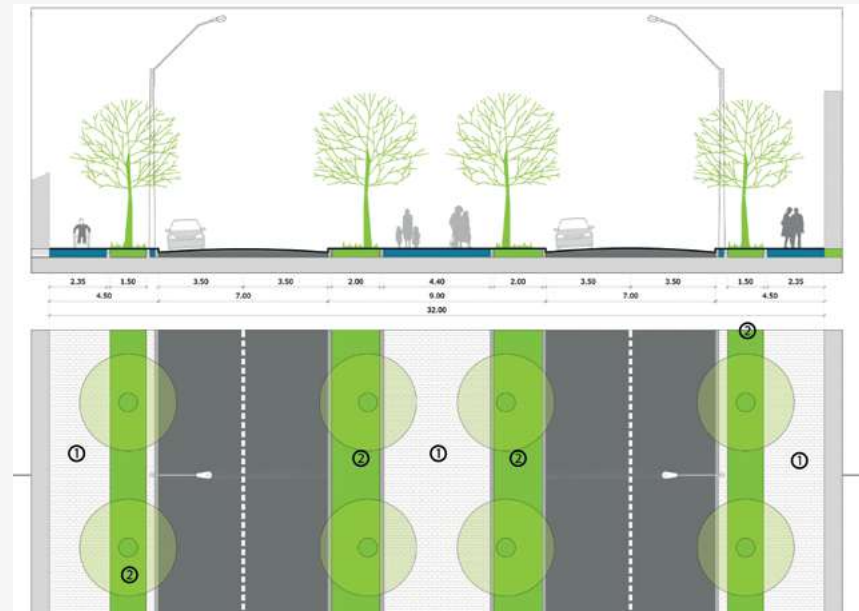
Dado que en el paseo central no está próximo a edificios, la distancia con respecto a la fachada no es un factor a tomar en cuenta. Sin embargo, al plantar un árbol se recomienda respetar las distancias mínimas con respecto a los otros elementos que forman parte del entorno (calzada, señalización, alumbrado público, etc.) tomando como referencia las recomendaciones dadas para la vereda en una calle



Zona Urbana Escenario de diseño 6: Avenida con Paseo Central.

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Pavimento permeable (Ver 4.1.2)
2. Arborización - Alcorque corrido (Ver 4.2)



Zona Periurbana Escenario de diseño 7: Avenida con Paseo Central.

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Pavimento permeable (Ver 4.1.2)
2. Arborización - Alcorque corrido (Ver 4.2)
3. Zona de Biorretención (Ver 4.1.3)



7.3.3 Ciclovías en calles y avenidas

Las ciclovías son espacios designados en las calles y avenidas, diseñados específicamente para la circulación de ciclistas. Son fundamentales para acomodar a ciclistas de todas las edades, habilidades y niveles de habilidad en el manejo de la bicicleta (NACTO, 2018). Pueden estar ubicadas tanto en las veredas, como en los paseos centrales, según muestra la **FIGURA 44**.



FIGURA 44: Ciclovía inserta en paseo central

Fuente: César Pizzurno

Intervenciones de SuDS

En caso de que la ciclo vía se encuentre al borde y al mismo nivel de la calzada, es recomendable la inclusión de una franja verde entre ambos, como una zona de biorretención lineal, ya que ayudará a proteger a los ciclistas del tráfico vehicular en la calle (como se demuestra en el Escenario 8). Al mismo tiempo, dicha franja recolectará e infiltrará parte de la escorrentía generada por la ciclo vía o la calle.

Intervenciones de Arborización Urbana

La plantación de árboles en alineación contribuye a brindar mayor confort a los ciclistas, principalmente generando sombra y contribuyendo al acondicionamiento climático del entorno. Los mismos deberán ser plantados considerando los criterios descritos anteriormente para calles y avenidas. Además, en el proceso de diseño y selección de las especies arbóreas, la ciclo vía deberá considerar una franja visual libre de obstáculos, de manera a evitar accidentes y choques. Es preferible que las especies arbóreas sean ornamentales o de sombra, evitando especies frutales, para resguardar la seguridad del ciclista en las vías.

Especies de árboles para ciclo vías en calles y avenidas

Algunas especies recomendadas para ciclo vías son:

- Tajy pytä, lapacho rosado (*Handroanthus impetiginosus*)
- Lapacho amarillo (*Handroanthus ochraceus*)
- Tajy hü (*Handroanthus heptaphyllus*)
- Manduvira (*Geoffroea spinosa*)
- Villetana (*Triplaris gardneriana*)

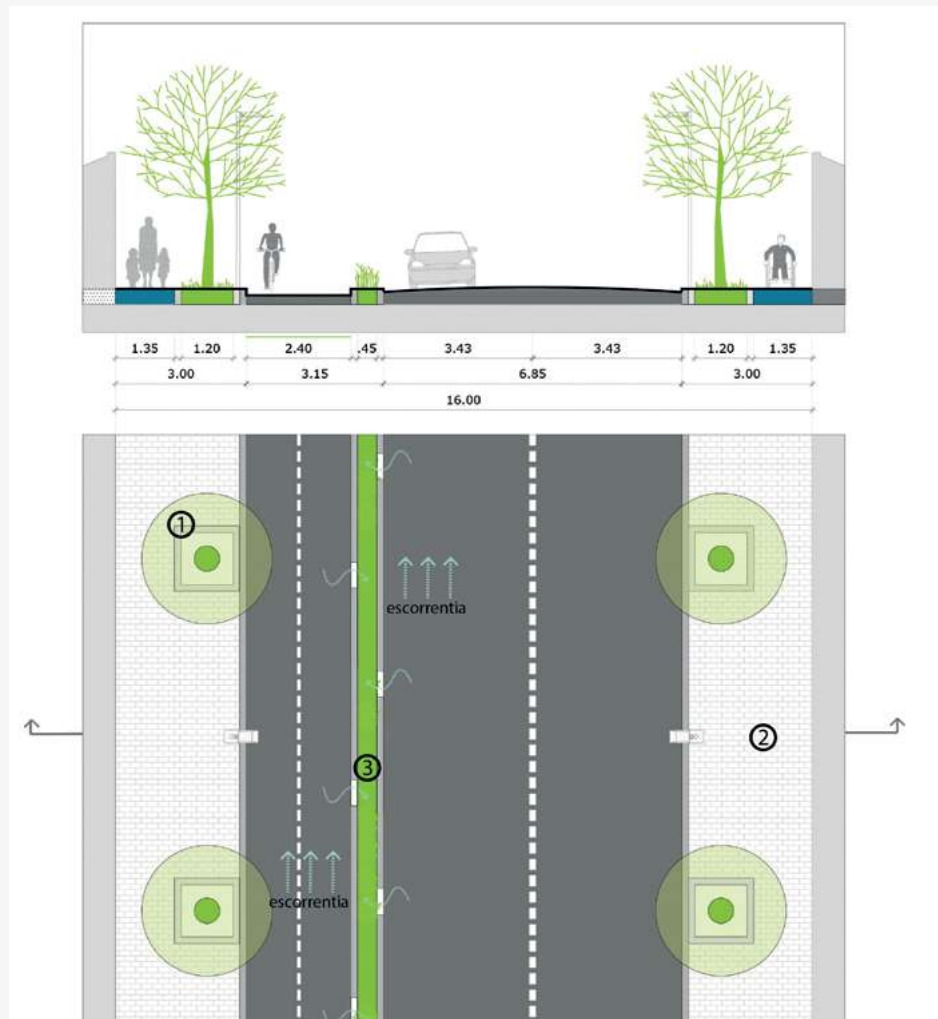


Zona Urbana Escenario de diseño 8: Calle con cicloví

Es una calle local de flujo peatonal y vehicular medio. De manera a proveer espacios de calidad para peatones y ciclistas, se propone reemplazar la franja destinada para el estacionamiento en batería por una cicloví de 2 sentidos (2.4 m) junto con una franja verde lineal que proteja a los ciclistas de los conductores de vehículos automotores, además de permitir la infiltración de las aguas de lluvia.

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Arborización - Alcorque individual (Ver 4.2)
2. Pavimento permeable (Ver 4.1.2)
3. Zona de biorretención lineal (Ver 4.3.3)



7.3.4 Parques y Plazas

Los espacios verdes públicos, como las plazas y parques, son lugares de encuentro y socialización de los ciudadanos. Además, cumplen en la ciudad funciones estéticas y ambientales, de manera a enriquecer el paisaje urbano, contribuir en la regulación hídrica y ofrecer un ecosistema urbano apropiado para la conservación de la biodiversidad (Tella, 2009). Son lugares estratégicos para aumentar tanto la superficie de masa arbórea como la cobertura natural del suelo dentro de la ciudad, contribuyendo así a la mitigación de los efectos del cambio climático. Para el diseño paisajístico de estos espacios verdes, se recomienda priorizar la vegetación haciendo uso de arbolado, arbustos y especies de plantas de manera a dar color, vida y sombra a estos lugares (Ayuntamiento de Madrid, 2016).

Los parques y plazas tienen dos características ventajosas para la incorporación de Infraestructura Verde en comparación con los elementos urbanos presentando previamente (calle, avenida, paseo central y ciclovía). Primeramente, tienen una mayor superficie disponible, por lo cual es posible optar por intervenciones de Infraestructura Verde de mayores dimensiones. Además, por ser un polígono cerrado no hay mayor conflicto con el tráfico vehicular.

Intervenciones de SuDS

Debido a que la superficie aprovechable es mayor en los parques y las plazas, es posible incorporar los diversos componentes de SuDs presentados en la Sección 7.1, como: pavimento permeable, cunetas verdes, zonas de biorretención con/sin capas, lagunas secas y húmedas, humedales artificiales, etc. Debido a las características del lugar, se propone priorizar intervenciones para la **retención y/o infiltración de agua de lluvia** de manera a disminuir así la problemática de la inundación urbana para el sector donde está implantado el espacio público (como se demuestra en el **Escenario 9**)

La **Laguna de detención (“Seca”)** permite almacenar un importante volumen de agua durante eventos de lluvia (**Perspectiva 3A – Época de lluvia**). Dado que durante la mayor parte del año la laguna no contiene agua, podrá ser utilizada como un espacio público multifuncional para los visitantes del parque (**Perspectiva 3A – Época seca**). La laguna de retención está integrada al sistema de drenaje pluvial de la ciudad, por lo que recibe en la entrada también la escorrentía generada en los alrededores del parque, descargando en su salida de manera lenta y controlada el agua de nuevo al sistema pluvial. Ésto permite reducir localmente el riesgo de inundación. Dada la problemática de las enfermedades infecciosas transmitidas por mosquitos como la enfermedad del dengue, se debe evitar el estancamiento de agua en la laguna durante más de 48 horas.



Además, se recomienda utilizar la **cuneta verde** dentro del parque para contar con una conexión física del sistema de drenaje pluvial con la entrada de la laguna (como se demuestra en la **Perspectiva 3B**). También es posible integrar cunetas verdes en otros sectores de los parques o plazas para el transporte de aguas superficiales, pero con una velocidad reducida por la presencia de vegetación.

Finalmente, la incorporación de **humedales artificiales** es muy beneficiosa para la retención y posterior infiltración del agua, si las condiciones locales lo permiten (como se demuestra en la **Perspectiva 3C**). Otros beneficios de este componente son que favorecen la biodiversidad y son eficientes en el tratamiento de aguas urbanas contaminadas o con carga de sedimentos.

Para lograr el buen funcionamiento de este tipo de intervenciones de SuDS, es necesario el diseño adecuado desde el punto de vista hidrológico, ya que requieren un dimensionamiento correcto en función al volumen de escorrentía a ser almacenada.

En los parques y plazas, se recomienda mantener los suelos en su estado natural, sin pavimentación. Como se demuestra en el **Escenario 9**, en caso de los itinerarios peatonales o ciclovías con una alta afluencia de público dentro de los parques y plazas se recomienda utilizar soluciones de **pavimento permeable**, tales como adoquines y pavimentos porosos (MDU, 2015). Se debe evitar el uso de tierra compactada, dado que ésto genera mucha escorrentía. Por dicho motivo, es recomendable mantener la mayor superficie con una cobertura vegetal como el pasto.

Intervenciones de Arborización Urbana

La plantación de árboles en los espacios públicos abiertos cuenta con menos restricciones que en las vías urbanas. Hay más espacio aéreo disponible y no hay una restricción en cuanto al distanciamiento mínimo con respecto a edificios, tendido eléctrico, señalización de tránsito, etc. Los árboles pueden ser plantados de forma alineada a los senderos peatonales o ciclovías, o como islas de árboles en combinación con otra vegetación verde (como se demuestra en el Escenario 9).

Especies de árboles para parques y plazas

Para el diseño paisajístico de los espacios públicos abiertos, es primordial respetar y mantener las especies arbóreas existentes en los espacios públicos abiertos e incorporar arbustos, herbáceas y trepadoras de bajo mantenimiento (MDU, 2015). Los proyectos de arborización deben dar preferencia a optar por árboles de gran porte con copa ancha (MADES/PNUD/FMAM, 2019) y a la plantación de especies nativas, incluyendo los árboles frutales y medicinales, de manera a lograr una diversidad de arbolado (mezcla de especies) y contribuir a la seguridad alimentaria en las ciudades.

Además, deberá considerar una correcta relación entre especies perennes y caducifolias e incorporar especies en sectores con usos específicos que requieran sombra. Para determinar su ubicación, se deberá considerar la sombra que el árbol proyectará a lo largo del año, para saber si, por ejemplo, cumplirá con su función de dar sombra sobre un banco en una plaza en verano o si al botar sus hojas dejará pasar el sol en el otoño hasta la primavera, etc. (Beytía et al., 2012).

Finalmente, la selección de las especies arbóreas no debe representar ningún riesgo para la salud y la seguridad de los usuarios de los parques y plazas. A manera de ejemplo, no se recomienda la utilización de arbustos con espinas, plantas que generen urticaria o algunas especies que provoquen alergias (Ayuntamiento de Madrid, 2016; Barranquilla, 2012). Se recomienda que dichos espacios tengan una cobertura arbórea de mínimo el 70% de su área total, de la cual, mínimo el 50% deberá ser de follaje perenne (Barranquilla, 2012).

Las especies recomendadas para los espacios públicos abiertos como parques y plazas son:

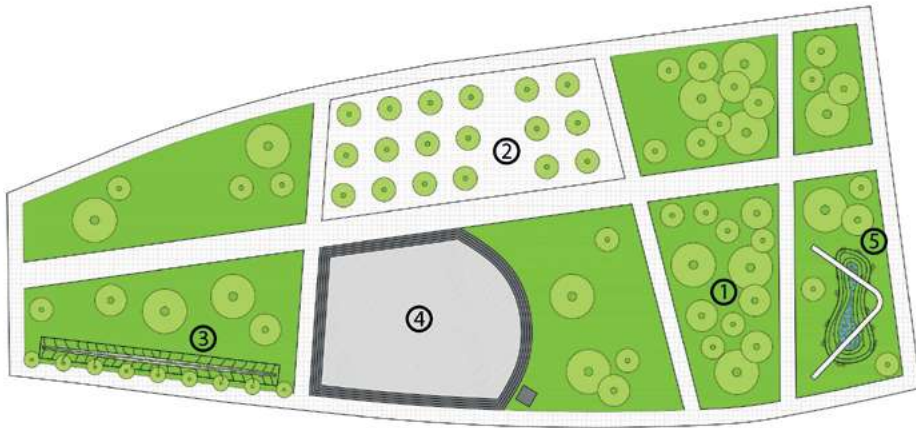


- Kamba akã guasu (*Guasuma ulmifolia*)
- Casita (*Sapindus saponaria*)
- Sapirangy (*Tabernaemontana catharinensis*)
- Sibipiruna (*Poincianella pluviosa*)
- Pakuri (*Garcinia brasiliensis*)
- Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*)
- Kokũ (*Allophylus edulis*)
- Inga'i (*Inga laurina*)
- Guaviju (*Myrcianthes pungens*)
- Lapacho amarillo (*Handroanthus ochraceus*)
- Agua'i (*Chrysophyllum gonocarpum*)
- Ceibo (*Erythrina crista-galli*)
- Guayayvi (*Patagonula americana*)
- Incienso o Yvyra paje (*Myrocarpus frondosus*)
- Tajy hũ (*Handroanthus heptaphyllus*)
- Tajy pytã (*Handroanthus impetiginosus*)
- Petereby morotĩ (*Cordia glabrata*)
- Samu'ũ pytã (*Ceiba speciosa*)
- Taruma (*Vitex megapotamica*)
- Tatarẽ (*Chloroleucon tenuiflorum*)
- Timbo (*Enterolobium contortosiliquum*)
- Trébol (*Amburana cecaerensis*)
- Urunde'y mi (*Myracrodruon urundeuva*)
- Urunde'y para morotĩ (*Astronium fraxinifolium* var. *glabrum*)
- Yva poroity (*Plinia rivularis*)
- Yvapovõ (*Melicoccus lepidopetalus*)
- Yvyra pytã (*Peltophorum dubium*)
- Yvyra ju (*Albizia niopoides*)
- Yvyraro (*Pterogyne nitens*)

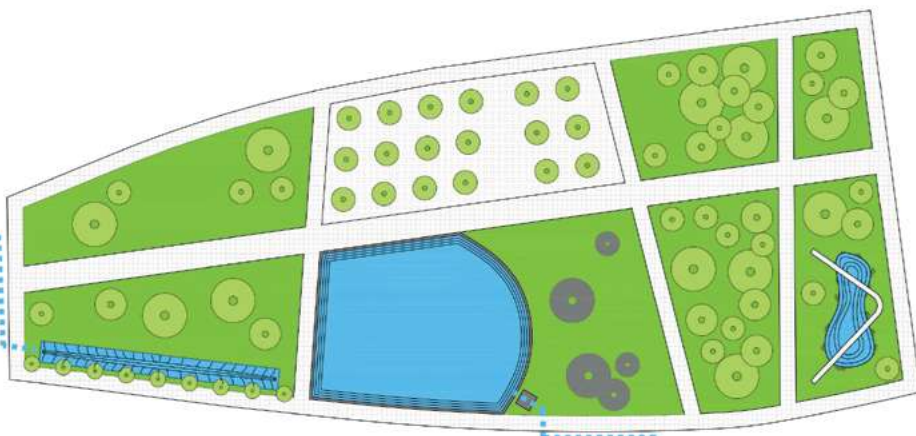
Zona Urbana Escenario de diseño 9: Parque Urbano

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Arborización en islas.
2. Pavimento permeable (Ver 71.2)
3. Cuneta Verde (Ver 71.1)
4. Laguna de retención (Ver 71.4)
5. Humedal artificial (Ver 71.5)



Situación - Época seca



Situación - Época de lluvia

→ Desague pluvial
Salida

0 10 30 50

Laguna de Retención - Época de lluvia



Laguna de Retención - Época seca



Cuneta Verde



Humedales artificiales



7.3.5 Estacionamientos

En la actualidad, los estacionamientos en el entorno urbano en Paraguay se caracterizan por contar con una superficie casi totalmente impermeable y con una mínima presencia de vegetación verde, como se observa en la foto de la **FIGURA 45**.



FIGURA 45: Estacionamiento con superficie impermeable y sin vegetación

Fuente: Gentileza GN

De manera a paliar con dicha situación, se recomienda implementar soluciones de Infraestructura Verde Urbana tanto para los estacionamientos de proyectos habitacionales, así como de desarrollos comerciales, tiendas y oficinas públicas. Su incorporación contribuirá a crear zonas verdes de modo a lograr un manejo adecuado de la escorrentía generada, regular la temperatura del ambiente y proteger contra los rayos del sol.

Intervenciones de SuDS

Se recomienda eliminar la mayor cantidad posible de las superficies impermeables de modo a evitar la generación excesiva de escurrimientos. Se debe prescindir, en la medida de lo posible, la conexión del desagüe pluvial de las superficies de estacionamiento al sistema de desagüe pluvial (Ecosistema Urbano, 2016a; Ciudad de Juárez, 2016). Para ello, se podrá utilizar **pavimento permeable**, tales como: asfalto o hormigón poroso, adoquines o adoquines ecológicos, para los módulos de estacionamiento (como se demuestra en el **Escenario 10 y la Perspectiva 4A**). En los otros sectores, se puede implementar **zonas de biorretención**, con el fin de captar e infiltrar el agua de lluvia y además **cunetas verdes**, que permiten almacenar temporalmente un importante volumen de la escorrentía antes de su descarga controlada agua abajo, reduciendo así el impacto de lluvias intensas (como se demuestra en la **Perspectiva 4B**)

Intervenciones de Arborización Urbana

Desde la fase del diseño hasta la realización del proyecto se recomienda no talar en lo posible ningún árbol existente en el área del proyecto, contemplando además que la correcta ubicación de éstos, de manera a que los conductores no dañen los árboles accidentalmente mientras maniobran (TDAG, 2014). Se recomienda que al menos 50% de su espacio esté sombreado por árboles y que sea plantado al menos un árbol por cada cuatro módulos de estacionamiento (Ciudad de Juárez, 2016).

Especies de árboles para estacionamiento

Se recomienda elegir árboles de gran porte y copa ancha, de manera a generar un impacto mayor en cuanto al área de cobertura de sombras y la estética, mientras se maximiza el espacio disponible para los módulos de estacionamiento. Se debe evitar árboles frutales, de manera a evitar accidentes tanto a las personas, como daños a los vehículos estacionados.

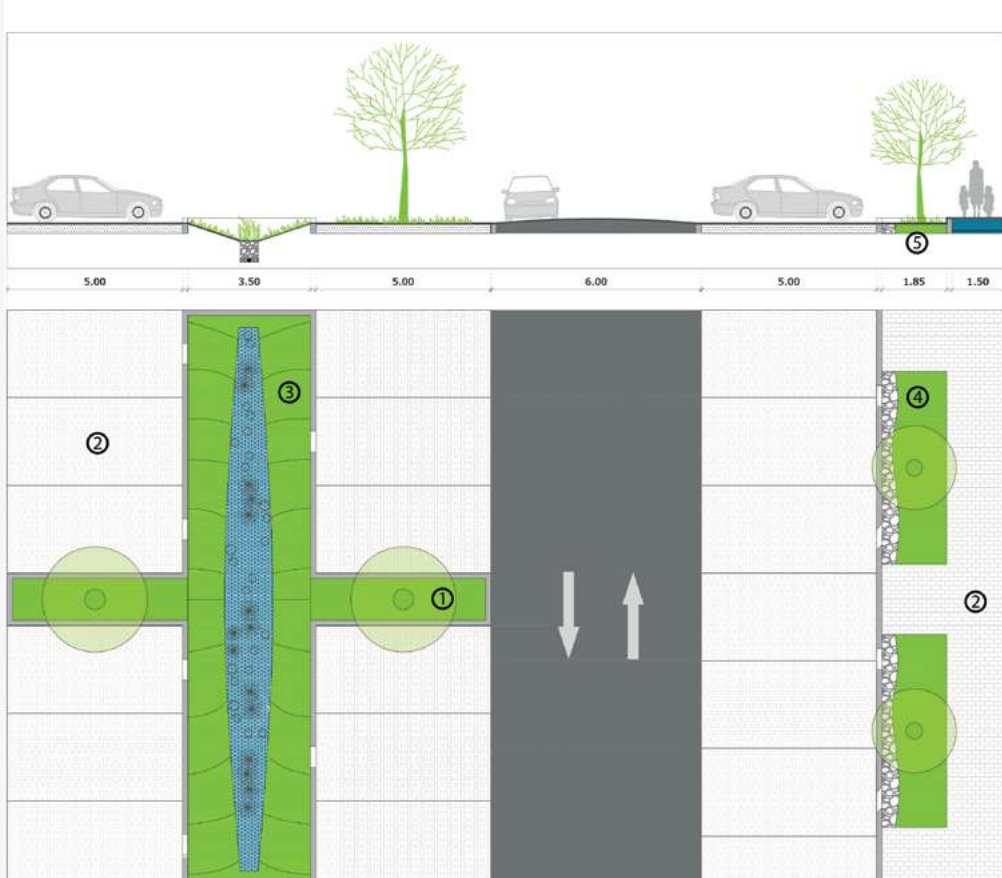
Las especies recomendadas son:

- Agua'i (*Chrysophyllum gonocarpum*)
- Cedro (*Cedrela fissilis*)
- Jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*)
- Tajy hũ (*Handroanthus heptaphyllus*)
- Tajy pytã (*Handroanthus impetiginosus*)
- Yvyra pytã (*Peltophorum dubium*)

Zona Urbana Escenario de diseño 10: Estacionamiento

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Arborización alcorque corrido (Ver 4.2)
2. Pavimento permeable (Ver 4.3.2)
3. Cuneta Verde (Ver 4.1.1)
4. Zona de biorretención con capas de infiltración



7.3.6 Loteamientos, viviendas y equipamientos urbanos

Actualmente, el tejido residencial urbano disperso y de muy baja densidad es una de las características principales de las áreas urbanas paraguayas. Una de las consecuencias principales de este patrón espacial es la ocupación y la asociada impermeabilización del suelo, lo cual contribuye al incremento de los volúmenes de escurrimiento superficial y la consecuente inundación urbana, como se demuestra en la **FIGURA 46**.



FIGURA 46: Calle inundada en Puerto Elsa

Fuente: Gentileza GN

De modo a que la estrategia de diseño verde contribuya en lograr ciudades sostenibles y resilientes, es recomendable también promover la incorporación de los componentes de Infraestructura Verde Urbana en los diferentes usos de suelo y principalmente en los usos: habitacional, mixto y comercial. Las intervenciones verdes no solo favorecen a la obtención de los múltiples beneficios a escala de la ciudad, sino que también generan impactos positivos directos a la calidad de vida de los residentes. Por ejemplo, los árboles generan sombra a las construcciones, reduciendo el consumo energético del sistema de aire acondicionado.

La ley Orgánica Municipal establece que la superficie mínima del lote urbano es de 360 m², sin contar con un ancho mínimo establecido. El área edificada no debe exceder en ningún caso el 75% de la superficie del terreno (Ley N° 3.966/10, 2010). Sin embargo, los municipios podrán establecer nuevas dimensiones mínimas en

cuanto a los lotes y áreas edificadas de acuerdo con la visión que se tenga con respecto a la ciudad.

Uno de los parámetros principales que define la ocupación del suelo desde el punto de vista de permeabilidad e infiltración directa del suelo es el **Factor de Infiltración del Terreno (FIT)**, el cual se refiere al porcentaje del suelo libre y permeable del lote, como se representa conceptualmente en la **FIGURA 47**. Municipios como Encarnación o Asunción proponen que entre el 40 al 50% de la superficie del lote sea libre, teniendo una tasa de ocupación máxima entre el 50 al 60% de la superficie total del terreno. Por ejemplo, el municipio de Encarnación plantea aumentar la altura máxima de las edificaciones como compensación a esta liberación de superficie del terreno, siendo las alturas máximas establecidas de 8, 12, 16, 26 y 36 metros, dependiendo de su ubicación en el territorio (Ecosistema Urbano, 2016).

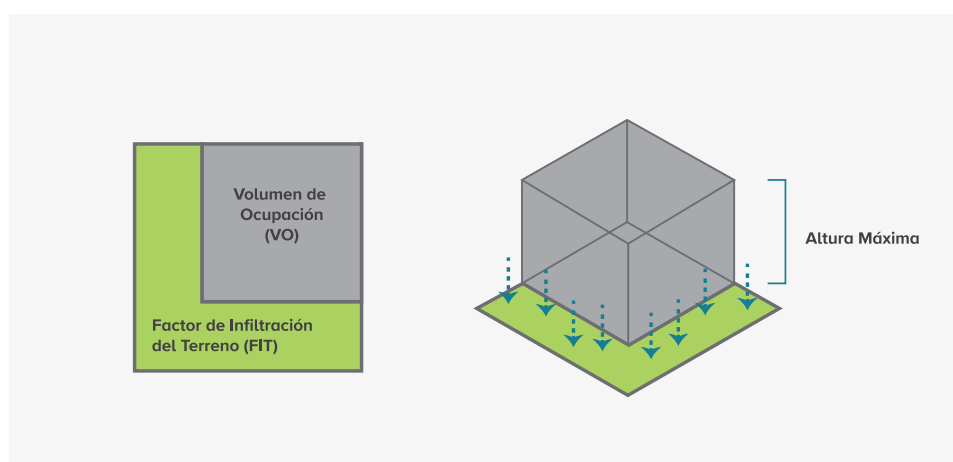


FIGURA 47: Relación entre el Factor de Infiltración del Terreno y Volumen de Ocupación

Fuente: Elaboración propia, adaptado de Ecosistema Urbano, 2016a

La incorporación de técnicas de Infraestructura Verde en los lotes, viviendas, así como en las edificaciones públicas y privadas, permiten establecer instrumentos para regular el manejo de las aguas de origen pluvial en las edificaciones nuevas y existentes, además mejorar la biodiversidad y la calidad urbana de los barrios.

Intervenciones de SuDS

Uno de los objetivos principales de SuDS es el control de agua de lluvia cercano a la fuente, lo cual se logra mediante la retención del agua de lluvia dentro de la superficie del lote en lugar de su descarga directa a la calle y evitando que la escorrentía llegue a los arroyos, lagos o ríos cercanos (City Habitats, 2016). Por tal motivo, se recomienda la utilización, tanto en viviendas como en equipamiento urbanos, de los **techos verdes**, ya que además de interceptar y retener parte del agua de lluvia, contribuyen a amortiguar la temperatura del ambiente (Friends of the Greenbelt, F., 2017). Otras soluciones efectivas para reducir la escorrentía es recolectar el agua de los techos en **aljibes**, utilizándolo para regar las plantas o lavar el auto y construir **zonas de biorretención** para ayudar a recolectar el agua de lluvia, recargar los reservorios de aguas subterráneas y mejorar la calidad del agua local (Friends of the Greenbelt, F., 2017). Finalmente, es recomendable mantener la superficie alrededor de la vivienda en estado natural, y, donde se requiera pavimento (como el estacionamiento o el acceso peatonal), optar por el uso de **pavimento permeable** como adoquines o pisos ecológicos, de manera a aumentar la infiltración del agua en el suelo. El **Escenario 11** demuestra todas las técnicas citadas anteriormente.

Intervenciones de Arborización urbana y muros verdes

Los **árboles** tienen diversos usos y beneficios en los jardines de las viviendas unifamiliares, por lo que debe ser considerado como un elemento clave de manera a lograr diseños ecológicos. Es recomendable que los proyectos de arborización

en los nuevos loteamientos conserven los árboles existentes, además de plantar como mínimo 3 nuevos árboles por cada lote destinado a vivienda (TDAG, 2014).

Se describen a continuación algunas de las bondades de la utilización de árboles:

- **Ahorro energético mediante sombreado:** Un edificio expuesto en lo alto de una altura necesitará más energía que uno protegido por árboles o edificios adyacentes, pues el viento arrastra consigo el calor del edificio en invierno, y fuerza la entrada de aire caliente del exterior en verano (Ching & Shapiro, 2015). Por ello, a la hora de proyectar una vivienda, así como la ubicación de los árboles del jardín, es muy importante tener en cuenta la orientación de ésta. Se recomienda ubicar los árboles en las fachadas Este y Oeste, de modo a refrigerar la vivienda y proteger a las fachadas en las horas con mayor cantidad de energía solar. A las primeras horas de la mañana, el sol entra por el este, mientras que la orientación oeste capta el sol durante la tarde hasta el ocaso, siendo en verano la peor orientación debido a su aporte de energía del sol y aire caliente (Lirola, 2020).
- **Aislación acústica (barreras forestales / muros verdes)** para urbanizaciones próximas a carreteras o a equipamientos con alto impacto medioambiental, como aeropuertos, plantas de tratamiento, etc.

Por otro lado, en caso de que los conjuntos habitacionales, bloques de departamentos o equipamientos públicos o privados cuenten con un espacio reducido, es recomendable el uso de **muros verdes** (Ver **Escenario 11**), pues permite incorporar vegetación, sin la necesidad de contar con una superficie horizontal considerable. Este componente de Infraestructura Verde actúa como un aislante térmico y acústico mientras que contribuye a elevar la calidad del hábitat de la flora y fauna silvestre de la zona, proporciona aire limpio, y absorbe parte de las aguas pluviales (Friends of the Greenbelt, F., 2017).

Especies de árboles para lotes

Las especies recomendadas son:

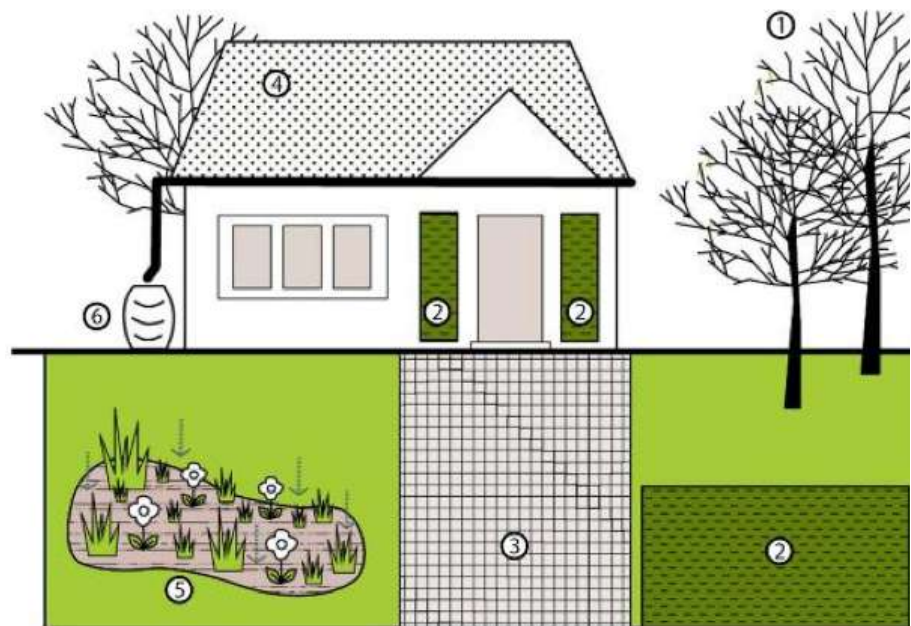
- Aratiku'i (*Annona emarginata*)
- Casita (*Sapindus saponaria*)
- Ceibo (*Erythrina crista-galli*)
- Inga'i (*Inga laurina*)
- Pata de buey (*Bauhinia forficata ssp. pruinosa*)
- Pakuri (*Garcinia brasiliensis*)
- Sibipiruna (*Poincianella pluviosa*)
- Guaviju (*Myrcianthes pungens*)
- Yvapuru (*Plinia trunciflora*)
- Yva poroity (*Plinia rivularis*)
- Guavira pytä (*Campomanesia xanthocarpa*)
- Ñangapiry (*Eugenia uniflora*)
- Kokũ (*Allophylus edulis*)

Zona Periurbana

Escenario de diseño 11: Vivienda y equipamiento urbano.

Componentes Infraestructura Verde Urbana

1. Arborización
2. Muro Verde (Ver 7.1.6)
3. Pavimento permeable (Ve 7.1.2)
4. Techo verde (Ver 7.1.6)
5. Zona de biorretención (Ver 7.1.3)
6. Aljibes (Ver 7.1.6)



Emplazamiento en el entorno de las viviendas y equipamientos urbanos

Los edificios necesitan una zona de amortiguación para protegerse de los árboles. Si los árboles están demasiado próximos al edificio, pueden contribuir negativamente a la calidad del ambiente interior añadiendo más humedad, así como poner en riesgo la estructura del edificio con sus raíces y ramas (Ching & Shapiro, 2015) cómo se visualiza en la **FIGURA 48**. Por ello, es recomendable que la distancia entre el árbol y la fachada sea como mínimo de 5 m para árboles de pequeño y mediano porte, y evitar situar cerca de la vivienda árboles con raíces muy gruesas o invasoras o con ramas débiles.

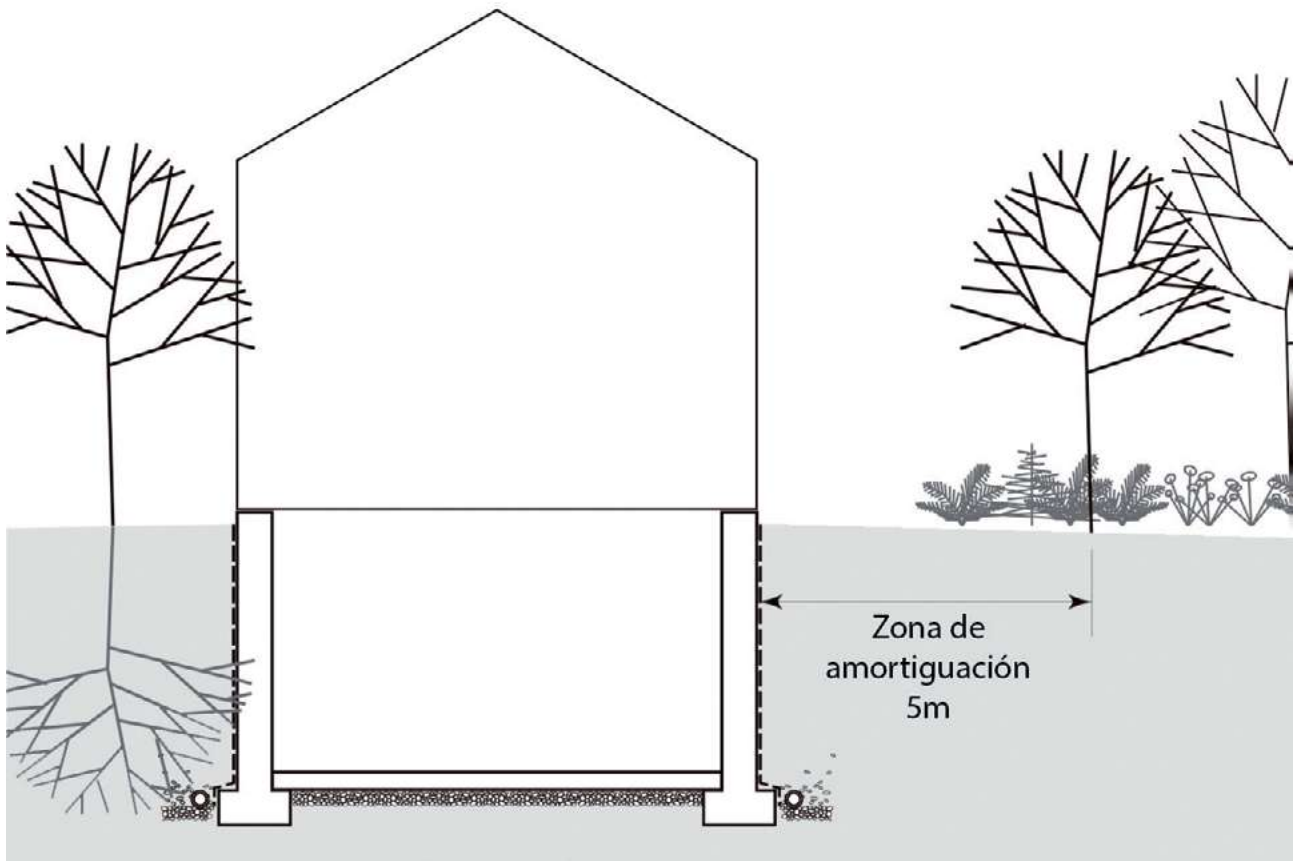


FIGURA 48: Distancia mínima entre el árbol y la vivienda

Fuente: Adaptado de: Ching & Shapiro, 2015

En los sectores del lote con superficie permeables, se recomienda plantar especies de porte mediano o pequeño ubicados 2 o 2.5 m de distancia de los muros y a 3.5 m de distancia entre cada especie arbórea, según se indica en la **FIGURA 49**. Así mismo, para los árboles a ser plantados en la zona municipal (vereda), se recomienda una distancia de entre 4 m y 6 m entre árbol. Se debe considerar que el límite vertical del terreno corresponde a una barrera física que el árbol no puede sobrepasar, por lo que se debe evitar que las copas de los árboles invadan la vertical de este límite ya sea físico (delimitado por una reja o muralla) o jurídico, de manera a evitar problemas estructurales o molestias a los vecinos (MADES/PNUD/FMAM, 2019).

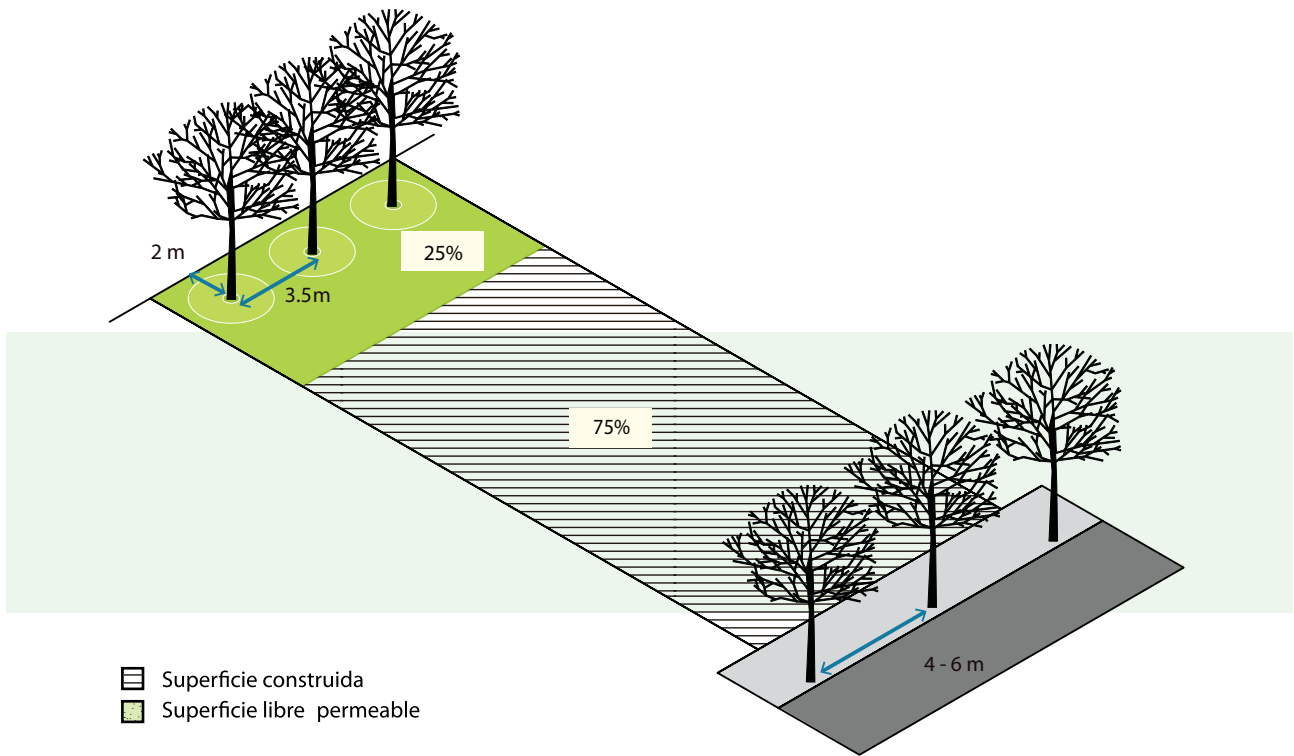


FIGURA 49: Distancias mínimas entre los árboles y el límite del terreno

Es recomendable plantar los árboles en el fondo del lote, dado que esta disposición permite que en los corazones de las manzanas se formen corredores verdes en las zonas residenciales, según visualizado en la **FIGURA 50**.

Fuente: Elaboración propia

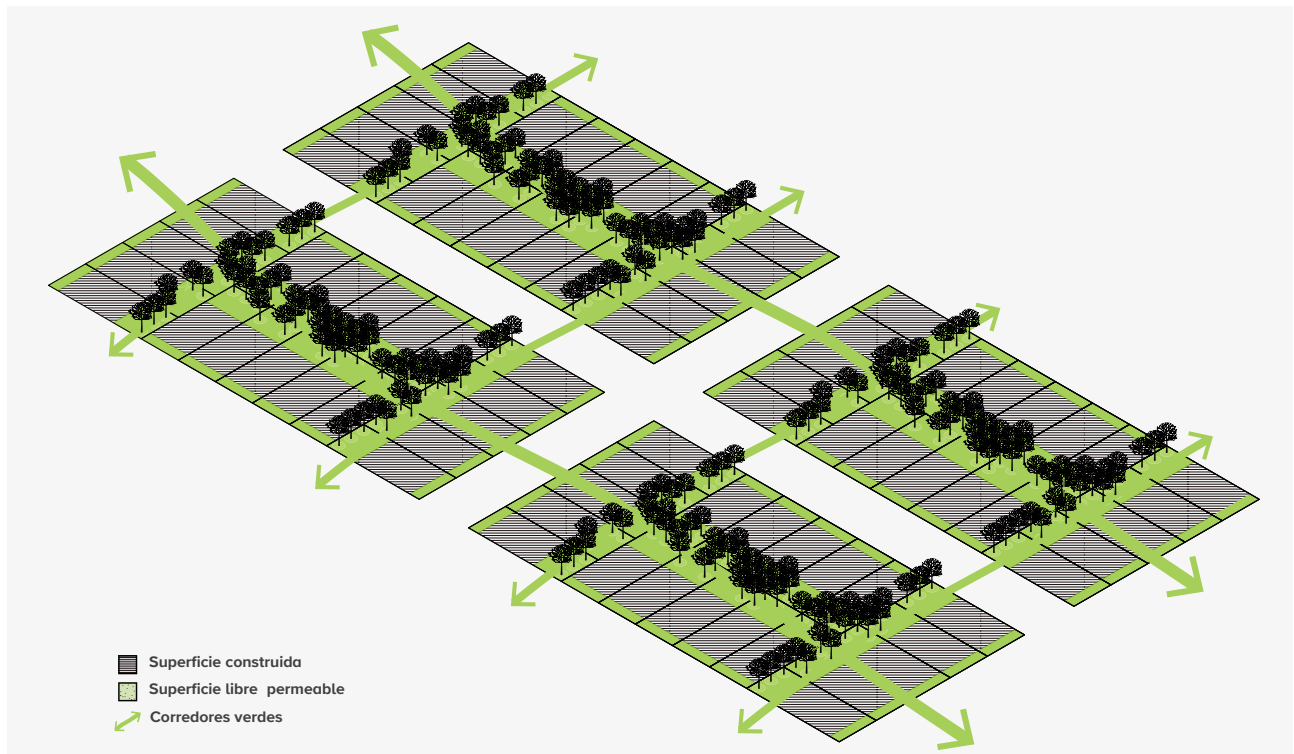


FIGURA 50: Corredores verdes a partir de la plantación de árboles en los corazones de manzana

Fuente: Elaboración propia

7.4. Configuraciones urbanas

7.4.1 Escala barrial

El barrio es una unidad territorial dotada con ciertas características propias que marcan una relación de particularidad frente al conjunto de la ciudad (Tapia et al., 2009). Cada barrio se caracteriza por contar con una configuración y apariencia propia, así como el desarrollo de una o más actividades que permiten el desarrollo de una cierta autonomía funcional. Debido a esto, pueden existir diferencias significativas en cuanto a las características urbanísticas (usos del suelo, densidad habitacional, tipos de calles, áreas verdes, servicios básicos, etc.) entre los diferentes sectores de una urbe. Estas diferencias deben ser tomadas en cuenta al momento de elegir y diseñar soluciones verdes.

La Infraestructura Verde Urbana a escala barrial está conformada por diversos tipos de espacios urbanos que cuentan con superficies permeables o susceptibles para aumentar su permeabilidad (Centro de Estudios Ambientales, 2014), tales como (The Landscape Institute, 2009):

- Árboles en alineación de calles
- Vías peatonales y ciclovías
- Plazas
- Espacios abiertos en escuelas, campos deportivos, cementerios, etc.
- Estanques y arroyos
- Huertos
- Zonas de juego
- Canales y zanjas verdes
- Reservas naturales
- Patios y jardines privados

Escenarios de diseño a escala barrial

Esta sección muestra cómo los elementos de Infraestructura Verde se integran y son una parte estratégica en el mejoramiento de barrios, a partir de los objetivos trazados en la **“estrategia de diseño verde”**. Para ello, se ilustran a continuación las características de las principales configuraciones urbanas y periurbanas en Paraguay, así como los escenarios de diseño barrial, los cuales presentan propuestas de diseño urbano orientadas al ciudadano y a la incorporación de soluciones verdes en base a los elementos desarrollados en la Sección 7.3.

Como fue explicado en la sección 7.3, una de las mayores diferencias encontradas entre los entornos urbanos y periurbanos en la zona municipal es la disponibilidad de superficie permeable. En la mayor parte de las zonas altamente urbanizadas el suelo es impermeable, sin embargo, en las zonas periurbanas todavía existe un alto porcentaje de superficie de suelo natural y permeable, debido a presencia de construcciones aisladas. Por ello, la estrategia de diseño barrial en un **entorno urbano** se basa en optimizar el rendimiento dentro del limitado espacio municipal, interviniendo el espacio público de manera a ampliar los sectores destinados para la Infraestructura Verde (arborización alineada, zonas de bioretención, plazoletas, etc.) y generando en algunas ocasiones nuevos espacios permeables

en la superficie construida. Para la propuesta de diseño, se diferencia entre *zonas urbanas de media/alta y baja densidad poblacional*.

En un **entorno periurbano**, la estrategia se basa primeramente en conservar la naturaleza y la infiltración del suelo existente. Esta medida pretende garantizar el espacio disponible para las soluciones verdes a mediano y largo plazo, considerando el acelerado proceso de urbanización que se observa a nivel país, a través de soluciones de Drenaje Sostenible y Arborización Urbana en las zonas municipales.

Zona urbanizada de media/alta densidad

Se caracteriza por contar con un patrón de crecimiento compacto distribuido en una trama ortogonal. El uso del suelo es mixto y de manera intensiva (Ver **FIGURA 51**), lo cual atrae a una alta cantidad de personas (residentes y temporales) en la zona. La mayoría de los lotes privados están edificados y ocupados, siendo la densidad habitacional media-alta. Además, la zona cuenta mayormente con infraestructura de servicios urbanos (luz, agua, fibra óptica, etc.). Todo esto genera una alta cobertura del suelo, que trae como consecuencia un alto grado de impermeabilización de los suelos. Así mismo, existe un alto flujo de tránsito vehicular y grandes superficies destinadas a estacionamiento, tanto en las calles como en los comercios privados. La mayoría de las veredas y calzadas están pavimentadas, sin embargo, presentan varios obstáculos en la vía y en algunos casos se encuentran en mal estado. Por último, en cuanto al aspecto ambiental y social, existen recursos hídricos contaminados, predominancia de infraestructura gris, pocos árboles en vía pública, así como poca vegetación y espacios públicos abiertos



FIGURA 51: Ejemplo de zona urbanizada de media/alta densidad

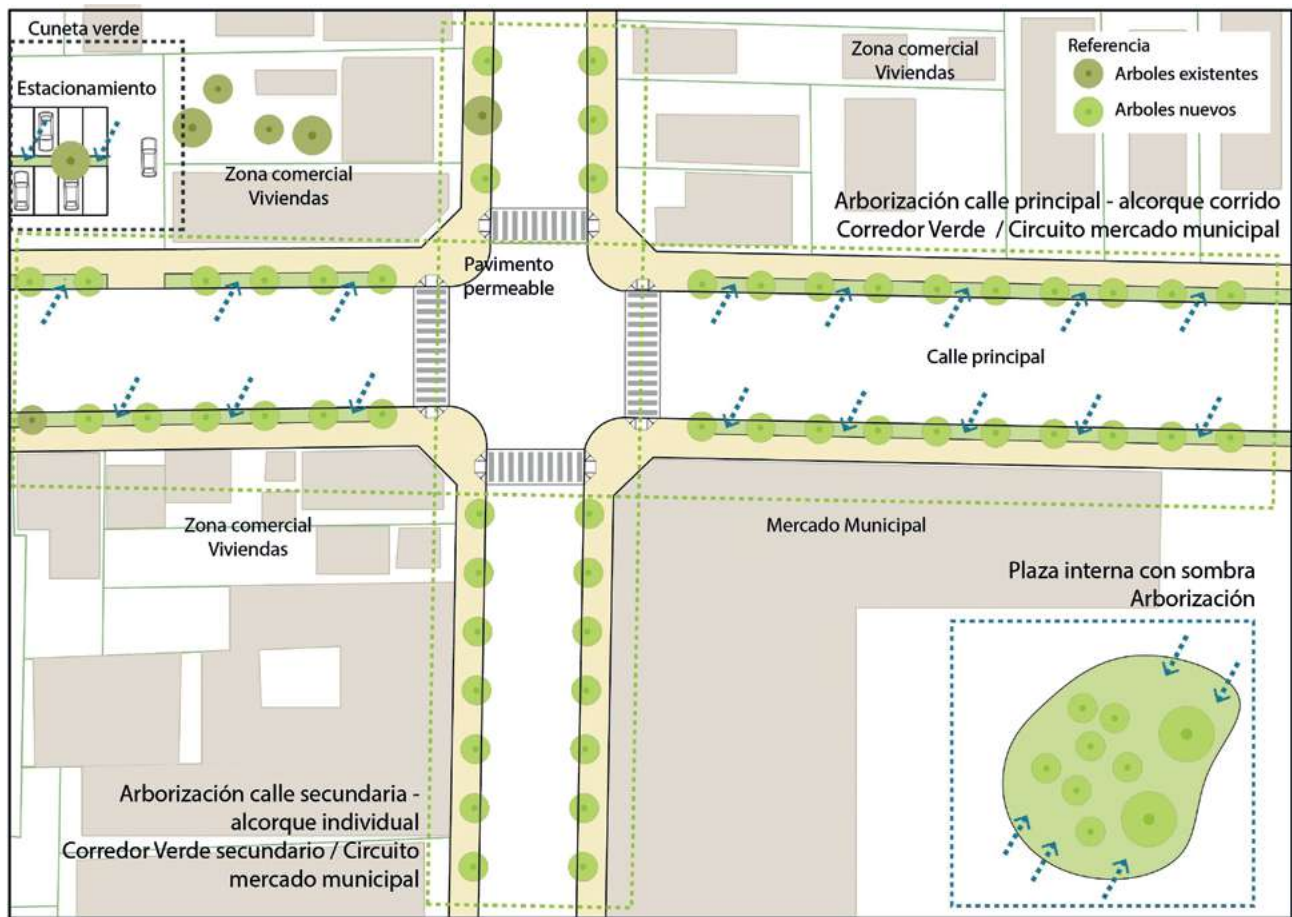
Fuente: Google Earth

Propuesta de diseño para la zona central urbanizada

Previamente a realizar el plan de diseño en un área altamente urbanizada, es necesario realizar el inventario de los árboles existentes, los espacios públicos abiertos y los equipamientos comunitarios de la zona, pues uno de los objetivos principales de la propuesta es crear una red verde que conecte las vías de mayor flujo peatonal, las zonas verdes de la ciudad y los equipamientos comunitarios.

Considerando el poco espacio disponible en la zona y que la mayor parte de la superficie es impermeable, se recomienda remover partes de los pavimentos en vereda, de manera a dotar soluciones de Infraestructura Verde puntuales, que contribuirán en varios aspectos necesarios para mejorar el entorno urbano, como lo son: sombra, infiltración de escorrentía, biodiversidad en los espacios públicos, etc.

La **FIGURA 52** presenta el Plan de Infraestructura Verde para zonas urbanizadas con una densidad media y alta.



Ejemplo ilustrativo, sin escala

FIGURA 52: Plan de Infraestructura Verde para una zona urbanizada de media/alta densidad

Fuente: Elaboración propia

Se propone la incorporación de un corredor verde en la calle principal de manera a vincular el mercado municipal con otros sectores de la ciudad. Estos corredores además de beneficiar a los peatones en su movilidad por la ciudad también actuarán de conectores ecológicos para la fauna, uniendo las áreas verdes entre sí. Para ello, se reemplaza parte de la calzada por espacios destinados a la circulación del peatón y a la **plantación de árboles en cantero corrido**, de manera a lograr una mayor infiltración del agua al suelo. Así mismo, se propone en todas las esquinas la construcción de rampas peatonales y la señalización horizontal correspondiente.

Debido al ancho de las veredas es menor en las calles secundarias, se plantea la arborización en **canteros individuales**. Además, en el estacionamiento privado

ubicado en uno de los lotes se recomienda la incorporación de **cunetas verdes** y la utilización de **pavimentos permeables modulares**. Finalmente, en el lote del Mercado Municipal se propone la creación de una **plaza interna** con árboles que generen sombra, de manera a crear un microclima de dicho sector, recolectar las aguas de lluvia y mejorar las cualidades urbanas del entorno. Estas áreas verdes puntuales deberán priorizar la diversidad de especies arbóreas de manera a convertirse en islas de biodiversidad que funcionarán como refugios y áreas de alimentación para la fauna urbana. Estas islas verdes podrán servir luego de escalones ecológicos que unirán a las grandes áreas verdes o parques urbanos de las ciudades permitiendo a los animales tener sitios de circulación dentro de la ciudad.

Zona de urbanización de baja densidad

Se caracteriza por tener un modelo de crecimiento disperso distribuido en una trama ortogonal. Existe predominancia del uso del suelo habitacional, en la cual la tipología predominante es la vivienda unifamiliar aislada, cuya implantación en el territorio genera una densidad habitacional baja (Ver **FIGURA 53**). Además, la zona presenta un desarrollo pobre en cuanto a la infraestructura de servicios urbanos. Así mismo, el flujo de tránsito vehicular es bajo. Las calzadas de las calles locales son empedradas o enripiadas y en algunos casos asfaltadas, mientras que las veredas solo están pavimentadas en algunos casos. En cuanto al aspecto ambiental, por la baja cobertura de la superficie, se conserva una alta permeabilización del suelo. Sin embargo, existen recursos hídricos contaminados por falta de infraestructura sanitaria, pocos árboles y vegetación en la vía pública, así como en los espacios públicos abiertos.

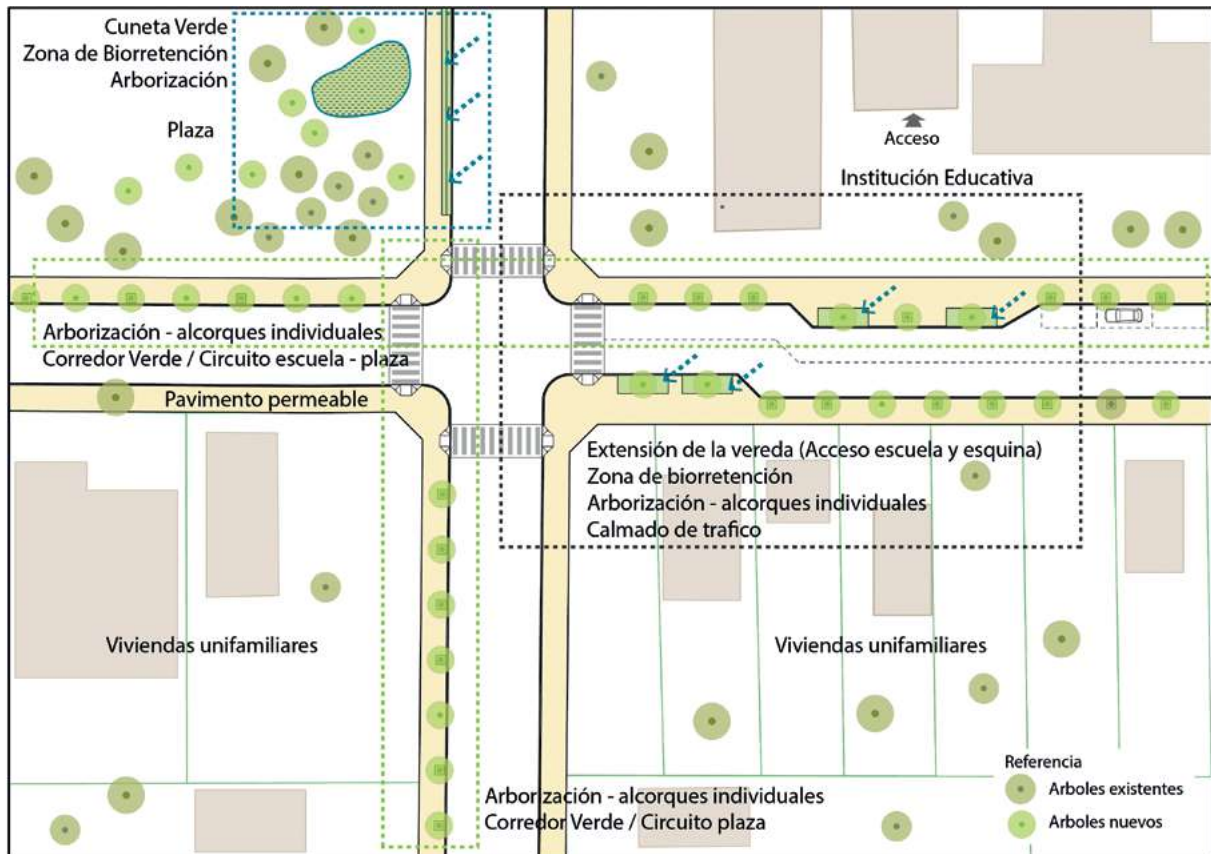


FIGURA 53: Ejemplo de la zona de urbanización de baja densidad

Fuente: Google Earth

Propuesta de diseño para zonas de urbanización de baja densidad

La **FIGURA 54** presenta el Plan de Infraestructura Verde para zonas habitacionales de baja densidad, el cual busca potenciar el sistema ambiental existente en la zona, definido por las características propias de este tipo de tejido. Por ejemplo, si bien existen muchos árboles en la zona, la mayoría de ellos no están ubicados en la zona municipal. Por ello, una de las prioridades es aumentar el espacio destinado al peatón y fomentar la movilidad activa a través de la implantación de **corredores verdes** que vinculen diferentes plazas, parques y equipamientos educativos y comunitarios dentro del barrio y con la ciudad.



Ejemplo ilustrativo, sin escala

FIGURA 54: Propuesta de diseño para zonas habitacionales de baja densidad

Fuente: Elaboración propia

Además, se plantea reemplazar ciertas zonas destinadas al estacionamiento vehicular por **extensiones de vereda, zonas de biorretención con capas de infiltración y arborización alineada en las veredas**. La extensión de la vereda tipo Chicana brinda mayores zonas de uso para el peatón y logra la pacificación del tránsito en dichas calles. Es recomendable que estos ensanchamientos estén dados en lugares donde están insertos los equipamientos de carácter público (ej. escuelas), pues esto ofrecerá mayor espacio a los peatones en zonas de alto flujo de personas, como lo es durante la hora de entrada y salida de las instituciones educativas, brindando mayor seguridad a niños y personas mayores que transitan en el área.

En la zona de la plaza, se proyecta la **arborización en islas con especies arbóreas nativas**, una **zona de biorretención** y la construcción de **cunetas verdes** para captar y filtrar la escorrentía del entorno. Por último, se recomienda el reemplazo de **pavimentos impermeables** en las veredas por pavimentos permeables modulares (ej. adoquín) para aumentar la infiltración de agua de lluvia en dicho espacio.

Zona periurbana

Se caracteriza por desarrollar un modelo de crecimiento disperso distribuido en una trama irregular, el cual conserva atributos típicamente rurales. Si bien coexisten lotes edificados y baldíos, existe predominancia del uso del suelo habitacional, siendo la densidad habitacional muy baja. En cuanto al aspecto ambiental, la baja cobertura del suelo permite una alta permeabilización del suelo. Sin embargo, existen pocos árboles en vía pública y no se dispone de espacios públicos abiertos. (Ver **FIGURA 55**)



FIGURA 55: Ejemplo de la Zona Periurbana

Fuente: Google Earth

La zona presenta un desarrollo casi nulo en cuanto a la infraestructura de servicios urbanos. Así mismo, existe un flujo de tránsito vehicular bajo a nulo. Las calzadas son generalmente enripiadas o de tierra y las veredas no están pavimentadas en la mayoría de los casos, por lo cual no existe una delimitación clara entre los espacios de la calle, como se muestra en la **FIGURA 56**.



FIGURA 56: Limite difuso en vereda y calzada en la zona periurbana

Fuente: Elaboración propia



Ejemplo ilustrativo, sin escala

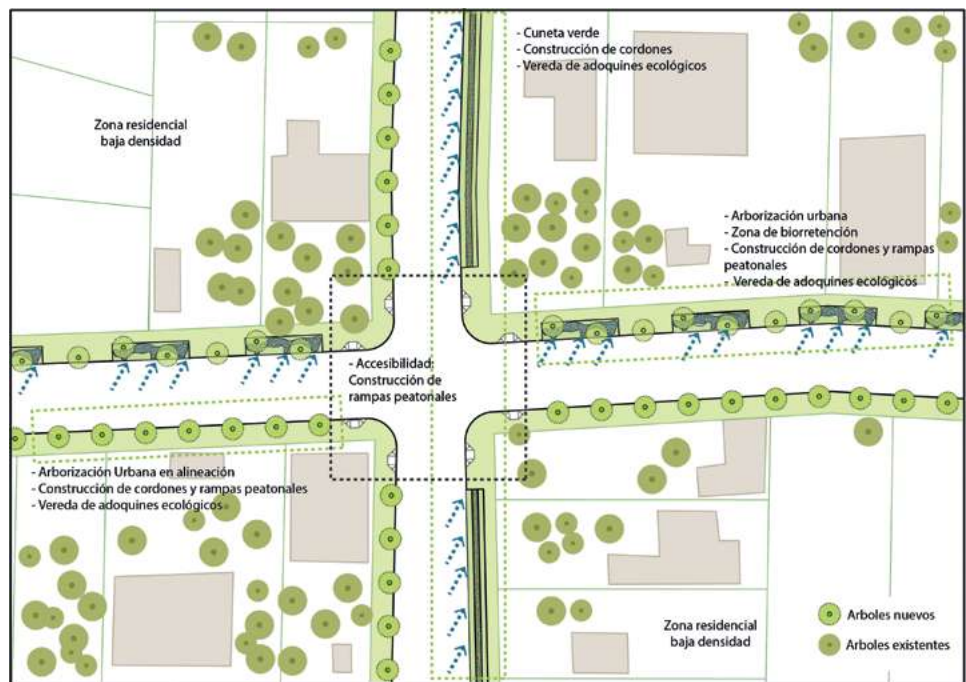
Propuesta de diseño para zonas periurbanas

La propuesta de diseño para zonas periurbanas y territorios suburbanizados (Ver **FIGURA 57**) busca en primer lugar delimitar los espacios correspondientes a las veredas y calzadas a través de construcción de cordones y soluciones de Infraestructura Verde, tales como **arborización alineada a la vereda, zonas de biorretención y cunetas verdes**. Así mismo, estas intervenciones contribuirán a proteger y aumentar la biodiversidad de la zona a mediano plazo, así como garantizar la infiltración del agua de lluvia al suelo, evitando la construcción de infraestructura gris de alto costo para el manejo de las aguas pluviales.



FIGURA 57: Plan de Infraestructura Verde para zonas periurbanas

Fuente: Elaboración propia



Ejemplo ilustrativo, sin escala

Por otro lado, el ancho de las calles en dichas zonas muchas veces sobrepasa las necesidades requeridas en relación con el flujo vehicular. Por ello, a fin de utilizar el espacio disponible de manera más eficiente y sustentable y garantizar el espacio disponible para el peatón y las soluciones verdes a mediano y largo plazo, se propone la incorporación de soluciones SuDS que requieran un espacio mayor que muchas veces no está disponible en las zonas urbanas con una densidad media/alta, como las cunetas verdes, las zonas de biorretención sin capas de infiltración de mayores dimensiones, etc.

Las zonas periurbanas son también las áreas con mayor diversidad biológica, tanto de flora como de fauna. Por lo que los planes de ordenamiento territorial deberán contemplar la conservación de áreas extensas de bosques o campos en zonas periurbanas que garanticen áreas de refugio y reproducción/nidificación de la fauna. Esta zona es ideal para la declaración de áreas protegidas públicas o privadas de acuerdo a la Ley N° 352/94 del Sistema de áreas silvestres protegidas, convirtiéndose así en zonas que resguarden los ciclos biológicos de las especies y los ecosistemas.

7.4.2 Escala urbana

La creación de una **Red de Infraestructura Verde** a escala urbana apunta a lograr una ciudad verde e inclusiva. Para ello, primeramente, se deben analizar las interacciones entre diferentes usos del suelo de una ciudad, para luego proponer lineamientos que apunten a lograr una mayor conectividad ecológica entre los diferentes sectores urbanos, además de plantear: urbanizaciones compactas, manejo integral del agua, así como la movilidad activa y del transporte público. Es recomendable utilizar “estrategias urbanas multifuncionales”, las cuales combinan varios de los lineamientos citados anteriormente y contribuyen a utilizar los recursos disponibles de manera eficiente, permitiendo fortalecer la biodiversidad en las ciudades a un costo menor.

Si bien es posible realizar intervenciones verdes puntuales, el impacto de estas acciones será menor si no se cuenta con una planificación general y una estrategia de cómo conectar las diferentes acciones realizadas. Para que los elementos medioambientales sean considerados como parte de la Infraestructura Verde deben ser de alta calidad, formar parte de una red verde interconectada y ser capaces de ofrecer algo más que un simple «espacio verde». Por ejemplo, un único árbol puede ser un elemento de una Infraestructura Verde, pero sólo tendrá valor si forma parte de un hábitat o un ecosistema más grande que cumpla una función más amplia (Unión Europea, 2014).

Por ello, la Infraestructura Verde corresponde a un sistema de espacios verdes diversos espacialmente en red y funcionalmente complementarios. Este sistema debería permitir el movimiento de fauna, semillas, agua, aire y personas entre los nodos o núcleos por medio de un sistema de escalones (*stepping stones*) y/o corredores verdes (Vásquez, 2016). Los espacios urbanos con gran potencialidad ecológica forman parte de la Infraestructura Verde municipal, tales como (The Landscape Institute, 2009):

- Centros de manzana y patios arbolados
- Calles
- Plazas
- Bosques urbanos
- Lagunas, arroyos y ríos

- Humedales
- Huertos urbanos
- Áreas naturales protegidas
- Tierras agrícolas

La combinación de estos componentes permite brindar las pautas en cuanto al diseño y planificación de la Infraestructura Verde. Ejemplos de posibles patrones de diseño se muestran en la **FIGURA 58**, permitiendo conectar las funciones ecológicas específicas, tanto en el entorno urbano como periurbano (Ahern, 2007).

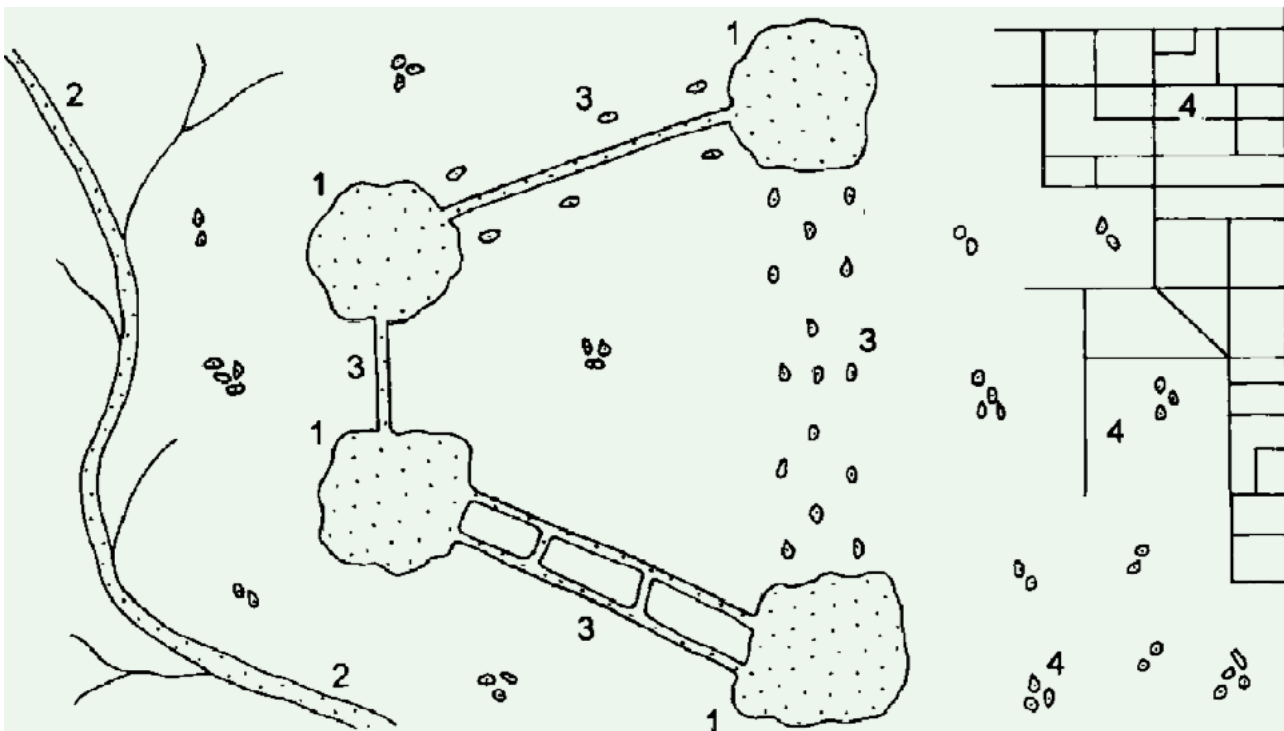


FIGURA 58: Patrones para planificar un paisaje

(1) Grandes parches de vegetación natural, (2) corredores fluviales ríos/arroyos, (3) conectividad entre parches y escalones (stepping stones) y (4) matriz urbana que contiene la estructura de pequeños trozos de naturaleza (parches) y corredores.

Fuente: Forman, 1995

Es recomendable tomar como estrategia prioritaria la intervención de los “espacios colectivos y vacíos” del municipio, de manera que los múltiples beneficios que genera su implementación sean para el disfrute y uso de todos los ciudadanos, democratizando el espacio público. Se propone crear una red ecológica urbana, a partir de las condiciones existentes, con el fin de mejorar los servicios ecosistémicos, sociales y de servicios públicos en los espacios comunitarios de las ciudades, tales como calles, plazas o parques, urbanizaciones, etc.

La **FIGURA 59** presenta los elementos a ser considerados para la elaboración de un **Plan de Infraestructura Verde** en un municipio ficticio que cuenta con las características espaciales típicas de la trama urbana de las ciudades paraguayas.

El objetivo principal de diseño es crear una **“Red de Infraestructura Verde Urbana”**, de modo a garantizar la conservación y potenciación de la biodiversidad dentro de las ciudades. Para ello, primeramente, es necesario relevar los lugares adecuados dentro de la ciudad para los proyectos de mejora urbana y ambiental e

identificar zonas multifuncionales donde se da prioridad a los usos compatibles del suelo que refuerzan los ecosistemas sanos sobre otros desarrollos más destructivos, centrados en un solo uso (Unión Europea, 2014). En el proceso de diseño es importante tomar en consideración la ubicación geográfica del municipio dentro de una cuenca o subcuenca.

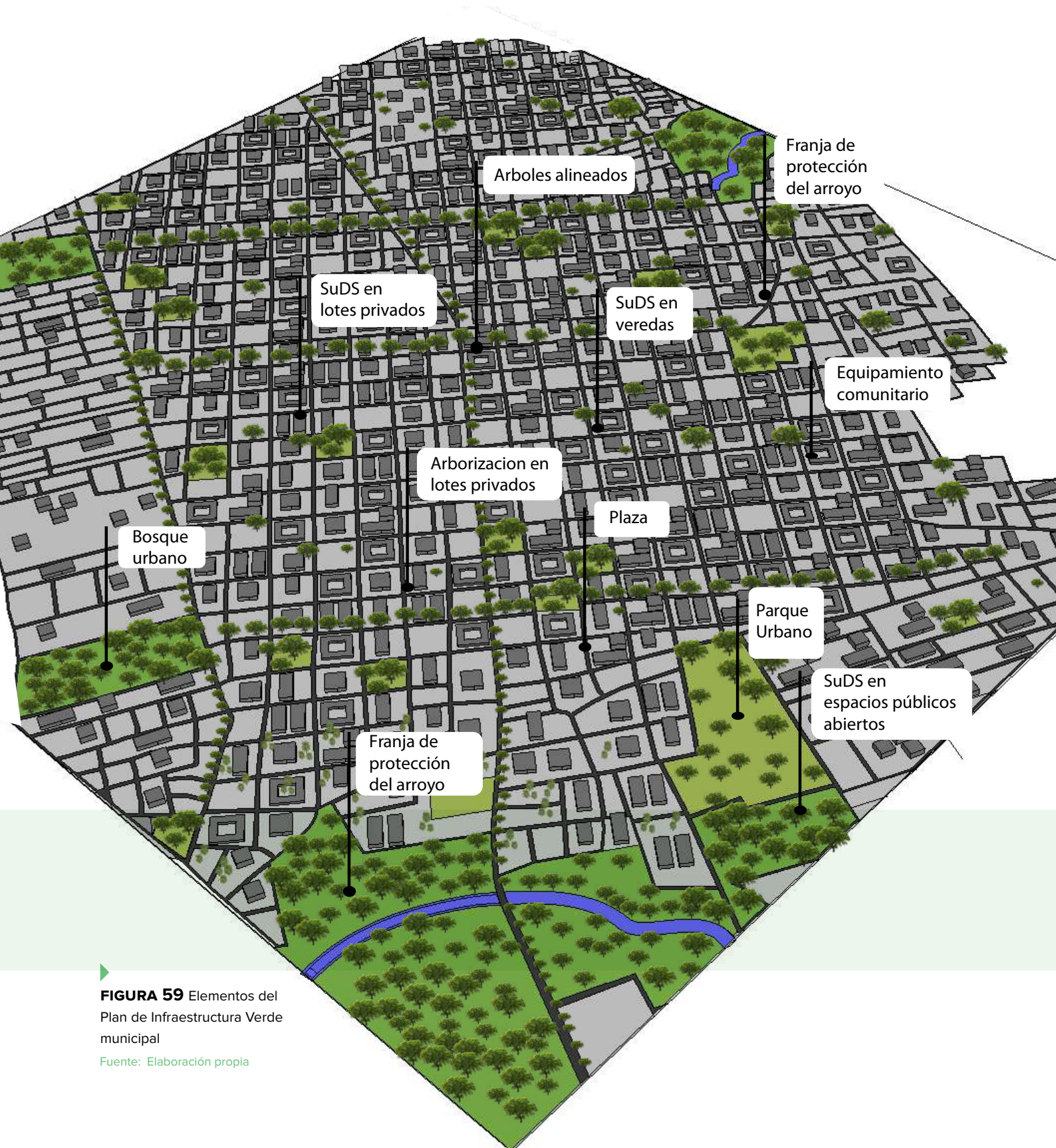


FIGURA 59 Elementos del Plan de Infraestructura Verde municipal

Fuente: Elaboración propia

La propuesta está compuesta por “**corredores ecológicos**”, concebidos a partir de la selección de las calles de mayor flujo vehicular o sectores de la ciudad, que cuentan con equipamientos comunitarios importantes, en las cuales se propone realizar la **plantación de árboles en alineación** y la incorporación del manejo de **técnicas de drenaje sostenible**, como las **zonas de biorretención, lagunas de detención, cunetas verdes**, etc. Dichos corredores conectan los diversos “espacios públicos abiertos y comunitarios” de la ciudad, tales como: bosques existentes, plazas, parques, escuelas, colegios, centros deportivos, etc. con soluciones verdes. Además, los recursos hídricos también forman parte de dicha red, incluyendo tanto al cauce como a la franja de protección, en la cual se propone sembrar árboles alineados al curso de agua, bolsones de vegetación autóctona o islas de biodiversidad, de manera a conservar y restablecer los bosques rivereños.

Las áreas de gran extensión como los parques urbanos, los bosques o los campos con vegetación autóctona se convertirán en las áreas núcleos de los nuevos corredores verdes urbanos, lugares donde la fauna y la flora puedan cumplir con sus ciclos biológicos y permitir así asegurar el equilibrio de los ecosistemas. Se busca conformar un cinturón verde urbano interconectado con los corredores verdes y los espacios naturales de las ciudades.

Los sectores privados de la ciudad también juegan un papel muy importante dentro de las soluciones verdes. Por ello, desde el Municipio, se deberá incentivar la plantación de árboles, así como la incorporación de sistemas para manejo de agua pluvial sostenible a nivel de lote, como los **techos verdes** y el reúso de agua de lluvia mediante **aljibes**, ya sea en las viviendas como en los equipamientos urbanos. También se deberá incentivar o reglamentar la incorporación de soluciones de Infraestructura Verde en las grandes construcciones públicas o privadas como, por ejemplo: centros comerciales, supermercados, complejo de torres corporativas o residenciales, vías rápidas de acceso a las ciudades, etc. Ésto tendrá un impacto positivo sobre el funcionamiento del sistema de desagüe pluvial, dado que la escorrentía a ser transportada será menor. Como ejemplo, la ciudad de Juárez ubicada en el departamento de Chihuahua en México, ha reglamentado que, en una nueva obra de construcción o reconstrucción de calles públicas y obras de urbanización residencial y comercial, se incluya a los elementos de Infraestructura Verde en el diseño de la infraestructura pluvial. En el caso de los predios comerciales, las áreas verdes deberán satisfacer 50% de su necesidad de agua para riego con agua de lluvia a través de infraestructura verde o almacenamiento local en el sitio mismo (Ciudad de Juárez, 2016).

7.5. Estudio de caso

7.5.1 Proyecto de Urbanización Barrio San Blas del MUVH

El proyecto de urbanización del barrio San Blas está ubicado en la ciudad de Mariano Roque Alonso. El diseño paisajístico fue elaborado por las arquitectas Cynthia Yanes, Elena Enciso y Florencia Guggiari, del equipo técnico la Dirección de Proyectos Estratégicos (DIPE) del MUVH. El plan contiene 600 viviendas unifamiliares de un nivel, situadas en lotes de un tamaño promedio de 120 m². Cuenta además con equipamientos comunitarios como: centro comunitario, sub comisaría, guardería, unidad de salud familiar, polideportivo, salón multiuso, centro de acopio, además de espacios públicos abiertos. El terreno tiene una superficie de 26 hectáreas y la densidad total es de 23 viviendas por hectárea.

El sitio de emplazamiento de la urbanización linda con el arroyo Itay y está próximo a la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi, por lo que la propuesta se implanta cumpliendo con las normativas vigentes del Código Aero-náutico Nacional y de la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI).

El terreno tiene una baja capacidad para la absorción de agua y cuenta con una leve pendiente hacia el cauce del arroyo. A raíz de las frecuentes inundaciones en la zona de influencia del arroyo, fueron realizadas mejoras por el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), tales como: construcción de puentes, muros de piedra y gaviones para la protección, así como el mejoramiento del talud del cauce existente.

Propuesta Urbana y de movilidad

La propuesta urbana se configura a partir de la combinación de supermanzanas y espacios públicos abiertos. Salvador Rueda define a la supermanzana como una célula de unos 400x400 m, definida por una red de vías básicas que conectan los orígenes y destinos de toda la ciudad. Las vías interiores (locales) constituyen una red local de velocidad limitada a 10 km/h (Rueda, 2016). Este concepto ha sido adaptado a los condicionantes locales del Barrio San Blas y se ha generado supermanzanas a partir de la combinación entre 2 a 8 manzanas. Ésto permite disminuir el espacio de uso viario y brindar mayor espacio público de calidad a los ciudadanos, fomentando así la movilidad activa a través de las caminatas y el uso de bicicletas. Además, la incorporación de los equipamientos comunitarios contribuye a generar puntos de encuentro entre los vecinos y fomentar el mejor relacionamiento entre los pobladores, actuando como un elemento dinamizador entre el nuevo barrio y la ciudad existente.

El proyecto habitacional cuenta con un sistema vial principal y secundario. El sistema vial principal conecta internamente las supermanzanas del barrio con la ciudad de Mariano Roque Alonso. En la misma se prevé estacionamientos para los residentes. La red secundaria comprende el conjunto de calles compartidas dentro de las supermanzanas, para el acceso a las viviendas. Éstas serán de un solo sentido y los vehículos no pueden atravesar de una supermanzana a otra, logrando así un desplazamiento motorizado de baja velocidad. Además, se contempla la incorporación de un circuito independiente de ciclovía al del sistema vial principal del proyecto, el cual recorrerá y conectará las diferentes supermanzanas, ofreciendo un recorrido de disfrute dentro de la urbanización y conectándose a la ciudad formal al norte del proyecto.

La **FIGURA 60** presenta un esquema de la propuesta urbana y de movilidad del Barrio San Blas.



FIGURA 60: Propuesta urbana y de movilidad - Barrio San Blas

Fuente: MUVH

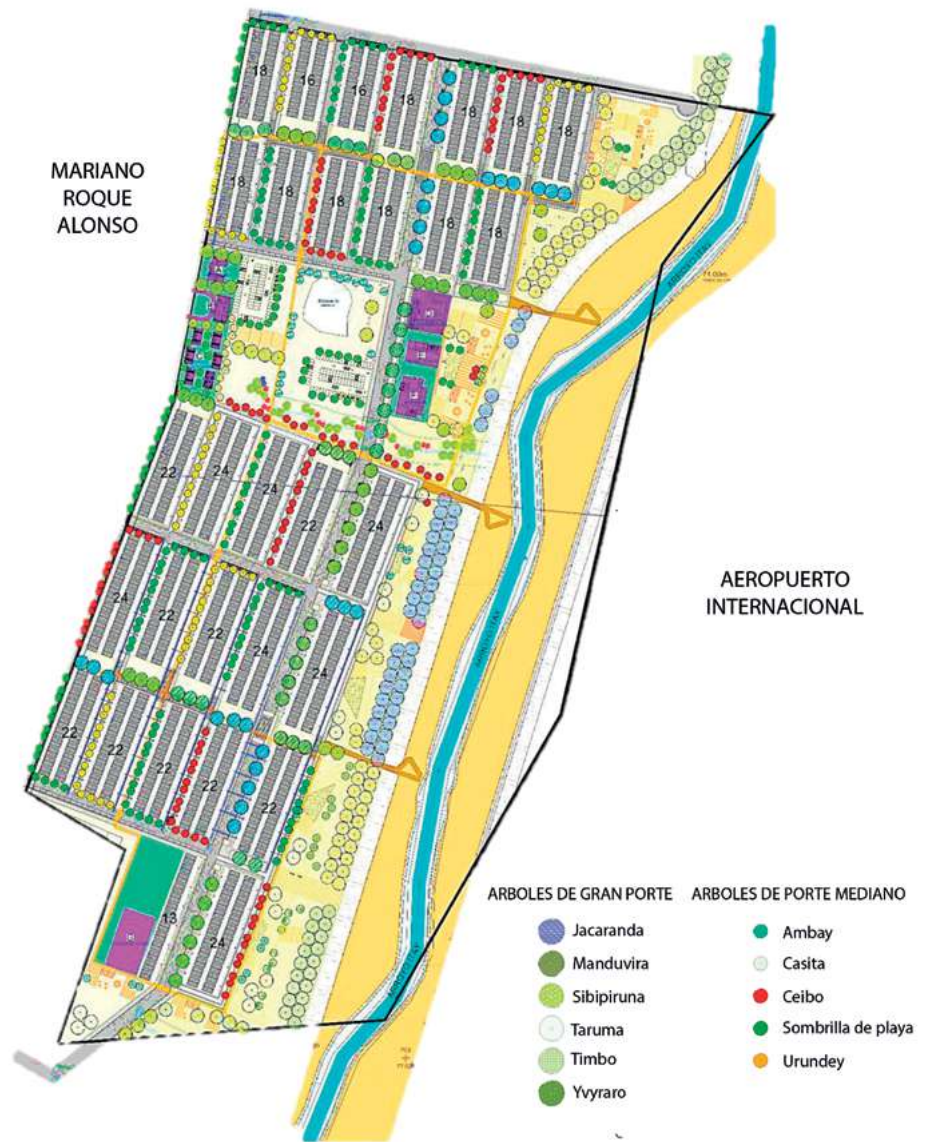
Red de Infraestructura Verde

El principio paisajístico que estructura el plan se basa en un sistema jerárquico de espacios públicos que conforma la red de Infraestructura Verde del proyecto, tales como: calles principales bordeadas con árboles, calles residenciales compartidas, paseos verdes y parques que albergan equipamientos comunitarios, entre otros. Las especies arbóreas seleccionadas para la Arborización Urbana del proyecto son de masa forestal no fructífera para así evitar atraer a la fauna avícola, ya que se encuentra ubicado en las cercanías de un Aeropuerto Internacional. La **FIGURA 60** muestra la propuesta paisajística y la selección de especies arbóreas idóneas al tipo de espacio donde será plantado.

La conexión entre los corredores verdes y espacios públicos abiertos configura una red de Infraestructura Verde, la cual facilita el tránsito de personas entre los diferentes sectores del proyecto y establece una conexión entre los últimos remanentes de bosques urbanos y/o de grandes espacios verdes de la zona. La superficie de las áreas verdes del proyecto cumple con el 7% de la superficie total requerida para este uso en el Art. 247 la Ley Orgánica Municipal (Ley N° 3.966/10 , 2010), contribuyendo a la generación de un microclima y sombra, además de mitigar el sonido proveniente de los aviones y embellecer el paisaje.

Como se presenta en la **FIGURA 61**, fueron utilizados los siguientes elementos de Infraestructura Verde:

- **Parque Central:** está ubicado en el centro del proyecto habitacional y contiene una serie de equipamientos comunitarios que buscan abastecer las necesidades del nuevo barrio, así como de la ciudad existente, en el cual serán plantados árboles de porte mediano y grande.
- **Parque lineal:** está ubicado en forma lineal entre las supermanzanas habitacionales y la barrera forestal. Forma parte del área de transición entre el conjunto habitacional y el aeropuerto. En el mismo serán implantados diversos elementos para el esparcimiento, descanso y juego.
- **Barrera forestal:** está ubicada en forma lineal en el lindero hacia el arroyo Itay y el Aeropuerto Internacional Silvio Pettirossi y está integrada al Parque Lineal. Se plantarán dos hileras de árboles de manera a formar una barrera perpendicular a la dirección predominante del emisor del sonido, a fin de reducirlo.
- **Paseos Verdes:** Son espacios públicos transversales que vinculan la ciudad existente con el parque lineal. Su función es renovar el aire poluido, así como generar un ambiente más natural y humano a los residentes.
- **Pavimentos permeables:** Tanto en el parque lineal y central se utilizan adoquines ecológicos, con el fin de reducir el volumen de escorrentías. Su utilización permite que el agua de lluvia sea captada directamente y retenida en capas subsuperficiales para su posterior infiltración.
- **Calles principales y calles locales compartidas, bordeadas con árboles:** Se optó por elegir especies de porte mediano o pequeño con raíces no agresivas para veredas de 3 m de ancho y especies de porte grande para las veredas de 6 m y para las franjas verdes ubicadas en los paseos.



JACARANDÁ



SOMBRILLA DE PLAYA



LLUVIA DE ORQUÍDEA



MANDUVIRÁ



SIBIPIRUNA



CEIBO

FIGURA 61: Plan de arborización - Barrio San Blas

Fuente: MUVH



FIGURA 62: Red de Infraestructura Verde - Barrio San Blas

Fuente: MUVH

7.5.2 Che Tapyi y FONAVIS

Los proyectos de arborización se llevaron a cabo en los proyectos habitacionales ya concluidos de los Programas Che Tapyi, FONAVIS y Sembrando Oportunidades, con el objetivo de contribuir a las condiciones ambientales del entorno de implantación del proyecto, mejorar la calidad de vida de los residentes y mitigar los efectos negativos causados por el cambio climático.

El proyecto fue un trabajo interinstitucional liderado por la Dirección General del Hábitat del MUVH, en convenio con el INFONA y con la colaboración de las comunidades beneficiadas. El MUVH elaboró el proyecto de arborización, el INFONA donó los plantines de árboles nativos, asistió y asesoró en cada actividad de arborización y la comunidad beneficiada se comprometió al cuidado de los árboles.

Las arborizaciones se realizaron tanto en las plazas, centros comunitarios o escuelas según la necesidad de cada lugar, como se observa en la **FIGURA 63**. Así mismo, la plantación de árboles se ha realizado de forma permanente, con participación de las comunidades.



FIGURA 63: Plantación de árboles en espacios públicos abiertos

Fuente: Gentileza del Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat

Para la elección de las especies arbóreas se tuvo en cuenta el tipo de suelo del terreno y las características del equipamiento urbano y del espacio público existente (equipamiento de plazas, ancho y tipo de calles, veredas existentes, alumbrado público, postes del tendido eléctrico y cableado). La **FIGURA 64** ejemplifica los trabajos de planificación previos a la plantación de los árboles. Asimismo, se ha considerado en la propuesta de diseño el entorno inmediato del conjunto habitacional, su inserción a la trama urbana existente y las áreas verdes circundantes, de modo a lograr una conectividad de las mismas y generar corredores de biodiversidad.



► **FIGURA 64:** Elección del sitio y preparación del suelo

Fuente: Gentileza del Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat

Finalmente, una vez concluida la plantación de los árboles, fueron colocados protectores para resguardar a los plantines de los agentes de daño (animales, vientos, rayos del sol, vehículos o personas). En este proyecto en particular fueron utilizados protectores de madera con mallas de media sombra (50%), como se observa en la **FIGURA 65**



► **FIGURA 65:** Utilización de protectores para el resguardo de los plantines.

Fuente: Gentileza del Ministerio de Urbanismo, Vivienda y Hábitat

8.

Plan de gobernanza

Para la implementación de planes y proyectos de Infraestructura Verde en proyectos del MUVH y de los Municipios.

Se presentan a continuación las estrategias para la implementación de los Planes de Infraestructura Verde Urban tanto para los proyectos urbanos encarados desde el MUVH, así como en los Municipios. Los mismos han sido formulados por el equipo técnico del MUVH, a fin de poder implementarlos en una segunda etapa.

8.1. Estrategia de implementación para proyectos del MUVH

La implementación de las estrategias de Infraestructura Verde dentro de los proyectos habitacionales y de equipamientos comunitarios a ser encarados por el Ministerio constará de 3 fases:

Fase 1: Normativa-Organizativa

El Manual de Infraestructura Verde Urbana es aprobado por resolución institucional, obligando su aplicación a los programas vigentes a través de la coordinación del Viceministerio de Urbanismo y Hábitat y la aprobación de la Dirección General del Hábitat.

Fase 2: Operativa

La Dirección General del Hábitat elabora un Plan de Ejecución de Infraestructura Verde, el cual comprende 2 componentes: 1) Proyectos de Arborización y 2) Proyectos de Manejo de Drenaje Pluvial Sostenible. Éste será incorporado a los desarrollos habitacionales y urbanos proyectados. También, esta dirección está a cargo de la aprobación y supervisión de estas propuestas.

Fase 3: Monitoreo y evaluación

La verificación y monitoreo de los proyectos de desarrollos habitacionales y urbanos que incorporen proyectos de arborización y de drenaje pluvial sostenible será realizado por la Dirección General del Hábitat, así como el trabajo coordinado con las comisiones vecinales y las municipalidades donde se implantan estos desarrollos.

De manera a contar con un aprendizaje institucional de las experiencias realizadas y retroalimentar los resultados obtenidos, se recomienda la siguiente periodicidad:

Cada 1 año: Informe de la Dirección General del Hábitat respecto a las acciones realizadas para la implementación del Plan, a ser evaluadas por el Viceministerio de Urbanismo y Hábitat.

Cada 3 años: Evaluación cualitativa de la implementación del Plan, en base a informes anuales, elaborada a la Dirección General del Hábitat y remitida al Viceministerio de Urbanismo y Hábitat para su aprobación final.

8.2. Estrategia de implementación del Plan Municipal de Infraestructura Verde

La implementación de Planes Municipales de Infraestructura Verde se enmarca dentro de lo establecido por el Gobierno Nacional en cuanto a las acciones de adaptación y mitigación al Cambio Climático en las ciudades.

Los municipios son los principales responsables de promover las políticas urbanas que apunten a la sostenibilidad y resiliencia. Su participación en la creación, diseño, implementación y seguimiento de soluciones de Infraestructura Verde adaptadas a las características locales de las urbes es clave para lograr los objetivos propuestos.

A fin de establecer una “**Estrategia Nacional de Infraestructura Verde**” y llevar a cabo la implementación del Plan de Infraestructura Verde a nivel municipal, se proponen las siguientes fases:

Fase 1: Ajustes Normativos

Para garantizar la implementación efectiva y con respaldo normativo de las estrategias de Infraestructura Verde en todos los municipios paraguayos, es necesario realizar una armonización de la normativa vigente a nivel nacional en materia urbanística y ambiental, incluyendo las leyes y los planes nacionales, sectoriales, regionales y locales relacionados con la construcción, el ambiente (recursos hídricos, arbolado urbano, áreas protegidas, desecho de residuos sólidos, etc.), la gestión de riesgos, la movilidad urbana sostenible, entre otros.

Una de las primeras medidas es la revisión y ajuste de los instrumentos normativos vigentes, de manera a realizar los ajustes correspondientes. En ese sentido, según lo establecido en el Art. 226 de la Ley Orgánica Municipal, el POUT tiene por finalidad orientar el uso y ocupación del territorio en el área urbana y rural del municipio para conciliarlos con su soporte natural.

De manera a garantizar que la Red de Infraestructura Verde Urbana sea uno de los componentes claramente establecidos dentro del Plan de Ordenamiento Urbano, se recomienda la construcción del **Plan Municipal de Infraestructura Verde (PMIV)**. Este plan sectorial se enfoca en la planificación de la ciudad, a partir de estrategias urbanas basadas en la naturaleza de manera a fortalecer el sistema de Infraestructura Verde de las ciudades, a través de los **Planes de Arborización Urbana y los Planes de Manejo de Drenaje Pluvial Sostenible**. Si bien el Plan de Arborización Urbana ya está considerado en la Ley de Protección al Arbolado Urbano N° 4928/13, se recomienda la elaboración de una **Ley que establezca el marco de acción de los Sistemas de Drenaje Sostenible en las áreas urbanas y rurales**. De esta manera, se garantiza la implementación y gestión de una red de proyectos verdes que contribuya a enriquecer los servicios ecosistémicos en el espacio público y privado de la ciudad.

Por último, se propone reglamentar los Art. 10 y 16 de la **Ley de protección al arbolado urbano N° 4928/13**. Estos artículos esbozan lineamientos para generar o fortalecer los corredores ecológicos dentro de las urbes, indicando que la Municipalidad desarrollará y ejecutará programas de repoblación de árboles en zonas urbanas de escasa cobertura arbórea o en zonas donde se requiera el mejoramiento del ornato municipal, de acuerdo con las características ecológicas y urbanísticas de la zona, así como con los planes de ordenamiento territorial y la normativa de seguridad aplicable a la zona a repoblar. Sin embargo, los gobiernos municipales no cuentan con las indicaciones técnicas necesarias de manera a poder implementar a cabalidad lo establecido en dichos artículos. Además, se recomienda incorporar normas claras en cuanto al reemplazo y compensación de los árboles, de manera a que los inversores y desarrolladores les obtengan mayores beneficios por preservar los árboles existentes, antes que reemplazarlos (TDAG, 2012). Por último, se tienen que buscar otras medidas compensatorias que busquen y permitan la implementación del Plan de Infraestructura Verde del municipio.

Durante este proceso, las instituciones responsables de realizar el ajuste de normativas vigentes por parte del Poder Ejecutivo serán: MUVH, MADES, representantes de Municipios y la STP. Su principal función será la de presentar los borradores de las normativas que consideren pertinentes de manera a incorporar el concepto de Infraestructura Verde. Por su parte, desde el Poder Legislativo, se propone que la Comisión Nacional de Defensa de los Recursos Naturales (CONADERNA) presente una declaración de Interés de los borradores normativos, de modo a contar con un instrumento que respalde el proceso de ajustes en los instrumentos normativos vigentes, además de promulgar junto con los cambios propuestos una Adenda de Obligatoriedad, según sea el caso.

Como se observa en la **FIGURA 66**, durante el proceso de elaboración de los ajustes de las normativas vigentes, el diagnóstico y la propuesta serán consensuados con los diferentes grupos de actores indirectos. Con esto, se busca la construcción de un alto compromiso, colaboración y participación por parte de las diferentes instituciones públicas, privadas y de la Sociedad Civil, en cuanto a la construcción y posterior implantación del Plan de Infraestructura Verde en los municipios del país.



Actores Directos

- MUVH
- MADES
- MUNICIPIOS
- STP
- CONADERNA

Actores Indirectos

- INFONA
- MOPC (Dirección de Gestión Ambiental y Dirección de Vialidad)
- ACADEMIA (Universidades públicas y privadas)
- OPACI
- Asoc. de Intendentes de Itapúa
- Cámaras de comercio
- Grupos de voluntarios

FIGURA 66: Actores directos e indirectos en la fase de Ajuste Normativo

Fuente: Elaboración propia.



Fase 2: Socialización con los Municipios y reglamentación a través de Ordenanzas Municipales

Una vez establecidos los ajustes normativos a nivel nacional, se propone la socialización de estos con los Municipios del país a fin que los gobiernos locales elaboren el Plan Municipal de Infraestructura Verde a través de la formulación de una Ordenanza Municipal. Por otro lado, se recomienda la creación o ajuste tanto de las ordenanzas respecto a las veredas, espacio público, área permeable y vegetación dentro de los lotes privados, como del Reglamento de Construcción, a fin de que las normativas municipales incorporen los principios de Infraestructura Verde y construcción sostenible.

El MUVH, junto con el MADES y la STP guiarán y acompañarán a los municipios en la elaboración e implementación de las Ordenanzas vinculadas a la red de Infraestructura Verde. Durante este proceso, los gobiernos locales deberán consensuar con sus pares vecinos las normativas propuestas, ya que, desde el punto de vista ambiental, no es posible limitarse a las divisiones políticas de los municipios. Para estas normativas, se deberá tomar la cuenca como unidad de gestión del territorio, y que ésto posibilitará tomar decisiones beneficiosas para la región y no sólo para la ciudad.

Para aquellos casos de Municipios que ya cuenten con una ordenanza orientada a la protección, poda y derribo de árboles, se propone armonizar la ordenanza existente con la normativa propuesta para la elaboración de un Plan de Infraestructura Verde, ya que, el mismo integra el Plan de Arborización, junto al Plan de Manejo de Drenaje Pluvial Sostenible. Entre otros puntos, las normativas municipales correspondientes a la Infraestructura Verde Urbana deberán contemplar:

- La reglamentación correspondiente en cuanto a la **arborización en veredas** de la zona urbana del distrito, tomando en cuenta los parámetros e indicaciones descritas en las secciones 7.3.1 y 7.3.2.
- La reglamentación correspondiente a la incorporación de los **componentes de Infraestructura Verde en calles, ciclovías y espacios públicos abiertos**, considerando los criterios expuestos en las secciones 7.3.1, 7.3.2, 7.3.3 y 7.3.4.
- La reglamentación correspondiente a la **incorporación de los componentes de Infraestructura Verde en las construcciones y los lotes urbanos (cantidad mínima de árboles, porcentaje de superficie del suelo libre y permeable por fracción)**, considerando los criterios descritos en las secciones 7.3.5 y 7.3.6.
- La elaboración de un **Plan de Arborización** para la aprobación municipal de nuevos loteamientos en las zonas urbanas, en base a los requisitos establecidos en el Artículo 241 de la Ley Orgánica Municipal.

Además, dichas normativas deberán diseñar estrategias verdes que contribuyan a la revitalización de los **espacios públicos de los centros históricos** de las ciudades, caracterizados por su valor simbólico y su potencial para generar procesos de activación ciudadana. Por otro lado, los **nuevos desarrollos habitacionales propuestos** deben ser coherentes con la estrategia de la Infraestructura Verde Urbana, a fin valorar el carácter del paisaje y el sentido del lugar, y evitar así la creación de paisajes homogéneos periféricos (ASEJA y FEMP, 2019). Estos emprendimientos urbanos deben conectarse a los espacios públicos abiertos, patios de manzana y calles urbanas, así como a los parques periurbanos o el entorno rural de la ciudad, dependiendo de la ubicación y el contexto donde se ubica. Por último, se recomienda promover los **proyectos comunitarios de arborización**, de modo a lograr una participación activa de la comunidad. Éstos recibirán un apoyo especial del parte del Gobierno Nacional a través de las instituciones anteriormente nombradas, una vez que formen parte del Plan Municipal de Infraestructura Verde.

La metodología para elaborar el **Plan Municipal de Infraestructura Verde** es similar a la que se utiliza para el POUT. Para ello, se presentan tres etapas de manera a elaborar un proyecto de planificación espacial específico para guiar las diferentes propuestas de Infraestructura Verde, las cuales son descriptas a continuación:

- *Estudios preliminares y organización institucional:* El objetivo de esta primera etapa es obtener las condiciones necesarias para el desarrollo de las acciones encaminadas a garantizar el éxito del proceso de formulación del Plan, a través de la construcción de un consenso político, la constitución de un equipo técnico, el diseño y revisión técnica de un Plan de Trabajo consensuado entre el Gobierno Municipal junto con el Gobierno Departamental y el Gobierno Nacional (MUVH, STP y MADES), el diseño de un mapa de actores (organizaciones sociales, públicas y privadas que inciden en la dinámica social y territorial del municipio) y la obtención de recursos financieros (DGODT, 2016).
- *Diagnóstico territorial:* Esta fase permite comprender la funcionalidad y la dinámica ecológica urbana, realizando un análisis retrospectivo y actual de las relaciones que se establecen entre el medio natural, el medio social y el medio construido (DGODT, 2016), con el fin de reconocer de manera jerarquizada las potencialidades y los desafíos ambientales, urbanos, económicos y sociales. A fin de contar con una base cartográfica sólida y actualizada de los elementos de Infraestructura Verde existentes en el municipio e identificar claramente las variables que permiten ofrecer las respuestas adecuadas a las problemáticas identificadas (STP - PNUD, 2018), se propone realizar los siguientes pasos:
 - a. *Levantamiento de la información existente,* a través de la recopilación de estudios disponibles, cartografía (shapefiles, ortofotocartas y/o imágenes satelitales), así como consultas a actores claves, a través de entrevistas a personas locales o expertos en temas específicos del territorio en cuestión.
 - b. *Delimitación y análisis territorial del área urbana municipal:* Para delimitar el contexto municipal es importante considerar la relación del área urbana con el área rural del municipio, los distritos colindantes, así como las conexiones territoriales y sus accesos. Además, se deberá identificar los diferentes usos de suelo e infraestructura existente y la características del espacio físico, considerando para ello los siguientes elementos: cobertura forestal ribereña, red hidrográfica, alineamientos de árboles, zonas en riesgo (inundación, erosión, etc.), islas de calor, zonas no arborizadas, zona de infiltración, zonas de inundación, zonas saturadas de contaminación, corredores biológicos, espacios públicos, vías de transporte, equipamientos urbanos (educación, recreación, salud, etc.).

Para la identificación de zonas potenciales de Infraestructura verde, se recomienda tomar como base las categorías de tipos de uso del suelo descriptas en la **TABLA 20** y establecidas en la Guía para la Elaboración de los Planes de Ordenamiento Urbano y Territorial.

ZONAS DE OCIOS Y DE CULTURA (OC)	Las zonas de ocios y de cultura son aquellas que comprenden o están designadas para recibir todos los equipamientos y espacios de ocio y de cultura, tales como actividades de deporte, costanera, parques; actividades de manifestaciones, espectáculos y exposiciones; o lugares del patrimonio histórico, cultural y verde de la ciudad, por ejemplo.
ZONAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES (AF)	Las zonas agrícolas son aquellas, con equipamientos o no, designadas como zonas a proteger y/o a transformar, ya sea por razón de sus potencialidades agronómicas, biológicas o económicas de las tierras agrícolas. En estas zonas son autorizadas solamente las construcciones e instalaciones necesarias a los servicios públicos y a la explotación agrícola, ganadera o forestal. Estas zonas podrán dividirse para especificar áreas destinadas a la forestería, agroforestería, ganadería en silvopastoril y agricultura de producciones varias, relacionadas con la aptitud del suelo.
ZONAS NATURALES CON RESTRICCIONES DE USO (NR)	Las zonas naturales con restricciones de uso son aquellas, con equipamientos o no, designadas como zonas a proteger por la calidad del lugar, de los espacios naturales, de los paisajes y de las zonas de interés estético, histórico o ecológico. Se deben tener en cuenta las Áreas Silvestres Protegidas ubicadas en el territorio, estas Áreas están protegidas por la Ley 352/94, con el propósito de garantizar la conservación, defensa y mejoramiento del ambiente y de los recursos naturales involucrados.
ZONAS NO EDIFICABLES (NE)	Las zonas no edificables son aquellas que por razones varias (inundaciones, contaminaciones, criterios espaciales paisajísticos, etc.) no pueden recibir construcción.

TABLA 20: Categorías de tipos de suelo relacionados a la Infraestructura Verde Urbana

Fuente: Elaboración propia, adaptado de: (STP - PNUD, 2018)

- *Visión y Propuesta Verde Urbana:* El Plan Municipal de Infraestructura Verde debe construirse a partir de la identificación y protección de la infraestructura verde existente (ASEJA y FEMP, 2019). Dicho plan establece un norte a seguir, mediante la elaboración de una visión, estrategias y objetivos de manera a maximizar los beneficios vinculados a las zonas verdes y la biodiversidad de las ciudades, a través del diseño y posterior implementación de: 1) circuitos o corredores verdes conectando las áreas naturales existentes, 2) regeneración de áreas degradadas que cuentan con espacios potenciales para la implementación de Infraestructura Verde (ej. Campos deportivos subutilizados o abandonados) y, 3) áreas protegidas, cursos de agua o reservas naturales en peligro, las cuales requieren de una mayor protección a través de la elaboración y cumplimiento de ordenanzas municipales, necesarias para su preservación.

Las estrategias para implementar deben considerar el trabajo conjunto con el sector privado u organizaciones de la Sociedad Civil para lograr una ampliación de las superficies de áreas verdes de uso público. Incentivos como, la implementación de convenios de colaboración o la reducción de impuestos a las entidades interesadas en la habilitación de espacios de recreación de uso público, así como el cuidado y mantenimiento de alguna plaza, paseo central y parques, tal como se establece en la Ordenanza de Asunción N° 01/1997, lograría que más actores interesados participen en la construcción de la red verde de la ciudad.

La elaboración del Plan de Infraestructura Verde debe ser consensuada y coordinada por todos los actores, que incluyen a las instituciones públicas, las ONGs, el sector empresarial, la ciudadanía (en su amplio espectro), la comunidad científica y el comercio (ASEJA y FEMP, 2019). Por ello, es recomendable apuntar a lograr un **enfoque participativo**, priorizando la difusión y la comunicación de los diferentes procesos e hitos logrados en cada etapa (diagnóstico y propuesta) de manera permanente, así como la participación ciudadana a través de los diferentes actores identificados en la primera etapa. Ésto permite que la población se involucre de forma activa en la planificación de la ciudad y garantiza el éxito del proyecto.

El involucramiento de todos los sectores (privado, académico, sociedad civil, etc.) en la elaboración del Plan apunta a generar una propuesta territorial que actúe como una plataforma unificada para el desarrollo de una ciudad sostenible. Por ende, no solo se debe limitar a incrementar el “verde”, sino también a buscar beneficios en el relacionamiento social, la salud y la economía (ej. construcción de ciclovías vinculadas a corredores verdes, los cuales promueven una conectividad entre las áreas residenciales y los lugares de trabajo, potenciando además los servicios ecosistémicos de la zona).

Fase 3: Ejecución y monitoreo del Plan Municipal de Infraestructura Verde

El Gobierno local será el responsable de la elaboración y la implementación del Plan de Infraestructura Verde, el cual incluirá un cronograma de las acciones a ser ejecutadas en un periodo de 5 años. El Plan será revisado por el MADES y la STP según competencias de ambas instituciones, de manera que la propuesta tenga una coherencia ambiental y paisajística con lo planificado a nivel regional. Una vez que se obtenga el visto bueno por parte de estas 2 instituciones, el mismo será aprobado por el MUVH.

Si la ejecución y el progreso del Plan no son monitoreados, ni se investiga anticipadamente por qué ciertas cosas no funcionan y cómo es posible adaptarse en consecuencia, hay muy pocas posibilidades de que la estrategia verde cumpla sus objetivos (TDAG, 2012). Por ello, se recomienda que el proceso de revisión y monitoreo se lleve a cabo cada cinco años, momento en el cual el Municipio presentará al MUVH el avance en cuanto al cumplimiento del Plan de Infraestructura Verde, para su revisión y ajuste correspondiente.

9.

Conclusiones y recomendaciones

En los últimos años se han desarrollado una serie de instrumentos internacionales que buscan un mayor desarrollo sostenible en las metrópolis y en el mundo, como el **Marco de Sendai**, la **Agenda 2030** y la **Nueva Agenda Urbana**, las cuales ya cuentan con objetivos específicos para el desarrollo urbano, tal como el ODS 11 que hace un llamado para “*hacer que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles*” (FAO, 2018). Si bien las ciudades son actores claves para lograr el desarrollo sostenible y luchar contra los efectos adversos del Cambio Climático, los recursos disponibles por los municipios son limitados. Por lo tanto, es importante destinarlos a intervenciones que generen múltiples beneficios a los ciudadanos y al territorio. En este contexto, experiencias de municipios alrededor del mundo han demostrado la utilidad de la Infraestructura Verde Urbana de manera a brindar soluciones integrales y efectivas a los problemas urbanos. Efectivamente, las intervenciones verdes no solo resuelven un problema puntual, como es el caso de la tradicional Infraestructura gris, sino que generan además una serie de beneficios ambientales, económicos y sociales muy concretos. Su uso sobrepasa las funciones paisajísticas y recreativas, ya que permite cumplir simultáneamente con varias funciones vitales de las ciudades, tales como: la provisión de servicios ecosistémicos, el manejo sostenible de aguas pluviales, la regulación de la temperatura en entorno urbano, y la democratización del espacio público, a través de la creación y mejoramiento de espacios multifuncionales de encuentro y socialización entre las personas.

Posterior a un análisis de los principales desafíos para lograr una urbanización sostenible en el contexto paraguayo y una revisión de la legislación vigente relevante, se han definido diversos objetivos para la implementación de la Infraestructura Verde Urbana en espacios públicos y privados de las ciudades del Paraguay. Tanto la práctica de **Arborización Urbana** como la implementación de las diversas prácticas de **Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible** (SuDS) son considerados elementos claves para lograr estos objetivos. Por dicho motivo, se ha presentado de manera detallada los diversos factores a tomar en cuenta durante la planificación de proyectos de arborización, como la selección adecuada de especies de árboles en función del sitio del proyecto como distancias mínimas con otros elementos en el contexto urbano. Además, se ha elaborado fichas técnicas para cada uno de los diferentes tipos de SuDS relevantes para el contexto paraguayo, detallando la definición, sus funciones, los tipos, las dimensiones, etc.

La incorporación de dichas intervenciones de Infraestructura Verde Urbana en las áreas urbanas trae consigo un rediseño y una readecuación de los diferentes elementos del espacio urbano. Por dicho motivo, se ha elaborado y visualizado para cada uno de los **elementos urbanos (calle, avenida, paseo central, ciclovía, estacionamiento, plaza, parques, lotes, vivienda y equipamientos)** las posibles **intervenciones de Infraestructura Verde integrada a diversos contextos y escenarios urbanos del Paraguay**, de manera a que los municipios los tomen como referencia durante el diseño y readecuación de estos espacios. Con esto, se busca caracterizar y ejemplificar la **“Estrategia de diseño verde”** propuesta para una variedad de ubicaciones y entornos posible de las ciudades paraguayas. Se recomienda que, al planificar proyectos de Infraestructura Verde Urbana, se reconozca el valor de **bosques urbanos** para combatir los impactos negativos de CC, y que se considere la ubicación geográfica donde serán implantadas las intervenciones verdes, de manera a que contribuyan a la **gestión sostenible de los recursos hídricos** a nivel de cuenca.

Finalmente, durante el diseño urbanístico a nivel barrial y municipal, es importante conectar los diferentes componentes de Infraestructura Verde, tales como el Sistema de Drenaje Sostenible y la Arborización Urbana, a fin de crear una **red ecológica urbana** a través de la conexión entre los espacios públicos abiertos y los diferentes componentes.

Es primordial que el concepto de Infraestructura Verde sea ampliamente difundido y arraigado por las diferentes instituciones públicas, privadas y organizaciones de la Sociedad Civil, así como creación de alianzas entre los diferentes actores comprometidos con la mejora y generación de espacios adaptados a las soluciones verdes.

Los municipios serán los ejecutores de los **Planes Municipales de Infraestructura Verde**. Por ello, se recomienda que los gobiernos locales analicen al territorio con una mirada comprehensiva, de manera a aportar un enfoque multi-dimensional y multi-escalar, fortaleciendo la conexión a escala regional, así como la relación entre lo urbano y lo rural. Para ello, será imprescindible fortalecer el capital técnico y social dentro de los gobiernos locales, de manera a racionalizar los recursos disponibles (suelo vacante, recursos económicos, espacios verdes, recursos hídricos, etc.) y lograr mayores beneficios (“servicios ecosistémicos”) para los habitantes.

De manera que las soluciones de Infraestructura Verde Urbana sean implementadas de forma efectiva en el territorio, es necesario brindar a los municipios un marco normativo ajustado a las soluciones verdes, a modo de establecer una **“Estrategia Nacional de Infraestructura Verde”**. Para ello, es necesario realizar la armonización de la normativa vigente a nivel nacional en materia urbanística y ambiental y realizar los ajustes normativos necesarios de manera a incluir y considerar los siguientes puntos:

- Elaborar las reglamentaciones de las normativas que involucran a los **paisajes regionales vinculados a las ciudades**, tales como las Leyes: N° 3.239/07 (Recursos hídricos del Paraguay) y N° 352/94 (Áreas Silvestres Protegidas). Ésto facilitará la implementación efectiva de los componentes de la Infraestructura Verde en ciudades y áreas periurbanas. Las reglamentaciones deben incluir estrategias o directrices de diseño claras a ser utilizadas en las áreas urbanas.
- Reglamentar los Art. 10 y 16 de la Ley N° 4928/13, de manera a generar o fortalecer los **corredores ecológicos dentro las urbes**, ya que en estos artículos se esbozan las directrices a los programas de repoblación de árboles en zonas urbanas de escasa cobertura arbórea o en zonas donde se requiera el mejoramiento del ornato municipal. Sin embargo, los gobiernos municipales no cuentan con las indicaciones técnicas necesarias de manera a

poder implementar a cabalidad lo establecido en dichos artículos. Además, se recomienda incorporar normas claras en cuanto al reemplazo y compensación de los árboles, de manera a que los inversores y desarrolladores les obtengan mayores beneficios por preservar los árboles existentes, antes que reemplazarlos (TDAG, 2012).

- Incluir a los **Sistemas de Drenaje Sostenible** dentro de las normativas orientadas al desagüe pluvial, considerando los siguientes puntos: gestión de riesgo de inundaciones en origen, medidas que limiten la aportación de aguas de lluvia a los colectores en los nuevos proyectos urbanos, alternativas de colección de aguas de lluvias en áreas altamente urbanizadas (ej. Zonas de biorretención) o reutilización del agua de lluvia para uso doméstico, etc. El Art. 12 de la Ley Orgánica Municipal establece que es función del Municipio la construcción y mantenimiento de los sistemas de desagüe pluvial. Sin embargo, a nivel país las normativas existentes están orientadas a las soluciones tradicionales de Infraestructura Gris, sin contar con normas que promuevan la gestión sostenible de escorrentías urbanas.
- Elaborar una **clasificación detallada de las vías urbanas** con sus dimensiones respectivas.
- Establecer los **anchos mínimos de vereda y calzada**, de manera a priorizar franjas de espacios generosos que beneficien la **movilidad activa** y garantizar la disponibilidad de espacio necesaria para la **Arborización Urbana** u otras **soluciones de Infraestructura Verde**.
- Crear herramientas claras para la **arborización de las veredas** de las áreas urbanas de los distritos, en base a los criterios descritos en las secciones 7.3.1 y 7.3.2.
- Aumentar el **porcentaje de superficie del suelo libre y permeable del lote**, en base a lo establecido en el Art. 228 de la Ley Orgánica Municipal, a través de incentivos para ampliar la altura de la construcción y disminuir el área de superficie edificada.
- Establecer la **cantidad mínima de árboles por lote urbano**, considerando tanto los árboles existentes como los nuevos.
- Incluir la presentación del **Plan de Arborización**, como uno de los requisitos para la aprobación de un loteamiento, en base a lo establecido en el Artículo 241 de la Ley Orgánica Municipal.
- **Categorizar los espacios públicos y establecer de la proporción mínima de m² disponibles de área verde en relación con los habitantes**, así como la **accesibilidad** a pie a los espacios verdes públicos, en base a los estándares internacionales.
- Establecer en los barrios consolidados y con un déficit en espacio público abierto **programas de revalorización de espacios públicos y regeneración de áreas degradadas** que cuenten con espacios potenciales para la implementación de Infraestructura Verde.
- Determinar un **mayor porcentaje de la superficie requerida para la implantación de plazas o de nuevos equipamientos comunitarios** en nuevas urbanizaciones, en base a lo establecido en el el Art. 247 de la Ley Orgánica Municipal. Esto contribuirá a garantizar la presencia de áreas verdes, no solo en la nueva urbanización, sino también que los entornos urbanos preexistentes, en los cuales existe muchas veces un déficit de espacio público.

Una de las características principales que han tenido las ciudades paraguayas ha sido la gran masa boscosa en donde se encuentra inserta la trama urbana y las construcciones. Ya en 1929, el célebre arquitecto y urbanista Le Corbusier describe a la capital del país: *“Asunción me pareció una ciudad jubilosa, lozana, una ciudad encantadora, de una alegría simple, soleada, hormigueante de colores vivos y frescos, todos compatibles entre sí, y ligados por el verde frenético de los árboles tropicales”*. Si bien, durante varias décadas el verde ha estado presente de manera natural y sin mucho esfuerzo en las ciudades y pueblos del Paraguay, en los últimos tiempos, se ha dado una disminución en cuanto a los espacios verdes y árboles urbanos y un aumento de las áreas de riesgo en las ciudades. De manera a **preservar y fortalecer la biodiversidad en las ciudades**, los sistemas y espacios verdes deben dejar de ser espacios residuales en los procesos de planificación urbana. Por dicho motivo, se recomienda que la **Estrategia de diseño verde** basada en las diferentes intervenciones de Infraestructura Verde Urbana presentadas en este Manual, forme de manera crucial dentro del proceso de planificación urbana en las ciudades paraguayas, contribuyendo así en la transformación de ciudades en lugares más sostenibles, resilientes, saludables y agradables para vivir.

10. Bibliografía

- Friends of the Greenbelt, F. (2017). *A Green Infrastructure Guide for Small Cities, Towns and Rural Communities*. Ontario.
- Abellán, A. (2016). *SuD Sostenible*. Retrieved Abril 1, 2020, from Pavimentos permeables: <http://sudsostenible.com/>
- AECOM. (2009). *Trees for Tomorrow Streetscape Manual*. Markham.
- Agencia de Ecología Urbana de Barcelona. (2017). *Certificación del Urbanismo Ecológico*. Barcelona: Ministerio de Fomento. Gobierno de España.
- Ahern, J. (2007). Green infrastructure for cities: The spatial dimension. In V. Novotny, & P. Brown, *Cities of the Future. Toward integrated sustainable water and landscape management*. (pp. 267-282). Londres: IWA Publishing.
- Alvarado, A., Guajardo, F., & Devia, S. (2014). *Manual de plantación de árboles en áreas urbanas*. Santiago de Chile: Corporación Nacional Forestal.
- Arnold, C. L., & Gibbons, C. J. (1996). Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*. Spring 1996, 243-258.
- ASEJA y FEMP. (2019). *Guía de la Infraestructura Verde Municipal*. España: Asociación de Empresas de Gestión de Infraestructura Verde - Federación Española de Municipios y Provincias (FEMP).
- Ayuntamiento de Madrid. (2016). *Manual de Accesibilidad para espacios públicos urbanizados del Ayuntamiento de Madrid*. Madrid: Dirección General del Espacio Urbano, Obras e Infraestructuras.
- Ayuntamiento de Madrid. (2017). *Portal de transparencia del Ayuntamiento de Madrid*. Retrieved Marzo 27, 2020, from Plan de Infraestructura Verde y Biodiversidad de la Ciudad de Madrid: <https://transparencia.madrid.es/portales/transparencia/es/Organizacion/Planes-y-memorias/Planes/Plan-de-Infraestructura-Verde-y-Biodiversidad-de-la-Ciudad-de-Madrid/?vgnnextfmt=default&vgnnextoid=0464b2c3180d7610VgnVCM1000001d4a900aRCRD&vgnnextchannel=d86950>
- Ayuntamiento de Madrid. (2018a). *Protocolo de gestión de alcorques*. Unidad del Arbolado Urbano de Madrid.
- Ayuntamiento de Madrid. (2018b). *Manual de plantación para el arbolado urbano de la ciudad de Madrid*. Madrid: Ayuntamiento de Madrid. Área de Gobierno de Medio Ambiente y Movilidad. Dirección General de Patrimonio Verde.
- Ayuntamiento de Madrid. (2018c). *Plan Director del Arbolado Viario*. Madrid: Unidad del Arbolado Urbano de Madrid.
- Ayuntamiento de Mérida. (2018a). *Inventario del arbolado urbano de la ciudad de Mérida*. Mérida.
- Ayuntamiento de Mérida. (2018b). *Guía para la plantación de árboles del Municipio de Mérida*. Mérida.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2015, octubre 5). *Ciudades sostenibles. Desarrollo Urbano*. Retrieved Marzo 23, 2020, from Espacios públicos para todos: 8 razones para hacerlos clave en el desarrollo urbano: <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/espacios-publicos-para-todos-8-razones-para-hacerlos-clave-en-el-desarrollo-urbano/>
- Banco Mundial. (2014). *Paraguay. Evaluación de terrenos nacionales*. 88752. Banco Mundial.
- Barranquilla. (2012). *Plan de Ordenamiento Territorial. Anexo No. 4: Manual del Espacio Público*. Barranquilla: Secretaría Distrital de Planeación. Distrito de Barranquilla.
- Beytía, A., Hernández, C., Musalém, M., Prieto, F., & Saldías, M. (2012). *Guía de arborización urbana. Especies para la Región Metropolitana, Santiago de Chile*. Santiago de Chile: Corporación de Investigación, Estudio y Desarrollo de la Seguridad Social, CIEDESS.
- CA WALUP Partnership. (n.d.). *How Urbanization Affects the Water Cycle*. Retrieved Abril 7, 2020, from <https://www.coastal.ca.gov/nps/watercyclefacts.pdf>
- Caldas de Borrero, L. (1975). La flora ornamental tropical y el espacio público. *Cespedesia N°14*, vol IV.
- Cappiella, K., Schueler, T., & Wright, T. (2005). *Urban Watershed Forestry Manual*. Newtown Square, PA: United States Department of Agriculture. Forest Service. Northeastern Area. State and Private Forestry.
- Carrión Mena, F. (2007). *Espacio Público: Punto de partida para la alteridad*. In *Espacios públicos y construcción social. Hacia un ejercicio de ciudadanía*. Santiago de Chile: Ediciones SUR.

- Causarano, M. (2006). *Dinámica Metropolitana : en Asunción, Ciudad del Este y Encarnación*. Asunción: UNFPA.
- Centro de Estudios Ambientales. (2014). *La Infraestructura Verde Urbana de Vitoria-Gasteiz*. Vitoria-Gasteiz: Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.
- CFIA-CR. (2017). *Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones*. Costa Rica: Colegio federado de ingenieros y de arquitectos de Costa Rica.
- Ching, F., & Shapiro, I. (2015). *Arquitectura ecológica un manual ilustrado*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- CIRIA. (2015). *The SuDS Manual*. Londres: CIRIA.
- CITE. (2019, Abril 1). *Centro de Inteligencia Territorial*. Retrieved Marzo 25, 2020, from Síntesis Temática para la planificación y el diseño de la Infraestructura Verde Urbana: <http://cit.zacatecas.gob.mx/index.php/2019/04/01/sintesis-tematica-para-la-planificacion-y-el-diseño-de-la-infraestructura-verde-urbana/>
- City Habitats. (2016, Octubre 5). *Transform your community to turn the tide on polluted runoff*. Retrieved from <https://ad.seattletimes.com/FlippingBook/NIE/2016/CityHabitats/files/assets/basic-html/index.html#1>
- Ciudad de Juárez. (2016). *Guía de diseño para la Infraestructura Verde*. Juárez.
- Clos, J. (2014). Prologo. In J. Gehl, *Ciudades para la gente*. Buenos Aires: ONU Habitat - Ediciones Infinito.
- Comisión Europea. (n.d.). *Acción por el Clima*. Retrieved Junio 15, 2020, from Actuación internacional contra el cambio climático: https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_es#:~:text=En%20la%20Conferencia%20de%20Par%C3%ADs,por%20debajo%20de%202%20C2%BAC.
- Consejo de Europa. (20 de Octubre de 2000). *Convenio Europeo del Paisaje*. Florencia.
- Córdova Sáez, K. (2011). *Impactos de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana*. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre - 2009, marzo - 2010. Terra Nueva Etapa, vol. XXVII, núm. 42, julio-diciembre, 95-122.
- CWP. (2016). *Urban Watershed Forestry Manual*.
- del Pozo, C. (2018). *El nuevo concepto de la Infraestructura Verde Urbana*. Revista Montes. Número 133, III trimestre 2018 , 61-64.
- DGDC. (2019). *Estrategia estatal de Infraestructura Verde y la Conectividad y Restauración Ecológica*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica. Secretaría de Estado de Medio Ambiente. Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental.
- DGEEC. (2005). *Déficit Habitacional en el Paraguay*. Fernando de la Mora: Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos.
- DGEEC. (2011). *Encuestas y Censos 2011*. Retrieved from <http://www.dgeec.gov.py/Publicaciones/Biblioteca/Anuario2011/Anuario%20Estadistico%202011.pdf>
- DGEEC. (2012). *Censo Nacional de Poblacion y Viviendas*. Fernando de la Mora: Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censo.
- DGEEC. (2012). *Paraguay, Principales Indicadores de Viviendas, 2012*. Total País. Área Urbana-Rural. Censo Nacional de Poblacion y Viviendas. Fernando de la Mora: Dirección General de Estadísticas, Encuestas y Censo.
- DGEEC. (2015). *Paraguay, Proyección de la Población Nacional, Áreas Urbana y Rural por Sexo y Edad, 2000-2025*. Revisión 2015. Fernando de la Mora: Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos.
- DGEEC. (2015). *Proyección de la población por sexo y edad, según distrito, 2000-2025*. Revisión 2015. Fernando de la Mora: Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos.
- DGEEC. (2016). *Análisis del déficit habitacional del Paraguay, 2012*. Fernando de la Mora: Dirección General de Estadística, Encuestas y Censos.
- DGODT. (2016). *Guía Metodológica para la formulación del Plan Municipal de Ordenamiento Territorial*. República Dominicana: , Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), República Dominicana.
- Diario La Nación. (7 de mayo de 2017). *Cada asunceno solo tiene 2,9 m2 de espacio verde*. Recuperado el 8 de mayo de 2020, de https://www.lanacion.com.py/pais_edicion_impresa/2017/05/07/cada-asunceno-solo-tiene-29-m2-de-espacio-verde/
- Díaz Montemayor, G. (2015). *Hacia la implementación de una infraestructura verde como estructura urbana*, SAPM 2015. Recuperado el 26 de Marzo de 2020, de Proyectos de arquitectura de paisaje como herramienta para ampliar

los conceptos de planeación urbana en el norte de México: <http://www.gabrieldiazmontemayor.com/Hacia-la-implementacion-de-una-infraestructura-verde-como-estructura>

Dublin City Council. (2005). *Greater Dublin Strategic Drainage Study*.

Ecosistema Urbano. (2016). *Plan de Desarrollo Sustentable de Encarnación*. Encarnación: Municipalidad de Encarnación.

Ecosistema Urbano. (2016a). *P.S.D. Plan de Desarrollo Sustentable de Encarnación*. Encarnación: Municipalidad de Encarnación.

Ecosistema Urbano. (2016b). *P.O.U.T. Plan de Ordenamiento Urbano y Territorial*. Encarnación: Municipalidad de Encarnación.

EcuRed. (n.d.). *Ficus*. Retrieved from <https://www.ecured.cu/Ficus>

EPA. (2008). *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies*. Retrieved from <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

EPA. (2013). *City of Neosho Green Infrastructure Design Handbook. Integrating Stormwater Management into Sustainable Urban Design*. Environmental Protection Agency.

FAO. (2018). *Forests and sustainable cities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Ferrando, A., & Francisco, J. (2006). *Sobre inundaciones y anegamientos*. Revista de Urbanismo, N°15.

Fonseca, X. (2014). *Las medidas de una casa. Antropometría de una casa*. Mexico: Pax Mexico.

Forman, R. (1995). *Land Mosaics. The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge: Cambridge University Press.

Forman, R., & Godron, M. (1986). *Landscape Ecology*, 1° ed. John Wiley & Sons, Inc.

Fundación Cesar Manrique. (20 de Abril de 2006). *Urbanismo del paisaje en Europa*. Recuperado el 25 de Marzo de 2020, de <http://fcmmanrique.org/fcm-actividad/urbanismo-del-paisaje-en-europa/?lang=es>

Gauto I., Stauffer F., Spichiger R. (2017) *Palmeras del Paraguay. Guía de identificación*. Proyecto Paraguay Biodiversidad, Itaipu Binacional. Asunción, Paraguay. 120 pp.

Gerike, R., de Nazelle, A., & Nieuwenhuijsen, M. (2016). *Physical Activity through Sustainable Transport Approaches (PASTA): a study protocol for a multicentre project*. BMJ Open, 6 (1).

Gill, S., Handley, J., Ennos, A., & Pauleit, S. (2008). *Characterising the urban environment of UK cities and towns: A template for landscape planning*. Landscape and Urban Planning 87, 210–222.

Gobierno de la ciudad de Buenos Aires. (2020). *Información para el vecino*. Recuperado el 2020 de Junio de 03, de Plantación: https://www.buenosaires.gob.ar/areas/med_ambiente/Arbolado/plantacion.php?menu_id=6446

Gobierno de la ciudad de Buenos Aires. (2020). *Información para el vecino*. Retrieved Junio 2020, 03, from Plantación: https://www.buenosaires.gob.ar/areas/med_ambiente/Arbolado/plantacion.php?menu_id=6446

Hernández Puig, S. (2016). *El periurbano, un espacio estratégico de oportunidad*. Biblio3W - Revista bibliográfica de geografía y ciencias sociales.

Hirons, A., & Sjöman, H. (2019). *Tree Species Selection for Green Infrastructure: A Guide for Specifiers*. Trees & Design Action.

IMPLAN Hermosillo. (2017). *Manual de Lineamientos de diseño de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos*. Mexico: Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo.

INTN. (2010). *Accesibilidad de las personas al medio físico. Espacios urbanos – Vías de circulación peatonales horizontales*. Asunción: Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología.

Kanuri, C., Revi, A., Espey, J., & Kuhle, H. (2016). *Getting Started with the SDGs in Cities. A Guide for Stakeholders*. Sustainable Development Solutions Network - German Cooperation.

Kuchelmeister, G., & Braatz, S. (1993). *Una nueva visión de la silvicultura. Unasylva - No. 173 - La silvicultura urbana y periurbana*. Vol. 44.

Ley N° 3.966/10 . (2010). *Ley Organica Municipal*. Poder Legislativo de la República del Paraguay.

Ley N° 4928/13. (2013). *De protección al arbolado urbano*. Poder Legislativo de la República del Paraguay.

- Ley N° 4934/13. (2013). *Accesibilidad al medio físico para las personas con discapacidad*. Poder Legislativo de la República del Paraguay.
- Ley N° 5016/14. (2014). *Nacional de Tránsito y Seguridad Vial*. Poder Legislativo de la República del Paraguay.
- Ley N° 8.912/87. (1987, Mayo 7). *Ordenamiento territorial y uso del suelo*. La Plata, Argentina.
- Ley Nro. 4928/13. (2013). *De protección al arbolado urbano*. Poder Legislativo de la República del Paraguay.
- Lirola, C. (29 de Abril de 2020). *La mejor orientación solar para tu vivienda*. Recuperado el 15 de Junio de 2020, de Autopromotores: <https://www.autopromotores.com/orientacion-solar-de-una-casa/>
- LLFA. (2013). *Water. People. Places. A guide for master planning sustainable drainage into developments*. Lead Local Flood Authorities of the South East of England - AECOM.
- López, J. (1987). *Arboles comunes del Paraguay*. Asunción: Servicio Forestal Nacional y Cuerpo de Paz.
- MADES/PNUD/FMAM. (2019). *Guía de Arborización Urbana para el Área Metropolitana de Asunción*. Asunción: Proyecto "Asunción Ciudad Verde de las Américas – Vías a la Sustentabilidad".
- Markham. (2009). *Streetscape Manual*.
- Martínez, L., & Vogt, C. (2017). *Frecuencia y ecología de F. enormis. Steviana* - Vol. 9 (2), 3-14.
- Mayor of London. (2016). *SuDS in London - A Guide*.
- MDU. (2010). *La humanización del espacio público 2010*. Buenos Aires: Ministerio de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Buenos Aires.
- MDU. (2015). *Manual de Diseño Urbano*. Buenos Aires: Ministerio de Desarrollo Urbano del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Merlin, P., & Choay, F. (2015). *Diccionario del Urbanismo y del Ordenamiento*. Presses Universitaires de France.
- Millenium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystem and Human Well-being: Current State and Trends*, Volume 1. Washington, DC: Island Press.
- Ministerio de Agroindustria - INTA. (2018). *Manual de Vivero*. Año 2. Retrieved from Aula Virtual. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/40611/mod_resource/content/1/020000_Manual_de_Vivero.pdf
- Molina León, M., Gutiérrez, L., & Salazar, J. (2011). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible SuDS para el Plan de Ordenamiento Zonal Norte Pozn*. Bogotá: Alcandía Mayor de Bogotá - Secretaría Distrital del Ambiente.
- MOPC. (2019). *Manual de carreteras del Paraguay*. Vol. 31: Diseño Geométrico Vial. Asunción: Asociación Paraguaya de Carreteras.
- Naciones Unidas. (2017). *Nueva Agenda Urbana*. Quito.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- Naciones Unidas. (2015a). 11 - *Espacio Público, temas HABITAT III*. Nueva York.
- Naciones Unidas. (2015b). 15 - *Resiliencia Urbana, temas HABITAT III*. Nueva York.
- Naciones Unidas. (2015c). 22 - *Asentamientos Informales, temas HABITAT III*. Nueva York.
- Naciones Unidas. (n.d.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Retrieved Marzo 12, 2020, from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- NACTO. (2018). *Global Street Design Guide*. Nueva York: National Association of City Transportation Officials.
- Naumann, C., & Coronel, M. (2008). *Atlas Ambiental del Paraguay*.
- Naumann, S., McKenna, D. K., Pieterse, M., & Rayment, M. (2011). *Design, implementation and cost elements of Green Infrastructure projects*. Final report. Bruselas: European Commission, DG Environment, Contract no. 070307/2010/577182/ETU/F.1, Ecologic institute and GHK Consulting.
- Oltra, C., & Marin, R. (2013). *Los retos en la adaptación al cambio climático en entornos urbanos*. Papers. Revista de Sociología. VOL. 98, NÚM. 2, 311-330.

- ONU Habitat. (2011a). *Cities and Climate Change*. Global Report on Human Settlements 2011. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme.
- ONU Habitat. (2011b). *Las ciudades y el cambio climático: Orientaciones para políticas*. Rio de Janeiro: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
- ONU Habitat. (2013). *Streets as Public Spaces and Drivers of Urban Prosperity*. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme .
- ONU Habitat. (2014). *Planeamiento Urbano para Autoridades Locales*. Nairobi: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos .
- ONU-Habitat México. (2018). *Ciudades Resilientes*. Retrieved Marzo 28, 2020, from <https://onuhabitat.org.mx/index.php/ciudades-resilientes>
- Ord. ASU N° 217/12. (n.d.). *Que reglamenta la construccion y el uso de las veredas inclusivas*. Asunción: Junta Municipal de Asunción.
- Ord. ASU N° 340/13. (2013). *“Que establece las acciones a ser desarrolladas para la protección de la cobertura arborea de la ciudad de Asunción*. Asunción: Junta Municipal de Asunción.
- Ord. ASU N° 479/10. (2010). *Reglamento General de Transito*. Municipalidad de Asunción.
- Ordoñez, J. (2011). *¿Qué es una cuenca hidrógrafica?* Lima: Sociedad Geográfica de Lima.
- Pasten, M., González, V., & Espínola, C. (2011). *Clasificación climática del Paraguay Utilizando los métodos de Köppen y Thornthwaite*. Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2018). Informe mundial de Naciones Unidas sobre la valorización de recursos hídricos 2018, *“Soluciones Basadas en la Naturaleza para la Gestión del Agua”*.Resumen Ejecutivo. Paris: UNESCO.
- RAE. (2019). *Diccionario de la lengua española* . Recuperado el 15 de Junio de 2020, de Real Academia Española .
- Resolución MADES N° 614/13. (2013). *Por la cual se establecen las Ecorregiones para las Regiones Oriental y Occidental del Paraguay*. Asunción: Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Rodríguez Rojas, M. (n.d.). *Diseño urbano sensible al agua*. Retrieved Abril 7, 2020, from Guia Nueva Cultura del Agua: <https://www.fnca.eu/guia-nueva-cultura-del-agua/>
- Rodríguez, M. I., Cuevas, M. M., Martínez, G., & Moreno, B. (2014). *Planning criteria for Water Sensitive Urban Design*. In *The Sustainable City IX*, Vol. 2 (pp. 1579-1591). WIT Transactions on Ecology and The Environment.
- Rueda, S. (2016). *La Supermanzana, nueva cédula urbana para la construcción de un nuevo modelo funcional y urbanístico de Barcelona*. Barcelona.
- Safford, H., Larry, E., McPherson, E., Nowak, D., & Westphal, L. (2013, Agosto). *Urban Forests and Climate Change*. (F. S. U.S. Department of Agriculture, Editor) Retrieved Abril 27, 2020, from <https://www.fs.usda.gov/ccrc/temas/bosques-urbanos>
- Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., & Chen, Y. (2017). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Sánchez Rodríguez, R. (2013). *El cambio climático y las áreas urbanas de América Latina: a manera de introducción*. In *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina* (pp. 9-24). Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Save the water. (2012). *Rain Gardens*. Recuperado el 2 de Julio de 2020, de <https://savetherain.us/green-programs/green-infrastructure/rain-gardens/>
- Scruggs, G. (7 de Enero de 2015). *How Much Public Space Does a City Need?* Recuperado el 8 de Abril de 2020, de Next City: <https://nextcity.org/daily/entry/how-much-public-space-does-a-city-need-UN-Habitat-joan-clos-50-percent>
- SEN. (2018). *Atlas de riesgo de desastres de la República del Paraguay*. Asunción: Secretaría de Emergencia Nacional.
- Shannon, K. (2004). *Rhetorics & Realities Addressing Landscape Urbanism*. Three Cities in Vietnam. Katholieke Universiteit te Leuven.
- Soba, A. (2011). *El Paisaje en la Ordenación del Territorio. Conceptos e Instrumentos para su consideración*. Tesis de maestría. Montevideo: UR-FARQ.

- Sorensen, M., Barzetti, V., Keipi, K., & Williams, J. (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas*. Washington, D.C.: División de Medio Ambiente del Departamento de Desarrollo Sostenible - Banco Interamericano de Desarrollo.
- Stanley, K. (2009). *OÑEMOINGOVE JE'Y*. Planificación y Manejo de la Cuenca del Ypacaraí en relación al Área Metropolitana de Asunción. Cuadernos de Arquitectura ; N° 2. San Lorenzo: Facultad de Arquitectura, Diseño y Arte, UNA.
- Stanley, K. (2019). *Housing Policy Issues and Policy Recommendations for Paraguay*. Asuncion: 2018/19 KSP with Paraguay.
- STP - PNUD. (2018, Julio). *Guía para la Elaboración de los Planes de Ordenamiento Urbano y Territorial*. Secretaria Técnica de Planificación - Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- Strosser, P., Delacámara, G., Hanus, A., & Williams, H. y. (2015). *Una guía para apoyar la elección, el diseño y la implementación de las medidas naturales de retención de agua en Europa. Recoger los múltiples beneficios de las soluciones basadas en la naturaleza*. . Comisión Europea.
- SWD 101. (2012). *Directrices sobre mejores prácticas para limitar, mitigar o compensar el sellado del suelo*. . Bruselas: Comisión Europea.
- Tapia, R., Lange, C., & Larenas, J. (2009). *Factores de deterioro del hábitat residencial y de vulnerabilidad social en la conformación de barrios precarios: breve revisión de algunos programas de barrios en Chile y en la región*. UNIVERSIDAD de Chile. Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo, Departamento de Investigación. Cuaderno de trabajo volumen N°1. Subprograma Domeyko Política, Pobreza y Exclusión Social. Avances de investigación., 47-93.
- TDAG. (2012). *Trees in the Townscape*. A guide for Decision Makers. Londres: Trees and Design Action Group.
- TDAG. (2014). *Trees in Hard Landscapes*. A guide for delivery. London: Trees and Design Action Group.
- Tella, G. (2009). *Espacios verdes públicos: una delicada articulación*. Retrieved Mayo 12, 2020, from <https://www.guillermotella.com/articulos/los-espacios-verdes-publicos-una-delicada-articulacion/>
- Terraza, H., Garay, G., Cambor, R., & Lew, S. (2014). *Area Metropolitana de Asuncion Sostenible*. Plan de Accion. Banco Interamericano de Desarrollo.
- The Landscape Institute. (2009). *Green infrastructure: connected and multifunctional landscapes*. London.
- Trapote, A., & Fernández, H. (2016). *Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible*.
- Tucci, C. (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Porto Alegre.
- UNDRR. (2020). *Terminology*. Retrieved Junio 2020, 11, from United Nations Office for Disaster Risk Reduction: <https://www.undrr.org/terminology#R>
- UN-Habitat. (2008). *State of the World's Cities 2008/2009 - Harmonious Cities*. Londres: Earthscan .
- Unión Europea. (2014). *Construir una Infraestructura Verde para Europa*. Bruselas.
- UNISDR. (2017). *Cómo desarrollar ciudades más resilientes. Manual para líderes de los gobiernos locales*. Ginebra: Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres.
- Urban Forest Innovations Inc. and Beacon Environmental Ltd. (2015). City of Cambridge. *Urban Forest Plan 2015-2034*. Retrieved from http://www.observatorio2030.com/sites/default/files/2019-11/BP_104_2015_GB_14_Cambridge%20Urban%20Forest%20Plan%202015-2034.pdf
- USDA. (2020). *Glosario*. Retrieved 10 Junio, 2020, from National Agricultural Library. U.S. Department of Agriculture: https://agclass.nal.usda.gov/glossary_az_sz_es.shtml
- Vargas, B., & Molina, L. (2010). *Cinco árboles urbanos que causan daños severos en las ciudades*. Revista nodo N° 9, Vol. 5, Año 5, 115-126.
- Vásquez, A. (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*. Geografía Norte Grande, 63, 63-86.
- WWAP - United Nations World Water Assessment Programme. (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-based Solutions*. Paris: UNESCO.

ISBN: 978-99967-794-6-6



9 789996 779466

ISBN: 978-99967-794-6-6



9 789996 779466

Infraestructura Verde Urbana 2021



TAVAPY ÑEMOHENDA,
OGA'APO HA TEKOKA
Motomondaha
Ministerio de
URBANISMO
VIVIENDA Y HÁBITAT



TEKOKA HA
AKÁRAPU'Á KATURÁ
Motomondaha
Ministerio del
AMBIENTE Y DESARROLLO
SOSTENIBLE



TETÁ REKUÁI
GOBIERNO NACIONAL

Paraguay
de la gente