

Estrategias de diseño paisajístico para la recuperación ecológica del entorno urbano. Renaturalización mediante soluciones basadas en la naturaleza en el centro histórico de Cali

Alejandro Sepúlveda Valencia ⁽¹⁾

Resumen: El presente trabajo aborda la recuperación ecológica del centro histórico de Santiago de Cali, donde el modelo de desarrollo ha provocado una severa degradación del tejido ecológico (Alcaldía Municipal de Cali, 2014). Este proceso ha derivado en una profunda crisis ambiental que compromete la capacidad del entorno para proveer servicios ecosistémicos, manifestándose en tres síntomas principales: un déficit crítico de zonas blandas de apenas 2,63 m² por habitante; la intensificación del efecto isla de calor, que afecta a más del 70 % de la ciudad (Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente, DAGMA, 2019); y la progresiva impermeabilización del suelo, lo que lo convierte en un sistema frágil ante los impactos climáticos.

En este contexto, la investigación se pregunta: ¿cómo pueden las estrategias de diseño paisajístico basadas en la naturaleza recuperar el tejido ecológico para superar esta crisis ambiental y fortalecer la resiliencia urbana? El artículo argumenta que el diseño de una red multifuncional de infraestructura verde puede restaurar la conectividad y funcionalidad de este tejido.

Dicha estrategia contempla la creación de 14.000 m² de superficies permeables, lo que representa el 35 % del área de intervención, así como una mejora sustancial en la cobertura arbórea, pasando de una relación de 18,9 a 7,9 personas por árbol. Se proyecta que estas intervenciones permitirán una reducción de la temperatura local de entre 2 °C y 5 °C, una absorción hídrica de hasta el 49 % de la precipitación promedio mensual y una mitigación significativa de las emisiones de CO₂ vehiculares.

La propuesta se enmarca en la teoría de la infraestructura verde como concepto integrador, que vincula la salud del ecosistema con el bienestar humano (Coutts & Hahn, 2015; Kumar, 2019), utilizando el tejido ecológico como unidad de análisis para el diseño paisajístico.

Palabras clave: infraestructura verde - diseño paisajístico - tejido ecológico - renaturalización urbana - centros históricos

[Resúmenes en inglés y portugués en las páginas 37-38]

⁽¹⁾ Ver CV en pág. 38

Introducción

Los procesos de urbanización contemporánea en América Latina enfrentan una paradoja crítica que define el desarrollo de las ciudades en el siglo XXI, caracterizada por la necesidad imperativa de densificar y revitalizar los centros urbanos consolidados frente a la urgencia de preservar y restaurar los servicios ecosistémicos que sostienen la habitabilidad humana. En este contexto regional, donde la planificación urbana ha disociado frecuentemente el desarrollo de la infraestructura gris respecto a los ciclos naturales, el centro histórico de Santiago de Cali constituye un ejemplo paradigmático de una tensión no resuelta entre el patrimonio, el desarrollo y la sostenibilidad ambiental. Históricamente, el modelo de ocupación adoptado por la ciudad ha privilegiado la expansión de superficies impermeables y la eficiencia de la movilidad motorizada, lo cual ha relegado sistemáticamente la estructura ecológica a un plano residual o meramente ornamental. Esta dinámica de planificación se encuentra ampliamente documentada en los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes y ha generado una fragmentación severa del tejido ambiental cuya manifestación más evidente es la desconexión física de los relictos verdes junto con una impermeabilización casi total del suelo urbano (Alcaldía Municipal de Cali, 2014).

Sin embargo, la problemática trasciende la dimensión estética o paisajística para configurarse como una crisis de funcionalidad metabólica y de salud pública que debe ser analizada desde tres ejes críticos correspondientes a la gestión del recurso hídrico, la regulación térmica y la calidad del aire. En primer lugar, respecto al ciclo del agua, la sustitución progresiva de coberturas vegetales por materiales duros ha alterado drásticamente la hidrología urbana al impedir la infiltración natural. La incapacidad del suelo sellado para gestionar las precipitaciones ha sobrecargado los sistemas de drenaje artificial, incrementando el riesgo de inundaciones locales y eliminando la recarga natural de los acuíferos subyacentes. Este fenómeno no es exclusivo de Cali, sino que refleja una tendencia observada en otras ciudades intermedias de la región donde la gestión de la escorrentía pluvial se ha abordado tradicionalmente desde la ingeniería civil convencional, ignorando el potencial de las soluciones basadas en la naturaleza para gestionar el agua en origen y restaurar el ciclo hidrológico local (Gómez Benítez, 2015).

En segundo lugar, la regulación térmica representa uno de los desafíos más inmediatos para la habitabilidad del centro histórico debido al déficit crítico de espacio público efectivo. Las cifras oficiales sitúan el índice de área verde en apenas 2,63 m² por habitante en la zona central, lo cual ha intensificado el fenómeno de la isla de calor urbana (DAGMA, 2019). Estudios recientes de adaptación climática advierten que estas condiciones térmicas extremas afectan el confort fisiológico de los transeúntes y residentes, además de comprometer la integridad física del patrimonio arquitectónico que sufre un deterioro acelerado causado por las fluctuaciones térmicas constantes que fatigan los materiales constructivos históricos. Adicionalmente, este estrés térmico aumenta la vulnerabilidad de la población flotante ante eventos climáticos extremos como las olas de calor, convirtiendo la falta de sombra y vegetación en un problema de salud pública de primer orden (CIAT, 2021).

En tercer lugar, la calidad del aire en el centro de Cali se ha visto comprometida por la congestión vehicular crónica y la morfología urbana. La evidencia local indica que el sector transporte es responsable de una proporción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero y material particulado (CIAT, 2016). Esta situación se agrava en las calles estrechas del casco histórico donde la configuración espacial dificulta la dispersión de contaminantes y genera un efecto de cañón urbano. La literatura científica advierte que en estos contextos la ausencia de una infraestructura verde adecuadamente diseñada impide la captura de material particulado y la oxigenación del microclima, exponiendo a la ciudadanía a niveles nocivos de contaminación atmosférica (Kumar, 2019). Por tanto, la intervención en el paisaje urbano requiere una selección estratégica de especies vegetales capaces de sobrevivir en entornos hostiles y de prestar servicios de purificación del aire sin generar efectos adversos.

A pesar de los esfuerzos recientes a nivel de política pública para promover una estrategia de ciudad sostenible y actualizar los planes de silvicultura urbana, las intervenciones en el tejido consolidado continúan siendo fragmentarias y carecen de una visión sistémica que integre la variable ecológica como un componente estructural del urbanismo (DAGMA, 2024). Existe una desconexión entre la normativa ambiental que reconoce la importancia de la adaptación al cambio climático y la práctica del diseño urbano en áreas patrimoniales, donde la conservación de la memoria construida entra a menudo en conflicto con la necesidad de renaturalización.

En este contexto surge la necesidad de replantear la intervención urbana no desde la ingeniería tradicional, sino desde la ecología del paisaje y la justicia espacial. La investigación aquí presentada plantea la interrogante sobre la posibilidad de revertir la fragmentación ecológica en un entorno patrimonial densamente consolidado mediante estrategias de diseño paisajístico. La hipótesis que guía este estudio sostiene que la reintegración de elementos ecológicos en entornos consolidados bajo criterios de conectividad y multifuncionalidad no solo revierte la fragmentación ambiental, sino que actúa como catalizador para la resiliencia social y la revitalización del patrimonio urbano. Esta perspectiva se alinea con enfoques contemporáneos que entienden la infraestructura verde como una necesidad básica para la equidad urbana en América Latina, donde el acceso a un ambiente sano suele estar distribuido de manera desigual (Giannotti et al., 2021).

Para responder a esta pregunta, el objetivo general de la investigación es desarrollar estrategias de diseño paisajístico que promuevan la renaturalización del centro histórico mediante la integración de infraestructuras verdes multifuncionales. De manera específica, se busca diagnosticar las condiciones ecológicas actuales que afectan el equilibrio natural del sector, identificar criterios de diseño basados en la literatura internacional sobre infraestructura verde y formular una propuesta de intervención espacial que cuantifique los beneficios en términos de regulación térmica, gestión hídrica y calidad del aire. La relevancia de esta propuesta radica en su enfoque de equidad al buscar democratizar el acceso al confort térmico y a un ambiente saludable para una población diversa, alineando finalmente la recuperación patrimonial con los imperativos de la emergencia climática global.

Metodología

La investigación adoptó un enfoque mixto e interdisciplinario que integra principios de ecología urbana, planificación paisajística y análisis cuantitativo. El diseño metodológico se estructuró en tres fases consecutivas para asegurar la coherencia entre la fundamentación teórica y la aplicación proyectual en el centro histórico de Cali.

Fase 1: Revisión Sistemática y Criterios de Diseño. Se realizó una recopilación exhaustiva de literatura internacional sobre infraestructura verde para identificar criterios de diseño basados en la naturaleza aplicable a contextos urbanos consolidados. Esta etapa priorizó el análisis de referentes teóricos y casos de estudio que abordan la renaturalización no como una intervención estética, sino como infraestructura funcional, siguiendo lineamientos metodológicos para la planificación de redes ecológicas urbanas (Lamarti-Elvira, 2023; Davies et al., 2015).

Fase 2: Matriz de Afinidad y Ejes Estratégicos. Para sistematizar la información, se construyó una matriz de afinidad bibliográfica que correlacionó los hallazgos de los autores seleccionados con las problemáticas locales diagnosticadas. Esta herramienta metodológica permitió clasificar los aportes teóricos y técnicos en tres ejes estructurantes correspondientes a la regulación térmica, la gestión hídrica y la calidad del aire. Esta triangulación teórica facilitó la selección de estrategias específicas validadas científicamente, tales como la ampliación de zonas blandas, el uso de especies nativas para la captura eficiente de carbono o el diseño de perfiles viales que favorezcan la dispersión de contaminantes en cañones urbanos (Garavito Pérez, 2022; Kumar et al., 2019; Sepúlveda Valencia G. A, 2025).

Fase 3: Propuesta de Intervención y Cuantificación. Finalmente, se formuló una propuesta de intervención espacial que materializa los lineamientos teóricos en la trama urbana del centro histórico. A través de la integración de datos geoespaciales y coeficientes técnicos derivados de la revisión bibliográfica, se cuantificaron los beneficios proyectados en términos de los tres ejes identificados. Este procedimiento permitió estimar indicadores precisos de desempeño relativos al volumen de infiltración, reducción de temperatura superficial y captura de CO₂, validando la capacidad de la propuesta para restaurar la funcionalidad ecológica del sector (Gómez Benítez, 2015; Coutts & Hahn, 2015).

Marco Ecológico

La fundamentación conceptual de esta investigación se distancia de la visión tradicional del paisajismo, entendida como una práctica estética u ornamental, para adoptar el enfoque contemporáneo y sistémico de la Infraestructura Verde. Este paradigma redefine los espacios libres urbanos no como vacíos residuales entre edificaciones, sino como una red estratégica de espacios naturales y seminaturales diseñados para proveer servicios ecosistémicos esenciales (Davies et al., 2015). En contextos de alta densidad, la infraestructura

verde actúa como un sistema de soporte vital que integra funciones ecológicas y sociales, superando la dicotomía histórica entre la ciudad construida y los procesos naturales (Coutts & Hahn, 2015).

Sin embargo, la aplicación de estos conceptos en centros históricos presenta desafíos únicos debido a la consolidación de las edificaciones y la competencia por el espacio público. Para abordar la complejidad de la renaturalización en un centro histórico consolidado como el de Cali, es necesario descomponer la funcionalidad de la infraestructura verde en tres ejes metabólicos que responden a las urgencias ambientales locales: la gestión del ciclo hidrológico, la regulación térmica y la calidad del aire. A continuación, la *Tabla 1* sistematiza la correlación entre los autores consultados y estos ejes estratégicos, identificando con una X (mayúscula y negrilla) los vínculos directos y con una x (minúscula) aquellos que abordan la temática de manera transversal o indirecta.

Tabla 1. Matriz afinidad de Autores Marco Ecológico

Autor / Año	Ciclo del Agua	Confort Técnico	Calidad del Aire
Gómez Benítez (2015)	X	x	
Kumar et al. (2019)	x	x	X
Garavito Pérez (2022)	x	x	X
Coutts & Hahn (2015)	x	X	x
Löhmus & Balbus (2015)			X
Córdoba et al. (2015)	X	x	x
Cortés Arriagada (2022)	X	x	
Giannotti et al. (2021)	x		X
Davies et al. (2015)	X	x	x
Villota-Gálvez (2021)	x	X	x
Lamarti-Elvira (2023)	X	x	x

Gestión Hídrica: La ciudad como sistema permeable

La urbanización convencional ha alterado drásticamente el ciclo natural del agua mediante la impermeabilización sistemática del suelo. En las ciudades latinoamericanas, esto ha derivado en un modelo de gestión basado en la evacuación rápida de la escorrentía a través de infraestructura gris como tuberías y canales, lo que interrumpe la infiltración natural, la recarga de acuíferos e incrementa el riesgo de inundaciones locales al saturar los sistemas de drenaje artificial (Cortés Arriagada, 2022). Frente a esta problemática, la

teoría de la infraestructura verde propone restaurar la capacidad de retención de la ciudad mediante Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS) que gestionan el agua en origen a través de la infiltración y la evapotranspiración (Lamarti-Elvira, 2023).

La evidencia técnica respalda la eficacia de estas intervenciones incluso en áreas de superficie limitada, demostrando que la densidad urbana no impide la recuperación hidrológica. Estudios hidráulicos regionales indican que los jardines de lluvia poseen una alta eficiencia, estableciendo que una relación de área de 1:25 es funcional. Esto implica que un jardín de lluvia bien diseñado, con el sustrato y la vegetación adecuados, tiene la capacidad de captar e infiltrar la escorrentía generada por una superficie impermeable hasta 25 veces mayor a su propio tamaño (Gómez Benítez, 2015). Además de la gestión cuantitativa, estos sistemas actúan como biofiltros activos que remueven contaminantes disueltos antes de que el agua alcance el nivel freático (Cortés Arriagada, 2022). Por lo tanto, en tejidos urbanos densos donde la demolición masiva no es viable, la estrategia depende de la multiplicación de estas superficies permeables integradas en el perfil vial para cerrar el ciclo del agua a escala local, convirtiendo la calle en un dispositivo de saneamiento ambiental.

Regulación Térmica: El micropaisaje en la trama densa

El segundo eje estratégico es la mitigación de la isla de calor urbana, exacerbada por la masa térmica de las edificaciones y la falta de ventilación. La sustitución de suelo natural por asfalto y concreto aumenta la absorción de radiación solar y la temperatura superficial, generando un ambiente hostil para el peatón (CIAT, 2021). La infraestructura verde contrarresta este efecto a través de dos mecanismos físicos principales: el sombreado directo, que evita que las superficies duras almacenen calor, y la evapotranspiración, que enfría activamente el aire circundante al consumir energía latente para evaporar agua. Investigaciones cuantitativas indican que aumentar la cobertura vegetal en un 10% en áreas densamente construidas puede reducir la temperatura superficial media en aproximadamente 1.4 °C (Coutts & Hahn, 2015).

No obstante, en los centros históricos la morfología urbana compacta impone restricciones espaciales severas que impiden la creación de grandes masas boscosas continuas. En este escenario, cobra relevancia el concepto del micropaisaje como unidad de análisis, entendiendo que los centros antiguos funcionan como *nodos difusos* compuestos por la suma de pequeñas intervenciones en patios, rincones y fachadas que generan una red de regulación microclimática efectiva (Villota-Gálvez, 2021). El diseño de esta red debe priorizar la funcionalidad termodinámica de la vegetación sobre su valor ornamental, seleccionando especies con una arquitectura de copa que optimice la sombra proyectada sin obstruir los flujos de aire necesarios para la refrigeración pasiva (Kumar et al., 2019). La vegetación deja de ser un elemento decorativo para convertirse en una infraestructura de climatización pasiva que protege tanto a la salud de la población como a la integridad material del patrimonio edificado.

Calidad del Aire y Diseño Crítico

El mejoramiento de la calidad del aire en centros urbanos densos no puede depender exclusivamente de la capacidad de captura de la vegetación, sino que debe atacar el problema en su origen mediante la reducción de la hegemonía del vehículo privado. La literatura especializada coincide en que la estrategia más efectiva para la mitigación de contaminantes atmosféricos es la promoción de una movilidad sustentable que reduzca drásticamente el flujo vehicular, liberando espacio vial para modos de transporte activos y corredores ecológicos (Giannotti et al., 2021; Sepúlveda Valencia G. A, 2025). En consecuencia, la renaturalización del centro histórico se plantea indisolublemente ligada a una reconfiguración del perfil de la calle, donde la recuperación del espacio para el peatón y la bicicleta disminuye la carga de emisiones tóxicas in situ y actúa como la medida de salud pública preventiva más contundente.

Sin embargo, la inserción de infraestructura verde en este nuevo perfil vial requiere un diseño estratégico que considere la morfología construida. En calles estrechas flanqueadas por edificios altos, lo cual constituye la tipología predominante en el centro de Cali, se genera un efecto de cañón urbano donde la ventilación es limitada. Estudios de dinámica de fluidos advierten que la introducción indiscriminada de árboles de gran porte y copa densa en estos corredores puede bloquear el flujo del viento, atrapando los contaminantes remanentes a nivel del suelo y aumentando la exposición del peatón (Kumar et al., 2019). Por lo tanto, la propuesta de diseño evita la saturación arbórea en vías confinadas, optando por una vegetación de estrato bajo, setos o muros verdes que funcionan como barreras de deposición sin obstaculizar la dispersión de partículas nocivas.

Esta combinación de reducción del tráfico y diseño vegetal ventilado tiene un impacto directo en la salud respiratoria y cardiovascular de la población. La infraestructura verde actúa como un filtro biológico entre la fuente de emisión y el ciudadano, reduciendo la concentración de material particulado y gases en las zonas de permanencia peatonal, lo cual se traduce en una disminución de la morbilidad asociada a la contaminación ambiental (Coutts & Hahn, 2015). Complementariamente, la selección de especies se rige por un principio de precaución sanitaria que prioriza aquellas con mayor capacidad de filtración de partículas y excluye taxones con alto potencial alérgico, garantizando así que el nuevo espacio público sea seguro y saludable para todos los grupos poblacionales (Löhmus & Balbus, 2015).

El vacío normativo en la gestión patrimonial

La integración técnica de estos tres ejes bajo el marco de la Infraestructura Verde permite transitar de proyectos aislados a una visión sistémica de la ciudad. Sin embargo, la implementación de estas estrategias enfrenta una barrera estructural en la gestión de los centros históricos latinoamericanos: la obsolescencia de sus instrumentos de planificación.

Las administraciones locales deben superar la etapa diagnóstica para emprender acciones claras que establezcan determinantes medioambientales vinculantes, permitiendo la intervención natural al interior de los polígonos patrimoniales como modelo de aplicación para otros contextos consolidados (Cortés Arriagada, 2022).

Una de las dificultades críticas radica en que instrumentos rígidos, como el Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) de Cali, carecen de una dimensión ambiental operativa. Si bien estos documentos diagnostican acertadamente la fragmentación ecológica y la escasez de áreas verdes, fallan al no formular determinantes normativas claras que habiliten la renaturalización, tales como porcentajes obligatorios de cesión para zonas blandas, incentivos tributarios para cubiertas ajardinadas o planes de pacificación de tráfico que permitan una transición ecológica efectiva. Esta deficiencia normativa impide legalmente la acción de entidades ambientales locales como el DAGMA dentro de estos territorios, restringiendo la capacidad de renovación urbana y perpetuando la obsolescencia funcional del centro histórico (Sepúlveda Valencia, G. A, 2025). Por tanto, el éxito del modelo depende no solo del diseño físico, sino de una actualización normativa que habilite la intervención ecológica en el patrimonio y de una gobernanza participativa que involucre a la comunidad en el cuidado de los nuevos espacios verdes.

Resultados y Discusión

La aplicación de los lineamientos de diseño se circunscribió al polígono de influencia delimitado por el Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) del centro histórico de Santiago de Cali, el cual abarca una superficie total de 475.476. Dentro de este macro-sector, la intervención se focalizó estratégicamente en la reconfiguración de la malla vial y los seis itinerarios peatonales priorizados, consolidando un área efectiva de proyecto de **49.909**. Para dimensionar la propuesta, se emplearon simulaciones mediante Sistemas de Información Geográfica (GIS), lo que permitió cuantificar con precisión el perfil vial y la superficie disponible para la renaturalización.

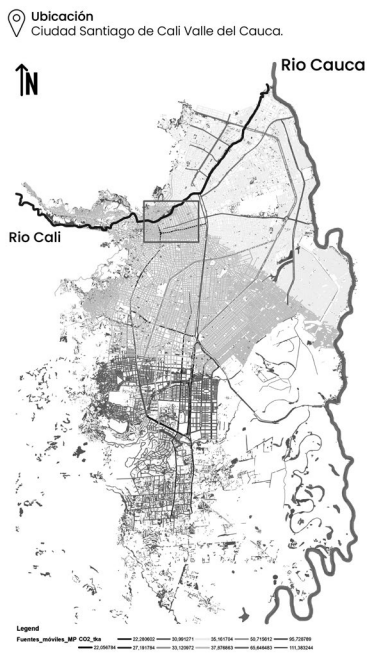
El análisis espacial integró capas de información esenciales como la capacidad de filtración del suelo, el censo arbóreo georreferenciado y los mapas de fuentes móviles de contaminación. Mediante estrategias de peatonalización y pacificación del tráfico en el área de intervención, se proyectó 7.1m² para alcanzar un estándar de 10m² de Espacio Público Efectivo (EPE) por habitante, complementando la baja oferta existente. A continuación, se presentan los resultados desglosados en los tres ejes metabólicos. (*ver Figuras 1 y 2*)

Recuperación del Ciclo Hidrológico: Hacia la *Ciudad Esponja*

Para abordar la gestión hídrica, se procesó la capa de capacidad de absorción del terreno mediante un geoproceto que la superpuso con la traza de los itinerarios peatonales. Este

análisis permitió identificar tramos con potencial de infiltración diferenciado, determinando las zonas con mayor o menor índice de absorción (*Ilustración 4*); esto permite identificar zonas críticas donde es posible incrementar el potencial de la propuesta a través del reemplazo de sustratos y la implementación de pavimentos permeables. Al multiplicar el índice de absorción de las nuevas superficies por los datos pluviométricos de la estación meteorológica San Juan Bosco, se modeló el comportamiento hidrológico del sistema propuesto.

Los resultados indican que, al aplicar un 35% de cesión en zonas blandas, la conversión de 17.468 m² de superficie dura a zonas verdes permeables permite gestionar in situ un volumen significativo de escorrentía. El análisis detallado de la superficie de intervención permitió calcular una capacidad de absorción ponderada del 49,58%. Esto significa que, gracias a la heterogeneidad de los sustratos propuestos, el sistema cuenta con un Área Permeable Efectiva de 7.334,42 m². Al someter esta superficie a la precipitación media mensual de la zona 101 mm, según la estación San Juan Bosco, se demuestra que el proyecto tiene la capacidad real de captar, retener y filtrar 740.776,51 litros de agua al mes.



1

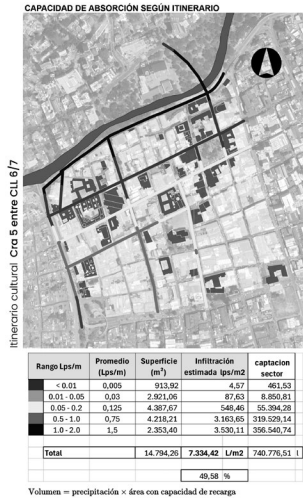


2

Ilustración 1. Localización centro histórico Santiago de Cali, plano de fuentes móviles de contaminación.

Ilustración 2. Localización Itinerarios

La fortaleza de la propuesta radica en su resiliencia operativa ante la variabilidad climática. Al analizar estas cifras bajo la relación de eficiencia hidráulica de 1:25 validada para la región (Gómez Benítez, 2015), se revela que la superficie propuesta tiene la potencia teórica de gestionar la escorrentía de hasta 436.700 m² de suelo impermeable. Dado que el área total del polígono PEMP es de 475.476 m², esto implica que la red de jardines de lluvia propuesta tiene la capacidad técnica para gestionar casi la totalidad de la escorrentía generada en el sector histórico, evitando el colapso del drenaje ante eventos extremos. Esta estrategia responde directamente a los objetivos de ONU-Hábitat, que establece metas de absorción del 70% al 80% de las aguas pluviales para alcanzar el modelo de *ciudad esponja* hacia el 2030. Al descentralizar la gestión del agua y reducir la dependencia del alcantarillado combinado, la propuesta no solo mitiga el riesgo de inundaciones locales, sino que promueve una recuperación ecológica estructural, recargando los acuíferos urbanos y cerrando el ciclo del agua en el tejido consolidado (Cortés Arriagada, 2022).



3



4

Ilustración 3. Distribución de capacidad de filtración. **Ilustración 4.** Renaturalización con el fin de recuperar la absorción Itinerario colonia- modernidad – Propuesta Cra 4 con CLL 6

Regulación Térmica: Reducción de la Acumulación de Calor

El diagnóstico térmico se fundamentó en el análisis de planos de islas de calor superficiales, lo que permitió evidenciar una correlación espacial directa entre la predominancia de zonas duras y los puntos de máxima temperatura. El inventario arbóreo reveló que, si bien

existen zonas verdes, estas se concentran en parques aislados y presentan una composición florística ineficiente, dominada por palmas y especies de porte medio que no generan una sombra efectiva sobre el pavimento (DAGMA, 2019).

La estrategia de diseño consiste en una siembra sistemática a lo largo de los itinerarios, estableciendo una red continua de confort climático. Se propuso la plantación de individuos arbóreos cada 10 metros, priorizando especies endémicas de dosel denso intercaladas con especies intermedias de menor porte para garantizar la cobertura en todos los estratos. Esta intervención implica la incorporación de 423 nuevos árboles, incrementando la superficie de sombra proyectada en 4.415 m² sobre el espacio público.

Las simulaciones microclimáticas proyectan una reducción de la temperatura ambiente local de entre 2 °C y 5 °C. Este descenso es crucial en el contexto del Acuerdo de París, que busca limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 °C. La renaturalización de contextos consolidados, responsables de las mayores anomalías térmicas en las ciudades, se presenta como una acción concreta de adaptación. Al reducir la temperatura superficial, la infraestructura verde no solo mejora el confort humano, sino que disminuye la demanda energética de las edificaciones circundantes y protege el patrimonio construido de la degradación térmica, validando la función termorreguladora de la vegetación en tramas densas (Coutts & Hahn, 2015; Villota-Gálvez, 2021).



Ilustración 5. Ampliación de corredores sombreados Propuesta Cra 4 entre CLL 6/7 y Plaza de Cayzedo respectivamente.

Mitigación de Gases de Efecto Invernadero y Movilidad

El análisis de la malla vial mediante Sistemas de Información Geográfica (GIS) permitió contabilizar los metros lineales totales de las vías y discriminar su uso por prioridad. El diagnóstico inicial arrojó una desproporción crítica: más del 89% del espacio vial en el

centro histórico estaba dedicado exclusivamente al vehículo motorizado. La propuesta plantea una reconfiguración estructural para revertir esta jerarquía, buscando alcanzar una distribución del 57% para movilidad peatonal y activa. Esta redistribución del espacio público está directamente vinculada al incremento del indicador de Espacio Público Efectivo (EPE), logrando la meta de 10 m² por habitante en los corredores intervenidos.



6

7

Ilustración 6. Reducción acumulación de Gases Efecto Invernadero en itinerarios Renaturalizado. **Ilustración 7.** Proyección antes y después renaturalización Borde plaza de Cayzedo.

Esta transformación implica la peatonalización o pacificación del 57.37% de la malla vial del sector. Se estima que esta reducción del flujo vehicular disminuirá las emisiones de fuentes móviles en un 57%, beneficiando directamente los planes locales de descarbonización. Adicionalmente, al cruzar las capas de contaminación atmosférica con la propuesta de siembra, se proyecta una reducción complementaria del 20% en la concentración de material particulado gracias a la capacidad de deposición y filtración de la nueva masa vegetal en los itinerarios compartidos. El diseño evitó el *efecto cañón* mediante la selección de especies con permeabilidad al viento en calles estrechas, asegurando la dispersión de contaminantes residuales (Kumar et al., 2019).

En términos de captura de carbono, la incorporación de biomasa nativa, seleccionada por su alta densidad de madera y capacidad de absorción al unificarlos en una matriz de filtración por año y especie, se estima una captura estimada en 7.6 toneladas de CO₂ al

año (Garavito Pérez, 2022). Estas Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) son instrumentales para el cumplimiento de las metas nacionales de la Ley de Acción Climática, que comprometen a Colombia a reducir en un 51% sus emisiones hacia el 2030 y alcanzar la carbono neutralidad en 2050 (Congreso de la República de Colombia & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021).

Impacto de la Renaturalización en la Agenda Urbana

La implementación de estas estrategias trasciende la intervención física para convertirse en un motor de cumplimiento de la agenda global de desarrollo sostenible. La renaturalización del centro histórico, entendida como una operación sistémica de infraestructura verde, contribuye directamente a la localización de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Al redistribuir el espacio vial y garantizar el acceso equitativo a zonas de confort climático, la propuesta incide en la Reducción de las Desigualdades (ODS 10) y la construcción de Ciudades y Comunidades Sostenibles (ODS 11). Asimismo, al cuantificar la captura de carbono y la regulación térmica, permite evaluar y concretar la Acción por el Clima (ODS 13) en la escala local, mientras que la reintroducción de especies nativas mejora la Vida de Ecosistemas Terrestres (ODS 15) en un entorno altamente antropizado (Giannotti et al., 2021).

En conclusión, los resultados demuestran que la recuperación ecológica en centros consolidados no es una utopía técnica, sino una necesidad cuantificable. La integración de variables ambientales en la planificación urbana, soportada por simulaciones geoespaciales y evidencia científica, permite transformar pasivos ambientales (calles grises, islas de calor) en activos ecosistémicos, posicionando al centro de Cali como un laboratorio vivo de resiliencia climática y justicia espacial.

Conclusiones

La investigación valida que la recuperación ecológica en centros históricos consolidados trasciende la utopía técnica para constituirse en una estrategia cuantificable y necesaria para la resiliencia urbana. La aplicación de lineamientos de diseño basados en la Infraestructura Verde en el centro histórico de Cali demuestra la viabilidad de revertir la fragmentación ecológica sin comprometer el patrimonio.

En primer lugar, los resultados evidencian que la densidad urbana no representa un impedimento absoluto para la restauración de ciclos naturales. La intervención estratégica sobre el 10,5% del polígono PEMP logra un impacto sistémico significativo, donde la conversión de 17.468 m² de superficie dura en áreas permeables y la incorporación de 423 árboles nativos permiten gestionar más de 740.000 litros de agua lluvia mensuales y reducir la temperatura local hasta en 5 °C. Estos datos confirman que el concepto de micropaisaje,

entendido como la suma de pequeñas intervenciones en calles y plazas, actúa como un sistema termorregulador eficiente capaz de mejorar el confort humano y proteger el patrimonio edificado de la degradación climática.

En segundo lugar, el estudio subraya que la descarbonización del centro histórico depende indisolublemente de la reconfiguración de la movilidad. Si bien la captura de 7.6 toneladas anuales de CO₂ por la nueva biomasa constituye un aporte valioso, el impacto estructural proviene de la peatonalización del 57% de la malla vial. La priorización de la movilidad activa y el transporte sostenible ataca la fuente principal de contaminación, lo cual alinea la gestión del centro con las metas nacionales de carbono neutralidad y salud pública.

Finalmente, se concluye que la principal barrera para la implementación de este modelo es de carácter normativo y no técnico. Los instrumentos de planificación vigentes como el Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP), requieren una actualización que integre una dimensión ambiental operativa para facultar la acción. Mientras la normativa se limite a proteger la forma edificada sin integrar la función ecológica, la acción de entidades ambientales locales seguirá restringida. Por tanto, el éxito de la renaturalización exige una actualización de la política urbana que establezca determinantes ambientales vinculantes tales como incentivos a la permeabilidad y zonas de bajas emisiones, permitiendo que el centro histórico evolucione de un espacio museo a un laboratorio vivo de sostenibilidad para el siglo XXI.

Referencias

- Alcaldía Municipal de Cali. (2014). *Documento Técnico de Soporte POT Cali*. Cali: Alcaldía de Cali. https://planeacion.cali.gov.co/pot_adoptado/20141201_DTS_RAPOT.pdf.
- CIAT. (2016). *Inventario de Gases de Efecto Invernadero y Contaminantes para Santiago de Cali*. Santiago de Cali: Alcaldía de Cali.
- CIAT. (2021). *Plan Integral de Adaptación y Mitigación al Cambio Climático para Santiago de Cali*. Santiago de Cali: Alcaldía de Cali http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/biblioteca/PLAN_DE_ADAPTACION_Y_MITIGACION_AL_CAMBIO_CLIMATICO_PARA_SANTIAGO_DE_CALI.pdf.
- Congreso de la República de Colombia & Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Ley 2169 de 2021 (Ley de Acción Climática)*. <https://www.minambiente.gov.co/documento-normativa/ley-2169-de-2021/>.
- Córdoba, R., Lotta, F., & Añez, V. (2015). Funzioni ecologiche ed infrastrutture verdi in città: Vitoria-Gasteiz. *Scienze del Territorio*, (3), 240–245. https://doi.org/10.13128/Scienze_Territorio-17849.
- Cortés Arriagada, C. I. (2022). *Propuestas de estrategias para la implementación de una red de infraestructura verde en el Gran Santiago*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Coutts, C., & Hahn, . (2015). Green infrastructure, ecosystem services, and human health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9768–9798.
- DAGMA. (2024). *Dagma presentará el Plan Maestro Ambiental 'Cali Sostenible': gran apuesta por la biodiversidad y la descarbonización de la economía*. Santiago de Cali: Alcaldía de Cali

- <https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/183353/dagma-presentara-el-plan-maestro-ambiental-cali-sostenible-gran-apuesta-por-la-biodiversidad-y-la-descarbonizacion-de-la-economia/>.
- Davies, C., MacFarlane, R., McGloin, C., & Roe, M. (2015). *Green Infrastructure Planning Guide*. Newcastle: North East Community Forest.
- Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA). (2019). *Plan de silvicultura Santiago de Cali*. Santiago de Cali: Alcaldía de Cali. <https://ciudadesverdes.com/download/plan-de-silvicultura-urbana-o-coberturas-vegetales-de-santiago-de-cali/>.
- Garavito Pérez, L. X. (2022). *Propuesta para la revegetalización con especies nativas como forma de compensación de huella de carbono*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Giannotti, E., Vásquez, A., & Galdámez, E. (2021). Planificación de infraestructura verde para la emergencia climática: aprendizajes desde el proyecto “Stgo+”. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 359-375.
- Gómez Benítez, M. (2015). *Recarga artificial de acuíferos mediante jardines de lluvia en el Eje Cafetero colombiano*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Kumar, P. D.-B. (2019). The nexus between air pollution, green infrastructure and human health. *Environment International*, 1-14 <https://n9.cl/2b23h>.
- Lamarti-Elvira, S. (2023). Analizando buenas prácticas en el diseño de un plan integrado de Infraestructura Verde: el caso de la ciudad de Málaga. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 1013-1032.
- Löhmus, M., & Balbus, J. (2015). Making green infrastructure healthier infrastructure. *Infection Ecology & Epidemiology*.
- Sepúlveda Valencia, G. A. (2025). Revitalización Centro Histórico de Cali, humanización del entorno urbano. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, (252). <https://doi.org/10.18682/cdc.vi252.12137>, 211-227.
- Villota-Gálvez, M. (2021). El micropaisaje del casco medieval de Vitoria-Gasteiz: una infraestructura verde de pequeña escala. *Ciudad y Territorio Estudios Territoriales*, 983-1006.

Abstract: This study addresses the ecological recovery of the historic center of Santiago de Cali, where the development model has caused severe degradation of the ecological fabric (Alcaldía Municipal de Cali, 2014). This process has led to a deep environmental crisis that compromises the environment's capacity to provide ecosystem services, manifesting in three main symptoms: a critical deficit of soft surfaces of only 2.63 m² per inhabitant; the intensification of the heat island effect, which affects more than 70% of the city (DAGMA, 2019); and progressive soil sealing, making it a fragile system against climate impacts. In this context, the research asks: how can nature-based landscape design strategies recover the ecological fabric to overcome this environmental crisis and strengthen urban resilience? The article argues that the design of a multifunctional green infrastructure network can restore the connectivity and functionality of this fabric. This strategy contemplates the creation of 14,000 m² of permeable surfaces, representing 35% of the intervention area, as well as a substantial improvement in tree cover, changing the ratio from 18.9 to 7.9 people per tree.

It is projected that these interventions will allow for a local temperature reduction of between 2 °C and 5 °C, water absorption of up to 49% of average monthly precipitation, and significant mitigation of vehicular CO₂ emissions. The proposal is framed within the theory of green infrastructure as an integrative concept, linking ecosystem health with human well-being (Coutts & Hahn, 2015; Kumar, 2019), using the ecological fabric as a unit of analysis for landscape design.

Keywords: Green Infrastructure - Landscape Design - Ecological Fabric - Urban Renaturalization - Historic Centers

Resumo: O presente estudo aborda a recuperação ecológica do centro histórico de Santiago de Cali, onde o modelo de desenvolvimento causou uma severa degradação do tecido ecológico (Alcaldía Municipal de Cali, 2014). Esse processo derivou em uma profunda crise ambiental que compromete a capacidade do entorno de prover serviços ecossistêmicos, manifestando-se em três sintomas principais: um déficit crítico de áreas permeáveis de apenas 2,63 m² por habitante; a intensificação do efeito ilha de calor, que afeta mais de 70% da cidade (DAGMA, 2019); e a progressiva impermeabilização do solo, tornando-o um sistema frágil diante dos impactos climáticos. Nesse contexto, a pesquisa questiona: como estratégias de design paisagístico baseadas na natureza podem recuperar o tecido ecológico para superar essa crise ambiental e fortalecer a resiliência urbana? O artigo argumenta que o projeto de uma rede multifuncional de infraestrutura verde pode restaurar a conectividade e a funcionalidade desse tecido. Tal estratégia contempla a criação de 14.000 m² de superfícies permeáveis, o que representa 35% da área de intervenção, bem como uma melhoria substancial na cobertura arbórea, passando de uma relação de 18,9 para 7,9 pessoas por árvore. Projeta-se que essas intervenções permitirão uma redução da temperatura local entre 2 °C e 5 °C, uma absorção hídrica de até 49% da precipitação média mensal e uma mitigação significativa das emissões de CO₂ veiculares. A proposta enquadra-se na teoria da infraestrutura verde como conceito integrador, que vincula a saúde do ecossistema ao bem-estar humano (Coutts & Hahn, 2015; Kumar, 2019), utilizando o tecido ecológico como unidade de análise para o design paisagístico.

Palavras-chave: Infraestrutura Verde - Design Paisagístico - Tecido Ecológico - Renaturalização Urbana - Centros Históricos

[Las traducciones de los abstracts fueron supervisadas por el autor de cada artículo.]

Alejandro Sepúlveda Valencia. Arquitecto de la Universidad Nacional, Máster en Arquitectura y Urbanismo de la Universidad del Valle. Red de Investigadores en Diseño Universidad de Palermo. Director componente urbano del Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP) del centro histórico de Manizales.