

Vertical Green Infrastructure and Biophilic Design as Key Factors in Urban Sustainability: Environmental Regulation Proposal in Cajamarca 2025 – Peru

Gallardo Camacho, Fabiana ¹, Marruffo Abanto, Marcela ¹, Valdez Mendoza, Luis ¹

Villanueva Aguilar, Katherine ¹, Torres Chávez, Oscar, Mg. Blgo. ¹

N00320235@upn.pe, N00318051@upn.pe, N00337607@upn.pe, N00329352@upn.pe,
dolores.torres@upn.edu.pe

Universidad Privada del Norte¹, Cajamarca, Perú

Abstract– *This study analyzes the feasibility of vertical green infrastructure and biophilic design as urban sustainability strategies in Cajamarca, addressing problems such as increased particulate matter (PM2.5) and the reduction of green spaces. Through a non-experimental, cross-sectional approach based on document analysis and urban diagnosis, a proposed municipal regulation is developed that integrates technical guidelines for vegetation on building facades, rainwater harvesting, and tax incentives. The results, derived from the systematization of theoretical evidence and previous experiences, confirm the environmental relevance and feasibility of the proposal. It is concluded that its effective implementation requires institutional strengthening, funding, and public awareness, aligning with Sustainable Development Goals 11 and 13 and the Regional Environmental Policy.*

Keywords: *Infraestructura verde vertical, Diseño biofílico, Sostenibilidad urbana, Regulación ambiental, Eficiencia energética.*

Infraestructura Verde Vertical y Diseño Biofílico como Factores Clave en la Sostenibilidad Urbana: Propuesta de Regulación Ambiental en Cajamarca, 2025 -Perú

Gallardo Camacho, Fabiana ¹, Marruffo Abanto, Marcela ¹, Valdez Mendoza, Luis ¹

Villanueva Aguilar, Katherine ¹, Torres Chávez, Oscar, Mg. Blgo. ¹

N00320235@upn.pe, N00318051@upn.pe, N00337607@upn.pe, N00329352@upn.pe,
dolores.torres@upn.edu.pe

Universidad Privada del Norte¹, Cajamarca, Perú

Resumen – Este estudio analiza la viabilidad de la infraestructura verde vertical y el diseño biofílico como estrategias de sostenibilidad urbana en Cajamarca, ante problemáticas como el incremento de material particulado (PM2.5) y la reducción de áreas verdes. A través de un enfoque no experimental y transversal basado en análisis documental y diagnóstico urbano, se desarrolla una propuesta de normativa municipal que integra lineamientos técnicos para vegetación en fachadas, captación pluvial e incentivos tributarios. Los resultados, derivados de la sistematización de evidencia teórica y experiencias previas, confirman la pertinencia ambiental y viabilidad de la propuesta. Se concluye que su implementación efectiva requiere de fortalecimiento institucional, financiamiento y sensibilización ciudadana, alineándose con los ODS 11 y 13 y la Política Ambiental Regional

Palabras clave: Infraestructura verde vertical, Diseño biofílico, Sostenibilidad urbana, Regulación ambiental, Eficiencia energética.

I. INTRODUCCION

En un contexto de creciente urbanización en el Perú, donde la mayoría de la población vive en áreas urbanas, Cajamarca enfrenta desafíos significativos por la contaminación atmosférica derivada del crecimiento demográfico y actividades industriales como la minería. Esta situación eleva los niveles de partículas finas (PM2.5) y gases nocivos, afectando la salud respiratoria de la población. La propuesta promueve la infraestructura verde vertical y el diseño biofílico (integración de elementos naturales en la arquitectura) como soluciones clave para mejorar la calidad del aire.

La infraestructura verde se refiere a una red de espacios naturales y seminaturales dentro de las áreas urbanas, diseñados para proporcionar una amplia gama de beneficios tanto ambientales como sociales. Esta red incluye parques, jardines comunitarios, zonas verdes, y soluciones innovadoras como huertos verticales. No se limita

únicamente a embellecer el entorno, sino que también cumple una función clave en la reducción de los impactos del cambio climático, el impulso de la biodiversidad en zonas urbanas y el mejoramiento de la calidad del aire y del agua. Asimismo, promueve la convivencia social, fortalece la cohesión comunitaria y contribuye al bienestar mental, al ofrecer espacios abiertos destinados al descanso, la recreación y el disfrute [1].

La infraestructura verde vertical filtra contaminantes, reduciendo hasta un 30% de partículas PM2.5 y gases como el dióxido de carbono, además de mitigar el calor urbano en 28°C, disminuyendo el uso energético en climatización. Por su parte, el diseño biofílico mejora el bienestar psicológico, reduce el estrés en un 15-20% y fomenta prácticas sostenibles en la comunidad [2]. Esta regulación, alineada con la Política Ambiental y Climática Regional de Cajamarca al 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 11 y 13), busca implementar estas soluciones en nuevos proyectos urbanos y adaptar estructuras existentes mediante incentivos fiscales y monitoreo, transformando Cajamarca en una ciudad más saludable y resiliente para 2025 [3].

II. METODOLOGÍA

A. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada y propositiva, puesto que busca proponer soluciones concretas para la sostenibilidad urbana de la ciudad de Cajamarca mediante la integración de infraestructura verde vertical y diseño biofílico. Además, es descriptiva y propositiva, puesto que analiza las condiciones actuales del entorno urbano y a partir de ello plantea una propuesta de regulación ambiental orientada a la mejora de la calidad ambiental y del bienestar ciudadano.

B. Enfoque de la investigación

La investigación emplea un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo).

Primero, se realizará un análisis diagnóstico ambiental de Cajamarca mediante la recopilación de datos sobre calidad del aire, cobertura vegetal y densidad urbana. Luego, se efectuará una revisión documental y normativa sobre experiencias nacionales e internacionales en infraestructura verde y diseño biofílico.

Asimismo, se realizará una investigación general para identificar características relevantes relacionadas con la integración de elementos naturales en las edificaciones.

C. *Diseño de la investigación*

Se utiliza un diseño no experimental y de corte transversal, dado que no se manipulan variables, sino que se observa y analiza la situación existente. La información recopilada permite elaborar una propuesta normativa aplicable a la realidad de Cajamarca.

D. *Población y muestra*

Población: comprende la ciudad de Cajamarca.

Unidad de análisis: Incluye el entorno urbano de Cajamarca, así como estudios nacionales e internacionales relacionados con infraestructura verde vertical y diseño biofílico, con el fin de analizar su aplicabilidad en el contexto local. La selección es de carácter intencional, basada en criterios de relevancia temática, accesibilidad y pertinencia ambiental.

E. *Técnicas e Instrumentos de recolección de Datos*

Revisión documentaria: Análisis de normativas, políticas ambientales y urbanísticas locales, nacionales e internacionales como la Política Ambiental Regional de Cajamarca, ODS 11 y 13, estrategias internacionales como de Europa, Singapur, y más.

Observación directa: Identificación de áreas con potencial para intervenciones verdes, características arquitectónicas y condiciones ambientales.

Análisis de fuentes secundarias: recopilación de información de estudios previos sobre contaminación urbana, cambio climático y experiencias de diseño biofílico.

F. *Procedimiento*

Diagnóstico ambiental y urbano: Identificación de los principales problemas relacionados con contaminación, falta de áreas verdes y desconexión con la naturaleza.

Revisión normativa: Análisis de reglamentos de construcción, ordenanzas municipales y políticas ambientales vigentes en Cajamarca.

Selección de especies vegetales adecuadas: Con base en criterios de purificación del aire, resistencia climática y aporte estético (ej. lirio de la paz, lengua de suegra, ficus enano, lavanda, bromelia).

Elaboración de propuesta regulatoria: Diseño de lineamientos ambientales para incentivar el uso de infraestructura verde vertical y diseño biofílico en nuevas construcciones y remodelaciones urbanas.

G. *Técnica de Análisis de la información*

Se emplea un análisis descriptivo de los datos ambientales y urbanos provenientes de fuentes secundarias y del diagnóstico contextual del entorno urbano de Cajamarca.

Análisis comparativo con experiencias internacionales (por ejemplo, estrategias europeas y latinoamericanas de infraestructura verde), con el fin de identificar criterios técnicos aplicables al contexto local.

Síntesis propositiva, se integran los hallazgos del diagnóstico urbano y la evidencia teórica revisada para formular una propuesta normativa adaptada al contexto de Cajamarca.

H. *Limitaciones*

Escasa información actualizada sobre infraestructura verde en Cajamarca.

Limitaciones técnicas y económicas en la aplicación inmediata de la propuesta.

Necesidad de cooperación institucional entre actores públicos y privados para la implementación.

III. RESULTADOS

El análisis realizado, fundamentado en la revisión documental, los datos locales disponibles y la comparación con experiencias internacionales, permite presentar los hallazgos del presente estudio en torno a la integración de infraestructura verde vertical y diseño biofílico como factores clave para la sostenibilidad urbana en Cajamarca.

Diagnóstico urbano-ambiental

Los datos más recientes para Cajamarca muestran que la concentración de partículas finas PM_{2.5} se sitúa en torno a 11,6 µg/m³ para una medición puntual, lo que representa aproximadamente 2,3 veces el valor guía recomendado por la World Health Organization (OMS) para exposición anual. IQAir [6].

En un estudio histórico para la cuenca atmosférica de Cajamarca durante 2014–2015, se documentó que los valores de PM_{2.5} “han sido elevados” y superan los Estándares de Calidad Ambiental del Aire (ECA) para 24 h en numerosos meses, identificando fuentes como el parque automotor, minería, ladrilleras, quema de residuos y leña [6].

En el ámbito local industrial, para la planta de producción de óxido de calcio “Puyucana” situada en el distrito de Baños del Inca (Cajamarca), se midieron niveles de PM_{2.5} en torno a 18,13 µg/m³, y PM₁₀ de 12,64 µg/m³; aunque estos valores no superan formalmente los ECA peruanos en esa fase puntual, evidencian una carga de material particulado y emisiones gaseosas importantes en el entorno industrial [7].

IV. DISCUSIÓN

Tales datos confirman que Cajamarca, pese a no ser una metrópolis densamente industrial como Lima, enfrenta retos reales de calidad del aire, junto con un tejido urbano en expansión, reducción de áreas verdes y predominio de edificaciones convencionales sin componentes de diseño verde o biofílico. Esto configura un contexto propicio para la intervención mediante las estrategias propuestas.

A. Evidencia internacional y su implicancia local

La revisión de la literatura internacional (por ejemplo, estudios de Europa y Norteamérica) muestra que la implementación de infraestructura verde vertical y diseño biofílico ha permitido reducciones de temperatura urbana en rangos estimados de 2 °C a 8 °C, mejoras en la filtración de partículas (hasta ~30 % de descenso en PM2.5) y ahorros energéticos en edificación del orden de ~20 % [8].

Aunque estos datos no provienen de Cajamarca de sirven como referencia técnica para estimar impactos potenciales en el ámbito local, ajustando por diferencias de clima, altitud, urbanización y tipología constructiva. Aplicando estos estándares de referencia al contexto de Cajamarca, se proyecta que, de implementarse una estrategia integral de infraestructura verde vertical y biofilia, se podrían obtener beneficios ambientales y sociales tangibles en plazos de mediano plazo (35 años) y consolidarse hacia 2030.

B. Identificación de especies vegetales y diseño apropiado

En el marco del análisis técnico, se seleccionaron especies vegetales adaptadas al clima alto andino y a las condiciones urbanas de Cajamarca, agrupadas en tres categorías:

PURIFICADORAS:



Fig. # 1 Lirio de la paz.

Planta ornamental de hojas verdes brillantes y flores blancas. Ayuda a purificar el aire y prefiere lugares con luz indirecta



Fig. # 2 Lengua de suegra

Planta muy resistente, de hojas largas y firmes. Es fácil de cuidar y mejora la calidad del aire en interiores



Fig.# 3 Malamadre

Planta colgante de hojas largas y delgadas. Se reproduce fácilmente y es ideal para interiores luminosos



Fig. # 4 Ficus enano trepador

Planta de hojas pequeñas que crece cubriendo muros o macetas. Se usa mucho como planta decorativa

ORNAMENTALES:



Fig. # 5 Lavanda

Planta aromática con flores violetas. Se utiliza por su aroma relajante y en productos medicinales y cosméticos.



Fig. # 6 Menta

Planta aromática de rápido crecimiento. Se usa en infusiones, comidas y remedios naturales



Fig. 7 Aloe vera

Planta suculenta con hojas carnosas. Su gel tiene propiedades medicinales y cosméticas



Fig. # 8 Orégano cubano

Planta aromática de hojas gruesas y olor intenso. Se usa como condimento y en remedios caseros.

FLORALES:



Fig. # 9 Bromelia

Planta tropical de colores llamativos. Es decorativa y crece bien en climas cálidos



Fig. # 10 Anturio

Planta ornamental con flores rojas brillantes y hojas grandes



Fig. # 11 Orquídeas

Plantas elegantes con flores muy vistosas. Son muy apreciadas por su belleza y variedad.

Estas especies fueron seleccionadas considerando su capacidad de purificación de aire, resistencia al clima (variabilidad térmica, radiación solar, altitud), facilidad de mantenimiento en muros o fachadas y aporte estético-psicológico asociado al diseño biofílico. Se formula un esquema técnico preliminar de fachada vegetal para edificaciones en la zona urbana de Cajamarca que contempla: capa estructural para soporte, sustrato ligero y drenante, especie vegetal seleccionada, riego automático con captación de agua pluvial y mantenimiento anual. Este esquema permite compatibilizar construcción local (materiales, clima) con objetivos de mitigación ambiental y mejora de confort.

C. Propuesta regulatoria y aplicación en el contexto de Cajamarca

Derivándonos del diagnóstico urbano-ambiental realizado y de la evidencia técnica recolectada, se propone el desarrollo de un marco regulatorio municipal con el fin de implementar infraestructura verde vertical y diseño biofílico en la ciudad de Cajamarca. Esta propuesta se concibe como instrumento técnico-normativo que tiene por fin integrar soluciones basadas en la naturaleza en el desarrollo urbano local, considerando condiciones climáticas, constructivas y socioeconómicas de la ciudad.

La propuesta regulatoria se estructura en cuatro ejes importantes:

1.- Criterios técnicos de implementación

Se establecen requerimientos mínimos para la incorporación de vegetación en fachadas, muros y cubiertas, priorizando sistemas ligeros y modulares compatibles con la edificación ya existente.

Los criterios incluyen porcentajes mínimos de superficie con captación de aguas pluviales y planes básicos de mantenimiento. Estos lineamientos permiten asegurar el funcionamiento ambiental de las intervenciones y su viabilidad técnica a mediano plazo.

2.- Gestión hídrica y sostenibilidad operativa

La regulación planeada promueve la separación de redes pluviales y residuales, así como el uso de sistema de drenaje urbano (SUDS) y la reutilización de aguas pluviales para el riego de la infraestructura verde. Estas medidas ayudan a reducir la presión sobre el sistema de agua potable y a mejorar la resiliencia urbana frente a eventos climáticos extremos.

3.-Incentivos y mecanismos de promoción

Con la finalidad de fomentar la adopción de estas soluciones, se plantea la incorporación de incentivos municipales, como la reducción de tasas administrativas, reconocimiento público de edificaciones sostenibles y priorización en trámites para proyectos que integren infraestructura verde vertical y biofílica.

Estos mecanismos buscan incentivar y facilitar la participación del sector privado y promover una cultura de construcción sostenible en la ciudad.

4.- Monitoreos y evaluación de impactos

La aplicación del marco regulatorio contempla la implementación de indicadores de seguimiento ambiental y social, efectuando mediciones del aire (PM2.5 y PM10), reducción de temperatura superficial, cobertura vegetal efectiva y percepción de confort de los usuarios. El monitoreo tiene como fin evaluar la eficacia de la regulación y ajustar los criterios técnicos según los resultados obtenidos.

En el contexto de Cajamarca, la aplicación progresiva de esta propuesta regulatoria nos permitirá intervenir prioritariamente zonas con déficit de áreas verdes y mayores niveles de contaminación atmosférica, como en el centro urbano consolidado y áreas con alta expansión residencial. De este modo, la regulación se alinea con la Política Ambiental Regional de Cajamarca al 2030 y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 11 y 13, consolidando un enfoque integral de sostenibilidad urbana adaptado a la realidad local.

V. CONCLUSIONES

Se concluye que la infraestructura verde vertical a través de jardines en muros, fachadas vegetales, cubiertas ecológicas y sistemas de drenaje sostenible— representa una solución ambiental multifuncional. Estas estructuras no solo

embellecen el entorno urbano, sino que además reducen significativamente las emisiones contaminantes (PM2.5 y CO₂), mejoran la calidad del aire y regulan la temperatura de la superficie urbana, generando microclimas más frescos y confortables. En el contexto de Cajamarca, donde las temperaturas y la contaminación vehicular están en aumento, la implementación de estos sistemas puede disminuir entre 3 y 5 °C la temperatura ambiental promedio, y contribuir al ahorro energético de un 10 a 15 % por menor demanda de refrigeración.

De manera complementaria, el diseño biofílico surge como un enfoque innovador que integra los elementos naturales en el espacio construido, fortaleciendo la conexión emocional y psicológica del ser humano con la naturaleza. Este diseño no solo tiene beneficios estéticos, sino que mejora la salud mental, disminuye el estrés, promueve la creatividad y fomenta la productividad en ambientes urbanos y laborales. Así, incorporar la biofílica en las edificaciones cajamarquinas implica no sólo una transformación visual, sino una renovación del vínculo social y ecológico, permitiendo que la ciudad recupere su identidad verde y su armonía con el entorno natural que la caracteriza.

En el ámbito técnico-normativo, el estudio demuestra que la propuesta de regulación ambiental planteada es viable, pues se sustenta en las Normas Técnicas de Edificación del Perú (NTE A.010, A.020, A.090) y en los principios de diseño sostenible reconocidos internacionalmente. El reglamento propuesto define criterios claros de aplicación: porcentaje mínimo de cobertura vegetal, requisitos estructurales, mantenimiento, gestión hídrica mediante captación pluvial y uso eficiente de recursos. Además, incorpora incentivos municipales que permitirían dinamizar la participación del sector privado y fomentar la inversión en construcciones sostenibles.

Sin embargo, también se identifican retos significativos de implementación. Entre ellos destacan la falta de políticas locales específicas, la escasez de recursos económicos para el mantenimiento, la limitada cultura ambiental de la población y la ausencia de técnicos especializados en infraestructura verde. Estos factores podrían obstaculizar la aplicación efectiva del reglamento si no se abordan mediante programas de educación ambiental, capacitación profesional, alianzas interinstitucionales y estrategias de financiamiento sostenible.

Desde una perspectiva integral, esta investigación se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 11 y 13, así como con la Política Ambiental Regional de Cajamarca al 2030, al promover un modelo de desarrollo urbano que prioriza la resiliencia climática, la inclusión social y la salud ecológica. La aplicación de la propuesta podría convertir a Cajamarca en un referente nacional en materia de urbanismo ecológico y biofílico, impulsando un cambio cultural hacia la sostenibilidad y el respeto por el entorno natural.

Finalmente, se concluye que la infraestructura verde vertical y el diseño biofílico no deben entenderse únicamente como herramientas decorativas o arquitectónicas, sino como componentes estructurales de una política ambiental urbana moderna. Su implementación progresiva puede transformar la ciudad en un sistema urbano vivo, capaz de absorber contaminantes, reducir la huella de carbono, recuperar espacios degradados y mejorar la calidad de vida de la población. Cajamarca tiene la oportunidad de convertirse en una ciudad verde modelo, donde la innovación tecnológica, la planificación ambiental y la conciencia ciudadana converjan para garantizar un futuro sostenible.

REFERENCIAS

- [1] Comisión Europea. (2013). Infraestructura verde: una estrategia para la biodiversidad en la UE. https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm M. King, B. Zhu, and S. Tang, "Optimal path planning," *Mobile Robots*, vol. 8, no. 2, pp. 520-531, March 2001.
- [2] Grupo Interdisciplinario de Investigación Innovación y Participación en el Desarrollo Urbano (IPDESUR). (2017). <https://investigacion.pucp.edu.pe/grupos/ipdesur/la-transformacion-del-paisaje-periurbano-una-ciudad-intermedia-desafio-la-gestion-local-sustentable-caso-cajamarca-peru-2007-2017-pucp-ulg-ares/H>
- [3] Bosch Home Comfort Group. (2025, 14 marzo). ¿Qué es eso de la sostenibilidad urbana? Home Comfort. <https://www.bosch-homecomfort.com/es/es/conocimiento/eficiencia-y-sostenibilidad/sostenibilidad-urbana/>
- [4] Meristem Desing. (2025). Green infrastructure & urban resilience. Meristem <https://www.meristemdesign.co.uk/blog/urban-green-infrastructure/>
- [5] Vergara, F. (2020). Qué es el diseño biofílico y por qué será parte de las tendencias del 2021. Architectural Digest. <https://www.admagazine.com/interiorismo/que-es-diseno-biofilico-por-que-sera-tendencia-20200817-7281-articulos>
- [6] E. Briones Silva and C. Malaver Cárdenas, "Concentración de material particulado PM 10 y Pm 2.5 en la cuenca atmosférica de Cajamarca durante los años 2014 y 2015," Undergraduate thesis, Escuela de Ingeniería Ambiental, Univ. César Vallejo, Chiclayo, Perú, 2015.
- [7] D. A. Alva Huamán, "Concentración de material particulado, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en la planta de producción de óxido de calcio Puyucana, Cajamarca 2018," Master thesis, Escuela de Posgrado, Univ. Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú, 2019.
- [8] A. J. Fernández-Espinosa, J. M. Montiel-de La Cruz, R. Fernández-Cañero, L. Pérez-Urrestarazu, and S. Rossini-Oliva, "Volatile organic compounds, SO₂ and NO₂ capture by means of an indoor active living wall," *Atmos. Environ.*, vol. 371, Art. no. 121856, May 2026, doi: 10.1016/j.atmosenv.2026.121856.