

## **XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS**

### **ANÁLISIS CRÍTICO DE ASPECTOS ESTRUCTURALES, FUNCIONALES Y ECOLÓGICOS DE JARDINES DE LLUVIA INSTALADOS EN BELO HORIZONTE (MG), BRASIL**

*Alexander Diaz Martinez <sup>1</sup> ; Jesús Francisco Pérez Cuba <sup>2</sup>; Rodrigo Quirino dos Santos <sup>3</sup> & Daniel Augusto de Miranda <sup>4</sup>*

**Abstract:** The accelerated growth of urbanized areas generated significant impacts on the natural hydrological cycle, including a reduction in rainwater infiltration, an increase in the volume of surface runoff and the overloading of storm drainage systems. This problem was accentuated by the loss of vegetation cover and high soil impermeability. In this context, rain gardens became an efficient green infrastructure strategy to mitigate the effects of urbanization by facilitating the retention, filtration and infiltration of rainwater, in addition to favoring urban biodiversity. The present research aimed to map, characterize and evaluate 14 rain gardens located in the Pampulha and North regions of the municipality of Belo Horizonte, state of Minas Gerais, Brazil. A comprehensive analysis was carried out that included structural, functional and ecological aspects, with emphasis on the type of vegetation used, maintenance conditions and expected performance according to hydrological and sustainability criteria. The predominant plant species in each garden were identified, as well as the technical and ecological reasons that justified their selection, considering their ability to adapt to urban conditions, efficiency in water absorption, tolerance to periods of drought or flooding, and ease of maintenance. The findings made it possible to recognize both strengths and limitations of each garden, as well as the technical and ecological reasons that justified their selection.

**Resumen:** El crecimiento acelerado de las zonas urbanizadas generó impactos significativos en el ciclo hidrológico natural, entre ellos la reducción de la infiltración del agua de lluvia, el aumento del volumen de escorrentía superficial y la sobrecarga de los sistemas de drenaje pluvial. Esta problemática se acentuó por la pérdida de cobertura vegetal y la alta impermeabilización del suelo. En este contexto, los jardines de lluvia se constituyen como una estrategia de infraestructura verde eficiente para mitigar los efectos de la urbanización, al facilitar la retención, filtración e infiltración del agua pluvial, además de favorecer la biodiversidad urbana. La presente investigación tuvo como objetivo mapear, caracterizar y evaluar 14 jardines de lluvia ubicados en las regiones de Pampulha y Norte del municipio de Belo Horizonte, estado de Minas Gerais, Brasil. Se realizó un análisis integral que incluyó aspectos estructurales, funcionales y ecológicos, con énfasis en el tipo de vegetación empleada, las condiciones de mantenimiento y el desempeño esperado de acuerdo con criterios hidrológicos y de sostenibilidad. Se identificaron las especies vegetales predominantes en cada jardín, así como las razones técnicas y ecológicas que justificaron su selección, considerando su capacidad de adaptación a condiciones urbanas, eficiencia en la absorción de agua, tolerancia a periodos de sequía o inundación, y facilidad de mantenimiento. Los hallazgos obtenidos permitieron reconocer tanto fortalezas como limitaciones en los modelos implementados, lo cual derivó en la formulación

1) Tecnológico Nacional de México/ Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco, Santiago Tianguistenco, Estado de México, México, alexander\_202125051@test.edu.mx

2) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México, pecu200@hotmail.com

3) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, IFMG, Santa Luzia, Brasil, rodrigopl2010@gmail.com

4) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, IFMG, Santa Luzia, Brasil, d.miranda@ifmg.edu.br

de recomendaciones orientadas a la innovación en el diseño, implementación y gestión de jardines de lluvia en entornos urbanos latinoamericanos.

**Palabras clave** – Infraestructura verde. Urbanización. Vegetación Adaptada.

## INTRODUCCIÓN

La urbanización constituye un proceso inevitable vinculado al crecimiento demográfico y al desarrollo económico de las naciones. En el caso de Brasil, datos del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE) indican que más del 87 % de la población reside en zonas urbanas, lo que ha promovido una expansión acelerada de la infraestructura civil y la transformación del uso del suelo. Este fenómeno conlleva la construcción de vialidades para la circulación vehicular, calles para el tránsito peatonal, edificaciones habitacionales y comerciales, así como otras obras de urbanización que implican una alteración sustancial del entorno natural.

Entre las consecuencias ambientales derivadas de este modelo de crecimiento urbano destacan el incremento de superficies impermeables, la fragmentación de ecosistemas, la pérdida de áreas verdes y la generación de escorrentía superficial no controlada, lo que contribuye a procesos de erosión, saturación de sistemas de drenaje pluvial, disminución en la recarga de acuíferos y transporte de contaminantes a cuerpos receptores. Frente a esta problemática, los jardines de lluvia representan una estrategia sustentable basada en soluciones naturales que permiten mitigar los efectos adversos del desarrollo urbano [Torres Chamat & Morales Pinzón (2022)].

Un jardín de lluvia se define como una depresión superficial en el terreno, diseñada intencionalmente para captar, infiltrar, retener y filtrar el agua de lluvia proveniente de superficies impermeables, mediante la incorporación de vegetación seleccionada y adaptada con sustratos con alta capacidad de infiltración. El diseño de un jardín de lluvia implica el análisis de variables como la topografía del sitio, la capacidad de infiltración del suelo, el volumen de escorrentía esperada, la intensidad de las precipitaciones y las características del entorno construido [Gondim *et al.* (2023)].

En su estructura básica, se compone de un área de captación, una capa filtrante (arena o suelo enmendado), una capa de retención o almacenamiento temporal y una vegetación adecuada para facilitar la evapotranspiración y la absorción de contaminantes. Algunos diseños incluyen drenajes de sobreflujo o tubos de infiltración profunda para asegurar la funcionalidad incluso en lluvias intensas. Además de sus beneficios hidrológicos, los jardines de lluvia contribuyen significativamente a la mejora del microclima urbano, reducen el efecto de isla de calor, aumentan la biodiversidad local, promueven la conectividad ecológica y sirven como herramientas de educación ambiental [Melo *et al.* (2014)].

En contextos de cambio climático y urbanización acelerada, su implementación representa una medida de adaptación eficaz, resiliente y replicable, alineada con los principios de desarrollo urbano sostenible y gestión integrada de recursos hídricos. Esta infraestructura ofrece múltiples beneficios ambientales, tales como la reducción del volumen y velocidad de la escorrentía pluvial, la mejora en la calidad del agua mediante procesos naturales de filtración y fitorremediación, la recarga de mantos acuíferos, la regulación térmica del entorno urbano.

## METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló mediante un enfoque descriptivo y analítico, con base en la recopilación y procesamiento de datos secundarios provenientes de fuentes oficiales. Se

recolectó datos hidrológicos, meteorológicos, topográficos y de uso del suelo a través de fuentes oficiales como el portal del Ayuntamiento de Belo Horizonte, la Defensa Civil Municipal, el Instituto Nacional de Meteorología (INMET) y el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE). Esta información incluyó series temporales de precipitación, reportes de eventos hidrometeorológicos extremos, mapas de uso del suelo y modelos digitales de elevación.

Para el análisis de las condiciones hidrológicas de la región, se procesaron series temporales de precipitación mensual promedio anual, permitiendo identificar tendencias y variaciones interanuales en los patrones de lluvia. Asimismo, se evaluó la frecuencia y distribución de eventos críticos como inundaciones o anegamientos, considerando la configuración geográfica, el relieve urbano y el grado de impermeabilización del suelo. Este análisis fue fundamental para representar el comportamiento hidrológico regional y su influencia en el funcionamiento de los jardines de lluvia.

La caracterización del entorno físico permitió contextualizar la funcionalidad de los jardines de lluvia frente a los riesgos hidrometeorológicos presentes en Belo Horizonte. Esta información sirvió de base para seleccionar y estudiar 14 jardines de lluvia, ubicados en zonas con diferentes niveles de exposición a la escorrentía superficial y con distinto desempeño como soluciones basadas en la naturaleza.

Paralelamente, se realizó un trabajo de campo orientado a la inspección y caracterización de 14 jardines de lluvia ubicados en las regiones de Pampulha y Norte de la ciudad de Belo Horizonte. Durante las visitas, realizadas entre agosto de 2024 y junio de 2025, se documentaron las condiciones estructurales, el estado del mantenimiento y composición vegetal de cada jardín de lluvia. Para la identificación taxonómica de las especies presentes, se utilizó la aplicación Naturalista (iNaturalist), una herramienta digital de ciencia ciudadana que permitió determinar el género y la especie de las plantas mediante el reconocimiento automático asistido por una comunidad científica. Esta información fue empleada para evaluar el comportamiento teórico de cada especie en función de su tolerancia a la saturación del suelo, capacidad de retención hídrica, adaptabilidad a condiciones urbanas y su contribución al rendimiento ecológico del sistema [Arroyo Zambrano *et al.* (2016)].

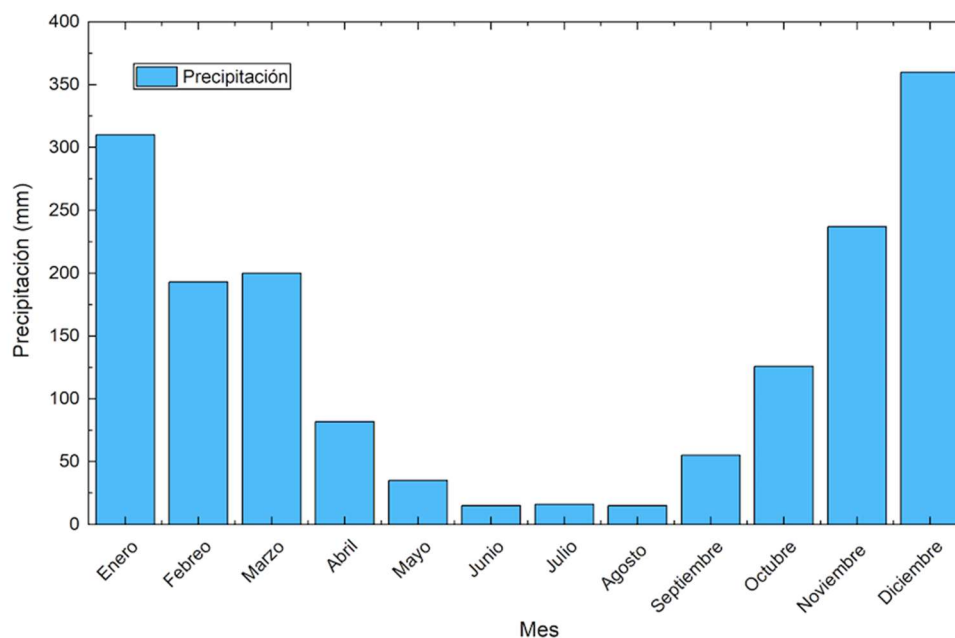
Los datos obtenidos fueron sistematizados y analizados para identificar patrones funcionales, limitaciones técnicas y oportunidades de mejora en el diseño, mantenimiento y desempeño hidrológico de los jardines de lluvia evaluados. Para el análisis de la precipitación, se calcularon los valores de las precipitaciones mensuales promedios anuales utilizando datos históricos proporcionados por el INMET. Este análisis permitió identificar la tendencia de las lluvias a lo largo del tiempo, así como la frecuencia y magnitud de eventos extremos, lo cual fue fundamental para comprender el comportamiento hidrológico de la región y su influencia en el funcionamiento de los jardines de lluvia.

## **RESULTADOS E INTERPRETACIÓN**

### **Precipitación**

La Figura 1 muestra la distribución de la precipitación mensual promedio anual (en milímetros) correspondiente a un intervalo de observación de cinco años anteriores al presente estudio, en el municipio de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. Los datos fueron obtenidos del Instituto Nacional de Meteorología (INMET, 2025), los cuales proporcionan registros oficiales con representatividad climática regional. Esta información es de vital importancia para la caracterización hidrológica del área y el dimensionamiento de infraestructuras de drenaje urbano sostenible, como los jardines de lluvia.

Figura 1 – Datos estadísticos de precipitación mensual promedio anual en Belo Horizonte.



Fuente: IBGE (2025) (*adaptado*)

### Modelos de jardines de lluvia

Como parte fundamental del diagnóstico técnico, se realizaron visitas técnicas sistemáticas a campo con el objetivo de identificar y caracterizar los diferentes tipos de jardines de lluvia existentes en el área urbana de Belo Horizonte. Estas inspecciones permitieron reconocer las configuraciones predominantes, su integración en el espacio público y las particularidades constructivas de cada dispositivo.

Durante las observaciones se constató que los jardines de lluvia implementados por la administración municipal se agrupan principalmente en dos tipologías estructurales: el módulo simple y el módulo doble, ambos diseñados para la retención, infiltración y tratamiento de escorrentía superficial proveniente de calles y banquetas. El módulo simple (Figura 2) se compone de una sola unidad de biorretención, generalmente de forma rectangular o trapezoidal, integrada con vegetación seleccionada y materiales filtrantes como grava y sustrato orgánico. Su implantación es típica en contextos de baja carga hidráulica o en vialidades secundarias. Por otro lado, el módulo doble (Figura 3) corresponde a un sistema compuesto por dos unidades conectadas hidráulicamente o instaladas en espejo, lo que permite una mayor capacidad de almacenamiento y tratamiento, adaptándose a zonas con mayor volumen de escorrentía o pendientes más pronunciadas. Estas tipologías fueron documentadas mediante registros fotográficos georreferenciados, croquis *in situ* y levantamientos de medidas físicas. La identificación de estos módulos resulta clave para el análisis de desempeño hidráulico y ecológico, así como para el desarrollo de propuestas de mejora en el diseño y mantenimiento de estos sistemas urbanos de drenaje sostenible.



Figura 2 – Ejemplo de jardín de lluvia de modulo simple.



Fuente: Elaborado por los autores (2025)

Figura 3 – Ejemplo de jardín de lluvia de modulo doble.



Fuente: Elaborado por los autores (2025)

### Lugares para el análisis

La Tabla 1 presenta la localización y caracterización básica de los 14 jardines de lluvia incluidos en el presente estudio, con base en su tipología estructural, coordenadas geográficas y altitud respecto al nivel del mar.

La información fue obtenida mediante levantamientos *in situ* con el apoyo de herramientas de georreferenciación y dispositivos GPS. Se identificaron un total de ocho jardines de tipo simple y seis de tipo doble, distribuidos a lo largo del área urbana de Belo Horizonte.

Las coordenadas geográficas indican que todos los dispositivos se encuentran dentro de una misma zona de intervención, lo cual favorece la homogeneidad de las condiciones climáticas y topográficas del análisis.

La altitud de los jardines varía entre 780 y 810 metros sobre el nivel del mar, lo que sugiere una relativa uniformidad en la cota del terreno, con ligeras variaciones que pueden influir en la pendiente del flujo superficial y, por ende, en la eficiencia hidráulica de cada dispositivo. Los jardines localizados a 780 m s.n.m. (caso nº 9) se encuentran en sectores más bajos, mientras que la mayoría de los demás se ubican a cotas de 800 o 810 m s.n.m., lo cual se debe considerar al modelar los perfiles de escurrimiento y determinar las áreas de captación efectiva.

Tabla 1 – Lista de jardines de lluvia en la visita de campo de junio de 2025 con coordenadas geográficas en Belo Horizonte

Número de identificación	Tipo de jardín de lluvia	Coordenadas Geográficas	Altura sobre nivel del mar (m)
1	Doble	19°49' 40"S 43°57'26"O	800
2	Simple	19°49'43"S 43°57'23"O	810
3	Simple	19°49'48"S 43°57'23"O	810
4	Doble	19°49'48"S 43°57'28"O	810
5	Doble	19°49'55"S 43°57'23"O	810
6	Simple	19°49'53"S 43°57'27"O	810
7	Doble	19°49'53"S 43°57'28"O	810
8	Doble	19°49'48"S 43°57'31"O	800
9	Simple	19°49'58"S 43°57'38"O	780
10	Simple	19°50'9"S 43°57'36"O	800
11	Simple	19°50'10"S 43°57'41"O	800
12	Simple	19°50'13"S 43°57'42"O	800
13	Simple	19°50'21"S 43°57'48"O	810
14	Doble	19°50'21"S 43°57'14"O	810

Fuente: Elaborado por los autores (2025)

### Variables Meteorológicas

Las condiciones atmosféricas fueron registradas durante la visita técnica realizada en junio de 2025, en el intervalo comprendido entre las 15:00 y las 18:30 horas, en las 14 ubicaciones correspondientes a los jardines de lluvia evaluados. Durante el recorrido de campo, se registró una presión atmosférica constante de 716 mmHg y una humedad relativa promedio del 53 % en todos los puntos de muestreo. Estos datos fueron obtenidos mediante instrumentos portátiles de medición y verificados con fuentes meteorológicas oficiales (INMET). Las condiciones climáticas observadas pueden considerarse representativas de un ambiente seco y estable, característico del periodo seco de

Belo Horizonte, lo cual tiene implicaciones directas en la evapotranspiración, el estado higrométrico del suelo y la respuesta hidráulica inmediata de los dispositivos de biorretención durante eventos posteriores. Estas variables ambientales son clave para contextualizar los datos obtenidos en campo, ya que la presión atmosférica puede influir levemente en los procesos de infiltración en suelos saturados, mientras que la humedad relativa afecta el balance hídrico y el comportamiento de las especies vegetales seleccionadas en los jardines de lluvia. El análisis climático puntual complementa la caracterización morfológica e hidrológica de los dispositivos, proporcionando un marco ambiental bajo el cual se evaluó su estado estructural, vegetativo y funcional.

### Vegetación

La identificación botánica se realizó mediante observación directa y verificación con la aplicación iNaturalist, la cual permitió determinar el género y especie, y evaluar su compatibilidad teórica con condiciones de humedad variable, exposición solar y capacidad de retención de agua. La selección de especies es clave para garantizar la eficiencia ecológica del jardín de lluvia, ya que cada planta cumple funciones específicas como estabilización del sustrato, absorción de agua, reducción de escorrentía y mejora paisajística.

Tabla 2 – Lista de jardines de lluvia en la visita de campo de junio de 2025 con coordenadas geográficas en Belo Horizonte

Nombre común	Nombre científico
Dianella	<i>Dianella tasmanica</i>
Neomarica	<i>Neomarica northiana</i>
Sábila / Aloe vera	<i>Aloe vera</i>
Trapoceraba roxa	<i>Tradescantia pallida</i>
Petunias	<i>Petunia hybrida</i>
Coleo	<i>Plectranthus scutellarioides</i>
Lirio africano	<i>Agapanthus africanus</i>
Barba de serpiente	<i>Ophiopogon japonicus</i>
Orejas de burro	<i>Kalanchoe gastonis-bonnieri</i>
Papayuelo	<i>Vasconcellea pubescens</i>
May morado	<i>Peristrophe bivalvis (posible)</i>
Abacaxi	<i>Ananas comosus</i>
Lengua de suegra	<i>Sansevieria trifasciata</i>
Ruellia	<i>Ruellia simplex</i>

Fuente: Elaborado por los autores (2025)

La inclusión de especies vegetales en jardines de lluvia no solo responde a criterios estéticos, sino que desempeña un papel fundamental en el funcionamiento hidrológico, ecológico y estructural del sistema. Las plantas seleccionadas deben ser capaces de adaptarse a condiciones variables de humedad, tolerar encharcamientos temporales y períodos de sequía, y al mismo tiempo contribuir activamente a los procesos de biofiltración, evapotranspiración y estabilización del suelo, facilitando la infiltración y reducir la escorrentía superficial. Las raíces de las plantas crean canales porosos que favorecen el movimiento vertical del agua hacia los horizontes más profundos del suelo, reduciendo la velocidad del escurrimiento y promoviendo la recarga del acuífero.

Filtrar contaminantes y retener sedimentos las hojas, tallos y raíces actúan como barreras naturales que interceptan partículas sólidas y metales pesados, mejorando la calidad del agua



infiltrada. La cobertura vegetal protege la superficie del jardín frente al impacto directo de la lluvia y el escurrimiento, ayudando a mantener la integridad estructural [León Romero (2017)].

Las especies identificadas en el presente estudio, como *Neomarica northiana*, *Dianella tasmanica*, *Ruellia simplex*, *Sansevieria trifasciata* y *Agapanthus africanus*, cumplen distintos roles dentro del jardín de lluvia. Algunas de ellas, como la barba de serpiente (*Ophiopogon japonicus*) o el coleo (*Plectranthus scutellarioides*), se utilizan principalmente como cobertura vegetal densa para proteger el sustrato, mientras que otras como la sábila (*Aloe vera*) o el papayuelo (*Vasconcellea pubescens*) ofrecen interés botánico y funcionalidad ecológica adicional por sus capacidades de retención de agua y resistencia al estrés hídrico.

### **Vegetación ornamental**

Con base en las funciones hidrológicas, ecológicas y paisajísticas que debe cumplir la vegetación en un jardín de lluvia, se proponen diversas especies ampliamente utilizadas en sistemas urbanos de drenaje sostenible. Como menciona Melo *et al.* (2014), la selección se fundamenta en criterios como resistencia a condiciones variables de humedad, capacidad de filtración, tolerancia a contaminantes, eficiencia en la retención de agua, estabilización del sustrato y bajo requerimiento de mantenimiento (p.149). Las especies recomendadas son: Cañafistula (*Cassia fistula*), una planta ornamental con amplia adaptación a ambientes tropicales, que aporta sombra y mejora el paisaje urbano. Para la estabilización del suelo y control de escorrentía, se sugiere el uso de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), una gramínea perenne con sistema radicular profundo, ideal para prevenir la erosión y facilitar la infiltración. En zonas de mayor humedad o puntos de entrada del agua, especies como la totora (*Typha domingensis*) y el lirio de los pantanos (*Iris pseudacorus*) ofrecen un excelente desempeño en la retención de agua, filtración de nutrientes y absorción de contaminantes. Para la cobertura vegetal y regulación del microclima se recomienda incorporar plantas como el pasto limón (*Cymbopogon citratus*), el platanillo de sombra (*Heliconia spp.*) y la cola de caballo (*Equisetum hyemale*), todas con buena tolerancia a suelos húmedos y gran valor estético.

Asimismo, las cyperáceas como *Cyperus papyrus* y *Cyperus alternifolius* son excelentes para zonas anegadas y aportan un gran volumen vegetal sin comprometer la capacidad de infiltración del sistema. En áreas más secas del jardín, pueden utilizarse especies como el sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*), la crotalaria (*Crotalaria juncea*) o la espada de San Jorge (*Sansevieria cylindrica*), que además de su función estructural, contribuyen a la biodiversidad y al equilibrio del jardín. Para bordes o zonas de transición se propone el uso del bambú enano (*Bambusa multiplex*), que ayuda a contener el sustrato y mejora la estética del entorno. Estas especies, combinadas de forma estratégica según zonas de humedad, exposición solar y función ecológica, permiten optimizar el rendimiento de los jardines de lluvia, aumentar su vida útil y maximizar los beneficios ambientales que brindan en contextos urbanos [Melo *et al.* (2014)].

## **CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES**

En el contexto urbano contemporáneo, los jardines de lluvia se consolidan como una solución basada en la naturaleza con gran potencial para mitigar los efectos negativos de la urbanización sobre el ciclo hidrológico. Con el fin de evaluar su desempeño y formular recomendaciones técnicas aplicables tanto a Belo Horizonte como a otras ciudades, se llevó a cabo un estudio diagnóstico sobre 14 jardines de lluvia ubicados en dos sectores del municipio.

Para caracterización morfológica y funcional de los dispositivos, se recopilaron datos sobre dimensiones internas, configuración estructural, integración con la vía pública, cobertura vegetal, presencia de elementos de control de caudal y señalización. El análisis reveló una tipología



constructiva homogénea con variaciones mínimas entre los jardines, así como la incorporación de franjas de grava en las zonas de entrada y salida. Sin embargo, se observaron procesos de asolvamiento por acumulación de sedimentos y hojarasca en la mayoría de los dispositivos, lo que sugiere deficiencias en el mantenimiento regular.

En varios jardines también se identificó una cobertura vegetal incompleta, con sectores dominados por maleza o incluso áreas desnudas, en contraste con otros dispositivos en mejores condiciones vegetativas. Esta variabilidad se relaciona, en parte, con el régimen de mantenimiento aplicado y con la selección inadecuada de especies para las condiciones locales. En visitas anteriores, durante eventos de precipitación, se constató que en muchos casos el caudal no era captado de forma efectiva, ya sea por la presencia de barreras físicas (como franjas de grava al mismo nivel de la calzada), por deficiencias en la pendiente de entrada, o por la falta de canalización directa del flujo mediante canaletas. En consecuencia, el agua rodeaba los dispositivos o generaba acumulaciones en la vía, reduciendo drásticamente la eficiencia del sistema.

Se identificó, además, un desequilibrio en el perfil topográfico interno de algunos jardines, particularmente en aquellos con pendiente longitudinal pronunciada. Esto provocaba una distribución desigual de la lámina de agua, con acumulaciones excesivas en la zona de salida y escurrimientos prematuros a través del aliviadero, incluso sin haber alcanzado la capacidad máxima de almacenamiento.

A continuación, se formulan algunas directrices para mejorar la gestión de los jardines de lluvia existentes y servir de referencia para proyectos futuros:

**Optimización de las salidas hidráulicas:** Se recomienda que los dispositivos incorporen dos salidas opuestas (a ambos extremos del sistema), con el propósito de prolongar el tiempo de residencia del agua dentro del jardín, favoreciendo la infiltración y el tratamiento por biorretención.

**Criterios para la selección vegetal:** La elección de especies debe responder a condiciones locales, considerando la precipitación media anual, la humedad del sitio, la capacidad de adaptación a encharcamientos periódicos y su contribución a la biodiversidad y a la estética del paisaje urbano.

**Manejo y mantenimiento preventivo:** Es fundamental establecer protocolos de mantenimiento periódico que incluyan la remoción de sedimentos, residuos orgánicos y especies invasoras, así como el restablecimiento de la vegetación donde se haya perdido cobertura.

**Diseño topográfico interno:** La pendiente interna debe ser cuidadosamente diseñada para garantizar una distribución equilibrada del agua en todo el jardín, evitando acumulaciones excesivas en zonas específicas que comprometan la funcionalidad del sistema.

**Integración urbana y señalización:** La incorporación de señalización visible y adecuada no solo mejora la seguridad vial y peatonal, sino que también permite identificar estos dispositivos como parte de una red de infraestructura verde, promoviendo su apropiación por parte de la comunidad.

El análisis detallado de estos 14 jardines de lluvia permitió identificar factores críticos que condicionan su desempeño en el contexto urbano de Belo Horizonte. La correcta aplicación de las directrices aquí formuladas contribuirá a mejorar la eficiencia hidráulica, ecológica y paisajística de estos sistemas, al tiempo que fortalecerá su papel como herramienta estratégica para la gestión sostenible del agua en entornos urbanos.

## REFERENCIAS

ARROYO ZAMBRANO, T. I., MASERA C., O., & FUENTES GUTIÉRREZ, A. (2016). *“Adopción e impactos de los sistemas de captación de agua de lluvia”*. Ecotec.

GONDIM, F., OHNUMA JÚNIOR, A. A., & OBRACZKA, M. (2023). *“Jardins de chuva: Atualizações sobre a técnica a partir de uma revisão sistemática”*. MIX Sustentável, 9(5). <https://doi.org/10.29183/2447-3073.mix2023.v9.n5.201-215>.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET) (2025). *“Belo Horizonte”*. Disponible en: <<https://portal.inmet.gov.br/noticias/noticias?noticias=Belo%20Horizonte>>. Acceso en: 16 jun. 2025.

LEÓN ROMERO, L. M. (2017). *“Aprovechamiento sostenible de recursos hídricos pluviales en zonas residenciales”*. Pontificia Universidad Católica Del Perú.

MELO, T. A. T., COUTINHO, A. P., CABRAL, J. J. S. P., ANTONINO, A. C. D., & CIRILO, J. A. (2014). *“Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas”*. Ambiente Construído, 14(4). <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000400011>.

TORRES CHAMAT, C. A., & MORALES PINZON, T. (2022). *“Sistemas alternativos de captación y almacenamiento de agua desde la perspectiva del metabolismo social, Quibdó, Colombia”*. Jangwa Pana, 21(3). <https://doi.org/10.21676/16574923.4785>.