

# Cambios en la superficie del área verde urbana en la ciudad de Machala, periodo 1991-2023: Una propuesta para un modelo de desarrollo urbano sostenible

Leonardo Adali Espinoza - Enríquez <sup>1</sup>  Jaime Enrique Maza - Maza <sup>2</sup>  Paul Sebastián Amaya-Márquez <sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Maestría en Recursos Naturales Renovables con mención en Manejo y Preservación de los Recursos Naturales, Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Machala, 070205, Ecuador.

<sup>2</sup> Grupo de Investigación para la Conservación, Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Machala, 070205, Ecuador.

<sup>3</sup> Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Técnica de Machala (UTMACH), Machala, 070205, Ecuador.

✉ Correspondencia: [lespinoza2@utmachala.edu.ec](mailto:lespinoza2@utmachala.edu.ec)  + 593 991168300

DOI/URL: <https://doi.org/10.53313/gwj72163>

**Resumen:** La gestión de áreas verdes urbanas es crucial para el bienestar de los residentes y la sostenibilidad ambiental. En ciudades de rápido crecimiento como Machala, es esencial equilibrar el desarrollo urbano con la necesidad de espacios recreativos y ecológicos. Este estudio evaluó los cambios en la superficie de áreas verdes en Machala de 1991, 2007 y 2023. Se aplicó un enfoque metodológico que incluyó la evaluación de ganancias y pérdidas de áreas verdes, su distribución espacial, densidad poblacional, Índice Verde Urbano (IVU), y accesibilidad. Los resultados mostraron un incremento significativo en áreas verdes, alcanzando 802,145.41 m<sup>2</sup> en 2023. Sin embargo, el IVU de Machala sigue siendo insuficiente, con solo 2.60 m<sup>2</sup> por habitante en 2023, frente a los 9 m<sup>2</sup> recomendados por la OMS. Además, la distribución de áreas verdes es desigual, con parroquias céntricas como La Providencia y Machala concentrando la mayoría de estos espacios, mientras que Jubones carece considerablemente. A pesar de algunas pérdidas por construcción, las ganancias netas indican una tendencia positiva. En conclusión, aunque la expansión urbana ha aumentado las áreas verdes, es necesario mejorar su distribución y accesibilidad. Un plan de manejo sostenible es esencial para promover un entorno urbano más saludable y equilibrado.

**Palabras claves:** Áreas verdes urbanas, Índice Verde Urbano, Desarrollo urbano sostenible, Densidad poblacional, Conservación ambiental.

Changes in the urban green area in the city of Machala, period 1991-2023: A proposal for a sustainable urban development model. *title english*

**Abstract:** Urban green space management is crucial for residents' well-being and environmental sustainability. In rapidly growing cities like Machala, it is essential to balance urban



**Cita:** Espinoza Enríquez, L. A., Maza Maza, J. E., & Amaya Márquez, P. S. (2024). Cambios en la superficie del área verde urbana en la ciudad de Machala, periodo 1991–2023: Una propuesta para un modelo de desarrollo urbano sostenible. *Green World Journal*, 07(02), 163. <https://doi.org/10.53313/gwj72163>

**Received:** 20/July /2024

**Accepted:** 08/August/2024

**Published:** 29/August/2024

Prof. Carlos Mestanza-Ramón, PhD.  
Editor-in-Chief / CaMeRa Editorial  
[editor@greenworldjournal.com](mailto:editor@greenworldjournal.com)

**Editor's note:** CaMeRa remains neutral with respect to legal claims resulting from published content. The responsibility for published information rests entirely with the authors.



© 2024 CaMeRa license, Green World Journal. This article is an open access document distributed under the terms and

development with the need for recreational and ecological spaces. This study evaluated the changes in green space coverage in Machala in 1991, 2007, and 2023. A methodological approach was applied that included the assessment of green space gains and losses, their spatial distribution, population density, Urban Green Index (UGI), and accessibility. The results showed a significant increase in green spaces, reaching 802,145.41 m<sup>2</sup> in 2023. However, Machala's UGI remains insufficient, with only 2.60 m<sup>2</sup> per inhabitant in 2023, compared to the 9 m<sup>2</sup> recommended by the WHO. Additionally, the distribution of green spaces is uneven, with central parishes such as La Providencia and Machala concentrating most of these areas, while Jubones lacks significantly. Despite some losses due to construction, net gains indicate a positive trend. In conclusion, although urban expansion has increased green spaces, their distribution and accessibility need improvement. A sustainable management plan is essential to promote a healthier and more balanced urban environment.

**Keywords:** Urban green spaces, Urban Green Index, Sustainable urban development, Population density, Environmental conservation

## 1. Introducción

La gestión y planificación de áreas verdes urbanas es un tema de creciente interés debido a sus beneficios ambientales, sociales y de salud. Las áreas verdes, como parques y jardines, no solo contribuyen a la estética urbana, sino que también juegan un papel crucial en la mejora del bienestar de los residentes y la sostenibilidad ambiental de las ciudades [1]. En particular, en ciudades en rápida urbanización como Machala, la adecuada distribución y mantenimiento de estas áreas son esenciales para equilibrar el crecimiento urbano con la necesidad de espacios recreativos y ecológicos [2].

A nivel mundial, la problemática de la disminución y degradación de áreas verdes urbanas es una preocupación creciente. La urbanización acelerada en muchas ciudades ha llevado a una reducción drástica de estos espacios, impactando negativamente la calidad del aire, la biodiversidad y la salud pública [3]. Por ejemplo, en ciudades como Nueva York y Londres, la expansión urbana ha provocado la pérdida de áreas verdes esenciales, lo que ha afectado la calidad del aire y aumentado el estrés térmico en las zonas densamente pobladas. [4]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda un mínimo de 9 metros cuadrados de área verde por habitante para asegurar beneficios adecuados en términos de bienestar y salud. Sin embargo, muchas ciudades, especialmente en países en desarrollo, no cumplen con este estándar debido a la falta de planificación adecuada y la presión sobre el uso del suelo urbano para la construcción residencial y comercial [5]. En ciudades como Lagos y Ciudad de México, la falta de áreas verdes accesibles ha exacerbado los problemas de salud pública y ha limitado las oportunidades para la recreación y el esparcimiento [6].

Las áreas verdes juegan un papel crucial en la mitigación del cambio climático al absorber dióxido de carbono, producir oxígeno y regular las temperaturas urbanas. Además, proporcionan hábitats para la fauna urbana y fomentan la biodiversidad, lo cual es esencial para mantener el equilibrio ecológico en entornos urbanos [7]. Sin estas áreas, las ciudades se enfrentan a un aumento en el efecto de isla de calor, mayores niveles de contaminación y una reducción en la calidad de vida de sus habitantes. La accesibilidad y equidad en la distribución de áreas verdes también son preocupaciones importantes. En muchas ciudades, los espacios verdes están desigualmente distribuidos, con comunidades de bajos ingresos a menudo teniendo menos acceso a estos espacios que las áreas más ricas. Esto no solo exacerba las desigualdades sociales, sino que también limita los beneficios de salud y bienestar que estas áreas pueden proporcionar [6].

Diversos estudios han demostrado los múltiples beneficios de las áreas verdes urbanas. Estas zonas proporcionan un respiro del entorno construido, reducen la contaminación atmosférica,

moderan las temperaturas urbanas y ofrecen espacios para la recreación y la interacción social [4]. Sin embargo, la rápida expansión de las ciudades a menudo lleva a una reducción en la cantidad y calidad de estos espacios, afectando su capacidad para cumplir con los estándares internacionales recomendados [8]. En Machala, el crecimiento urbano ha sido notable desde 1991, con un aumento significativo en la población y una expansión de la frontera urbana [9]. Este fenómeno plantea preguntas sobre cómo ha evolucionado la infraestructura verde en la ciudad y si cumple con las recomendaciones internacionales.

A pesar de la importancia de las áreas verdes, existe una brecha en la investigación longitudinal sobre su distribución y calidad a lo largo del tiempo en ciudades específicas. Mientras que estudios en otras partes del mundo han abordado el impacto de la urbanización en las áreas verdes, las investigaciones centradas en Machala y otras ciudades similares son limitadas [8]. Por ejemplo, estudios previos han utilizado datos desactualizados o han abordado periodos de tiempo demasiado cortos, lo que limita la comprensión completa de las tendencias y desafíos actuales en la gestión de áreas verdes [10]. Además, muchas investigaciones han identificado limitaciones en la disponibilidad de datos y en la capacidad para evaluar la accesibilidad y el uso de estos espacios de manera integral [11]. Por tal motivo, este estudio busca llenar un vacío en la investigación sobre la evolución de las áreas verdes urbanas en Machala, proporcionando directrices para futuras políticas y prácticas urbanas [2].

El objetivo de este estudio es evaluar los cambios en la superficie de las áreas verdes urbanas en la ciudad de Machala, mediante el análisis de información cartográfica de los años 1991, 2007 y 2023. Para ello, se emplean sistemas de información geográfica (SIG) y datos censales del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) con el fin de analizar su distribución y cumplimiento con las recomendaciones internacionales [3]. Este análisis exhaustivo es fundamental para comprender la transformación de las áreas verdes en respuesta al crecimiento urbano y para identificar oportunidades de mejora en la planificación y gestión de espacios verdes [2]. La hipótesis central de esta investigación es que la expansión urbana en Machala ha llevado a cambios significativos en la cantidad y distribución de las áreas verdes, y que estos cambios han afectado el cumplimiento con los estándares internacionales recomendados.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1 Área de estudio

Machala se encuentra al suroeste del Ecuador, en la región litoral. Es la ciudad más poblada y cabecera cantonal de la provincia de El Oro, con una superficie de aproximadamente 372.92 kilómetros cuadrados. El estudio se llevó a cabo en su casco urbano, al noroeste del cantón, dentro de un sistema de esteros cercanos al río Jubones, que delimita el territorio de la parte urbana al norte de la ciudad [10]. Machala cuenta con una población actual de aproximadamente 308,712 habitantes [12]. Su clima es tropical, con una temperatura promedio anual de 25°C y una precipitación media anual de 970 mm, caracterizada por una estación lluviosa que va de diciembre a mayo y una estación seca de junio a noviembre. La ciudad presenta una variedad de usos de suelo que incluyen áreas residenciales, comerciales, industriales y agrícolas. Según Bencomo [2], en Machala se encuentra el 43% de la población económicamente activa provincial, laborando la mayor parte en el sector comercial.

En términos de biodiversidad, Machala alberga una diversidad de especies florísticas y faunísticas. Las especies florísticas comunes incluyen mangles, ceibos, almendros y diversas

especies de palmas. En cuanto a la fauna, se pueden encontrar especies como garzas, iguanas, cangrejos y una variedad de aves migratorias que utilizan los esteros como hábitat [12].

Con el propósito de realizar un análisis más exhaustivo y zonificado, se realizó una delimitación entre las 7 unidades de gestión territorial (parroquias urbanas), siendo estas: El Cambio, Jambelí, Jubones, La Providencia, Machala y Pto. Bolívar, las mismas que conforman la ciudad policéntrica según el plan de ordenamiento territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón Machala [12] (ver figura 1). La zonificación permite identificar las diferencias en la disponibilidad y calidad de las áreas verdes en distintas partes de la ciudad, evaluando cómo la distribución de estos espacios influye en la accesibilidad y el bienestar de los habitantes en cada parroquia. Además, facilita la identificación de áreas con mayor necesidad de intervención para equilibrar la distribución de áreas verdes y mejorar la equidad en el acceso a estos espacios.

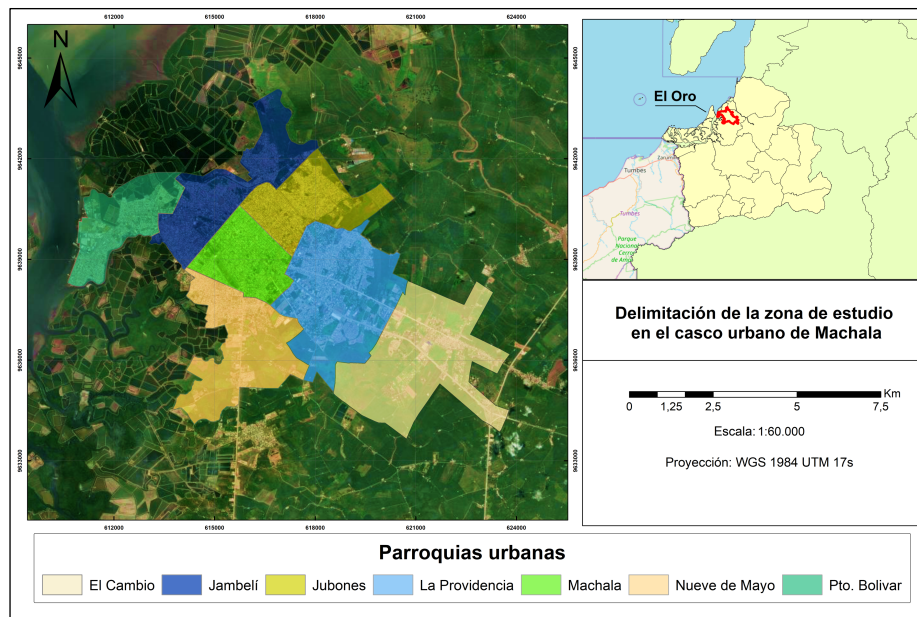


Figura 1. Delimitación de las parroquias urbanas del cantón Machala

## 2.2 Metodología

El diseño metodológico de este estudio adopta un enfoque cuantitativo para describir el estado y la evolución de las áreas verdes en el período comprendido entre 1991 y 2023. Se llevó a cabo un análisis zonificado en las siete parroquias urbanas del cantón, con el objetivo de identificar y abordar las problemáticas relacionadas con la distribución de las áreas verdes urbanas, proporcionando así una base sólida para la formulación de estrategias orientadas a la resiliencia y sostenibilidad urbana.

Para evaluar la infraestructura verde de las zonas urbanas de la ciudad de Machala, se empleó un enfoque estructurado en varias etapas. Estas etapas incluyeron la recopilación de datos, análisis de la clasificación y evaluación de ganancias y pérdidas temporales de las áreas verdes, la distribución espacial de los puntos calientes de transformación de las áreas verdes, la densidad poblacional por parroquias, el índice verde urbano (IVU) y la accesibilidad a áreas verdes. De los resultados obtenidos se realizó un análisis exhaustivo con el propósito de obtener una comprensión integral y precisa del tema, identificando patrones, tendencias, relaciones causales y posibles implicaciones, para finalmente establecer estrategias para la resiliencia y sostenibilidad urbana.

### 2.2.1 Clasificación de áreas verdes



Para este estudio, se utilizó la definición de áreas verdes del INEC, que establece que el verde urbano se calcula a partir de áreas o zonas de interés naturalístico o cultural, las cuales deben ser gestionadas por entes públicos [15]. Se realizó una clasificación basada en el estudio del INEC para las áreas verdes del año 2012 (ver Tabla 1).

**Tabla 1.** Categorías de áreas verdes establecidas por el INEC

Categoría	Descripción
Parque	Se incluyen los parques presentes en el Sistema de Información Local (SIL) del GAD municipal de Machala y parques de urbanizaciones.
Plaza	Ornato histórico-cultural de la ciudad.
Cancha	Espacios para realizar deporte y actividades recreativas al aire libre.
Otros	Se incluyen parterres, redondeles, lotes baldíos, cementerios y jardines.

### 2.2.2 Recopilación de datos

La identificación de áreas verdes para el año 2023 se llevó a cabo utilizando el programa Google Earth Pro (GEP), con el apoyo de mapas y datos del Sistema de Información Local (SIL) del municipio de Machala del año 2022 [13]. Las áreas verdes del año 2007 fueron identificadas con imágenes satelitales históricas de la base de datos de GEP (Tabla 2). En el año 1991, no se disponía de imágenes satelitales de GEP con la calidad suficiente para llevar a cabo una identificación manual. Por lo tanto, se optó por realizar una clasificación supervisada, la cual requiere el uso de datos de entrenamiento. Estos datos son píxeles ubicados en una cobertura conocida con anterioridad, de los cuales se extrae información de reflectancia para crear una firma espectral [14]. Como datos de entrenamiento se usaron parques que ya existían en ese año, y vegetación presente en el interior de la zona urbana. El terreno fue clasificado mediante la técnica "máxima similitud", donde cada pixel es asignado a una clase según la probabilidad que tenga para pertenecer a dicha clase [15]. Para este procedimiento se utilizó una imagen satelital del satélite Landsat 5 de junio de 1991 cortesía del Servicio Geológico de Estados Unidos.

**Tabla 2.** Insumos usados como material de apoyo

Insumo	Fuente
Mapa de parques	SIL – Parques <sup>1</sup>
Mapa de plazas	SIL – Plazas <sup>2</sup>
Mapa de rondes	SIL – Redondeles <sup>3</sup>
Mapa de canchas	SIL – Canchas <sup>4</sup>
Mapa de Unidades de Gestión Territorial (UGT)	Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Machala – Actualización 2022 <sup>5</sup>
Imágenes satelitales históricas años de 2007 y 2023	Google Earth Pro

Base de Datos – Censo de Población y vivienda 1990, 2001, 2010 y 2022	Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC)
Imagen satelital Landsat 5 de junio de 1991	Servicio Geológico de Estados Unidos <sup>6</sup>

### 2.2.3 Ganancias y pérdidas temporales de las áreas verdes

Se identificaron los sitios con pérdidas y ganancias de áreas verdes para los periodos 1991–2007 y 2007–2023 con la ayuda del módulo Land Change Modeler (LCM) de IDRISI Selva, software de planificación territorial usado para simplificar el análisis de cambios y facilitar la toma de decisiones [11]. El diseño metodológico usado para el análisis de pérdidas y ganancias fue igual al propuesto por Singh, Venkatramanan y Deshmukh [11], convirtiendo toda la información de formato vectorial a ráster, con la misma resolución y extensión para asegurarse de una máxima precisión. Se realizó una tabla con una estimación del área de los cambios, incluyendo también las ganancias netas y las tasas de cambio.

### 2.2.4 Distribución espacial de los cambios

Se realizaron mapas de puntos calientes a partir de las ganancias netas que tuvieron las áreas verdes, con el objetivo de mostrar donde se ha concentrado su creación en ambos periodos. Los mapas fueron realizados usando una estimación por kernel density, según Krisp y Špatenková [16], estas estimaciones pueden ser usadas para visualizar y analizar patrones temporales.

### 2.2.5 Densidad poblacional por parroquias

Se realizó una tabla para explicar la relación existente entre la densidad y la distribución de áreas verdes usando una metodología similar a la usada por el INEC en su primer estudio del índice verde urbano [17], esto con el objetivo de saber si se justifica o no este crecimiento. Los datos de densidad por parroquia fueron estimados a partir de información censal por manzanas del año 2010, la cual fue georreferenciada y asignada a las 7 unidades territoriales. Esta densidad fue proyectada usando la tasa de crecimiento poblacional para el periodo 2010–2022, estimando la población presente en cada parroquia al año 2023.

### 2.2.6 Índice verde urbano

El cálculo del índice verde urbano (IVU) se realizó mediante la ecuación (1):

$$IVU = \frac{\text{áreas verdes (m}^2\text{)}}{\text{número de habitantes en la zona urbana}} \quad (1)$$

Para estimar la población en cada periodo se recopiló información censal del INEC sobre la población en el casco urbano del cantón Machala. Usando una ecuación (2) de crecimiento geométrico [18] se proyectó la población en los años 1991, 2007 y 2023.

$$N^f = N^i (1 + r)^k \quad (2)$$

Donde:

$N^f$  = Población final (proyección)

$N^i$  = Población inicial (último censo)

$r$  = Tasa de crecimiento

$k$  = Tiempo transcurrido en años

Las tasas de crecimiento fueron calculadas a partir de los censos poblacionales de 1990, 2001, 2010 y 2022 usando la misma fórmula, pero despejada en función de  $r$  (3).

$$r = \left(\frac{N^f}{N^i}\right)^{\frac{1}{k}} - 1 \quad (3)$$

Para la proyección poblacional al año 1991 se usó la tasa calculada a partir del periodo 1990–2001, para el año 2007 se usó la tasa de crecimiento del periodo 2001–2010 y para el 2023 se utilizó la tasa del periodo 2010–2022.

### 2.2.7 Accesibilidad a áreas verdes

Según Natural England [19], las áreas verdes deberían ser accesibles para toda la población, debiendo encontrarse al menos a no más de 5 minutos a pie o 300 metros lineares, por esto se realizó un mapa de distancias para calcular las zonas que no cumplen con esta recomendación, usando las áreas verdes del año 2023 y tomando en cuenta las zonas antrópicas recuperadas de los mapas de cobertura y uso de suelo del ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [20] para tener una mejor perspectiva de las áreas excluidas.

## 3. Resultados

### 3.1. Clasificación de áreas verdes

En 1991 se lograron identificar 289408 m<sup>2</sup> de áreas verdes, donde 171543.4 m<sup>2</sup> pertenecen a la categoría otros (ver figura 2), la cual incluye parterres, redondeles, cementerios y jardines. En el año 2007 se identificaron 403335.21 m<sup>2</sup> encontrándose la mayoría también dentro de la categoría Otros, las siguientes categorías con mayor área fueron las canchas seguido de los parques. Para el año 2023 se obtuvieron cerca de 802145.41 m<sup>2</sup>. La categoría Otros se mantuvo primera, pero se logró observar un aumento en los parques, superando en cuanto a porcentaje a las canchas.

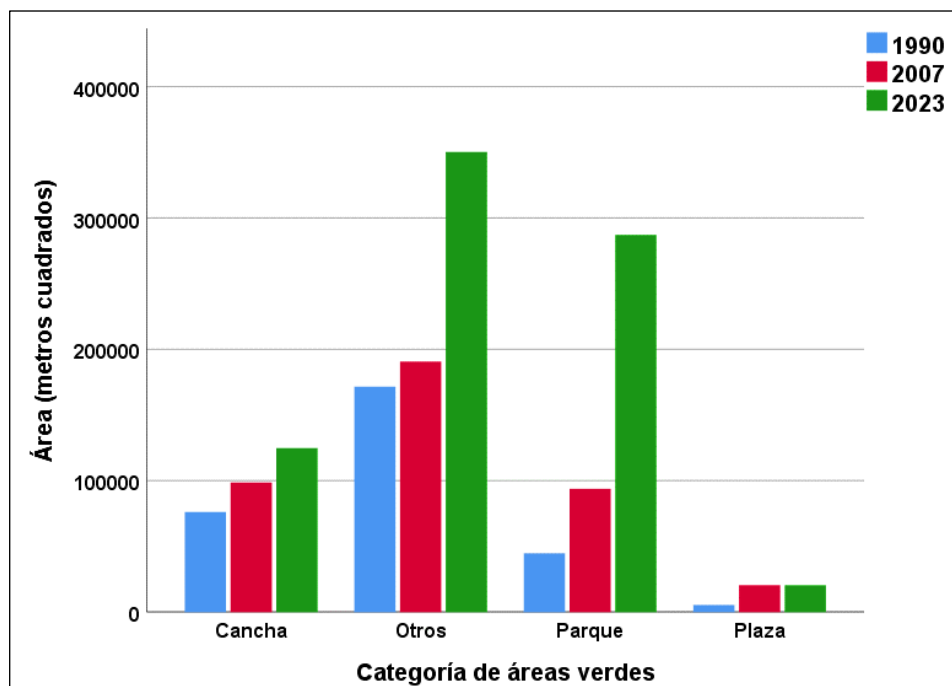


Figura 2. Superficie por categoría de áreas verdes para los años 1991, 2007 y 2023

3.2. Ganancias y pérdidas de áreas verdes

Tabla 3. Ganancias y pérdidas de áreas verdes por periodos de estudio

Periodo	Áreas verdes iniciales (m <sup>2</sup> )	Áreas verdes finales (m <sup>2</sup> )	Ganancias (m <sup>2</sup> )	Pérdidas (m <sup>2</sup> )	Ganancias netas (m <sup>2</sup> )	Tasa de cambio (%)
1991-2007	289408	403335.2	125923.9	11996.7	113927.2	39.4%
2007-2023	403335.2	802145.4	420817.9	22007.7	398810.2	98.9%

En la tabla 3, se observa las ganancias y pérdidas de las áreas verdes en los 2 periodos temporales reflejando la evolución de estas a lo largo de 32 años. Para el primer periodo se observaron unas ganancias netas de 113927.21 m<sup>2</sup> y una tasa de cambio de 39.37% mientras que para el segundo periodo se logró observar unas ganancias netas de 398810.20 y un 98.88% de tasa de cambio

3.3. Distribución espacial de los cambios

Durante el año 1991, Jubones fue la parroquia que presentó menor cantidad de áreas verdes con apenas un 3.33%. La mayoría de áreas verdes se encontraban concentradas en la parroquia La Providencia con un 33.36% del total, tendencia que se mantiene también en el 2007, donde sigue primera con un 26,55%. Al año 2023 Machala se convierte en la parroquia que encabeza la lista con un 35.20% (ver tabla 3), mientras que Jubones se encuentra último en la lista con apenas 3.64% del total de áreas verdes.

En la figura 3, se puede apreciar los puntos calientes (indicados en rojo) donde se ha concentrado la creación de áreas verdes (crecimiento verde). En el periodo 1991–2007 ocurrió principalmente en la zona céntrica de la ciudad mientras que en el periodo 2007–2023 (ver figura 4) este crecimiento se dio en la periferia del casco urbano, con un gran aumento de áreas verdes en la parroquia la Providencia y un crecimiento más fragmentado en el resto de parroquias.

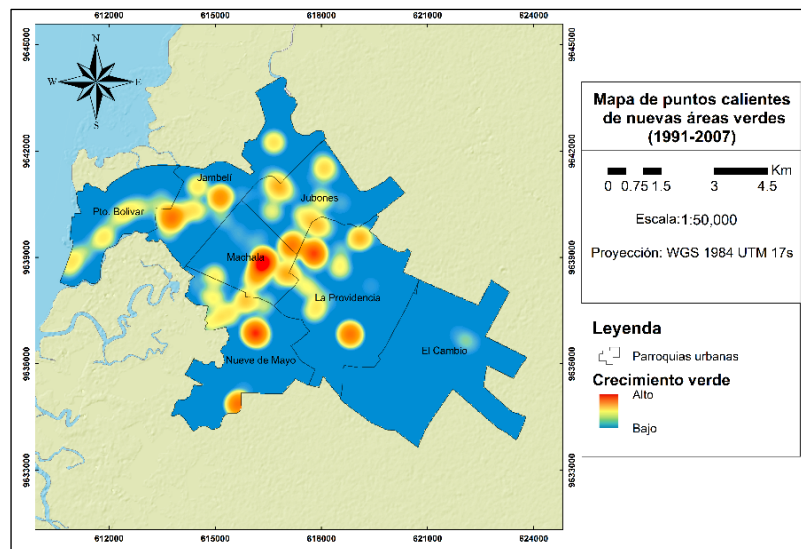


Figura 3. Mapa de puntos calientes de nuevas áreas verdes, periodo (1991–2007)

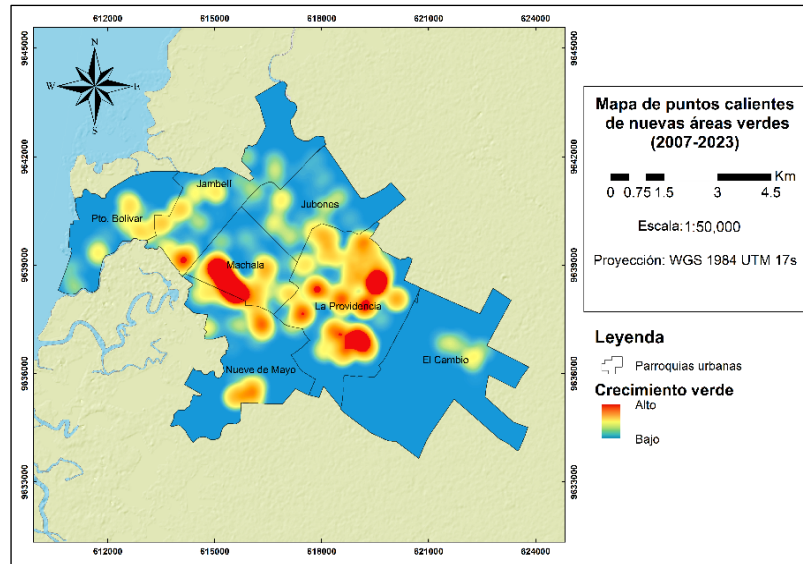


Figura 4. Mapa de puntos calientes de nuevas áreas verdes, periodo (2007–2023)

3.4. Áreas verdes y densidad poblacional.

Con una tasa de crecimiento de 1.9% entre 2010 y 2022, se realizó una estimación de la densidad poblacional sectorizada en el año 2023, actualizando la información disponible hasta la fecha. En la tabla 4 se presentó una gran variabilidad en los resultados, la parroquia con mayor densidad de habitantes fue Machala, la cual presenta también el mayor porcentaje de áreas verdes. Jubones, Jambelí y Puerto Bolívar son las siguientes parroquias que presentan la mayor densidad poblacional, pero entre las tres suman apenas el 17.92% del total de áreas verdes del casco urbano.

Tabla 4. Densidad poblacional y áreas verdes al año 2023

Parroquia	Número de habitantes	Densidad (Habitantes/ha)	Áreas verdes (%)
Machala	68139	135.9	35.3
Jubones	59530	95.6	3.6
Jambelí	63356	79.8	10.5
Puerto Bolívar	45648	79.3	4.2
Nueve de Mayo	28776	32.1	11.2
La Providencia	36376	30.3	30.2
El Cambio	6888	5.2	5

3.5 Índice verde urbano

Tabla 5. Población urbana e Índice Verde Urbano del cantón Machala

Datos (INEC)	Número de habitantes (zona urbana)	Tasa de crecimiento (r)	Proyección poblacional (Año/habitante)	IVU (m <sup>2</sup> /habitante)
Censo 1990	144197			
		3.64%	(1991) 149456	1.93
Censo 2001	213850			
		1.36%	(2007) 231975	1.74
Censo 2010	241606			
		1.90%	(2023) 308712	2.61
Censo 2022	301771			



La tasa de crecimiento poblacional anual encontrada entre 1990 y 2001 fue de 3.64%, con este dato se realizó la proyección para 1991, donde se encontraron un total de 149456 habitantes. Se encontró una tasa de crecimiento del 1.36% para el periodo 2001–2010 y la población proyectada para el año 2007 fue de 231975 habitantes. Finalmente, la tasa del periodo 2010–2022 fue del 1.90% y en la proyección al 2023 se estimó una población de 307414 habitantes. Con el total de la población se logró obtener el IVU para cada año de estudio (ver tabla 5).

### 3.6 Accesibilidad a áreas verdes

Según el mapa de distancias (ver figura 5), gran parte de la población reside a menos de 300 metros de las áreas verdes circundantes. Dentro de la zona céntrica y en el norte se pueden encontrar pequeñas áreas que no cumplen con la recomendación de accesibilidad. También se observa que las zonas con áreas verdes a más de 1000 metros son casi inexistentes con excepción de pequeños caseríos apartados en el sureste.

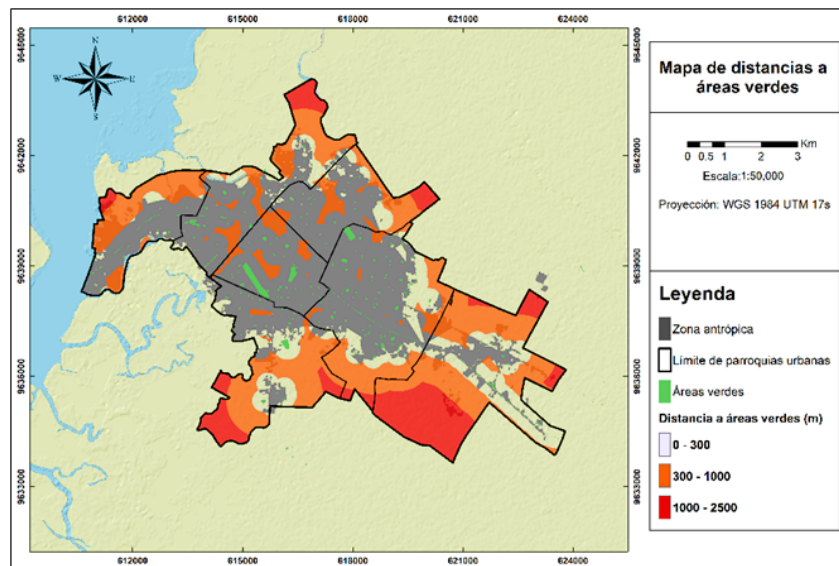


Figura 5. Mapa de distancias a coberturas de áreas verdes

## 4. Discusión

### 4.1 Análisis exhaustivo

El análisis en el periodo 1991–2023 mostró un aumento de 512737.41 m<sup>2</sup> de nuevas áreas verdes, lo que refleja el esfuerzo por mejorar la infraestructura verde igualando el rápido crecimiento urbanístico en la ciudad. El predominio de las categorías otros y canchas en 1991 y 2007 evidencia que las principales áreas verdes eran vegetación y espacios ajardinados no diseñados para el uso recreativo, además de la gran existencia de canchas barriales. Para el año 2023 se regeneraron y crearon nuevos espacios verdes, lotes baldíos y llenos de maleza fueron convertidos en parques, así como canchas barriales sin mantenimiento fueron regeneradas. Las urbanizaciones también se encuentran contabilizadas en el estudio, según el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD), entre un 10 y 20% del área urbanizable de estas debe estar destinada a áreas verdes. El aumento de urbanizaciones y fragmentaciones de tierra en la última década supone que estas también aportan en gran medida al total de áreas verdes disponibles. Otro estudio similar estimó las áreas verdes en el año 2018 en

un valor de 773319.25 m<sup>2</sup> [10], lo que supone un aumento de 28826.16 m<sup>2</sup> para el año 2023 en la actual investigación.

Además de las ganancias en las áreas verdes durante ambos periodos de análisis, se observaron pérdidas que corresponden a terrenos que en su mayoría fueron ocupados para la construcción de infraestructura civil, un efecto común en la rápida urbanización [21]. Burszta-Adamiak y Fialkiewicz [22] indican que la expansión urbana puede reducir las áreas verdes debido al desarrollo de la ciudad para uso residencial, comercial y de transporte. Durante ambos periodos de 16 años se pudo observar que las ganancias superaron a las pérdidas, por lo que se obtuvo una tasa de cambio positiva que sugiere un aumento en la cantidad de áreas verdes. Este aumento fue leve para el primero periodo de estudio, con un 39.37%, pero para el segundo esta tasa aumentó en gran manera llegando a duplicar al periodo anterior.

En el análisis sectorizado de las áreas verdes se encontró que las parroquias céntricas La Providencia y Machala fueron las que han contado con la mayor cantidad de áreas verdes durante los periodos temporales estudiados, mientras que Jubones ha sido una de las parroquias que cuenta con menor cantidad de áreas verdes.

Usando el mapa de puntos calientes se logró visualizar con claridad que durante el periodo 2007-2023 las zonas periurbanas al este y suroeste de la ciudad son las que presentan mayor crecimiento. La peri urbanización es un proceso en el cual se urbanizan tierras rurales, donde históricamente se asentaban comunidades campesinas. En estas zonas se encuentran principalmente urbanizaciones y fragmentaciones de tierra con un crecimiento ordenado lo que propicia la creación de áreas verdes [1]. Con una extensión de 15 hectáreas el Parque Ecológico Zoila Ugarte también sobresale en el mapa como un punto caliente.

El análisis de la densidad poblacional permitió observar que existen áreas densamente pobladas las cuales cuentan con muy pocas áreas verdes disponibles. Jubones, Jambelí y Puerto Bolívar se ubican entre las parroquias más densamente pobladas, pero cuentan con escaso acceso a áreas verdes. Según Gozalo, Morillas y González [1] el espacio limitado en las ciudades es el factor que determina el tamaño de las áreas verdes. En las áreas densamente pobladas el suelo es más escaso, por lo que se prioriza para la construcción de viviendas y áreas comerciales. Así mismo una expansión urbanística desordenada puede ser otro factor que limite la creación de áreas verdes.

Los IVU estimados para cada año de estudio se encuentran muy por debajo de los 9 metros cuadrados por habitante recomendados por la OMS [3]. El estudio realizado por Morocho[10] muestra un IVU de 2.73 para el año 2018 mientras que el valor estimado para el año 2023 en el presente estudio fue de 2.61. El cambio se podría explicar por el crecimiento poblacional en este periodo de tiempo, en el año 2023 se estimó una población de 308712, superando por 25354 habitantes al valor de población usado en el estudio del 2018. Cuando la creación de áreas verdes no iguala la expansión urbana y el crecimiento de la población puede ocurrir una reducción en el IVU.

Dentro de la zona céntrica de la ciudad se encuentran pequeñas regiones que no cumplen con la recomendación de tener áreas a menos de 300 metros. Esto se debe principalmente a la gran densidad poblacional en estas áreas y a la alta demanda que tiene el suelo para ser usado en viviendas o comercios. Aun así, se aprecia que gran parte de la ciudad tiene acceso a áreas verdes cercanas lo que es un buen indicador de la gestión que se ha realizado en cuanto a la creación de áreas de recreación y esparcimiento.

#### 4.2 Estrategias para la resiliencia y sostenibilidad urbana

La integración de infraestructura verde en el entorno urbano se ha convertido en una herramienta esencial para promover la resiliencia y sostenibilidad de las ciudades modernas. En el contexto de Machala, se pueden identificar varias estrategias basadas en experiencias exitosas de otras ciudades que han implementado políticas de infraestructura verde para enfrentar los desafíos urbanos.

La diversificación de espacios verdes es fundamental para mejorar la resiliencia ecológica y social de Machala. Estudios realizados en diferentes ciudades europeas han demostrado que la creación de corredores verdes y la restauración de riberas de ríos no solo mejora la biodiversidad local, sino que también actúa como una barrera natural contra inundaciones y deslizamientos de tierra [7]. En Machala, la incorporación de corredores verdes a lo largo de las vías urbanas y la restauración de las áreas verdes adyacentes a cuerpos de agua pueden mitigar los impactos de eventos climáticos extremos, mejorando al mismo tiempo la calidad de vida de los residentes [23].

La participación comunitaria es otro pilar clave en la construcción de ciudades resilientes. La implicación activa de los ciudadanos en la planificación, implementación y mantenimiento de proyectos de infraestructura verde asegura que estos espacios sean utilizados de manera óptima y respondan a las necesidades. Esta participación es crucial para el éxito y la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos de infraestructura verde. [24]. Experiencias en las ciudades como Madrid por ejemplo han demostrado que la participación ciudadana mejora la cohesión social y fomenta un sentido de pertenencia y responsabilidad hacia los espacios verdes [25]. Para Machala, la promoción de programas de participación comunitaria puede incluir la creación de huertos urbanos comunitarios y la organización de talleres de educación ambiental, involucrando a los residentes en el diseño y cuidado de sus espacios verdes [25] [26].

El uso de soluciones basadas en la naturaleza para gestionar el agua de lluvia es una estrategia efectiva que ha sido ampliamente adoptada en diversas ciudades [27]. La implementación de techos y paredes verdes, así como sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia, contribuyen a reducir la escorrentía y a aumentar la resiliencia hídrica de las zonas urbanas [27]. Estas soluciones no solo ayudan a controlar inundaciones, sino que también proporcionan beneficios estéticos y ambientales al mejorar la calidad del aire y reducir el efecto isla de calor urbano [28]. En Machala, estas prácticas pueden integrarse en nuevos desarrollos urbanos y en la rehabilitación de infraestructuras verdes existentes, promoviendo una gestión más sostenible del recurso hídrico [29].

Además, es crucial adoptar políticas de planificación que prioricen la equidad en el acceso a los espacios verdes. La distribución equitativa de la infraestructura verde es fundamental para asegurar que todos los ciudadanos, independientemente de su ubicación geográfica o condición socioeconómica, puedan disfrutar de los beneficios que ofrecen estos espacios [4]. En este sentido, Machala puede aprender de las políticas implementadas en ciudades como París y Madrid, donde se ha buscado equilibrar la oferta de espacios verdes entre los distintos barrios, prestando especial atención a las áreas más vulnerables [30].

Finalmente, la integración de infraestructura verde debe ser apoyada por un marco político sólido que garantice su implementación efectiva. Esto incluye el desarrollo de normativas específicas que promuevan la creación y mantenimiento de espacios verdes, así como incentivos económicos para fomentar prácticas sostenibles entre los desarrolladores urbanos y los ciudadanos [25]. El éxito de estas estrategias depende en gran medida de la colaboración intersectorial y el compromiso

político a largo plazo, elementos que deben ser fortalecidos en el contexto de Machala para asegurar un desarrollo urbano verdaderamente sostenible [27].

### Conclusiones

En conclusión, el estudio sobre las áreas verdes en Machala proporciona una base sólida para futuras políticas y prácticas de planificación urbana sostenible. Los resultados muestran que al menos el 65% de las áreas verdes se encuentran repartidas en las parroquias céntricas de Machala y La Providencia, resultando en una inequidad en cuanto a su distribución. El problema se agrava debido a que las parroquias con mayor densidad poblacional como Jubones, Jambelí o Puerto Bolívar, cuentan con la menor cantidad de áreas verdes de la ciudad. Se evidenció que el IVU en el periodo 1991–2007 disminuyó notablemente debido a que el crecimiento poblacional de la ciudad superó en gran manera a la creación de áreas verdes. Esta tendencia se ve revertida en el periodo 2007–2022, donde la infraestructura verde se expandió en gran medida, destacándose sus puntos calientes en las zonas periurbanas. Los resultados destacan la importancia de una distribución equitativa de las áreas verdes, la necesidad de incrementar el IVU, y la efectividad de la participación comunitaria en la gestión ambiental. La implementación del Plan de Manejo con Enfoque Sostenible contribuirá significativamente a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de Machala, promoviendo un entorno urbano más saludable y equilibrado. La colaboración continua entre autoridades locales, comunidad y organizaciones no gubernamentales será fundamental para lograr estos objetivos.

La implementación de infraestructura verde en Machala es fundamental para fortalecer la resiliencia ecológica y social de la ciudad. La creación de corredores verdes y la restauración de espacios naturales mejoran la biodiversidad y actúan como barreras naturales contra desastres, mientras que la participación ciudadana es crucial para asegurar que estos espacios respondan a las necesidades locales y fomenten la cohesión social. Inspirarse en ejemplos de ciudades como Madrid y París, donde se ha priorizado la equidad en el acceso a espacios verdes, puede guiar el desarrollo de políticas inclusivas en Machala. El compromiso político y la colaboración entre todos los actores son esenciales para un futuro urbano sostenible y equitativo.

**Contribución de autores:** Idea y conceptualización, L. E.-E y J.M.-M.; metodología L. E.-E., J.M.-M y P.A.-M.; Investigación, L. E.-E., J.M.-M y P.A.-M.; redacción, L. E.-E. Y P.A.-M., revisión, J.M.-M y P.A.-M.; supervisión, J.M.-M.

**Financiamiento:** Los autores financiaron a integridad el estudio.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

### Referencias

1. Rey Gozalo, G.; Barrigón Morillas, J.M.; Montes González, D. Perceptions and Use of Urban Green Spaces on the Basis of Size. *Urban Forestry & Urban Greening* **2019**, *46*, 126470, doi:10.1016/j.ufug.2019.126470.
2. Burgo Bencomo, O.B. Planificación Del Desarrollo Provincia El Oro y Cantón Machala: Examen Crítico Desde La Dimensión Cultural. *Conrado* **2022**, *18*, 345–354.
3. ONU-Hábitat III *Habitat III issue papers: 11–public space*; Naciones Unidas: Nueva York, 2015; p. 180;.
4. Wolch, J.R.; Byrne, J.; Newell, J.P. Urban Green Space, Public Health, and Environmental Justice: The Challenge of Making Cities 'Just Green Enough.' *Landscape and Urban Planning* **2014**, *125*, 234–244, doi:10.1016/j.landurbplan.2014.01.017.
5. WHO Regional Office for Europe *Urban green spaces: a brief for action*; Organización Mundial de la Salud (WHO): Copenhagen, Dinamarca, 2107; p. 62;.

6. Kremer, P.; Hamstead, Z.A.; McPhearson, T. The Value of Urban Ecosystem Services in New York City: A Spatially Explicit Multicriteria Analysis of Landscape Scale Valuation Scenarios. *Environmental Science & Policy* **2016**, *62*, 57–68, doi:10.1016/j.envsci.2016.04.012.
7. Andersson, E.; Barthel, S.; Borgström, S.; Colding, J.; Elmqvist, T.; Folke, C.; Gren, Å. Reconnecting Cities to the Biosphere: Stewardship of Green Infrastructure and Urban Ecosystem Services. *Ambio* **2014**, *43*, 445–453, doi:10.1007/s13280-014-0506-y.
8. Cujilema La Periurbanización En La Ciudad de Machala, Factores Preponderantes Del Proceso de Desarrollo Sustentable Entre Los Territorios Urbanos-Rurales Available online: <https://catalog.ihnsn.org/citations/76293> (accessed on 15 July 2024).
9. INEC Índice Verde Urbano | Available online: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indice-verde-urbano/> (accessed on 15 July 2024).
10. Morocho, E.A.P.; Ortega, B.H.R. Análisis del Índice Verde Urbano y crecimiento de la ciudad de Machala en los periodos 2000–2018. *Revista Científica Agroecosistemas* **2021**, *9*, 47–52.
11. Singh, B.; Venkatramanan, V.; Deshmukh, B. Monitoring of Land Use Land Cover Dynamics and Prediction of Urban Growth Using Land Change Modeler in Delhi and Its Environs, India. *Environ Sci Pollut Res* **2022**, *29*, 71534–71554, doi:10.1007/s11356-022-20900-z.
12. Machala, G.A.D.M. de Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Machala 2019–2030. **2022**.
13. Machala, G.A.D.M. de Sistema de Información Local 2023.
14. Thakur, N.; Maheshwari, D. A Review of Image Classification Techniques. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* **2017**, *04*.
15. Sisodia, P.; Tiwari, V.; Kumar, A. Analysis of Supervised Maximum Likelihood Classification for Remote Sensing Image. *International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering, ICRAIE 2014* **2014**, doi:10.1109/ICRAIE.2014.6909319.
16. Krisp, J.M.; Špatenková, O. Kernel Density Estimations for Visual Analysis of Emergency Response Data. In Proceedings of the Lecture Notes in Geoinformation and Cartography; Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2010; Vol. 0, pp. 395–408.
17. Instituto Nacional de Estadística y Censos Índice Verde Urbano 2010.
18. Población (CCP), C.C. de Curso de Demografía 2023.
19. Guidance, N. nearby: A.N.G. Natural England. **2010**.
20. Ambiente, A. y T.E.M. del Mapa Interactivo Ambiental 2015.
21. Lal, R.; Augustin, B. *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*; 2012; ISBN 978-94-007-2365-8.
22. Burszta-Adamiak, E.; Fiałkiewicz, W. A Review of Green Roof Incentives as Motivators for the Expansion of Green Infrastructure in European Cities. *Scientific Review Engineering and Environmental Sciences* 2019, *28*, 641–652.
23. Ben Othmen, M.A.; Laila, M.; Madl, L.; Schachenmayr, F.; Trotta-Brambilla, G. Green Infrastructure: Planning for Sustainable and Resilient Small Towns – Evidence from the Seine Valley in France. In *Sustainable Engineering: Concepts and Practices*; Dunmade, I.S., Daramola, M.O., Iwarere, S.A., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2024; pp. 303–318 ISBN 978-3-031-47215-2.
24. Buijs, A.E.; Mattijssen, T.J.M.; Jagt, A.P.N. van der; Ambrose-Oji, B.; Andersson, E.; Elands, B.H.M.; Møller, M.S. Active Citizenship for Urban Green Infrastructure: Fostering the Diversity and Dynamics of Citizen Contributions through Mosaic Governance. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **2016**, *22*, 1–6, doi:10.1016/j.cosust.2017.01.002.
25. Suárez, M.; Rieiro-Díaz, A.M.; Alba, D.; Langemeyer, J.; Gómez-Baggethun, E.; Ametzaga-Arregi, I. Urban Resilience through Green Infrastructure: A Framework for Policy Analysis Applied to Madrid, Spain. *Landscape and Urban Planning* **2024**, *241*, 104923, doi:10.1016/j.landurbplan.2023.104923.
26. Camps-Calvet, M.; Langemeyer, J.; Calvet-Mir, L.; Gómez-Baggethun, E. Ecosystem Services Provided by Urban Gardens in Barcelona, Spain: Insights for Policy and Planning. *Environmental Science & Policy* **2016**, *62*, 14–23, doi:10.1016/j.envsci.2016.01.007.
27. Umoh, A.A.; Nwasike, C.N.; Tula, O.A.; Ezeigweneme, C.A.; Gidiagba, J.O.; Umoh, A.A.; Nwasike, C.N.; Tula, O.A.; Ezeigweneme, C.A.; Gidiagba, J.O. Green infrastructure development: Strategies for urban resilience and sustainability. *World Journal of Advanced Research and Reviews* **2024**, *21*, 020–029, doi:10.30574/wjarr.2024.21.1.2683.



28. McPhearson, T.; Andersson, E.; Elmqvist, T.; Frantzeskaki, N. Resilience of and through Urban Ecosystem Services. *Ecosystem Services* **2015**, *12*, 152–156, doi:10.1016/j.ecoser.2014.07.012.
29. Fletcher, T.D.; Shuster, W.; Hunt, W.F.; Ashley, R.; Butler, D.; Arthur, S.; Trowsdale, S.; Barraud, S.; Semadeni-Davies, A.; Bertrand-Krajewski, J.-L.; et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and More – The Evolution and Application of Terminology Surrounding Urban Drainage. *Revista de Aguas Urbanas* **2015**.
30. Haase, D.; Kabisch, S.; Haase, A.; Andersson, E.; Banzhaf, E.; Baró, F.; Brenck, M.; Fischer, L.K.; Frantzeskaki, N.; Kabisch, N.; et al. Greening Cities – To Be Socially Inclusive? About the Alleged Paradox of Society and Ecology in Cities. *Habitat International* **2017**, *64*, 41–48, doi:10.1016/j.habitatint.2017.04.005.



© 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>