

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE

**SOLUCIONES BASADAS EN NATURALEZA PARA FORTALECER LOS
PROCESOS DE SOSTENIBILIDAD URBANA EN LA CIUDAD DE SAN RAMÓN,
ALAJUELA.**

Tesis Sometida a la consideración del Programa de Estudios de Postgrado para optar por el grado y título de Maestría en Desarrollo Sostenible con énfasis en Conservación de los Recursos Biológicos.

Enso Barrientos Ávila

TUTOR:

Hugo Villalobos Sánchez

LECTORES:

Michael Moya Calderón

José Luis Fournier Rodríguez

2025

Dedicatoria

A la memoria de mi madre, Yanori, quien sigue presente en espíritu en cada uno de mis logros. Su amor, sabiduría y ejemplo de vida continúan guiando mis pasos. Su fuerza está reflejada en cada decisión que tomo, y esta tesis también le pertenece, porque sin ella no sería la persona que soy hoy.

A mi padre, Gerardo, por enseñarme a enfrentar la vida con valentía, a superar las adversidades y a entregar siempre lo mejor en cada tarea. Su ejemplo de perseverancia y pasión por el trabajo me ha llevado hasta aquí, y le agradezco profundamente su apoyo constante y su infinita paciencia.

A mis hermanos, Jafet, Mario, Isaac y Juan Pablo, por creer en mí, por acompañarme en los momentos difíciles, por compartir conmigo cada etapa de la vida y por celebrar cada paso alcanzado. A Kuro, por acompañarme cada noche y madrugada de trabajo. Gracias por su amor incondicional y por ser siempre un pilar en mi camino.

Agradecimientos

Agradezco al Programa de Posgrado en Desarrollo Sostenible por el acompañamiento constante y la valiosa formación brindada a lo largo de este proceso académico.

A mi comité asesor, conformado por el M.Sc. Hugo Villalobos Sánchez, Michael Moya Calderón y el M.Sc. José Luis Fournier Rodríguez, mi sincero agradecimiento por su compromiso, guía y dedicación. Su acompañamiento ha sido fundamental para el desarrollo de esta investigación.

A Ronald Sánchez Porras y Liz Brenes Cambronero, gracias por su apoyo incondicional durante la recolección de datos en campo, la identificación de especies, y por las conversaciones que inspiraron y motivaron cada etapa del trabajo. Su experiencia y disposición fueron invaluable.

A mi amigo Ismael Guido Granados, le agradezco sinceramente por su respaldo constante y palabras de ánimo que impulsaron mi esfuerzo en los momentos más desafiantes.

A Jeffrey Vázquez y Manrique Esquivel, les agradezco por su valiosa colaboración en la identificación de especies arbóreas.

También mi gratitud a todos los docentes y compañeros del Programa de Posgrado en Desarrollo Sostenible, quienes, con sus enseñanzas, intercambio de ideas y acompañamiento hicieron de esta experiencia un proceso enriquecedor.

Finalmente, al Sistema de Estudios de Posgrado, gracias por el respaldo económico que hizo posible la culminación de este trabajo.

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Posgrado en Desarrollo Sostenible de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Desarrollo Sostenible con Énfasis en énfasis en Conservación de los Recursos Biológicos.

Firmado digitalmente

M.Sc. Ada Jorquera García
Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado

Firmado digitalmente

M.Sc. Hugo Villalobos Sánchez
Director de Tesis

Firmado digitalmente

Ph.D. Michael Moya Calderón
Asesor

Firmado digitalmente

M.Sc. José Luis Fournier Rodríguez
Asesor

Firmado digitalmente

M.Sc. Ismael Guido Granados
Director
Programa de Posgrado en Desarrollo Sostenible

Firmado digitalmente

Enso Barrientos Ávila
Sustentante

Tabla de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Tabla de contenidos.....	v
Resumen.....	viii
Abstract.....	i
Índice de figuras.....	i
Índice de tablas.....	i
Lista de acrónimos.....	i
Capítulo I.....	1
Introducción.....	1
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Antecedentes.....	5
1.4. Justificación.....	9
Capítulo II. Revisión de literatura.....	12
2.1. Desarrollo Sostenible.....	12
2.1.1. El Concepto de Desarrollo Sostenible.....	12
2.1.2. Objetivos del Desarrollo Sostenible.....	14
2.1.3. Objetivo 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles.....	15
2.2. El entorno urbano.....	15
2.2.1. La ciudad.....	15
2.2.2. Las problemáticas urbanas.....	16
2.3. Soluciones Basadas en Naturaleza.....	17
2.3.1. Las Soluciones Basadas en Naturaleza.....	17
2.3.2. Los servicios ecosistémicos.....	20
2.3.3. Los co-beneficios.....	22
Capítulo III. Área de Estudio.....	23
3.1. Área de estudio.....	23
3.1.1. Descripción biofísica.....	24
3.1.2. Descripción del entorno biológico.....	24

3.2. Descripción del entorno social.....	25
3.2.1. Entorno social.....	25
3.2.2. Instituciones presentes.....	28
3.2.3 Actores Sociales Clave.....	29
Capítulo IV. Metodología.....	30
4.1. Enfoque y diseño de la investigación.....	30
4.2. Tipo de investigación.....	30
4.3. Fases de investigación	30
4.1.1. Fase 1. Problemáticas urbanas	30
4.1.2. Fase 2. Ofertas y oportunidades para las SbN.....	35
4.1.3. Fase 3. Soluciones Basadas en Naturaleza.....	43
4.1.4. Fase 4. Co-beneficios de las SbN.....	46
Capítulo V. Resultados	47
5.1. Revisión de literatura: Las problemáticas ambientales urbanas en América Latina	47
5.2. Validación y mapeo de problemáticas ambientales urbanas en la Ciudad de San Ramón.....	58
5.3. Mapeo de problemáticas ambientales urbanas en la Ciudad de San Ramón	63
5.5. Comprobación de campo de problemáticas ambientales urbanas en la Ciudad de San Ramón	64
5.6. Correlación espacial de los impactos producidos	69
5.7. Caracterización de la cobertura del suelo en el área de estudio.....	73
5.8. Índices de coberturas en la Ciudad de San Ramón	77
5.9. Fragmentación del paisaje en el área urbana de San Ramón	81
5.10. Oferta de naturaleza en el área urbana de San Ramón.....	83
5.11. SbN: Propuesta para el área urbana de la ciudad de San Ramón.....	95
5.12. Propuesta para las zonas de prioridad media	96
5.12.1. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas al clima	99
5.12.2. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas al suelo.....	100
5.12.3. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas a los materiales de construcción	100
5.12.4. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas al recurso hídrico	101
5.12.5. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas a inundaciones	101
5.12.6. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas al ruido.....	102

5.12.7. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas a los residuos sólidos	102
5.13. Propuesta para las zonas de prioridad alta	102
5.13.1. Propuesta de SbN para la zona 56	106
5.13.2. Propuesta de SbN para la zona 90	108
5.13.3. Propuesta de SbN para la zona 104	110
5.13.4. Propuesta de SbN para la zona 106	112
5.13.5. Propuesta de SbN para la zona 107	115
5.13.6. Propuesta de SbN para la zona 109	116
5.13.7. Propuesta de SbN para la zona 115	118
5.13.8. Propuesta de SbN para la zona 123	120
5.13.9. Propuesta de SbN para la zona 130	123
5.14. Posible escenario de implementación de las SbN	126
5.15. Co-beneficios de las SbN propuestas	127
Capítulo VI. Discusión	136
6.1. Las problemáticas socioambientales de la ciudad de San Ramón	136
6.2. Espacios de oferta y oportunidad para la naturaleza en la ciudad de San Ramón	145
6.3. Propuesta de SbN	151
Capítulo VII. Implicaciones para el Desarrollo Sostenible	164
Capítulo VIII. Conclusiones y recomendaciones	168
8.1. Conclusiones	168
8.2. Recomendaciones	170
Bibliografía	172
Anexos	219

Resumen

El acelerado proceso de urbanización en las ciudades latinoamericanas ha provocado una transformación profunda del paisaje urbano, acompañada de múltiples problemáticas socioambientales como la pérdida de cobertura vegetal, el incremento de superficies impermeables, el deterioro de cuerpos de agua, la contaminación y el aumento de las islas de calor. En este contexto, las Soluciones Basadas en Naturaleza (SbN) emergen como una alternativa costo-efectiva, flexible y resiliente para mejorar la calidad ambiental y promover la sostenibilidad urbana. La ciudad de San Ramón, Alajuela, constituye un caso ejemplar de urbanización no planificada y fragmentación ecológica, donde las dinámicas de crecimiento han reducido drásticamente la provisión de servicios ecosistémicos y la calidad del entorno urbano. Por lo que el objetivo de esta investigación consiste en Evaluar las Soluciones Basadas en Naturaleza aptas para la implementación en la ciudad de San Ramón con el fin de favorecer los procesos de sostenibilidad urbana.

La metodología se estructuró en cuatro fases principales, bajo un enfoque de investigación mixto no experimental. En la primera fase se realizó una revisión de literatura científica sobre problemáticas ambientales urbanas y SbN, seguida de una validación participativa mediante un grupo focal con actores clave del cantón. Posteriormente, se realizó el mapeo y validación en campo de 303 puntos problemáticos, con georreferenciación y análisis espacial en GeoDa para identificar autocorrelaciones espaciales. La segunda fase consistió en la identificación de áreas de oferta y oportunidad para implementar SbN mediante análisis multicriterio que integró variables biofísicas, sociales y territoriales. La tercera fase desarrolló propuestas específicas de SbN por tipo de problemática y zona prioritaria, integrando información sobre servicios ecosistémicos. Finalmente, se evaluaron los co-beneficios asociados a las soluciones propuestas, incluyendo indicadores ambientales, sociales y económicos.

Los resultados muestran una alta concentración de problemáticas ambientales en el centro urbano y zonas periféricas de San Ramón, destacando impactos relacionados con el recurso hídrico, el cambio climático, la contaminación por residuos sólidos y la falta de áreas verdes. Se identificaron 56 zonas con prioridad media y alta para la intervención, y se diseñaron propuestas específicas de SbN para cada una, tales como: techos verdes, corredores biológicos urbanos, jardines de lluvia, restauración de cauces y arborización en calles y espacios públicos. El análisis de fragmentación del paisaje evidenció una distribución

dispersa de las coberturas vegetales, alta antropización y baja conectividad ecológica. Además, se estimaron beneficios ecosistémicos concretos, como la reducción del riesgo de inundaciones, la mejora de la calidad del aire y el aumento de la cobertura vegetal urbana. En conclusión, las SbN representan una alternativa viable, costo-efectiva y adaptable para abordar múltiples desafíos urbanos de forma simultánea. Su implementación en San Ramón puede transformar la ciudad en un entorno más resiliente, sostenible y equitativo, siempre que exista una adecuada articulación entre los actores institucionales, comunitarios y académicos. Se destaca la importancia de la planificación territorial estratégica, la generación de información geoespacial y la participación ciudadana como pilares para el diseño e implementación de SbN. Finalmente, esta investigación ofrece un marco replicable para otras ciudades intermedias del país que enfrentan condiciones similares de deterioro ambiental y crecimiento urbano desordenado.

Abstract

The rapid urbanization process in Latin American cities has caused a profound transformation of the urban landscape, accompanied by multiple socio-environmental issues such as the loss of vegetation cover, the increase in impermeable surfaces, the deterioration of water bodies, pollution, and the rise of heat islands. In this context, Nature-Based Solutions (NbS) emerge as a cost-effective, flexible, and resilient alternative to improve environmental quality and promote urban sustainability. The city of San Ramón, Alajuela, is an exemplary case of unplanned urbanization and ecological fragmentation, where growth dynamics have drastically reduced the provision of ecosystem services and the quality of the urban environment. The aim of this research is to evaluate suitable Nature-Based Solutions for implementation in the city of San Ramón to support urban sustainability processes.

The methodology was structured in four main phases, following a mixed non-experimental research approach. The first phase involved a literature review on urban environmental issues and NbS, followed by participatory validation through a focus group with key actors from the canton. Subsequently, a mapping and field validation of 303 problem areas was carried out, with georeferencing and spatial analysis in GeoDa to identify spatial autocorrelations. The second phase focused on identifying areas of supply and opportunity for implementing NbS through a multicriteria analysis that integrated biophysical, social, and territorial variables. The third phase developed specific NbS proposals by type of issue and priority zone, integrating information on ecosystem services. Finally, the co-benefits associated with the proposed solutions were evaluated, including environmental, social, and economic indicators.

The results show a high concentration of environmental issues in the urban center and peripheral areas of San Ramón, highlighting impacts related to water resources, climate change, solid waste pollution, and the lack of green spaces. 56 areas with medium and high priority for intervention were identified, and specific NbS proposals were designed for each, such as green roofs, urban biological corridors, rain gardens, channel restoration, and street and public space tree planting. The landscape fragmentation analysis revealed a dispersed distribution of vegetation cover, high anthropization, and low ecological connectivity.

Additionally, concrete ecosystem benefits were estimated, such as reduced flood risk, improved air quality, and increased urban vegetation cover.

In conclusion, NbS represent a viable, cost-effective, and adaptable alternative to address multiple urban challenges simultaneously. Their implementation in San Ramón can transform the city into a more resilient, sustainable, and equitable environment, as long as there is proper coordination among institutional, community, and academic actors. The importance of strategic territorial planning, geospatial information generation, and citizen participation is highlighted as pillars for the design and implementation of NbS. Finally, this research provides a replicable framework for other mid-sized cities in the country facing similar environmental degradation and unplanned urban growth conditions

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Categoría de enfoque de SbN y ejemplos.</i>	19
Tabla 2. <i>Características de la población en el área de estudio.</i>	26
Tabla 3. <i>Dimensiones del IDS, IDS del año 2017 y Áreas de Mayor y Menor Desarrollo Relativo para los distritos de San Ramón.</i>	27
Tabla 4. <i>Ejemplo de ficha utilizada para especificar casos de problemáticas (Anexo 2 y 3).</i>	33
Tabla 5. <i>Ejemplo de matriz utilizada para los pasos 2 y 4 del taller (Anexo 4).</i>	33
Tabla 6. <i>Áreas que representan una oferta u oportunidad para las SbN.</i>	37
Tabla 7. <i>Coberturas y grados de antropización para la clasificación del INRA.</i>	40
Tabla 8. <i>Matriz de evaluación de SbN según sus co-beneficios</i>	46
Tabla 9. <i>Número de artículos revisados por tipo de problemática.</i>	47
Tabla 10. <i>Tendencia anual de publicación de artículos.</i>	48
Tabla 11. <i>Publicaciones por país.</i>	49
Tabla 12. <i>Validación de presencia de problemáticas, valoración de impacto y alcance.</i>	58
Tabla 13. <i>Desglose de problemáticas específicas en el área.</i>	59
Tabla 14. <i>Clasificación de las problemáticas según sus características.</i>	62
Tabla 15. <i>Condición de los puntos en la primera validación de la capa de cobertura de suelo.</i>	73
Tabla 16. <i>Matriz de confusión de la primera validación de la capa de cobertura del suelo.</i>	74
Tabla 17. <i>Condición de los puntos en la segunda validación de la capa de cobertura del suelo.</i>	75
Tabla 18. <i>Matriz de confusión de la segunda validación de la capa de cobertura del suelo.</i>	75
Tabla 19. <i>Coberturas del suelo y área que abarcan en el área de estudio.</i>	77
Tabla 20. <i>Resultados de métricas de fragmentación a escala de clase.</i>	81
Tabla 21. <i>Resultados de métricas de fragmentación a escala de paisaje.</i>	82
Tabla 22. <i>Nombre de las especies y cantidad de árboles muestreados.</i>	86
Tabla 23. <i>Especies con mayor valor de importancia.</i>	87
Tabla 24. <i>Servicios ecosistémicos provistos por los árboles del Parque Alberto Manuel Brenes.</i>	89
Tabla 25. <i>Servicios ecosistémicos provistos por los árboles del cerro El Tremedal.</i>	91
Tabla 26. <i>Servicios ecosistémicos provistos por los árboles del Parque Recreativo La Sabana.</i>	93
Tabla 27. <i>Producción de oxígeno en cada uno de los sitios de muestreo y área foliar.</i> 94	94
Tabla 28. <i>Zonas de prioridad media y el tipo de problemáticas que presentan.</i>	98
Tabla 29. <i>Zonas de prioridad alta, el tipo de problemáticas que presentan y la oportunidad.</i>	104
Tabla 30. <i>Co-beneficios de las SbN propuestas correspondientes a mejora, aumento y creación.</i>	128

Tabla 31. <i>Co-beneficios de las SbN propuestas correspondientes a reducción.</i>	130
Tabla 32. <i>Co-beneficios de las SbN propuestas correspondientes a conservación, mitigación y adaptación.</i>	132

Lista de figuras

<i>Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.</i>	23
<i>Figura 2. Dinámica del IDH para el cantón de San Ramón en el periodo 2010-2018.</i> 28	
<i>Figura 3. Mapa utilizado para establecer la ubicación específica de las problemáticas.</i>	34
<i>Figura 4. Unidades y Subunidades de Análisis en el área de estudio.</i>	39
<i>Figura 5. Cuadrantes para priorización basados en cantidad de problemáticas.</i>	44
<i>Figura 6. Aporte de las variables en la definición de la SbN óptima para el espacio de oportunidad.</i>	45
<i>Figura 7. Distribución de las problemáticas a lo largo del área de estudio.</i>	63
<i>Figura 8. Cantidad de problemáticas por cuadrante en el área de estudio.</i>	64
<i>Figura 9. A) Presencia de residuos sólidos dispuestos para la recolección. B) Presencia aislada de residuos sólidos. C) Presencia de botaderos clandestinos en el área de estudio.</i>	65
<i>Figura 10. A) Alta concentración de vehículos en la intersección frente al hospital. B) Alta concentración de vehículos en la salida de San Ramón a Ruta 1.</i>	66
<i>Figura 11. A) Presencia de coberturas semi permeables e impermeables. B) Presencia de pocos sitios de alta infiltración.</i>	66
<i>Figura 12. A) Inundaciones en el centro de la ciudad de San Ramón. B) Problemáticas causadas por las inundaciones. C) Quebrada estero durante condiciones climáticas extremas. D) Quebrada Estero en condiciones normales.</i>	67
<i>Figura 13. Liberación de gases a la atmósfera.</i>	68
<i>Figura 14. Mapa de significancia espacial por puntos.</i>	69
<i>Figura 15. Mapa de conglomerados espaciales.</i>	70
<i>Figura 16. Mapa de significancia espacial por cuadrantes.</i>	71
<i>Figura 17. Mapa de conglomerados por cuadrantes.</i>	71
<i>Figura 18. Distribución de la cobertura del suelo en el área de estudio.</i>	76
<i>Figura 19. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en el área de estudio.</i>	78
<i>Figura 20. Valores de antropización en las subunidades de análisis y su distribución.</i> 79	
<i>Figura 21. Índice Integrado Relativo de Antropización para las unidades de análisis del área de estudio.</i>	80
<i>Figura 22. Distribución de las áreas de oferta de naturaleza.</i>	84
<i>Figura 23. Distribución de los árboles muestreados en las áreas seleccionadas.</i>	85
<i>Figura 24. Distribución de las zonas prioritarias en el área de estudio.</i>	96
<i>Figura 25. Zonas de prioridad media en relación con la cobertura del suelo.</i>	97
<i>Figura 26. Zonas de prioridad alta con relación a la cobertura del suelo.</i>	103
<i>Figura 27. Posible escenario de implementación de SbN asociadas a la cobertura vegetal.</i>	126

Lista de acrónimos

AI: Índice de Agregación (Aggregation Index)

AMMDR: Áreas de Mayor y Menor Desarrollo Relativo

ASADA: Asociación Administradora de Acueductos Comunes

BTC: Bloques de Tierra Comprimida

CLT: Madera Laminada Cruzada

CONNECT: Índice de Conectividad (Connectivity Index)

ED: Densidad de Bordos (Edge Density)

FDI: Índice de Dimensión Fractal (Fractal Dimension Index)

GAM: Gran Área Metropolitana

ICU: Islas de Calor Urbanas

IDH: Índice de Desarrollo Humano

IDS: Índice de Desarrollo Social

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censos

IPCC: Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

MEA: Millennium Ecosystem Assessment

MIDEPLAN: Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica

MINAE: Ministerio de Ambiente y Energía

MINURVI: Foro de Ministros y Autoridades Máximas de Vivienda y Urbanismo de ALC

NDC: Contribución Nacionalmente Determinada

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index)

NP: Número de Parches (Number of Patches)

ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONG: Organización no gubernamental

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PIB: Producto Interno Bruto

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

ROI: Regiones de Interés

SbN: Soluciones Basadas en Naturaleza

SHDI: Índice de Diversidad de Shannon (Shannon Diversity Index)

SHEI: Índice de Equitatividad de Shannon (Shannon Evenness Index)

SI: Índice de Forma (Shape Index)

SINAC: Sistema Nacional de Áreas de Conservación

SUA: Subunidades de Análisis

SUDS: Sistemas De Drenaje Urbano Sostenible

UA: Unidades de Análisis

UCR: Universidad de Costa Rica

UICN: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza

Capítulo I

Introducción

Las ciudades son un ambiente dinámico y en constante cambio, este dinamismo ha producido que el crecimiento de la mancha urbana sea un proceso que se presenta a nivel mundial (Seto et al., 2012). En las últimas décadas el mundo ha experimentado un crecimiento urbano como ningún otro, esta expansión viene de la mano de desafíos en ámbitos políticos, institucionales, económicos, socioculturales y ambientales (Medrano, 2020).

El crecimiento urbano y las actividades humanas que se desarrollan en las ciudades, han generado ambientes poco sostenibles; en términos de manejo de recursos, energía y residuos, y con poca adaptabilidad al cambio climático (James, 2023). Siendo este último reconocido como la principal amenaza para el siglo XXI, debido a que afecta la mayoría de los aspectos de la vida cotidiana (Mora et al., 2018).

Las medidas que deben adoptar las ciudades en camino a la sostenibilidad tienen que responder a una serie de necesidades tanto de la población como del ecosistema, la respuesta necesita ser de carácter social, ambiental y administrativa (Peralta, 2020; Xie et al., 2022). El conjunto de las ciencias urbanas y de adaptación, junto a la generación de información, donde el conocimiento local se integra al profesional y sus perspectivas, son el rumbo a seguir para crear estas medidas (Sánchez et al., 2018).

Una de las medidas más utilizadas son los cinturones verdes urbanos, principalmente han sido implementados como elementos estéticos dentro de las ciudades y usados para purificar el agua, suelo y aire (Zhang, 2020). Además de esto, también tienen un efecto regulador en las temperaturas y de mitigación de las islas de calor (Hong & Guo, 2017). Se utilizan diversas plantas para este propósito, incluyendo árboles, arbustos y pastos, los cuales desempeñan una función ecológica diferente (Zhu et al., 2017).

A partir de la utilización de estas medidas surgen conceptos como Soluciones Basadas en Naturaleza (SbN), las cuales corresponden a la utilización de la naturaleza para enfrentar

riesgos como el cambio climático, la pérdida del recurso hídrico, el riesgo a desastres, la pérdida de biodiversidad y la seguridad alimentaria, apoyándose en conceptos de conservación y utilización de la naturaleza en un contexto más amplio (Balian et al., 2014). Dentro de las soluciones se incluyen los techos y paredes verdes, que generan una reducción en las temperaturas y un incremento en el ahorro energético (Alexandri & Jones, 2008) así como fijación de carbono y mejoras en la calidad del aire, además se incluye el aumento de los espacios verdes urbanos, como parques, calles y aceras arboladas (Gill et al., 2007; Bowler et al., 2010).

Las SbN mejoran la calidad de vida de los habitantes de las zonas urbanas, al incluir espacios verdes en las ciudades, se contribuyen a la reducción del estrés, se mejora el estado de ánimo y una mayor interacción social, teniendo un impacto sobre el bienestar general de la población urbana (Kabisch et al., 2016b). Al incluir zonas verdes a lo largo de la ciudad, se crean más oportunidades para la realización de actividades recreativas y culturales, lo que fomenta la cohesión social y la pertinencia de las áreas urbanas (Frantzeskaki & Kabisch, 2016).

Además, impactan positivamente las condiciones ambientales de las ciudades, beneficiando su resiliencia. Por ejemplo, mediante la implementación de corredores verdes y sistemas de drenaje sostenibles, se aumenta la resiliencia frente a eventos climáticos, como lo son las inundaciones, lo cual beneficia a las estructuras urbanas, reduciendo el impacto de posibles daños (Raymond et al., 2017). Así mismo, la colocación de techos verdes y la plantación de árboles han mostrado ser medidas efectivas para reducir los efectos de isla de calor, que afecta a todas las ciudades del mundo, contribuyendo en la mejora de las condiciones térmicas y la calidad de vida de las personas (Demuzere et al., 2014).

Cada vez hay un mayor reconocimiento de los co-beneficios producidos por las SbN en los espacios urbanos, como resultado del incremento de espacios verdes dentro de las ciudades. Los beneficios incluyen mejoras en la calidad de vida, salud mental y física, crecimiento de la identidad cultural; generada por el sentido de pertenencia de los lugares (Keniger et al., 2013; Harting et al., 2014).

En el caso específico de San Ramón, esta ha sido una ciudad que ha presentado bastantes cambios en la dinámica de su cobertura, siendo una de estas la aparición del cultivo del café, el cual llegó a la región occidental del Valle Central entre los años de 1850-1860, en el sector denominado Alajuela San Ramón (Montero, 2014). Y más actualmente se ha mostrado cómo el cambio en la cobertura se refleja principalmente en el crecimiento urbano, concentrándose en el área alrededor del distrito central, y aumentando sin planificación alguna (Barrientos et al., 2020), por lo que se ha reducido de manera significativa la cobertura que podría brindar servicios ecosistémicos que regulen los procesos dentro de la ciudad.

En San Ramón de Alajuela, el desarrollo urbano acelerado ha generado un patrón de expansión periférica que, entre 1991 y 2018, incrementó la cobertura urbana en más de un 150 %, con picos de crecimiento anual del 5,15 % en el periodo 2011–2018, evidenciando un consumo acelerado de suelo y una ocupación desordenada del territorio (Barrientos et al., 2020). Este proceso ha ejercido una presión significativa sobre los ecosistemas locales, particularmente sobre los humedales de la microcuenca alta del Estero, los cuales se encuentran amenazados por rellenos, contaminación doméstica y eutrofización, lo que disminuye su capacidad de regular inundaciones y sostener biodiversidad (Rodríguez-Arias & Silva, 2017).

Asimismo, se ha documentado la descarga directa de aguas grises y detergentes no biodegradables hacia cuerpos de agua urbanos como el Estero y el embalse “El Laguito”, deteriorando sus condiciones fisicoquímicas y microbiológicas (Rodríguez & Silva, 2015). Paralelamente, la expansión de la frontera urbana ha contribuido a la pérdida y fragmentación de hábitats, con impactos negativos sobre poblaciones de anfibios y reptiles en áreas periurbanas, reflejando un retroceso en la conservación de la biodiversidad local (Cartín, 2020).

Esta disminución de la cobertura que ofrece servicios ecosistémicos, la falta de planificación dentro de la ciudad y la dinámica propia de esta, representan un espacio para buscar medidas y acciones que permitan mejorar la sostenibilidad en el espacio urbano. Es por esto por lo que, el objetivo de esta investigación es evaluar las SbN aptas para la implementación en la ciudad de San Ramón con el fin de favorecer los procesos de sostenibilidad urbana.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar las Soluciones Basadas en Naturaleza aptas para la implementación en la ciudad de San Ramón con el fin de favorecer los procesos de sostenibilidad urbana.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Diagnosticar las problemáticas urbanas que se pueden abordar con Soluciones Basadas en Naturaleza.
2. Identificar los sitios de oferta y oportunidades para la naturaleza en el espacio urbano de San Ramón.
3. Realizar una propuesta de Soluciones Basadas en Naturaleza adecuadas para el espacio urbano de San Ramón.

1.3. Antecedentes

En el marco de la sostenibilidad urbana, diversos estudios han abordado temáticas clave que van desde el papel de las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) en la planificación de ciudades resilientes, hasta la valoración de los beneficios sociales, ambientales y económicos de los espacios verdes. La literatura destaca la agricultura urbana como estrategia para la seguridad alimentaria, la cohesión social y la adaptación climática.

Examina el aporte de parques, riberas y jardines a la biodiversidad y al bienestar humano, así como la comparación entre infraestructura verde y gris en la gestión hídrica. También documenta casos exitosos de control de inundaciones mediante SbN y propone metodologías para priorizar intervenciones según el contexto local. Estos estudios integran co-beneficios, conservación de ecosistemas y restauración de cuerpos de agua urbanos como ejes de la gestión territorial.

En Europa se han realizado estudios exploratorios que buscan mostrar ejemplos de SbN para las principales ciudades europeas, tales como la identificación de los indicadores de éxito, los retos de la implementación y demás vacíos en el conocimiento (Kabisch et al., 2016a). Además, se ha estudiado la importancia de la agricultura urbana en la adaptación al cambio climático y la contribución al acceso equitativo de alimentos de calidad, entre otros desafíos del ámbito social. Se ha demostrado que, actuando como una solución basada en naturaleza, la agricultura urbana contribuye a la resiliencia social, mediante la regeneración comunitaria, el aumento de participación ciudadana y la integración sociocultural. También se benefician personas que no participan directamente de los huertos urbanos, mediante la transformación de espacios verdes y el acceso a alimentos (van der Jagt et al., 2017).

Otro trabajo estudió alrededor de 199 casos de SbN en ciudades europeas, las cuales estaban enfocadas en el aumento de la biodiversidad, y se evaluaron específicamente los grandes parques urbanos, las zonas de ríos, quebradas y estuarios, así como jardines comunales, para comprobar su contribución a la biodiversidad urbana (Xie & Bulkeley, 2020). Un estudio realizado en Italia determinó la relación que existe entre el bienestar subjetivo de las personas y la cercanía a los espacios verdes naturales, enfocado principalmente en los parques y jardines públicos (Tavano et al., 2015).

De igual forma, Liquete et al. (2016), buscaban evaluar los múltiples beneficios que se pueden obtener en el ámbito social, económico y ambiental, mediante la implementación de una infraestructura verde que responda a diversas necesidades. Para ello se realizó una comparación entre la infraestructura gris y la verde utilizadas para la depuración de las aguas y se determinó que la verde funciona igual o mejor que la gris. En España se llevó a cabo un estudio que muestra la importancia de las SbN para la gestión de inundaciones. Se presentan una serie de casos exitosos a lo largo de diferentes cuerpos de agua en los que han implementado distintas medidas, las cuales han reducido los impactos negativos que se generaban (Magdelano et al., 2021).

Kingsley et al. (2021) muestran una serie de estudios de casos en distintas ciudades de Australia, donde se presenta la agricultura urbana como una SbN, para abordar problemáticas socioambientales de la región. Destacan la importancia de la necesidad de los espacios verdes, principalmente por los aumentos en la ansiedad causada por la pandemia. En una revisión de literatura Laforzezza et al. (2018) encontraron 26 aplicaciones de SbN, distribuidas alrededor de 20 países distintos en todo el mundo, para cada una establecieron la escala de aplicabilidad y los distintos impactos que generan sobre las ciudades.

Tomando en cuenta esta gran cantidad de aplicaciones, se busca desarrollar una amplia y sólida base que demuestre que las SbN pueden aumentar la resiliencia climática y abordar la regeneración urbana inclusiva. De esta manera, se busca establecerlas como respuesta al deterioro de los paisajes urbanos y los desafíos de la sociedad, en su investigación Laforzezza & Sanesi (2019) pretenden establecer un marco para la aplicación de estas soluciones. Otros autores plantean que las SbN se promueven cada vez más en el contexto de la planificación urbana, y que el diseño para su implementación debe estar orientada a las necesidades del contexto local. Por lo que se requiere un conocimiento de los desafíos urbanos y de los servicios ecosistémicos con los que se pretende abordar los desafíos (Babí Alemar et al., 2020).

Un tema bastante estudiado es el efecto que tienen los espacios naturales y las SbN en el bienestar de los habitantes de las ciudades. Estos muestran como la proximidad de las personas a los espacios naturales se asocia con menor cantidad de estrés, una recuperación de eventos psicológicos más rápida, un mejor estado de ánimo y aumento de autoestima.

Además, en el aspecto fisiológico, la naturaleza en las ciudades impacta las enfermedades cardiovasculares, reducción del calentamiento urbano, de problemas respiratorios y de mortalidad por calidad de aire (Kolokotsa et al., 2020).

En Centroamérica se han realizado trabajos para mostrar como la principal Solución Basada en Naturaleza, que corresponde a la conservación de los bosques, presenta una serie de co-beneficios que colaboran a la mitigación al cambio climático, y la reducción de los impactos causados por los fenómenos climáticos extremos (Samaniego et al., 2021). En Costa Rica se implementaron SbN para la restauración de ríos en áreas metropolitanas, y se enfocó en la cuenca Quebrada Seca-Río Burío.

Esta presenta problemáticas como inundaciones, contaminación y degradación de los ríos, además de ser de gran importancia, ya que forma parte de la cuenca del Tárcoles. Para este proceso se establecieron 3 prototipos de soluciones, las cuales aún se encuentran siendo evaluadas para comprobar sus resultados (Hack, 2021).

En lo que respecta a la selección de un conjunto de SbN adecuadas para una ciudad, se requiere de un análisis de varios factores, por lo tanto, se utiliza el análisis de decisiones multicriterio tradicional. Estos marcos actuales ofrecen resultados muy amplios y se adaptan a un solo servicio ecosistémico, por lo que surgen propuestas de distintas aplicaciones del método, en las que se ha demostrado que se pueden adaptar mayor cantidad de servicios ecosistémicos y resulta ser un medio útil para orientar la decisión (Croeser et al., 2021). La implementación de las soluciones puede darse a diversas escalas, incluso una implementación en distintas escalas ha mostrado efectividad para el mejoramiento de la calidad del agua. El diseño de las soluciones debe desarrollarse para un beneficio en específico, sin embargo, también deben considerarse los múltiples co-beneficios que estas generan (Acreman et al., 2021).

En resumen, el conjunto de antecedentes revisados muestra evidencia que las SbN y la infraestructura verde constituyen enfoques eficaces y costo-competitivos para fortalecer la sostenibilidad urbana, mejorar el bienestar y preservar la biodiversidad. La evidencia muestra beneficios consistentes, desde la gestión hídrica y el control de inundaciones hasta la cohesión social, siempre que el diseño responda al contexto local y considere múltiples

escalas e indicadores. Aun así, existen retos de gobernanza, financiamiento y monitoreo que exigen marcos claros de priorización y evaluación.

1.4. Justificación

Las ciudades son los principales centros de concentración de población. Por ello, deben satisfacer las necesidades de sus habitantes y, al mismo tiempo, propiciar un entorno sostenible. El planeamiento y la organización de las ciudades debe evolucionar y velar por cumplir los Objetivos del Desarrollo Sostenible, alcanzando ciudades sostenibles, que contribuyan a la lucha contra el cambio climático, que no atenten contra la salud pública, ni contra el equilibrio de los ecosistemas urbanos y naturales (Salas-Zapata et al., 2016).

De acuerdo con el reporte de United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2024a), la población global para mediados de 2024 era de 8,2 mil millones de personas y la población urbana era casi el 58% de este número (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2024b). Se estima que para 2050 globalmente se alcanzarán los 9,7 billones de habitantes y el 66% de estos habitará en zonas urbanas (Caprotti, 2018). Debido a esta alta concentración de personas en las ciudades y que este número está en aumento, es vital generar acciones para el desarrollo de espacios urbanos sostenibles y con capacidad de adaptarse a los retos de la crisis ambiental del planeta.

Este aumento de la población urbana trae consigo un crecimiento del área construida necesaria para satisfacer los requerimientos crecientes de los habitantes de las ciudades. Sun et al. (2020) muestran como en el periodo entre 2001 y 2018 existió un crecimiento del área construida global de 1130 campos de fútbol (área de un campo 7140 m²) por día. Este reemplazo de la cobertura terrestre natural por coberturas impermeables, de bajo albedo, con capacidad y conductividad térmica altas, causan reducción de los flujos de temperatura y se da un aumento en la absorción de calor (Oke et al., 2017).

De igual manera, dicho reemplazo de cobertura genera aumentos en la temperatura y provoca el fenómeno conocido como islas de calor urbanas (ICU). Las cuales son variaciones en las temperaturas dentro de las ciudades que provocan que las áreas en el centro de la ciudad sean más cálidas que las circundantes (Equere et al., 2020). Las islas de calor tienen efectos en la meteorología local, incluyendo cambios en las corrientes de viento, la niebla, la humedad relativa y las precipitaciones locales (He, 2018). También influyen en el aumento

de la magnitud y duración de los eventos de calor extremos, afectando la salud y el bienestar de los residentes (Guo et al., 2020).

Además de los efectos que dicho aumento produce sobre las temperaturas, se afecta a los recursos naturales, incrementando los requerimientos de agua y la contaminación por desechos y aguas negras (Barrera et al., 2004). También se observan altos índices de contaminación del aire, ruido y dificultad de acceso a los alimentos (Osorio, 2011), lo que impacta negativamente la calidad de vida de las personas. Por estos motivos, se requiere implementar medidas para abordar problemas socioambientales. Estas medidas requieren del compromiso por parte de los gobiernos locales para desarrollar estrategias innovadoras y su ejecución. Teniendo en cuenta la complejidad del concepto de ciudades sostenibles, muchos de los desafíos que enfrentan las ciudades podrían abordarse mediante estas estrategias (Caird et al., 2016).

En temas de salud humana y bienestar, el entorno natural y los ecosistemas, son cada vez más reconocidos como factores determinantes sobre esto (Naeem et al., 2015; Barton & Grant, 2006). Muchos estudios se han enfocado en mostrar cómo los espacios verdes influyen en la salud y el bienestar, tales como, la promoción de la actividad física, mejoras en el Índice de Masa Corporal (Thompson-Coon et al., 2011), mejora en la interacción social, la inclusión y cohesión social (Maas et al., 2009; De Vries et al., 2003).

La ciudad de San Ramón se ha enfrentado a la problemática de las inundaciones desde hace varios años, la cual se asocia principalmente al desbordamiento de la quebrada Estero. Existen registros de este tipo de afectaciones desde 1911, que han variado en la época del año en que se dan, pero la intensidad de estos eventos ha aumentado con el tiempo (Quesada, 2003), situación que se ha mantenido hasta hoy. Dicha problemática ha sido causada por la degradación de la cobertura de las cuencas y la expansión urbana sin planificación. Los desbordamientos han provocado daños en la infraestructura cercana a los cuerpos de agua (Municipalidad de San Ramón, 2022).

San Ramón ha aumentado considerablemente su área construida, principalmente en el distrito central y en su periferia, Barrientos et al. 2020 señalan que este crecimiento se ha dado hacia la periferia en todas las direcciones, sin una aparente planificación. El aumento

del área construida, como ya ha sido mencionado, es asociado con mayores temperaturas en relación con las áreas aledañas. Lo que causa que la población urbana tenga una mayor vulnerabilidad a los eventos de calor extremos (Smith et al., 2014).

Las SbN son una estrategia que permite abordar estas y otras problemáticas socioambientales en el contexto urbano. Estudios han mostrado que la implementación de SbN puede reducir significativamente el pico de inundación en un 15% a escala local y que la efectividad es aún mayor en cuencas pequeñas (Burek et al., 2012). El impacto de las SbN sobre el cambio climático recae en su contribución a evitar la degradación de los ecosistemas, a la fijación de carbono y a la capacidad de aumentar la resiliencia y la adaptación de las comunidades vulnerables (Cohen-Shacham et al., 2016).

La implementación de SbN fortalece la seguridad hídrica frente a tensiones climáticas futuras (Ozment et al., 2015). En el contexto del crecimiento urbano sostenido de San Ramón, resulta esencial priorizar la protección de las fuentes de agua para la población. Medidas como la creación y mejora de zonas de recarga e infiltración, así como la reconexión de ríos y quebradas, aportan simultáneamente a la conservación de los ecosistemas y al abastecimiento seguro de agua (Opperman et al., 2009; Ozment et al., 2015).

En el caso de San Ramón, la aplicación de SbN se orientará a responder a las problemáticas históricas de inundaciones, la expansión urbana desordenada y la creciente vulnerabilidad ante el calor extremo. Asimismo, se fomentará la incorporación de infraestructura verde en el área urbana central y sus periferias para mitigar las islas de calor, mejorar la calidad del aire y fortalecer los servicios ecosistémicos asociados al agua. De esta manera, las SbN se consolidan como una estrategia clave para aumentar la resiliencia de la ciudad frente a la crisis climática, asegurar la disponibilidad hídrica para la población y propiciar un desarrollo urbano más sostenible y saludable.

Esta investigación proporcionará insumos relevantes para los tomadores de decisiones, fortalecerá iniciativas existentes y facilitará el inicio de un proceso orientado a mejorar la sostenibilidad urbana. Además, permitirá evaluar su evolución en el tiempo, según la forma en que se atiendan las problemáticas identificadas en este estudio.

Capítulo II. Revisión de literatura

2.1. Desarrollo Sostenible

2.1.1. El Concepto de Desarrollo Sostenible

El desarrollo sostenible es un concepto que comenzó a acuñarse desde finales de la década de los sesenta (Díaz et al., 2009). Mediante una convocatoria a académicos de diversas áreas como la sociología, las ciencias básicas y la política, se realizó un estudio de las modificaciones que se estaban dando en el ambiente (Alaña-Castillo et al., 2017). Entre uno de sus objetivos se encontraban desarrollar métodos para el análisis de diversos cambios en el medio ambiente y la sensibilización política acerca del impacto de la crisis ambiental global (Díaz et al., 2009).

Entre la década de los sesenta y la actualidad se han llevado a cabo diversas conferencias y se publicaron informes que ayudaron a dar forma al concepto de desarrollo sostenible. Destacando la Conferencia de Estocolmo, en 1972, de la cual surgen las principales problemáticas medioambientales y se proclama el derecho de los seres humanos a un medio ambiente sano y el deber de protegerlo y mejorarlo para las futuras generaciones (Foladori & Tommasino, 2000). Además, surge el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, de la mano de la evidencia científica del deterioro de los ecosistemas y el aumento en la conciencia ambiental. Esto llevó a los países a adecuar sus leyes y crear instituciones que ayuden a controlar este deterioro (Carabias et al., 2009).

El Informe de Brundtland, se convirtió en el referente para los distintos programas dedicados al desarrollo sostenible, fue el primer informe de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo y define el concepto de desarrollo sostenible (Marbán Flores, 2006). El informe se titula *Our Common Future* y es publicado por World Commission on Environment and Development (1987) lo define como “el desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades” (p. 41).

Desde aquí se introduce el concepto desarrollo sostenible como aquel que responde a las necesidades presentes de forma igualitaria, sin comprometer las posibilidades de

supervivencia de las futuras generaciones (Alaña-Castillo et al., 2017). En 1992 se lleva a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro, donde se llama a elaborar estrategias y medidas para detener y revertir la degradación del medio ambiente y ratifica el concepto acuñado en 1987 (United Nations, 1992).

En 1997 se negocia el Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, que define metas específicas que deben cumplir los países para no intensificar este problema y en 2016 se realizó la convención de la ONU en Paris, con el objetivo de reforzar la capacidad de hacer frente a los impactos del cambio climático (Alaña-Castillo et al., 2017). Según Meadows et al. (2004), el desarrollo sostenible implica reconocer la interdependencia entre los sistemas ecológicos, sociales y económicos para evitar el colapso ambiental y social.

Según la UNESCO (2005), el desarrollo sostenible es un proceso transformador que busca armonizar el uso de los recursos naturales, las inversiones, el desarrollo tecnológico y las instituciones con las necesidades tanto del presente como del futuro. Para Sachs (2015) define al desarrollo sostenible como “...en esencia, una forma de desarrollo que considera los límites planetarios y busca la equidad social” (p. 5).

Estos elementos han formado parte de la construcción del concepto de desarrollo sostenible, siendo identificadores de problemáticas o propuestas para soluciones que han influido en la necesidad de establecer un modelo de desarrollo de menor impacto para el medio ambiente. El concepto de Desarrollo Sostenible en el que se enfoca esta investigación está definido por la Maestría en Desarrollo Sostenible (2000), que lo establece como:

Un proceso de desarrollo social y económico que se sustenta en el manejo y la conservación de los recursos naturales, con equidad social, que respeta a la diversidad cultural y fortalece la participación ciudadana, garantizando la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras. (Maestría en Desarrollo Sostenible, 2000, p. 12)

2.1.2. Objetivos del Desarrollo Sostenible

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible corresponde a un marco de acción global para enfrentar las problemáticas de carácter social, ambiental y económico. Estos desafíos abarcan la pobreza extrema, la desigualdad e injusticia y la degradación de los ecosistemas, desafíos que se han visto incrementados por un ritmo de cambios acelerados (Organización Internacional del Trabajo, 2017). La Agenda fue aprobada en 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, y representa una hoja de ruta histórica para el mundial, ya que integra temas que son de alta prioridad para la región, como el trabajo decente, las ciudades sostenibles y el cambio climático (Naciones Unidas, 2018).

Esta Agenda consta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), los cuales tienen 169 metas que se deben alcanzar de forma universal. Los objetivos funcionan como una guía para los países y son el resultado de un proceso participativo de 3 años de duración (Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, 2019). La implementación de la Agenda debe darse mediante la interconexión de los distintos objetivos, sus distintas metas y las dimensiones del desarrollo sostenible. Debe tener un enfoque inclusivo y participativo, garantizando la participación de todos los actores en la planificación y apropiación de los ODS en los distintos contextos y escalas (Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN), 2017).

En Costa Rica, el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), rector del Sistema de Estadística Nacional, es el encargado de desarrollar una plataforma para el Sistema Nacional de Indicadores de los Objetivos del Desarrollo Sostenible, así como su coordinación en conjunto con la Secretaría Técnica (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2020). Estos indicadores se crearon para medir el cumplimiento de la Agenda 2030, los cuales surgen de un proceso de consultas inclusivo, abierto y transparente, en el que participaron muchos interesados, guiados por solicitudes y recomendaciones de los Estados Miembros en la Asamblea General. Además, tienen en cuenta las diferentes realidades de cada país (MIDEPLAN, 2017).

2.1.3. Objetivo 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles

Para esta investigación es de especial interés el ODS 11, Ciudades y Comunidades Sostenibles. Este objetivo pretende que las ciudades y los asentamientos urbanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles. Para lograrlo, se busca alcanzar el compromiso público y el fomento de participación dentro de las comunidades. Un ejemplo de esto es la meta 11.3, la cual se enfoca en aumentar la urbanización inclusiva y sostenible, así como la capacidad de planificación y gestiones participativas, integradas y sostenibles (Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2020).

La dimensión urbana, sin embargo, no está limitada únicamente al objetivo 11, si no que otros objetivos también se ven envueltos en esta, como el caso del ODS 13 (acción por el clima), ODS 6 (agua y saneamiento), ODS 9 (Infraestructura), entre otros (ONU-Hábitat et al., 2018). Estos objetivos son un insumo de alta importancia, ya que las ciudades enfrentan muchos desafíos en términos de desarrollo sostenible. Si bien se ha logrado una mejora en la infraestructura y los servicios urbanos, muchas ciudades no han conseguido seguirle el paso al crecimiento poblacional acelerado. Esto ha resultado en deficiencias en la planificación espacial y económica, así como un aumento a la vulnerabilidad al cambio climático y riesgo de desastres (Banco Interamericano de Desarrollo, 2019).

Es por esto que las ciudades sostenibles son percibidas como aquellas que también tomen en cuenta la calidad de vida de sus habitantes, un respeto por los recursos naturales, la igualdad y la justicia social (Mella-Márquez & López-López, 2015). Como lo destaca el ODS 11, las estrategias urbanas deben involucrar y reconocer a los ciudadanos, instituciones, gobiernos locales, suelo urbano, inversionistas, competidores y colaboradores, como entes de importancia para el abordaje de la complejidad y multidimensionalidad del espacio urbano, y establecer objetivos realistas (Ornés, 2014).

2.2. El entorno urbano

2.2.1. La ciudad

Maslow et al. (1998), definen a la ciudad como el escenario de mayor transformación del espacio habitado y cotidiano en el que se desarrollan las actividades del ser humano. Debido a su estructura y configuración, las ciudades satisfacen las necesidades sociales, fisiológicas,

de seguridad, autoestima y autorrealización para el desarrollo de un ser social. Las ciudades se componen de redes de vías de comunicación, historias y flujos, que día con día se construyen nuevamente y se autorregulan, por lo que se perciben como un espacio común y fluctuante (Ayala, 2017).

Generalmente se define a la ciudad como un espacio de comercio, sistemas de transporte y comunicación, fuentes de cultura, arte y centros de gobierno (Angeoletto et al., 2015). Sin embargo, desde la ecología, se entiende la ciudad como un ecosistema heterótrofo, disipativo, que aumenta la entropía alrededor del planeta. Como sistema heterótrofo depende de áreas externas a ellas para poder mantenerse (Terradas, 2001).

El espacio que se entiende como urbano va más allá del área que abarca la ciudad como tal. También se incluyen las áreas en la periferia de las ciudades, las cuales son una apropiación de esta y proveen energía, recursos materiales y también absorben gran parte de los desechos, por lo que son extensiones de la ciudad (Angeoletto et al., 2015). Según Barrantes (2020), en el año 2020 alrededor de 500 ciudades cuentan con más de un millón de habitantes, y las proyecciones apuntan a que el crecimiento natural de la población alrededor del mundo va a concentrarse en las ciudades, ocasionando un mayor crecimiento urbano.

Este crecimiento urbano es considerado uno de los impactos humanos con mayor significancia a nivel global, específicamente sobre la diversidad biológica, y con una mayor vulnerabilidad para las regiones tropicales, considerando las políticas y la planificación en términos de uso de suelo (Chapin III et al., 2009; Lanbim & Meyfroidt, 2011). Por lo que alcanzar la sostenibilidad dentro de las ciudades es un objetivo primordial para asegurar la calidad de vida de sus habitantes y el desarrollo equitativo y justo para todos, así como espacios para la biodiversidad y el contacto con la naturaleza.

2.2.2. Las problemáticas urbanas

Si bien las ciudades se han descrito como el punto donde se desarrollan la mayor parte de las actividades humanas y con un gran dinamismo socioambiental, también son áreas donde se generan muchas problemáticas. Glaeser y Joshi-Ghani (2014) concuerdan en que la urbanización es un elemento clave para el desarrollo, pero bajo las condiciones adecuadas de planificación, oportunidades y crecimiento, también implica una gran cantidad de desafíos.

Estos desafíos se presentan en distintos ámbitos y van desde las condiciones de vida, la falta de servicios y vivienda adecuada, la segregación socioeconómica, hasta las externalidades negativas con el medio ambiente, como la contaminación, amenazas por eventos climáticos extremos y la gestión frente a riesgos naturales (Foro de Ministros y Autoridades Máximas de la Vivienda y el Urbanismo de América Latina y el Caribe (MINURVI), 2016). En el contexto de América Latina y el Caribe, se presentan altos niveles de urbanización, rivalizando con muchos países industrializados (Winchester, 2006).

Este rápido crecimiento de las ciudades requiere una mayor cantidad de recursos para la producción de bienes y servicios para subsistir, además, es una característica que se trata de evitar, ya que trae consigo desventajas económicas, sociales y ambientales para el equilibrio del sistema urbano (Frenkel & Ashkenazi, 2008; Rubiera-Morollón et al., 2016). La poca respuesta ante el acelerado crecimiento de las ciudades ha ocasionado que las condiciones de deterioro urbano sean uno de los más grandes desafíos de la región latinoamericana, y varias de las problemáticas socioambientales actuales están asociadas al crecimiento urbano sin planificación (Winchester, 2006).

Se entiende entonces como problemáticas urbanas a todas aquellas situaciones negativas que se presentan dentro del entorno urbano, de carácter social, ambiental y económico, y que en la gran mayoría de ocasiones son generadas por el mismo sistema urbano. Esta mezcla entre problemáticas y oportunidades es una muestra más de la complejidad del entorno urbano, y la necesidad de contar con un enfoque interdisciplinario y participativo, que permita la creación de un entorno sostenible.

2.3. Soluciones Basadas en Naturaleza

2.3.1. Las Soluciones Basadas en Naturaleza

El tema de las relaciones entre las ciudades y la naturaleza ha sido abordado por muchos autores a lo largo del tiempo. Se destacan Frederick Law Olmsted, considerado padre de la arquitectura del paisaje y pionero en la eco planificación de la infraestructura verde; Ian McHarg, arquitecto del paisaje y padre de la “ecología del paisaje”; y Cedric Price, reconocido por sus descripciones de la evolución de las ciudades (Calaza-Martínez, 2018). Esto ha llevado al surgimiento de distintos enfoques para la integración de la naturaleza

dentro de los espacios construidos, los cuales surgen desde diversas ramas académicas. Esto ha causado que emerjan nuevas áreas de estudio como el urbanismo paisajístico, la ecología urbana y el urbanismo ecológico del paisaje (Waldheim, 2006; Mostafavi & Doherty, 2010; Steiner, 2011).

Estas nuevas corrientes de urbanización buscan la incorporación de desafíos sociales y ambientales, además de la incorporación de los servicios ecosistémicos dentro de las ciudades. Siendo este uno de los objetivos del urbanismo ecológico del paisaje, mediante una planificación y diseño que permita su potencialización (Calaza-Martínez, 2018). Es aquí donde surgen estrategias que pretenden abordar problemáticas socioambientales en el entorno urbano con un enfoque de servicios ecosistémicos, parte de estas estrategias son las SbN.

Las SbN se definen como las acciones que se presentan para abordar amenazas o desafíos a los que se enfrenta la sociedad, y que toman como ejemplo la naturaleza; además son rentables y proporcionan a la vez una gran cantidad de beneficios en muchos aspectos de la vida cotidiana (Samaniego et al., 2021). Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza [UICN] (2016), se adoptó esta definición en el Congreso Mundial de la Naturaleza, donde se menciona que las SbN representan las acciones que están dirigidas a la protección, gestión y restauración de manera sostenible de los ecosistemas, estas hacen frente a problemáticas de la sociedad de manera efectiva y adaptativa, promoviendo el bienestar humano y de la biodiversidad.

Las soluciones se distribuyen en cinco categorías distintas dependiendo de su enfoque, en la Tabla 1 se presentan las categorías y los ejemplos de cada categoría.

Tabla 1.
Categoría de enfoque de SbN y ejemplos.

Categoría de enfoque	Ejemplo
Enfoques de restauración de ecosistemas	Restauración ecológica, Ingeniería ecológica, Restauración del paisaje forestal
Enfoques relacionados con ecosistemas específicos de la problemática	Adaptación basada en el ecosistema; Mitigación basada en los ecosistemas; Servicios de adaptación climática; Reducción del riesgo de desastres basada en los ecosistemas
Enfoques relacionados con la infraestructura	Infraestructura natural; Infraestructura verde
Enfoques de gestión basados en el ecosistema	Manejo integrado de la zona costera; Gestión integrada de los recursos hídricos
Enfoques de protección del ecosistema	Enfoques de conservación basados en áreas que incluyen el manejo de áreas protegidas

Nota: Cohen-Shacham et al., 2016.

Además de esta categorización por enfoque, también se categorizan por tipo, dependiendo de cuanta ingeniería de biodiversidad y ecosistemas necesitan. Por otro lado, los servicios ecosistémicos brindados y la cantidad de grupos involucrados, se distinguen tres tipos, los cuales son definidos por Eggermont et al. (2015), como:

- Tipo 1: Baja intervención en los ecosistemas, con el objetivo de mantener o mejorar la entrega de servicios ecosistémicos, dentro y fuera de los ecosistemas conservados. Estas SbN están conectadas con el concepto de Reservas de la Biosfera, que incluyen núcleos protegidos, zonas de amortiguación y áreas de transición donde se desarrollan actividades humanas.

- Tipo 2: Intervenciones medias en los ecosistemas y paisajes, corresponde a los enfoques de gestión que desarrollan ecosistemas y paisajes sostenibles. Este tipo mejora la entrega de servicios ecosistémicos, en comparación a una intervención más convencional. Además, está relacionado con los conceptos de agricultura de sistemas naturales (Jackson, 2002).
- Tipo 3: Alta intervención en los ecosistemas, consiste en un manejo extenso de los ecosistemas existentes o incluso la creación de nuevos ecosistemas. Este tipo está vinculado con los conceptos de infraestructuras verdes y azules, así como los objetivos de restauración de áreas degradadas.

Las SbN son herramientas que pueden ayudar a alcanzar objetivos tangibles del desarrollo, tales como la seguridad hídrica, reducción de riesgo ante eventos climáticos, mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático y mejoras en la salud humana (Ozment et al., 2021). Como medidas exclusivas o formando parte de la matriz de infraestructura verde-gris, proporcionan una variedad de beneficios al sitio donde se desarrollan. Muchos de estos ayudan al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y al acuerdo de París sobre el cambio climático (United Nations Environment Programme, 2019).

Las estrategias de SbN han sido probadas con eficacia en la planificación del territorio y son prioridad en la Unión Europea como medio para mejorar la calidad de vida dentro de las ciudades. Adicionalmente, son un abordaje coste-efectivo a los cambios presentes en la sociedad y se destacan por su transversalidad a la hora de abordar problemáticas (Calaza-Martínez, 2018). Estas estrategias buscan el establecimiento de espacios urbanos que faciliten a sus habitantes un mejor estilo de vida y con mayor contacto con la naturaleza, según Beatley (2011) este tipo de ciudades se define como ciudades biofílicas, promoviendo abundante presencia de naturaleza y afinidad entre los ciudadanos y la naturaleza.

2.3.2. Los servicios ecosistémicos

El concepto fue planteado inicialmente por Westman (1977), definiéndolos como servicios de la naturaleza. Actualmente los servicios ecosistémicos se definen como todos aquellos beneficios que se obtienen de los diversos ecosistemas y que son esenciales para el

bienestar humano (Millennium Ecosystem Assessment - [MEA], 2005). Este concepto se ha incluido en las estrategias políticas de las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales (Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA), 2007; Haslett, 2007).

Según MEA (2005) los servicios ecosistémicos se dividen en cuatro categorías principales:

1. los de aprovisionamiento, que comprenden los productos obtenidos directamente de los ecosistemas como alimentos, agua y materias primas;
2. los de regulación, relacionados con el control de procesos ecológicos como la purificación del aire y la regulación climática;
3. los culturales, que engloban los beneficios no materiales como el valor recreativo, estético o espiritual;
4. los de soporte, que incluyen los procesos ecológicos fundamentales como el ciclo de nutrientes y la formación del suelo, esenciales para el funcionamiento de los demás servicios

Algunos autores como Harrison et al. (2010) han mostrado la importancia de los servicios ecosistémicos, en este caso en Europa, donde los servicios de aprovisionamiento son de vital importancia para la alimentación, combustible, madera y agua.

La inclusión de la naturaleza desempeña un papel fundamental en maximizar los beneficios y minimizar los efectos negativos de la vida urbana. Los servicios ecosistémicos del capital natural proporcionan la base para entender estos beneficios (Sirakaya et al., 2018). Además, se ha utilizado el concepto para informar en la toma de decisiones en políticas de planificación urbana, y de esta forma maximizar los resultados del bienestar (Salmond et al., 2016) y aumentar la resiliencia de los espacios urbanos (Kabisch et al., 2016b).

Por lo que la integración de los servicios ecosistémicos que puedan brindar las SbN son de importancia para la definición de las medidas más aptas para ser establecidas, dada su capacidad de responder a las problemáticas urbanas. Así mismo, como lo indican los autores, el abordaje desde los servicios ecosistémicos ha sido utilizado para influenciar las decisiones

en temas de políticas urbanas, por lo que ya existe un reconocimiento de los beneficios que se pueden obtener.

2.3.3. Los co-beneficios

El término aparece en la literatura desde los años 90, aunque empezó a popularizarse hasta el año 2001, mediante la publicación del Tercer Informe de Evaluación del IPCC (Miyatsuka & Zusman, 2010). Hace referencia al cumplimiento simultáneo de varios objetivos, resultado de una iniciativa, ya sea de política pública, el sector privado o combinación de ambas (Helgenberger et al., 2019).

En el contexto ambiental, se entiende como co-beneficios a todos aquellos beneficios fuera del objetivo principal por el que se desarrolló una iniciativa, por ejemplo, en el ámbito de la mitigación, se consideran co-beneficios a los bienes y servicios ecosistémicos (Gómez, 2017). El enfoque de los co-beneficios tienen una relevancia para el compromiso de los gobiernos de trabajar en el aumento de la igualdad y la justicia social, adicionalmente son facilitadores para superar barreras políticas y establecer coaliciones en política pública (IASS, 2017).

El enfoque de los co-beneficios, juega un papel importante en la construcción de alianzas y como facilitador de transiciones inclusivas y sostenibles. De igual forma ha influenciado en el discurso político internacional, la implementación del Acuerdo de París y la Agenda 2030 (IASS, 2020). Estos enfoques permiten facilitar la comprensión del impacto positivo que pueden tener estrategias como las SbN en los espacios urbanos, además de los beneficios ya mencionados de establecimiento de alianzas e inclusión.

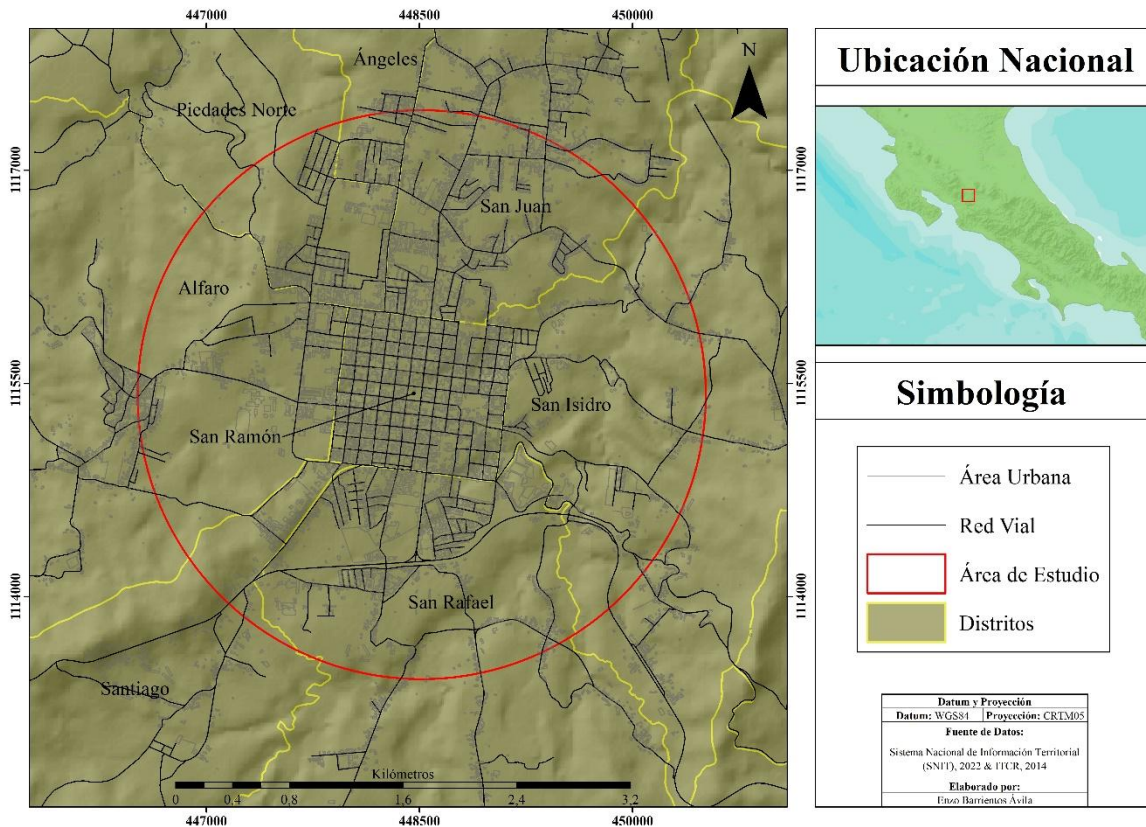
Capítulo III. Área de Estudio

3.1. Área de estudio

El área de estudio comprende una circunferencia de radio de dos kilómetros, a partir de un punto generado mediante el uso de sistemas de información geográfica en el centro del distrito de San Ramón, lo que representa un área de 12,56 km² (Figura 1). El área abarca parte de los distritos de Ángeles, Santiago, Piedades Norte, San Juan, San Isidro y Alfaro, lo que representa el área más urbanizada del distrito central y su periferia. En esta área se destacan las actividades económicas, principalmente de comercio y servicios, sin embargo, también hay presencia de hogares y población vulnerable como en hospitales, centros educativos y hogares de ancianos.

Figura 1.

Ubicación geográfica del área de estudio.



3.1.1. Descripción biofísica

En cuanto a las características biofísicas del área, su altitud va desde los 977 hasta los 1173 m.s.n.m.; en cuestión de clima, su precipitación anual es de 2491 mm y su temperatura promedio es de 20 °C (Moya & Brenes, 2014). San Ramón se caracteriza por poseer rocas y suelos vulcano-sedimentarios, su ubicación en el arco volcánico de Costa Rica provoca que la ciudad sea anuente a temblores asociados a fallamiento local e interacción de placas (Ramírez, 1995)

El área posee una red fluvial bien definida, esta cuenta con un grupo de ríos y quebradas que se pueden considerar punto de amenazas hidrometeorológicas, a causa de la ocupación de planicies de inundación, el desarrollo urbano sin planificación y el deterioro de las cuencas hidrográficas (Municipalidad de San Ramón, 2022). En cuanto a los tipos de suelo, el área presenta dos, Ultisoles y Urbano, como en la mayoría del país. Los Ultisoles son dominantes en cuanto a extensión, abarcando el 90,02% del área total, mientras que el Urbano abarca 9,98%.

3.1.2. Descripción del entorno biológico

En el área de estudio se encuentran dos zonas de vida, el Bosque Húmedo Premontano (bh-P) y el Bosque Muy Húmedo Premontano (bmh-P). En San Ramón se estudiaron en algunas áreas específicas para determinar la biodiversidad de la región, González y Barrantes (2018), identificaron las especies arbóreas del Bosque Demostrativo de la Universidad de Costa Rica, Sede de Occidente, y determinaron 72 especies de árboles.

En cuanto a anfibios y reptiles, para el año 2020 se realizó un inventario en el humedal de la quebrada Estero, donde se reportaron 19 especies, en 14 familias, de las cuales ocho son de reptiles y seis son de anfibios. Además, se menciona que seis de las especies están fuertemente asociadas a cuerpos de agua y presentan una gran tolerancia al disturbio (Núñez, 2020). En el grupo de las aves Guido y Rodríguez (2009) identificaron 86 especies presentes en el Bosque Municipal José Figueres Ferrer. Del mismo grupo en la Ciudad Universitaria Carlos Monge Alfaro de la Universidad de Costa Rica, se reportaron 108 especies (Rodríguez y Guido, 2011) y para la ciudad de San Ramón se registraron un total de 175 especies distribuidas en 43 familias distintas (Guido & Rodríguez, 2011).

3.2. Descripción del entorno social

3.2.1. Entorno social

En la zona urbana del cantón existen en total 13679 viviendas, de las cuales 93% se encuentran ocupadas, en la zona rural 80% de las 13191 viviendas existentes se encuentran ocupadas, el 7% de las viviendas se encuentra en mal estado, 16% en estado regular y 67% en buen estado, y en general 85% de las viviendas cuenta con acceso al abastecimiento de agua potable (Araya, 2016). Para el año 2011, del total de la población 31182 eran parte de la fuerza de trabajo, de los cuales 67,70% eran hombres y 32,30% mujeres, de esta fuerza laboral, 81% pertenecía al sector privado y 19% al sector público, el cantón presentaba una tasa de desempleo general de 2,9; 3,2 para hombres y 2,3 para mujeres (INEC, 2011b).

3.2.1.1. Demografía

El cantón cuenta con una población total de 80566 habitantes, de la cual el 52,9% de esta habita en áreas urbanas, destacándose como distritos urbanos: Alfaro, San Isidro, San Juan, San Ramón y Santiago (INEC, 2011a). El porcentaje de población presente en el cantón con una edad de 65 años o más es de 8,0%, población de interés por los riesgos que pueden enfrentar ante eventos climáticos extremos. (Tabla 2)

Tabla 2.
Características de la población en el área de estudio.

Distrito	Población total	Densidad de población	Población urbana	Porcentaje de población de 65 años y más	Porcentaje de discapacidad
San Ramón	8 717	6 757,4	8 717	14,4	11,3
Santiago	4 535	75,3	927	7,0	8,1
San Juan	11 695	2 306,7	11 695	8,7	12,5
Piedades Norte	8 147	177,1	3 451	7,6	12,4
Piedades Sur	3 738	32,1	313	8,8	11,0
San Rafael	9 321	302,3	4 212	7,6	9,5
San Isidro	4 478	521,3	1 434	7,2	11,4
Ángeles	8 500	22,1	2 923	6,6	8,1
Alfaro	7 137	408,1	4 523	6,8	10,2
Volio	2 270	108,6	374	7,2	14,5
Concepción	2 348	260,9	2 348	7,0	10,7
Zapotál	391	5,8	-	7,9	8,2
Peñas Blancas	9 289	37,2	1 713	5,2	8,1
Total	80.566	79,1	52,9	8,0	10,4

Nota: INEC, (2011a). * Estos datos no incluyen al distrito de San Lorenzo ya que son generados antes de su creación

3.2.1.2. Índice de Desarrollo Social (IDS)

El IDS es un indicador compuesto que elabora MIDEPLAN para ordenar distritos y cantones según su nivel de desarrollo social y orientar la asignación de recursos públicos. Se calcula a partir de varios indicadores administrativos agrupados en cinco dimensiones (económica, educación, salud, seguridad y participación electoral). Clasifica a los distritos en (MIDEPLAN, 2018):

- Muy bajo (Q1): está en el 20 % con menor puntaje.
- Bajo (Q2): 20–40.
- Medio (Q3): 40–60.
- Alto (Q4): 60–80.
- Muy alto (Q5): 80–100 (el 20 % con mayor puntaje).

Para el caso de San Ramón (Tabla 3) muestra como la mayoría de los distritos de San Ramón están en los niveles de Desarrollo Relativo Menor, cinco en el nivel Medio y dos en nivel Bajo, solo el distrito central está en el nivel de Mayor Desarrollo Relativo. El IDS general para el cantón es de 64,78 (MIDEPLAN, 2023).

Tabla 3.

Dimensiones del IDS, IDS del año 2017 y Áreas de Mayor y Menor Desarrollo Relativo para los distritos de San Ramón.

Distrito	Dimensión					IDS
	Salud	Participa	Seguridad	Educación	Económico	2023
San Ramón	82,8	68,7	81,6	97,9	55,3	83,3
Santiago	60,8	65,1	63,1	74,1	47,1	63,1
San Juan	78,7	53,2	85,9	65,8	55,4	69,0
Piedades Norte	80,7	59,4	91,8	83,4	45,8	73,4
Piedades Sur	58,9	71,6	100,0	64,9	34,5	59,5
San Rafael	67,4	61,9	91,4	82,7	53,0	71,9
San Isidro	61,0	54,4	94,5	75,4	50,9	65,5
Ángeles	70,9	58,4	71,4	73,1	45,5	64,9
Alfaro	81,1	60,1	98,4	61,4	55,5	71,0
Volio	58,9	63,6	93,0	69,1	50,0	64,3
Concepción	63,9	62,9	96,6	95,0	44,7	72,2
Zapotal	60,8	81,2	100,0	29,9	7,5	41,3
San Lorenzo	55,4	52,8	97,3	75,6	39,5	59,4

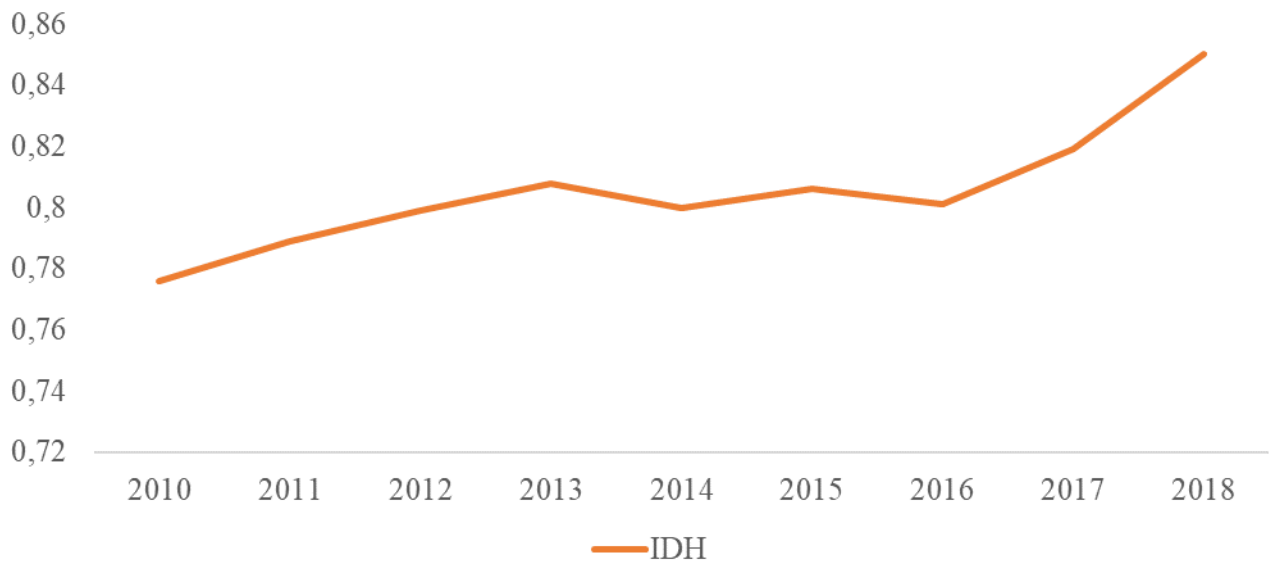
Nota: MIDEPLAN, (2023).

3.2.1.3. Índice de desarrollo humano (IDH)

El IDH es un indicador que integra tres dimensiones: vida larga y saludable, educación y nivel de vida digno. Para calcularlo, los indicadores se combinan otorgando a cada uno el mismo peso. El resultado es un valor entre 0 y 1, donde 0 corresponde al menor nivel de desarrollo y 1 al mayor. Para el cantón de San Ramón ha variado a lo largo de los años (Figura 2), pero en el periodo 2010-2018 el cantón se ha mantenido en la categoría de Alto Desarrollo Humano, con un promedio del índice de 0,800 (UCR & PNUD, 2020).

Figura 2.

Dinámica del IDH para el cantón de San Ramón en el periodo 2010-2018.



Nota: UCR y PNUD, (2020).

3.2.2. Instituciones presentes

3.2.2.1. Municipalidad de San Ramón

El gobierno local dispone de una unidad de gestión ambiental y muestra interés en la sostenibilidad urbana. Cuenta con capacidad para implementar SbN a escala local y comunal, y para promover su adopción a nivel individual.

3.2.2.2. Ministerio de Salud

Es el ente encargado de velar por la salud de la población. Las SbN aplicadas como reverdecimiento de las ciudades han mostrado un gran efecto sobre la salud y el bienestar de la población. Adicionalmente cumple un rol importante en la identificación de problemáticas urbanas.

3.2.2.3. Ministerio de Agricultura y Ganadería

Es responsable de promover prácticas agrícolas sostenibles y su participación es indispensable en las capacitaciones para implementar SbN, como los huertos urbanos.

3.2.2.4. SINAC/MINAE

Institución encargada de liderar los procesos medio ambientales y de sostenibilidad. De vital importancia para la identificación de problemáticas socioambientales, asimismo de desarrollar proyectos para implementar SbN, así como apoyo técnico y capacitación en implementación de SbN.

3.2.3 Actores Sociales Clave

3.2.3.1. ONG's

El área de estudio se caracteriza por la diversidad de ONG de carácter medio ambiental. Sus misiones están asociadas de cierta manera a los objetivos de esta investigación.

3.2.3.2. ASADAS

Encargadas de aprovisionamiento y protección de recurso hídrico. Sus zonas de protección brindan servicios ecosistémicos asociados no solamente a la recarga acuífera, proveen soporte a la diversidad y regulación de procesos ecosistémicos, entre otros.

3.2.3.3. Asociaciones de Desarrollo

Pueden promover la ejecución de SbN a una menor escala que las instituciones, pero a mayor escala que la individual. También son importantes para la identificación y mapeo de problemáticas.

Capítulo IV. Metodología

4.1. Enfoque y diseño de la investigación

La investigación es de carácter mixto, ya que analiza variables cuantitativas y cualitativas. Este método se basa en procesos sistemáticos, empíricos y críticos, que implican la recolección y análisis de datos, cualitativos y cuantitativos, y su integración para discutir juntos (Sampieri, 2014). El diseño corresponde a no experimental, ya que no hay manipulación de las variables, estas se observan en su contexto natural (Hernández et al., 2014)

4.2. Tipo de investigación

La investigación realizada es descriptiva, ya que los datos se recogen sin alterar el ambiente o las condiciones del objeto de estudio, lo que permite representar cómo se comporta una población o fenómeno en un momento determinado (Sampieri et al., 2022). Según Babbie (2021), la investigación descriptiva se centra en describir las características de un fenómeno o población. Este tipo de estudios no pretenden explicar por qué ocurren las cosas, sino cómo son y cómo se manifiestan.

4.3. Fases de investigación

4.1.1. Fase 1. Problemáticas urbanas

4.1.1.1. Revisión de literatura

Se realizó una revisión bibliográfica a partir de la cual se creó un listado de las problemáticas obtenidas, separadas por los distintos ámbitos. La revisión siguió el Framework SALSA (Grant & Booth, 2009) en sus siguientes etapas:

- **Búsqueda:** se establecieron los criterios para la búsqueda de los documentos que formaron parte de la base de evidencia, los cuales serán documentos con una antigüedad no mayor a 10 años, en idioma español o inglés, no se utilizó filtro para el país en el que se publica el documento, se filtraron los documentos por el área de estudio, enfocada principalmente a América Latina. Para esta fase se utilizó el motor de búsqueda “Web of Science”, con las

palabras clave “urban environmental issues”, “urban environmental challenges”, así como su respectiva traducción al español.

- Evaluación: consistió en el proceso de revisión de los documentos obtenidos a partir de la búsqueda, donde se examinó a fondo que cumplieran los criterios establecidos en la fase anterior. Además de estos criterios se revisó los objetivos de los trabajos, las metodologías, los resultados y la posibilidad de abordar mediante SbN.
- Síntesis: corresponde a la representación de cada trabajo a manera de síntesis, en trabajos cualitativos se utilizan fichas o tablas para representar los trabajos y para las investigaciones cuantitativas se utilizan los aspectos numéricos.
- Análisis: es la fase de descripción y valoración de los resultados, la cual nos permite mostrar el estado general del campo estudiado.

4.1.1.2. Validación de datos obtenidos

Se desarrolló un grupo focal, el cual se define como un espacio para captar el sentir, pensar y vivir de las personas, generando que estas den explicaciones propias para obtener datos cualitativos (Hamui-Sutton & Varela-Ruíz, 2013). Kitzinger (1995) define a esta técnica como una forma de entrevista grupal, que utiliza la comunicación entre el investigador y los participantes para obtener información relevante. El fin del grupo focal fue validar las problemáticas resultantes de la revisión, determinar la presencia de estas en el área de estudio, para realizar una priorización y mapeo.

Este método es útil para obtener conocimientos y experiencias en un ambiente de interacción, Además, facilita la discusión y el intercambio de opiniones entre los participantes (Hamui-Sutton & Varela-Ruíz, 2013). El grupo estuvo conformado por personas de las instituciones públicas presentes en el área, además de ONG's y grupos de la sociedad civil. Se consideró el 60% de la convocatoria como el mínimo de participación para considerar la información recabada como válida.

Se convocó a personas de las siguientes instituciones u organizaciones: SINAC/MINAE, Municipalidad de San Ramón, Universidad de Costa Rica, Ministerio de Salud, Instituto Costarricense de Electricidad, Unión Cantonal de Asociaciones de Desarrollo del Cantón de

San Ramón, Fundación Bosque Nuboso de Occidente, Cámara de comercio, industria y turismo, ASADA de San Isidro y Club de Leones. Se contó con la representación del 80% de las entidades invitadas, con una participación total de 9 personas, de 11 convocados de las distintas instituciones y organizaciones (Anexo 1).

La recolección de información en el grupo focal se llevó de la siguiente manera:

Introducción:

- Bienvenida a los participantes.
- Presentación del propósito y objetivos del grupo focal.
- Explicación del proceso y confidencialidad de la información.

Fase 1: Presentación de los participantes:

- Nombre, ocupación y experiencia en el cantón de San Ramón.
- Breve descripción de la relación con el área urbana (residencia, trabajo.).

Fase 2: Validación de problemáticas:

- Se realizó una breve descripción del contexto urbano de San Ramón.
- Se presentó a los participantes de los resultados de la revisión de literatura.
- Se invitó a las personas participantes a determinar la presencia de las problemáticas mencionadas en el área.

Método:

1. Se invitó a los participantes a expresar sus opiniones sobre las problemáticas socioambientales presentadas.

Fase 3: Desglose de problemáticas:

- Se realizó una discusión en profundidad sobre las problemáticas mencionadas para comprenderlas mejor.

Método:

1. En dos grupos, se les entrega a los invitados fichas (Tabla 4) con las problemáticas encontradas y pedirles que mencionen en cada una, situaciones específicas que permitan demostrar cómo estas problemáticas afectan el área.
2. Se presentaron los resultados de las fichas y para discutir en grupo.

Tabla 4.

Ejemplo de ficha utilizada para especificar casos de problemáticas (Anexo 2 y 3).

Problemática	Casos específicos
A	

Fase 4: Validación del impacto de las problemáticas:

- Se solicitó a las personas participantes valorar en escala numérica entre 1 y 5 la afectación producida por las problemáticas.

Método:

1. Se utilizó una matriz numérica para valorar el alcance y la afectación provocada por las distintas problemáticas (Tabla 5)

Tabla 5.

Ejemplo de matriz utilizada para los pasos 2 y 4 del taller (Anexo 4).

#	Problemática	Presencia	Impacto	Alcance
1	A	Sí		
2	B	No		
n...	C			

Fase 5: Mapeo de problemáticas:

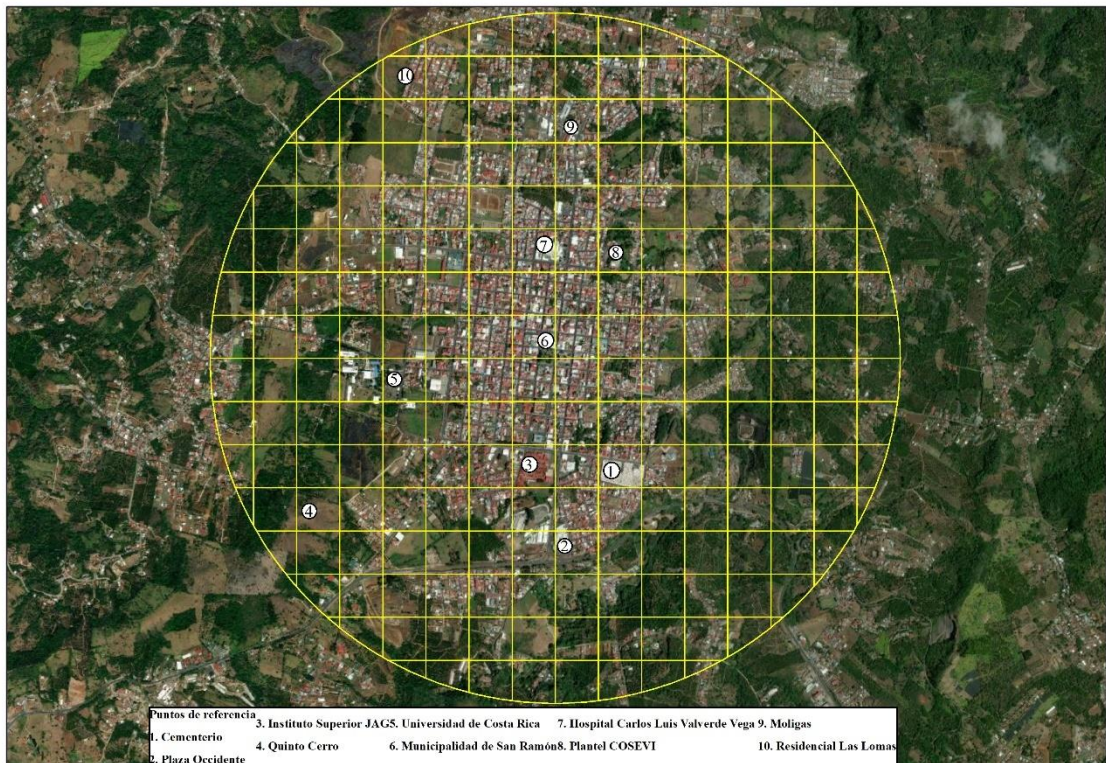
- Se solicitó a las personas participantes que identifiquen las ubicaciones geográficas precisas donde estas problemáticas son más evidentes

Método:

1. Se utilizó un mapa impreso (Figura 3) y stickers con números asignados a cada problemática, se colocarán los stickers en los sitios donde se considere que está sucediendo esta problemática (Anexo 5).

Figura 3.

Mapa utilizado para establecer la ubicación específica de las problemáticas.



Cierre:

- Agradecimiento a los participantes por su tiempo y valiosas aportaciones
- Compromiso de compartir los resultados y posibles acciones derivadas del grupo focal
- Invitación a futuras colaboraciones o participación en proyectos relacionados

A partir del mapeo de problemáticas se realizó una validación en campo para determinar su presencia en los puntos específicos en los que fueron ubicadas. Por lo que se realizó la visita a 303 puntos que representan distintas problemáticas, distribuidos a lo largo del área

de estudio, en los cuales se tomaron fotografías para tener evidencia de la presencia de la problemática. Utilizando el software GeoDa se realizó un análisis para determinar si existe una autocorrelación entre los impactos de las problemáticas de manera puntual y por unidad de área, de acuerdo con Comar et al. (2003) GeoDa es un software libre de análisis de datos espaciales, geovisualización, autocorrelación y modelización espacial.

Para el análisis puntual se eliminaron los puntos relacionados a la problemática del clima, ya que estos no están ubicados en un área puntual, si no que afectan a toda el área de forma general. Para realizar el análisis se creó el archivo de pesos, utilizando Pesos de Contigüidad Reina y se analizó mediante el Índice de Moran Local Univariante para obtener los mapas de significancia y de conglomerados.

El análisis por unidad de área se llevó a cabo sumando los impactos de todas las problemáticas que afectan cada cuadrante. Para este caso si se toma en cuenta la problemática de clima, ya que se analiza el área completa. En este análisis se creó el archivo de pesos, utilizando Pesos de Contigüidad Reina y se analizó mediante el Índice de Moran Local Univariante para obtener los mapas de significancia y de conglomerados.

4.1.2. Fase 2. Ofertas y oportunidades para las SbN

4.1.2.1. Cobertura del suelo

Se utilizó la información geoespacial obtenida del Sistema Nacional de Información Territorial. Además, se determinó la cobertura del suelo, utilizando imágenes satelitales multiespectrales Planet Scope (Planet Labs PBC, 2018) del año 2023, con una resolución espacial de 3 metros por 3 metros, obtenidas de la Escuela de Geografía de la Universidad de Costa Rica. Se realizó una interpretación visual de las imágenes para determinar los elementos que componen el área en el que se va a trabajar y realizar una preclasificación de las coberturas presentes en el área, así como su interpretación. Para esto se utilizaron las características pictórico-morfológicas descritas por Rosales (2013), con el apoyo de la composición de bandas para resaltar de mejor forma los elementos presentes en la imagen.

Para realizar la clasificación de cobertura se utilizó el software ArcGIS, y la clasificación se realizó con el método de clasificación supervisada utilizando los criterios de probabilidad de máxima verosimilitud. La misma se basa en la distribución normal de los datos para así

determinar la probabilidad de que un píxel pertenezca a cada una de las clases asignadas (Chuvieco, 2010; Richards, 2013). Este algoritmo de clasificación es uno de los más utilizados en la calificación de imágenes, debido a su gran eficiencia y disponibilidad en la mayoría de los programas de sensores remotos (Zhang et al., 2021; Yu et al., 2014).

La clasificación supervisada parte de la definición de regiones de interés (ROI, por sus siglas en inglés), para agrupar y clasificar los píxeles de rango espectral similar y separarlos en categorías (Perea-Ardila et al., 2022). Congalton (1991) aconseja utilizar un mínimo de 50 puntos por categoría en áreas menores a 400 000 ha. Una vez obtenidos los ROI's (700), se realiza la clasificación de cobertura.

El postproceso de la clasificación se efectuó para corregir el efecto “sal y pimienta”, el cual se da cuando dentro de un grupo de píxeles clasificados dentro de una categoría se encuentran píxeles aislados de otras categorías (Conde et al., 2009). Para solucionar esto, se aplican filtros por tamaño de área, seleccionando los valores menores a 30 metros cuadrados y eliminándolos mediante la herramienta de Generalización “Eliminate”, suprimiendo el polígono por sus bordes y uniéndolo a la clase dominante en esa área.

Se comprobaron los datos en el campo, por puntos que generan incertidumbre en la clasificación, creando una cuadrícula de 600 por 600 metros dentro del área de estudio y generando 3 puntos aleatorios en cada unidad de área, para un total de 135 puntos de comprobación. Estos puntos fueron visitados para corroborar las coberturas presentes y realizar una mejor descripción de los mismos. La evaluación se realizó mediante una matriz de confusión, donde se determinaba si la cobertura en campo correspondía con la resultante de la clasificación. Se consideró una precisión de la matriz mayor a 0,85 para dar los datos como válidos, por lo que después de la primera matriz se realizaron correcciones en los ROI. Sumando a esto, se realizó la clasificación nuevamente y se evaluó con los puntos de campo hasta alcanzar una precisión mayor al 0,85.

4.1.2.2. Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

Como apoyo al trabajo de clasificación de la cobertura se realizó el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) a partir de una imagen Sentinel 2b, utilizando la siguiente fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Donde:

NDVI: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

NIR: Infrarrojo cercano

Red: Banda Roja

La determinación de la cobertura y su caracterización, así como el apoyo de los índices, permitió encontrar los espacios que ofrecen naturaleza y las oportunidades para establecer nuevas soluciones. Se buscó identificar la presencia o ausencia de todas aquellas áreas descritas en la Tabla 6.

Tabla 6.

Áreas que representan una oferta u oportunidad para las SbN.

Áreas protegidas	Oportunidades para la conectividad ecológica	Zonas con función amortiguadora
Suelos de protección	Cuencas abastecedoras	Espacio público
Suelos de protección por riesgo	Rondas	Jardines
Áreas estratégicas de conservación de especies endémicas	Humedales	Arbolado urbano
Áreas de conectividad existentes	Otros cuerpos de agua	Cesiones urbanísticas gratuitas en diseño y desarrollo
Parques	Plazas	Oportunidades en áreas privadas

Nota: Figueroa-Arango, 2020.

4.1.2.3. Índice Integrado Relativo de Antropización

Se estimó el grado de antropización relativo utilizando el Índice Integrado Relativo de Antropización (INRA), a partir del método propuesto por Martínez (2010) y con las modificaciones necesarias para este estudio. El área destinada para realizar el INRA cuenta con una extensión de 12,57 km², por lo que se dividirá en Unidades de Análisis (UA) de 0,06 km² cada una, distribuidas en una matriz que abarca diferentes tipos de coberturas. Cada UA a su vez se dividirá en 25 Subunidades de Análisis (SUA) hasta donde lo permita la forma del área de estudio.

Para determinar el grado de antropización fue necesario utilizar los datos obtenidos de la clasificación de la cobertura del suelo y así obtener la cobertura presente en las SUA (Figura 4). A cada cobertura se le asignará un valor que va desde 0 hasta 1, siendo 0 el menor grado de antropización y 1 el grado más alto, una vez se tuvo los tipos de cobertura se le asignó un valor a cada SUA dependiendo de la cobertura predominante en cada uno. Una vez que cada SUA tuvo su valor de antropización se calculó el grado de antropización de cada UA con la fórmula:

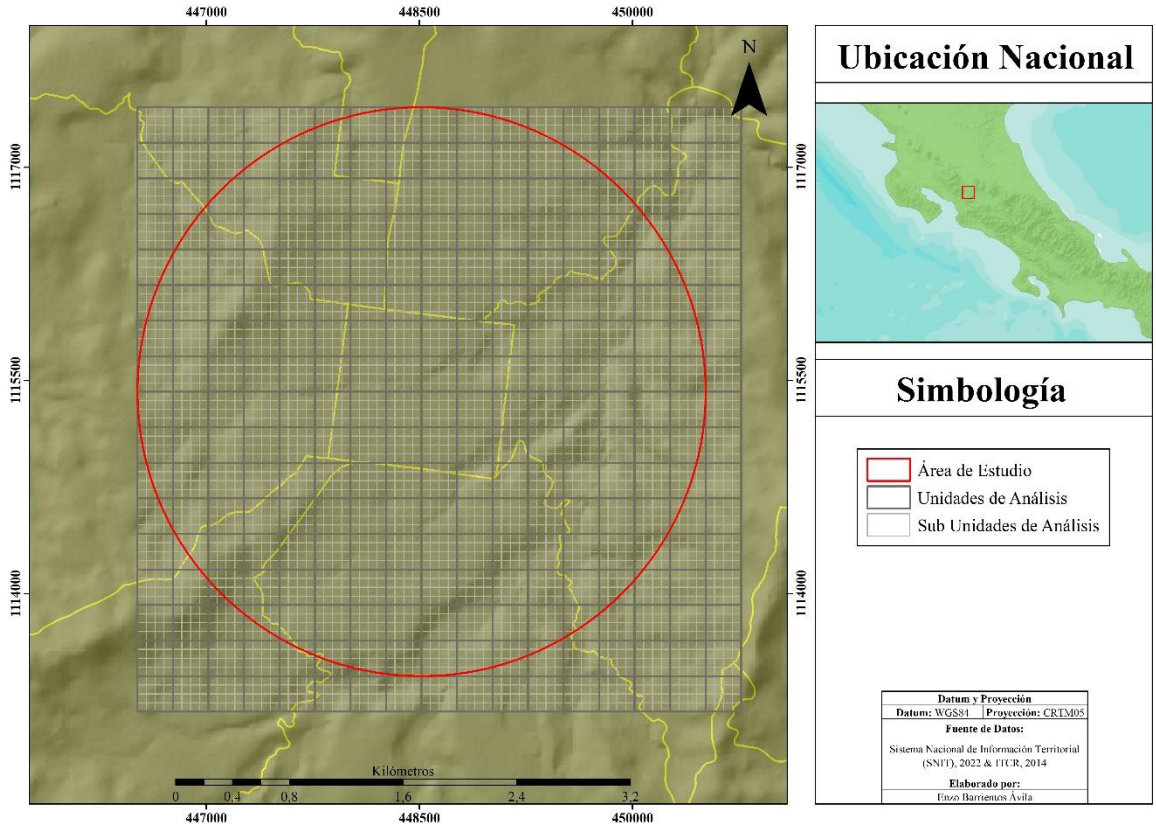
$$INRA = \frac{\sum SUA}{n}$$

Donde:

INRA: Índice Integrado Relativo de Antropización

n: Cantidad de SUA por cada UA

Σ SUA: es la sumatoria del valor de antropización parcial de todas las SUA de una UA

Figura 4.*Unidades y Subunidades de Análisis en el área de estudio.*

Se trabajó con las siguientes coberturas y grados de antropización:

Tabla 7.

Coberturas y grados de antropización para la clasificación del INRA.

Categoría	Grado de Antropización	Nombre	Cobertura	Descripción
A	0.0	Natural o prístino	Coberturas naturales sin intervención	Bosques, ríos, lagos, lagunas, humedales
B	0.25	Muy bajo	Zonas verdes arboladas	Parques, bosques urbanos, jardines arbolados, orillas de río
C	0.30	Bajo	Tacotal	Zonas con vegetación en regeneración natural, dominan especies arbustivas
D	0.35	Moderado	Cultivos con sombra	Zonas de cultivo con presencia de árboles
F	0.75	Alto	Pastos	Zonas de pastoreo
G	0.95	Muy alto	Suelo descubierto	Suelos desprovistos de sus coberturas naturales, sin presencia de coberturas artificiales
H	1	Total	Cobertura urbana	Casas, carreteras, comercios, infraestructura antrópica

Nota: Modificado de Martínez, 2010.

4.1.2.4. Fragmentación del paisaje urbano

Para determinar el grado de fragmentación del paisaje urbano se utilizó la capa de cobertura del suelo obtenida en procesos anteriores, en formato raster. Se creó un archivo de descriptores de clase, donde se colocó la información de cada uno de los tipos de cobertura presentes en el área. El análisis se ejecutó con ayuda del software FragStats, ya que ofrece una amplia cantidad de métricas a nivel de paisaje y de clase, y el uso para cuantificar la estructura a estas escalas se ha demostrado ampliamente con anterioridad (Ricketts 2001;

Çakir et al., 2007; MacLean & Congalton 2015; Singh et al., 2016). Se analizaron dos escalas: clases y paisaje y se evaluaron los siguientes aspectos (Martínez & Herrera, 2023):

- **Escala de clase:**

1. **Número de Parches:** Determina la cantidad de parches por cada tipo de cobertura
2. **Densidad de Borde:** La Densidad de Bordes mide la longitud total de los bordes de los parches por unidad de área en el paisaje. Es una medida que combina la cantidad y la complejidad de los bordes de los parches en una clase o en todo el paisaje.
3. **Tamaño Medio de Parche:** Calcula el área promedio de todos los parches pertenecientes a una misma clase de cobertura del suelo.
4. **Distancia al Vecino Más Cercano:** Distancia media desde cada parche hasta el más cercano de la misma clase. Valores bajos indican buena proximidad y potencial conectividad; valores altos, aislamiento.
5. **Índice de Forma:** El Índice de Forma mide la complejidad de la forma de los parches en el paisaje.
6. **Índice de Dimensión Fractal:** El Índice de Dimensión Fractal mide la complejidad de los bordes de los parches, indicando cómo cambia la complejidad de la forma con la escala. Se utiliza para evaluar la rugosidad y la irregularidad de los límites de los parches.
7. **Índice de Conectividad:** El Índice de Conectividad mide la proporción de parches que están conectados entre sí dentro de una clase o en todo el paisaje, considerando una distancia umbral específica. Es una métrica de la conectividad estructural de los parches. (Se determinó como distancia de umbral 10 metros para ambos análisis)
8. **Índice de Agregación:** El Índice de Agregación mide el grado de agrupación de los parches de la misma clase en el paisaje. Indica cuánto los parches de una clase están cercanos entre sí, formando grupos o agregaciones.

- **Escala de paisaje:**

1. **Densidad de Borde**
2. **Índice de Conectividad**
3. **Índice de Agregación**

4. **Índice de Diversidad de Shannon:** El Índice de Diversidad de Shannon mide la diversidad de clases de cobertura del suelo en el paisaje. Considera tanto el número de diferentes clases presentes (riqueza) como la proporción relativa de cada clase (abundancia).
5. **Índice de Equitatividad de Shannon:** El Índice de Equitatividad de Shannon mide cuán equitativamente se distribuyen las áreas de las diferentes clases de cobertura del suelo en el paisaje.

4.1.2.5. Oferta de naturaleza en la ciudad de San Ramón.

Se extrajo de las capas de cobertura obtenidas los parches de cobertura forestal a modo de bosques urbanos, además de las zonas de humedal, los parques, las plazas y se utilizaron datos del Sistema Nacional de Información territorial para los cuerpos de agua. De las áreas resultantes, se seleccionaron tres de uso público para medir los servicios ecosistémicos que proveen los árboles presentes, utilizando el software i-Tree, con su módulo Eco. Este proporciona datos de los bosques urbanos o árboles presentes en el área de estudio, utiliza datos procedentes de inventarios o parcelas de árboles, junto a datos meteorológicos para cuantificar la estructura del bosque urbano, sus efectos y valor para la comunidad (US Department of Agriculture, Forest Service, 2021).

La toma de datos se llevó a cabo tomando en cuenta lo establecido en el manual de i-Tree Eco (US Department of Agriculture, Forest Service, 2021), la tabla de datos recolectados se puede consultar en el Anexo 6. El proceso utilizado para la ejecución del software corresponde a:

1. Toma de datos de campo

- Especie
- Uso de suelo: Definido como “Parque” para todos los árboles.
- Estrato: Cada uno de los tres sitios de toma de datos: Parque Alberto Manuel Brenes, Cerro El Tremedal y el Parque Recreativo La Sabana.
- Estado de la copa (Muerte regresiva): Salud de la copa.
- Altura total: Altura del suelo a parte superior (vivo o muerto) del árbol.
- Altura copa viva: Altura del suelo a parte superior viva del árbol

- Altura a la base de la copa: Altura del suelo a la base de la copa viva.
- Ancho de la copa: Ancho de copa en dos direcciones: norte-sur y este-oeste.
- Porcentaje copa ausente: Porcentaje del volumen de la copa que no ocupan las ramas y hojas.
- Diámetro Altura de Pecho (DAP): Diámetro medido a la altura del pecho de todos los tallos con los que cuenta el árbol.

2. Selección de datos meteorológicos:

- Se utilizó para efectos de precipitación y temperatura la estación meteorológica ubicada en el Aeropuerto Internacional Juan Santamaría, ya que es la estación más cercana al área de estudio que se encuentra registrada en la base de datos del software.

3. Valor de datos económicos:

- Los servicios ecosistémicos se cuantifican en valores monetarios utilizando los precios de mercado, costos evitados o con métodos de valoración contingente, dependiendo de los servicios que se evalúen. Como ejemplo, la captura de carbono se valora según el precio del carbono en el mercado de emisiones (González-Hernández et al., 2023). Para esta sección se decidió dejar que el software utilizará los datos del valor de las variables por defecto, ya que utiliza los datos más actualizados y los convierte a la moneda seleccionada. Asimismo, utiliza los métodos de valoración de manera automática, para los servicios ecosistémicos seleccionados en el análisis.

4. Resultados:

- Una vez recopilada toda la información se envían los datos para que se realice el análisis y se regresa un informe detallado con los resultados. El software presenta los resultados completos o por secciones como estructura del bosque urbano y beneficios.

4.1.3. Fase 3. Soluciones Basadas en Naturaleza

4.1.3.1. Selección de SbN y escenarios de implementación

El área de estudio se dividió en cuadrantes de 250 metros por 250 metros y con el fin de priorizar las áreas afectadas, se establecieron la cantidad y el tipo de problemáticas presentes

en cada cuadrante que se encuentra dentro del círculo de área de estudio. Lo que equivale a 224 unidades de área para trabajar (Figura 5). Para la propuesta se seleccionaron únicamente las unidades en prioridad media y alta. La categorización se realizó basado en Figueroa-Arango (2020):

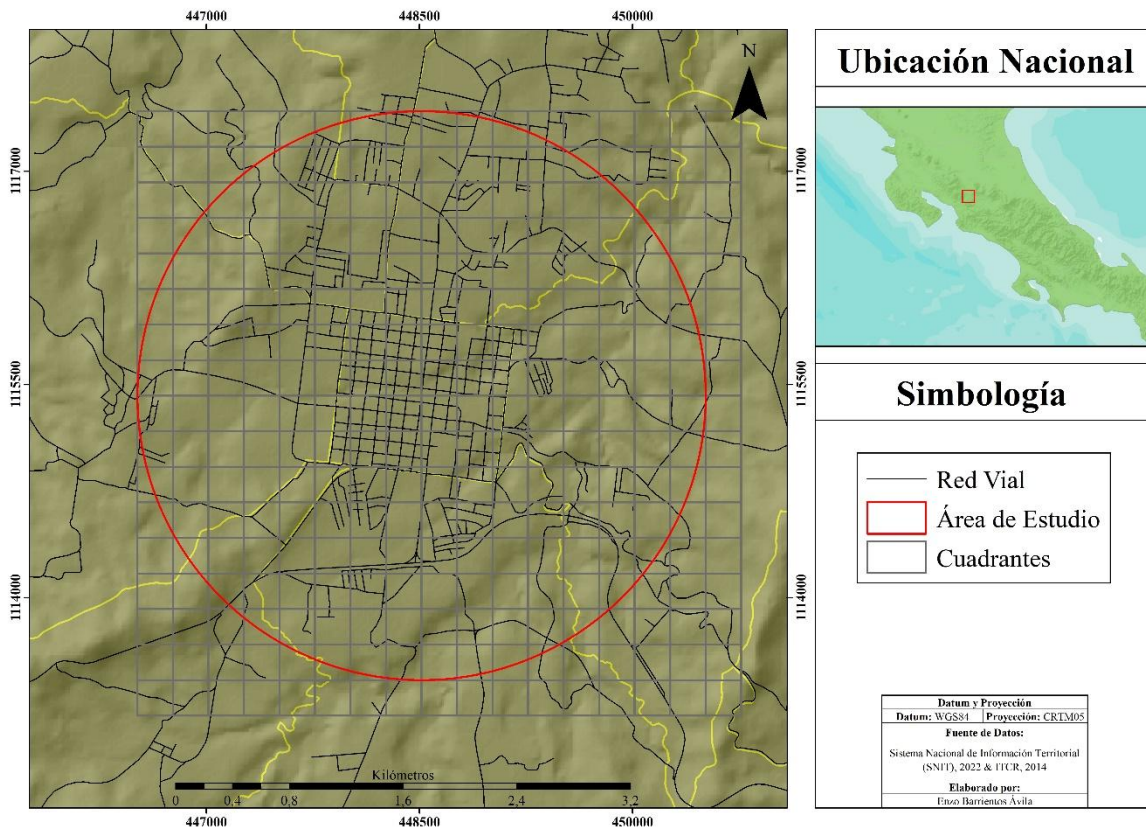
Alta: zonas que presentan 5 o más problemáticas

Media: zonas con 3 o 4 problemáticas

Baja: zonas con 1 o 2 problemáticas

Figura 5.

Cuadrantes para priorización basados en cantidad de problemáticas.

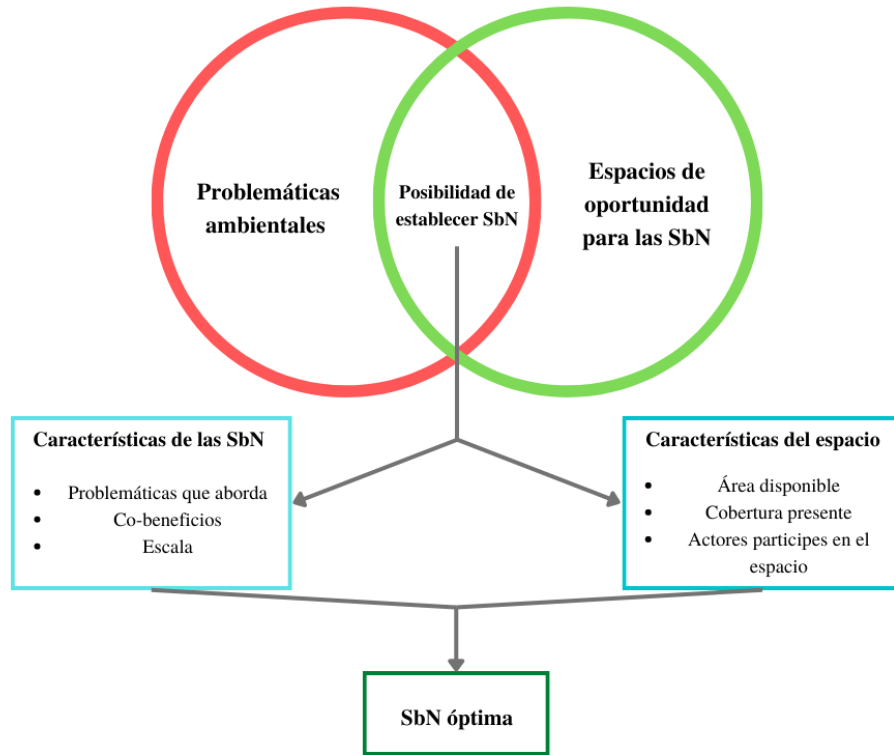


A partir del análisis de las variables obtenidas, se evaluó los espacios de oportunidad y el área de las problemáticas, para determinar los espacios con posibilidad de establecer SbN. Mediante la caracterización de estos espacios, las problemáticas presentes, las necesidades para implementación de las SbN y los co-beneficios que proveen las SbN, se definió cuál es la óptima para implementarse (Figura 6). Debido a los pocos espacios de oportunidad presentes, se realizó la propuesta para las áreas de prioridad media (120) y alta (9) de manera

general, tratando las problemáticas que se encuentran en estas con la respectiva SbN, sin establecer un punto específico para ejecutar.

Figura 6.

Aporte de las variables en la definición de la SbN óptima para el espacio de oportunidad.



A partir de la selección de las SbN, se crearon en las áreas de alta prioridad, mediante el uso de sistemas de información geográfica, escenarios en los que se pueden establecer las soluciones a escala personal, comunal o institucional, generando un ejemplo de SbN por cada área prioritaria. Para este trabajo se entienden las escalas de implementación de las SbN como:

- **Escala Personal:** Se enfoca en acciones individuales que contribuyen a la sostenibilidad en el entorno inmediato (Raymond et al., 2017).
- **Escala Comunal:** Involucra a la comunidad en proyectos que benefician colectivamente y fomentan la cooperación local. En contextos urbanos donde parques, huertas colectivas y corredores verdes pueden gestionarse de forma participativa (Frantzeskaki & McPhearson, 2022).

- **Escala Institucional:** Implica a organizaciones que integran las SBN en sus operaciones, políticas y gestión de recursos. Las SbN requieren articulación entre distintos niveles de gobierno, desde actores locales hasta instituciones nacionales. (Kabisch et al., 2016b).

4.1.4. Fase 4. Co-beneficios de las SbN

Mediante el uso de una matriz que contiene las SbN propuestas y los co-beneficios producidos (Tabla 8), se determinó el abordaje de las SbN en relación con las problemáticas presentes. Con esto se pretende priorizar las SbN según la cantidad de co-beneficios producidos y la respuesta a las problemáticas identificadas.

Tabla 8.
Matriz de evaluación de SbN según sus co-beneficios

		Servicios ecosistémicos			
		Hábitat para especies	Regulación del clima	Tratamiento de aguas	Prevención de erosión
Sb N	Techo verde				
	Restauración ecológica				
	Parque urbano				
	Cuneta verde				

Capítulo V. Resultados

5.1. Revisión de literatura: Las problemáticas ambientales urbanas en América Latina

La revisión de literatura arrojó una gran cantidad de documentos enfocados en las problemáticas ambientales urbanas. El total de la búsqueda mostró 675 resultados, de estos se descartaron 199, ya que la temática no correspondía con la búsqueda. De los restantes 476 se realizó una lectura rápida, para determinar correspondencia con el tema y el área de estudio. En esta segunda revisión se descartaron 257 artículos, en su mayoría por no corresponder al área geográfica correspondiente a América Latina.

Por lo que se trabajó con un total de 219 (Anexo 7) artículos, los cuales fueron categorizados según el tipo de problemática que abarcaban. En el caso de no abarcar una problemática o un tipo de problemática específica se categorizaron como “Generales”. De esta clasificación surgen 12 categorías de problemáticas ambientales urbanas (Tabla 9), ubicándose la mayoría de los artículos en estudiar problemáticas que se desprenden del recurso hídrico en las zonas urbanas y la menor cantidad en problemáticas en tema de alimentos.

Tabla 9.

Número de artículos revisados por tipo de problemática.

Tipo de problemática	Cantidad de artículos
Generales	53
Recurso hídrico	43
Residuos sólidos	24
Clima	23
Contaminación atmosférica	23
Zonas verdes	22
Inundaciones	13
Ruido	6
Desastres naturales	4
Materiales de construcción	3
Suelo	3
Alimentos	2
Total	219

Las problemáticas más abordadas son recurso hídrico, residuos sólidos, contaminación atmosférica y clima, concentrando más del 52% de los artículos. Temas como alimentos, materiales de construcción y suelo son escasamente tratados, lo que revela brechas de investigación. El enfoque generalista en más de 50 artículos indica un interés por estudios integrales o intersectoriales.

La producción de artículos científicos analizada muestra un crecimiento sostenido a lo largo del período estudiado (Tabla 10). Mientras que en los primeros años la cantidad de publicaciones fue relativamente baja (12 en 2013 y 7 en 2014), a partir del año 2017 se observa un incremento progresivo, alcanzando un pico en 2021 con un total de 42 artículos. Posteriormente, en 2022 se mantuvo un nivel elevado (32 artículos), aunque se evidenció una disminución abrupta en 2023, año en el cual solo se registraron 3 publicaciones.

Este último valor podría atribuirse a que la búsqueda de artículos se realizó ese mismo año. En promedio, se registraron aproximadamente 20 artículos por año durante el período de análisis, reflejando una creciente atención académica hacia los desafíos ambientales en entornos urbanos de la región.

Tabla 10.

Tendencia anual de publicación de artículos.

Año	Número de publicaciones
2013	12
2014	7
2015	11
2016	8
2017	19
2018	22
2019	30
2020	33
2021	42
2022	32
2023	3
Total	219

Al clasificar los 219 artículos revisados por país de estudio (Tabla 11), se identificó una clara concentración geográfica en ciertas naciones latinoamericanas. En primer lugar, **Brasil** se posiciona como el país con mayor producción científica sobre problemáticas ambientales

urbanas, acumulando un total de 79 artículos, lo que representa aproximadamente el 36% del total. En segundo lugar, se encuentra México, con 35 publicaciones (16%), seguido de Colombia con 29 artículos (13.2%). Ambos países destacan por su crecimiento urbano acelerado y por la implementación de estrategias académicas vinculadas a la planificación territorial, la gestión de residuos, la contaminación atmosférica y el cambio climático urbano.

Chile (20 artículos) y Argentina (13 artículos) también presentan una participación destacada, aunque menor, en la producción científica regional, seguidos por Perú, Ecuador, Costa Rica, Uruguay, Venezuela, Paraguay y Bolivia, con cantidades menores pero representativas. Estos datos evidencian una alta concentración de estudios en cinco países, que en conjunto suman más del 80% de las publicaciones analizadas, lo que puede asociarse tanto a la infraestructura investigativa como a la gravedad de las problemáticas ambientales urbanas en esos contextos.

Tabla 11.

Publicaciones por país.

País	Cantidad de artículos
Brasil	79
México	35
Colombia	29
Chile	20
Argentina	13
Perú	11
Costa Rica	8
Venezuela	7
Bolivia	6
Uruguay	5
Paraguay	5
Ecuador	1

A continuación, se presenta una descripción de cada una de las categorías y los elementos que estas abarcan:

5.1.1. Generales

No abarcan una problemática ambiental específica, ni un tipo de problemática, contemplan un conjunto de estas. Atienden simultáneamente la pérdida de biodiversidad, la

escasez de áreas verdes, el aumento del ruido, la contaminación de cuerpos de agua y el aumento de las temperaturas urbanas, por ejemplo.

5.1.2. Recurso hídrico

El principal problema está ligado a la insuficiencia de agua y al manejo inadecuado de los recursos hídricos en las zonas urbanas. El crecimiento demográfico y de la demanda de agua en las ciudades han ejercido una fuerte presión sobre los suministros de agua. La carencia de infraestructura idónea para proveer agua potable y la ausencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales contribuyen a la contaminación del recurso y a la disminución de la disponibilidad de agua de calidad.

La inequidad en el acceso al agua potable es otro tema que afecta a numerosas ciudades. La disparidad en la disponibilidad de agua genera un impacto desproporcionado en grupos vulnerables y marginados, restringiendo su acceso a un recurso esencial y poniendo en riesgo su salud y bienestar.

La calidad del agua es una preocupación ambiental relevante en las zonas urbanas. El vertido de aguas residuales sin tratamiento, los desechos industriales y el arrastre de contaminantes por escorrentía pluvial afectan negativamente los cuerpos hídricos urbanos.

Asimismo, el cambio climático incide de manera significativa en la gestión del recurso hídrico. Las alteraciones en los patrones de precipitación y la ocurrencia de eventos extremos, como sequías prolongadas o inundaciones súbitas, plantean desafíos adicionales para la administración del agua y la adaptación de las ciudades a sus impactos.

5.1.3. Residuos sólidos

Una de las problemáticas clave está relacionada con la generación excesiva de residuos sólidos en las áreas urbanas. El crecimiento de la población y el aumento del consumo han llevado a un incremento significativo en la cantidad de residuos generados. Esto ejerce una presión considerable sobre los sistemas de recolección y disposición final de los residuos, lo que puede resultar en la acumulación de basura en las calles y la proliferación de vertederos no controlados.

La carencia de infraestructura adecuada para la administración de desechos sólidos constituye otro importante desafío. La capacidad insuficiente de los sistemas de recolección y tratamiento puede provocar demoras en la recogida, lo que a su vez puede generar malos olores, propagación de plagas y un ambiente insalubre para los habitantes urbanos. Adicionalmente, la ausencia de instalaciones apropiadas para el tratamiento y disposición final puede resultar en la contaminación del suelo, agua y aire.

La falta de conciencia y participación de la ciudadanía en la reducción, reutilización y reciclaje de desechos agrava aún más esta problemática. La carencia de educación y programas de sensibilización dificulta la adopción de prácticas más sostenibles, como la separación de desechos en origen y la promoción del compostaje y el reciclaje. Esto limita la capacidad de reducir la cantidad de desechos enviados a vertederos y fomentar una economía circular.

La problemática de los desechos sólidos también guarda relación con la inequidad en el acceso a servicios de recolección y disposición adecuada. En numerosos casos, las comunidades marginadas y de bajos recursos se enfrentan a la carencia de acceso a servicios regulares de recolección y a instalaciones adecuadas para el tratamiento. Esto deriva en la acumulación de desechos en sus entornos, incrementando los riesgos para la salud y el bienestar de sus habitantes.

5.1.4. Clima

Una de las principales preocupaciones está relacionada con el incremento de las temperaturas en las áreas urbanas, fenómeno conocido como el efecto isla de calor. Esta situación se origina debido a la acumulación de edificios, carreteras y materiales urbanos que absorben y mantienen la radiación solar, generando temperaturas superiores a las de las zonas rurales circundantes. Esto puede acarrear consecuencias adversas para la salud de las personas, aumentando el riesgo de insolaciones y afectando la calidad del aire.

Otro asunto relevante es la creciente vulnerabilidad de las ciudades ante los fenómenos climáticos extremos. Las lluvias intensas, inundaciones y tormentas severas son cada vez más habituales debido al cambio climático. Estos eventos pueden provocar daños en la

infraestructura urbana, interrupciones en los servicios esenciales, pérdida de vidas y propiedades, así como la ocurrencia de desplazamientos forzados.

La escasez de recursos hídricos representa un desafío extra vinculado a las condiciones climáticas en áreas urbanas. Las sequías prolongadas y alteraciones en los patrones de lluvia pueden reducir el acceso a agua potable en las ciudades, impactando tanto la seguridad del suministro de agua como la calidad de vida de los residentes. La administración sustentable del recurso hídrico y la aplicación de acciones de preservación son pasos esenciales para afrontar este escenario.

El cambio climático también repercute sobre la salud pública en entornos urbanos. El aumento de las temperaturas, junto con la contaminación atmosférica, puede agravar los problemas respiratorios y cardiovasculares. Además, modificaciones en los patrones de enfermedades transmitidas por vectores, como el dengue y el zika, pueden impactar la salud de las poblaciones urbanas.

La infraestructura urbana también se ve amenazada por los efectos del cambio climático. Puede que las estructuras urbanas diseñadas según el clima pasado no sean idóneas para enfrentar los nuevos desafíos climáticos. El incremento del nivel del mar y la erosión costera plantean riesgos para las ciudades situadas en las costas, mientras que fenómenos climáticos extremos ponen a prueba la resistencia de las edificaciones urbanas.

5.1.5. Contaminación atmosférica

Provocadas por la liberación de sustancias contaminantes de diversas fuentes, como vehículos en movimiento, industrias y sistemas de calefacción en hogares. Estos contaminantes, entre ellos partículas microscópicas, óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, se dispersan en la atmósfera de las áreas urbanas y pueden ocasionar impactos significativos en la salud de las personas. Las partículas diminutas, en especial, pueden ingresar al sistema respiratorio, por lo que se relacionan con enfermedades pulmonares y cardiovasculares, y con el mayor riesgo de padecer afecciones respiratorias crónicas.

Otro aspecto relevante de este problema es la formación de smog fotoquímico. Este fenómeno surge cuando los contaminantes en el aire reaccionan con la radiación solar, dando lugar a la producción de ozono en la capa baja de la atmósfera. El smog fotoquímico no solo perjudica la calidad del aire, sino que también impacta negativamente en la vegetación y los ecosistemas urbanos. Sumado a esto, se ha asociado con problemas de salud, como el agravamiento de enfermedades respiratorias preexistentes y la disminución de la capacidad pulmonar.

La polución atmosférica también contribuye al cambio climático. Los gases de efecto invernadero emitidos por las actividades urbanas intensifican el calentamiento global y sus efectos vinculados, como el aumento de temperaturas y eventos climáticos extremos. Esto establece un ciclo complejo en el que la contaminación del aire y el cambio climático se refuerzan mutuamente, generando desafíos adicionales para la sustentabilidad en el entorno urbano.

Además de sus repercusiones en la salud humana y el clima, la contaminación atmosférica puede deteriorar la visibilidad y la estética de las ciudades, y afectar la funcionalidad de los ecosistemas urbanos. También plantea desafíos en la gestión de desechos peligrosos y en la protección de edificaciones históricas y monumentos.

5.1.6. Zonas verdes

El principal problema relacionado es su disminución por la expansión urbana. La creciente necesidad de construcción de infraestructuras y viviendas, disminuye las áreas naturales, lo que afecta la disponibilidad de espacios donde las personas puedan conectarse con la naturaleza y aprovechar los beneficios recreativos y terapéuticos. Esta reducción de zonas verdes puede contribuir al aumento del estrés, disminuir la calidad del aire y perturbar el equilibrio ecológico en las ciudades.

Otro desafío significativo es la fragmentación de los hábitats naturales, conforme las áreas verdes se reducen y subdividen en porciones más pequeñas, los ecosistemas naturales se fragmentan, lo que impacta la movilidad de la fauna y la interconexión entre distintos elementos del entorno. Esto puede llevar a una disminución de la biodiversidad y reducir las

poblaciones de especies locales, poniendo en riesgo la resiliencia y la estabilidad del ecosistema urbano.

La degradación de la calidad de las áreas verdes existentes es también un tema importante. La falta de mantenimiento adecuado y la presión humana pueden resultar en la contaminación del suelo y del agua, así como en la propagación de especies invasoras. Esto conlleva a una disminución de la calidad ambiental de estos espacios y reduce los beneficios ecosistémicos que brindan, como la regulación climática, la purificación del aire y la mitigación de inundaciones.

La inequidad en el acceso a áreas verdes es otra preocupación a tener en cuenta. Comunidades de bajos ingresos a menudo tienen acceso limitado a espacios naturales cercanos, lo que restringe su capacidad de disfrutar de los beneficios que ofrecen. Esta disparidad en el acceso puede intensificar las desigualdades sociales y afectar la salud y el bienestar de las poblaciones marginadas.

5.1.7. Inundaciones

La impermeabilización de los suelos es la causa de inundaciones en las áreas urbanas, la expansión de superficies pavimentadas y construidas, disminuye la capacidad de absorción del suelo, lo que aumenta el escurrimiento superficial en lluvias intensas. Esta acumulación de agua puede sobrepasar los sistemas de drenaje y resultar en inundaciones súbitas en áreas bajas y calles, con consecuencias como daños materiales y riesgos para la seguridad de las personas.

Modificar los cursos naturales de agua también agrava esta problemática. La canalización y rectificación de ríos y arroyos puede acelerar el flujo del agua, aumentando el riesgo de desbordamientos y erosión en zonas circundantes. Estas prácticas pueden tener impactos en los ecosistemas acuáticos y reducir la habilidad natural de los cuerpos de agua para amortiguar las inundaciones.

La carencia de espacios verdes y áreas abiertas en las urbes también contribuye a las inundaciones. La disminución de zonas permeables reduce la capacidad natural de absorción del agua, exacerbando el problema del escurrimiento superficial. La ausencia de vegetación

y sistemas naturales de retención de agua disminuye la habilidad de la ciudad para manejar fenómenos climáticos extremos.

El cambio climático añade un componente adicional a esta compleja situación. Las fluctuaciones climáticas y el aumento en la intensidad de las precipitaciones pueden incrementar tanto la frecuencia como la magnitud de las inundaciones.

La planificación urbana y la implementación de medidas de gestión de riesgos resultan cruciales para abordar estas problemáticas. La construcción de sistemas de drenaje sostenibles, la rehabilitación de áreas verdes y la promoción de prácticas constructivas resilientes representan pasos esenciales para disminuir la susceptibilidad ante inundaciones. Asimismo, la educación pública y la conciencia sobre los peligros vinculados con una urbanización inadecuada son fundamentales para una gestión efectiva de este desafío medioambiental.

5.1.8. Ruido

La emisión de ruido proveniente del tráfico vehicular, la actividad constructiva, las operaciones industriales e incluso el entretenimiento nocturno desempeña un papel sustancial en la creación de niveles acústicos que superan las recomendaciones establecidas. La continua exposición a estos ruidos no deseados puede resultar perjudicial para la salud, dando lugar a trastornos del sueño, niveles crónicos de estrés y problemas auditivos.

Una dimensión adicional que merece atención es la distribución inequitativa del ruido. Las áreas densamente pobladas y las comunidades de bajos ingresos a menudo experimentan niveles más elevados de ruido, intensificando las disparidades sociales y aumentando la susceptibilidad a riesgos de salud. Esto subraya la necesidad de abordar el problema del ruido desde una perspectiva de justicia urbana.

El diseño y la planificación de la infraestructura urbana también desempeñan una función fundamental en este contexto. La insuficiente atenuación acústica en edificios residenciales y espacios públicos puede agravar la penetración del ruido en la vida diaria. La carencia de áreas tranquilas y la ausencia de espacios verdes eficaces para absorber el ruido contribuyen aún más a su propagación y acumulación.

Los impactos del ruido no se limitan exclusivamente a la salud humana. Los ecosistemas urbanos también resultan afectados, con aves y animales que modifican sus patrones de conducta y migración debido a la constante presencia del ruido generado por actividades humanas. Adicionalmente, el ruido puede tener implicaciones en la calidad del aire y en la interacción social, afectando negativamente la experiencia general de vivir en una ciudad.

5.1.9. Materiales de construcción

El impacto medioambiental de los materiales puede influir en aspectos como la cantidad de carbono incorporado en la estructura del edificio, la generación de residuos y otros elementos relacionados. El término "carbono incorporado" se refiere a las emisiones de carbono relacionadas con la producción, el transporte y la instalación de los materiales utilizados en la construcción.

El uso de materiales actual es poco resiliente ante los fenómenos climáticos y junto a una mala planificación del crecimiento urbano, generan un impacto sobre la capacidad de las ciudades de mitigar y adaptarse a eventos extremos. Por lo que, los materiales de construcción también están asociados a problemáticas como los efectos de la isla de calor urbana, la contaminación atmosférica y las inundaciones.

5.1.10. Suelo

Las problemáticas asociadas al suelo en entornos urbanos presentan una serie de desafíos significativos que influyen tanto en el bienestar de las personas como en la calidad global del entorno ciudadano. Un aspecto crucial es la degradación del suelo, ocasionada por la intensa urbanización y las actividades humanas. La construcción de estructuras, carreteras y otras obras implica la remoción de capas de suelo fértil, lo que disminuye su capacidad para sostener vegetación y realizar funciones ecológicas esenciales.

Adicionalmente, la contaminación del suelo emerge como una inquietud relevante en las áreas urbanas. La liberación de compuestos químicos tóxicos provenientes de actividades industriales, vertederos y otras fuentes puede dar lugar a la contaminación del suelo y afectar

la calidad de este, así como de las aguas subterráneas. Esto repercute negativamente en la salud humana, y también en los ecosistemas urbanos y la diversidad biológica.

La compactación del suelo se presenta como otro problema de importancia. El tráfico vehicular constante y las edificaciones continuas pueden compactar el suelo, reduciendo su capacidad de retener agua y nutrientes. Esto afecta la salud de la vegetación y puede contribuir a dificultades de drenaje e inundaciones en la urbe.

La disminución de áreas verdes y espacios naturales debido a la expansión urbana también influye en la calidad del suelo. La reducción de la cubierta vegetal y la carencia de zonas permeables disminuyen la habilidad del suelo para filtrar y purificar el agua, lo que puede desembocar en problemas de escorrentía y deterioro de la calidad del agua.

Además, la compactación del suelo y la carencia de vegetación pueden intensificar la temperatura en las ciudades, agravando el efecto de isla de calor urbano. Esto puede tener impactos desfavorables en la calidad del aire, la salud de las personas y el bienestar general de los habitantes urbanos.

5.1.11. Alimentos

La inequidad en el acceso a alimentos frescos y saludables es un tema de preocupación. En muchas áreas urbanas, surgen lo que se conoce como "desiertos alimentarios", donde las opciones de alimentos nutritivos son escasas, lo que puede contribuir a problemas de mala alimentación y enfermedades relacionadas con la dieta. Esto resalta la importancia de promover la producción de alimentos a nivel local y el establecimiento de mercados y huertos urbanos que sean de fácil acceso.

La agricultura en entornos urbanos y periurbanos presenta una posible solución, pero también plantea desafíos propios. La disponibilidad limitada de espacio y la contaminación del suelo pueden obstaculizar la viabilidad de la producción de alimentos a nivel local. De igual manera, el uso de pesticidas y fertilizantes en la agricultura urbana puede tener implicaciones en la calidad del aire y del agua.

5.2. Validación y mapeo de problemáticas ambientales urbanas en la Ciudad de San Ramón

Se validó la presencia de las problemáticas dentro del área de estudio, mediante un grupo focal. En esta validación se determinó la presencia de 10 de las 11 problemáticas presentadas y el grupo acordó para “Desastres naturales”, validar únicamente inundaciones y abordar desastres naturales como un causante de otras problemáticas. Por lo tanto, no se evalúa su alcance, ni su impacto. Se utilizó una escala numérica del 1 al 5, siendo 1 muy bajo y 5 muy alto, para valorar el impacto y el alcance que tienen estas problemáticas dentro del área (Tabla 12). También se llegó al acuerdo de no contar con la suficiente información para asignar valores a la contaminación atmosférica, por lo que se desconoce su impacto y alcance. Se definió para esto:

Impacto: Grado de afectación que genera la problemática en el área.

Alcance: Área afectada por la problemática dentro del área de estudio.

Tabla 12.

Validación de presencia de problemáticas, valoración de impacto y alcance.

#	Problemática	Presencia	Impacto	Alcance
1	Alimentos	✓	3	5
2	Clima	✓	4	5
3	Inundaciones	✓	4	2
4	Materiales de construcción	✓	5	5
5	Ruido	✓	5	5
6	Suelo	✓	5	5
7	Zonas verdes	✓	2	2
8	Contaminación atmosférica	✓	-	-
9	Desastres naturales	-	-	-
10	Residuos sólidos	✓	4	5
11	Recurso hídrico	✓	5	5

La valoración muestra como la mayoría de los problemas generan altos impactos en el área, siendo los más bajos los de las zonas verdes y los alimentos, seguido de clima, inundaciones y residuos sólidos, con el mismo nivel de impacto; y el resto de las

problemáticas con el impacto en el valor más alto. En cuanto al alcance, la mayoría de los problemas se distribuyen por el área, siendo las inundaciones y las zonas verdes las de menor alcance, ya que son más puntuales y las demás tienen el mayor valor de alcance.

La especificación de las problemáticas muestra que cada una de ellas se puede presentar en diferentes situaciones dentro del área urbana y como algunas de ellas vienen de una causa común, pero desencadenan impactos en diferentes niveles (Tabla 13). En este punto se agregó el apartado de “Energía”, el cual no se había considerado hasta el momento, y para el cual también se generaron situaciones específicas.

Tabla 13.

Desglose de problemáticas específicas en el área.

Problemática	Situaciones específicas
Alimentos	<ul style="list-style-type: none"> ● Buen acceso, producción mediante prácticas no responsables con el ambiente. ● Seguridad alimentaria depende del mercado y no está en manos de las personas.
Clima	<ul style="list-style-type: none"> ● Mayores temperaturas. ● Islas de calor. ● Cambios en especies animales (aves y reptiles). ● Cambios en ecosistemas.
Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> ● Inundación en el casco central. ● Inundaciones en los alrededores. ● Suelos impermeabilizados. ● Sobresaturación por fenómenos ambientales.
Materiales de construcción	<ul style="list-style-type: none"> ● Edificaciones construidas con materiales y diseños inadecuados. ● Alto costo de materiales de construcción amigables con el ambiente y poca oferta.
Ruido	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta concentración vehicular. ● Falta de legislación para regular ruido vehicular. ● Mala planificación.

Problemática	Situaciones específicas
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> ● Ausencia de vías de desahogo. ● Concentración de actividades comerciales en el área central. ● Mala planificación urbana. ● Existencia de urbanizaciones en zonas con poca capacidad de filtración en suelos. ● Prácticas agrícolas inadecuadas. ● Existencia de sistemas de tratamiento individuales (Tanque séptico y drenaje). ● Alta ocupación de espacios físicos. ● Existencia de botaderos clandestinos. ● Diseño y construcción irregular que genera erosión de suelos.
Zonas verdes	<ul style="list-style-type: none"> ● Utilización de espacios inadecuados. ● Ausencia o poco control de mantenimiento y aplicación de la normativa.
Contaminación atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> ● Concentración vehicular. ● Ausencia de estudios técnicos que identifiquen los niveles de contaminación. ● Existencia de actividades que generan gases de efecto invernadero sin regulación. ● Puntos de alta concentración vehicular (Terminal de buses, centro educativo, semáforos, hospital, etc.) ● Emanación de malos olores en sistema de alcantarillado pluvial.
Residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> ● Falta de educación en tema de clasificación. ● Malos hábitos de consumo en la población. ● Mercado sobresaturado de productos innecesarios. ● Mal manejo de residuos orgánicos.

Problemática	Situaciones específicas
Recurso hídrico	<ul style="list-style-type: none"> ● Mal manejo y desperdicio de alimentos. ● Acueducto muy vulnerable. ● Acueducto viejo. ● No hay estudios hidrogeológicos. ● No hay protección en fuentes y márgenes de ríos. ● Invasión de las zonas de protección.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> ● Crecimiento de infraestructura. ● Contaminación visual. ● Electrocuación de fauna. ● Árboles plantados debajo de la red eléctrica.

A partir de estos resultados se pueden clasificar las problemáticas socioambientales identificadas mediante tres características:

- I. Alcance: Difuso, si su origen no es puntual o se distribuye ampliamente en el área.
Puntual, si su origen es un punto específico.
- II. Impacto:
 - a. Muy Bajo = 1
 - b. Bajo = 2
 - c. Medio = 3
 - d. Alto = 4
 - e. Muy Alto = 5

Las problemáticas dentro del área presentan las características que se pueden apreciar en la Tabla 14.

Tabla 14.

Clasificación de las problemáticas según sus características.

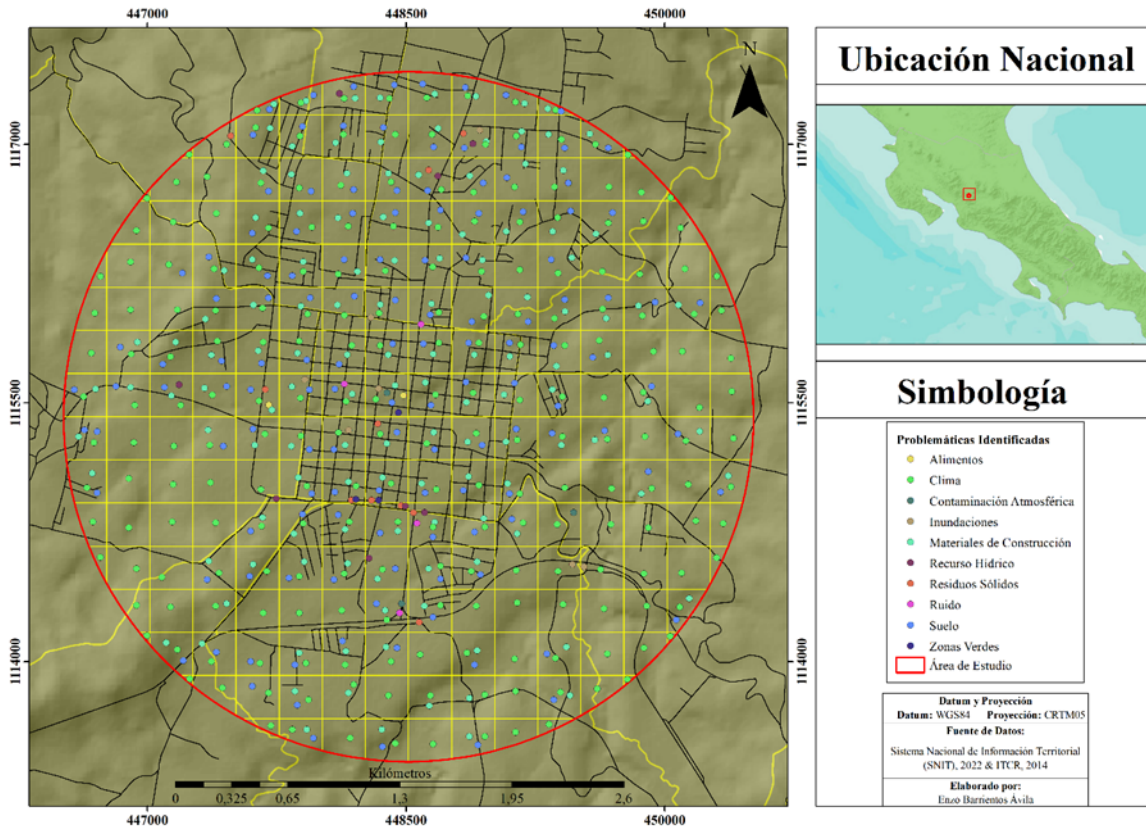
Problemática	Alcance	Impacto
Alimentos	Difuso	Medio
Clima	Difuso	Alto
Inundaciones	Puntual	Alto
Materiales de construcción	Difuso	Muy Alto
Ruido	Puntual	Muy Alto
Suelo	Difuso	Muy Alto
Zonas verdes	Puntual	Bajo
Contaminación atmosférica	Desconocido	Desconocido
Residuos sólidos	Puntual	Alto
Recurso hídrico	Puntual	Muy Alto

5.3. Mapeo de problemáticas ambientales urbanas en la Ciudad de San Ramón

El mapeo de problemáticas muestra la distribución de estas en el área (Figura 7), pero se observa que algunos tipos de problemáticas se concentran en el área más urbana, como contaminación atmosférica, inundaciones, materiales de construcción, ruido y suelos. En la periferia se pueden encontrar también estas problemáticas, pero en menor medida, además de la amplia distribución que presentan problemáticas como clima, suelos y materiales de construcción. Este mapeo se realizó tomando en cuenta el punto específico donde surge la problemática y no el área que afecta, el clima al ser parte del sistema global, no se establece un punto específico, si no su afectación en toda el área.

Figura 7.

Distribución de las problemáticas a lo largo del área de estudio.

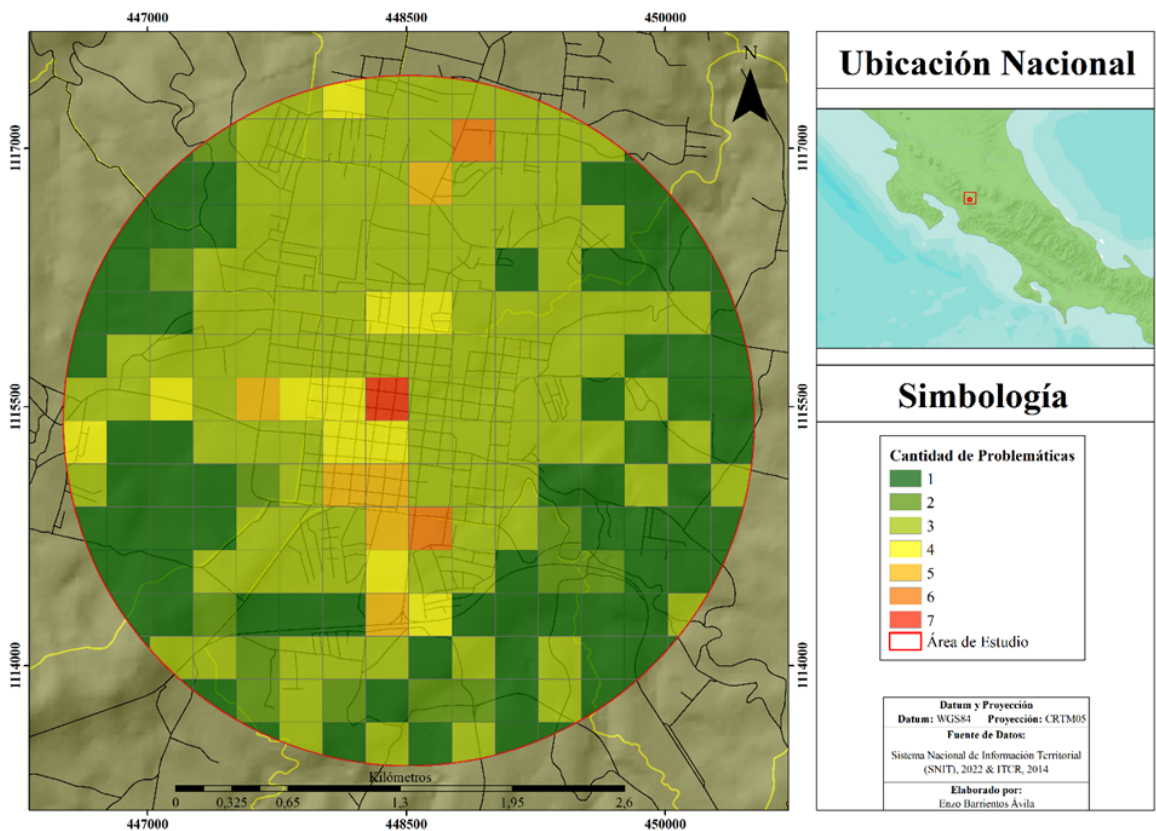


Se clasificaron los cuadrantes según la cantidad de problemáticas que presentan, se destaca un cuadrante con 7, seguido de dos en el que se encuentran 6 y seis con 5 problemáticas respectivamente. En esta clasificación también se observa (Figura 8) la mayor

cantidad de unidades en prioridad alta se agrupa en la zona de mayor urbanización, mientras que en la periferia hay menor presencia de problemáticas. Esto representa 95 unidades de baja prioridad, 120 unidades en prioridad media y 9 unidades en prioridad alta.

Figura 8.

Cantidad de problemáticas por cuadrante en el área de estudio.



5.5. Comprobación de campo de problemáticas ambientales urbanas en la Ciudad de San Ramón

La comprobación de campo muestra la presencia de las distintas problemáticas en los puntos marcados mapeados mediante el grupo focal, en este caso se visualizan aquellas problemáticas de carácter puntual. Principalmente se logra corroborar la presencia de diferentes puntos donde es posible encontrar residuos sólidos, ya sea en forma aislada o como botaderos clandestinos. Cabe mencionar que los residuos encontrados de forma aislada se

encontraban dispuestos para la recolección, ya que como se menciona en el grupo focal, el problema no reside en el servicio de recolección, más bien en las prácticas de la ciudadanía (Figura 9).

Figura 9.

A) Presencia de residuos sólidos dispuestos para la recolección. B) Presencia aislada de residuos sólidos. C) Presencia de botaderos clandestinos en el área de estudio.



A)



B)



C)

También se destaca la presencia de altos niveles de ruido, provocados sobre todo por la gran cantidad de vehículos en puntos específicos de la ciudad. Siendo uno de los más críticos por su cercanía con un área con población vulnerable, la intersección frente al hospital (Figura 10). Además, se muestra el gran reemplazo de las coberturas permeables por impermeables, encontrando pocos sitios de infiltración adecuada y de suelos con algún tipo de cobertura natural (Figura 11).

Figura 10.

A) Alta concentración de vehículos en la intersección frente al hospital. B) Alta concentración de vehículos en la salida de San Ramón a Ruta 1.



A)



B)

Figura 11.

A) Presencia de coberturas semi permeables e impermeables. B) Presencia de pocos sitios de alta infiltración.



A)



B)

Asociado a esta problemática, se encuentran las inundaciones, comunes en puntos específicos dentro del área de estudio y de las que hay registros históricos de varios años, incluso durante fenómenos climáticos extremos, como los casos de la Figura 12. También se pueden identificar puntos de contaminación atmosférica, como la liberación de gases de los beneficios de café (Figura 13).

Figura 12.

A) Inundaciones en el centro de la ciudad de San Ramón. B) Problemáticas causadas por las inundaciones. C) Quebrada estero durante condiciones climáticas extremas. D) Quebrada Estero en condiciones normales.



A)



B)



C)



D)

Nota: Fotografías A, B y C por Ismael Guido.

Figura 13.

Liberación de gases a la atmósfera.



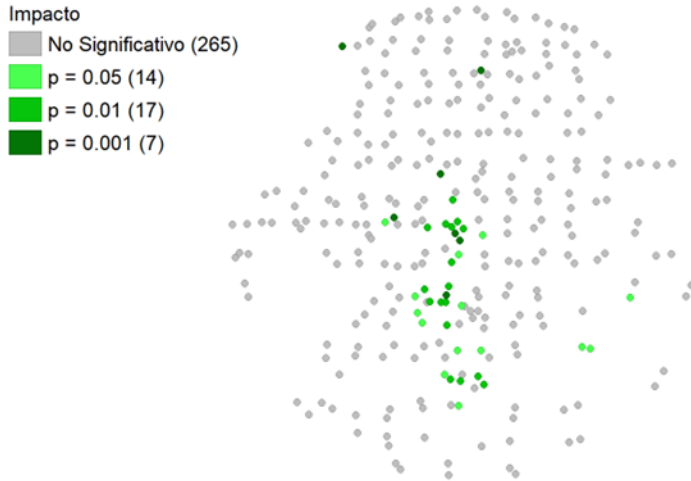
Nota: Fotografía por Ismael Guido.

5.6. Correlación espacial de los impactos producidos

El índice de Moran dio como resultado 0,234 para la distribución de los impactos por puntos, indicando una autocorrelación espacial positiva pero débil. Aunque existe una agrupación de problemáticas, la correlación entre los impactos de estas no es tan fuerte. La Figura 14 muestra los distintos niveles de significancia estadística para la autocorrelación. En su mayoría no se determinó una significancia estadística, sin embargo, los puntos con significancia alta sugieren áreas específicas con patrones relevantes. Los puntos sin significancia se encuentran en la periferia del área urbana, donde hay menor cantidad de problemáticas socioambientales identificadas.

Figura 14.

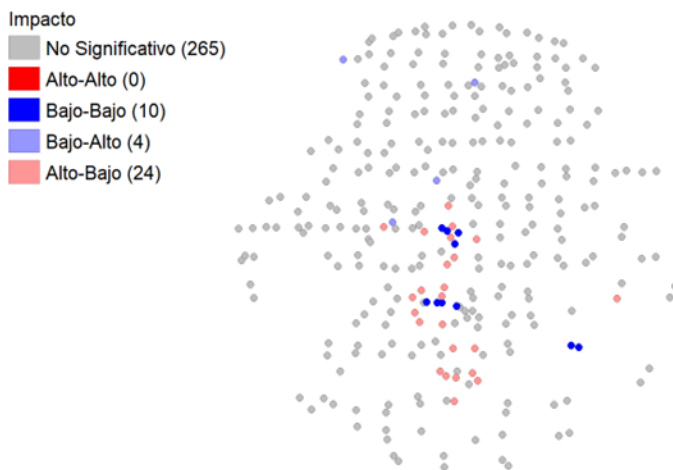
Mapa de significancia espacial por puntos.



En la Figura 15 se muestra la distribución de los impactos según sus relaciones con otros. No hay presencia de agrupaciones Alto-Alto y la mayoría de las agrupaciones se encuentra en la categoría de no significativo, indicando una dispersión aleatoria de los impactos. Asimismo, los conglomerados Bajo-Bajo y Bajo-Alto sugieren áreas con bajos impactos rodeadas de áreas con impactos de diverso valor. Los puntos con relaciones Alto-Bajo y Bajo-Bajo se distribuyen principalmente hacia el centro del área urbana.

Figura 15.

Mapa de conglomerados espaciales.

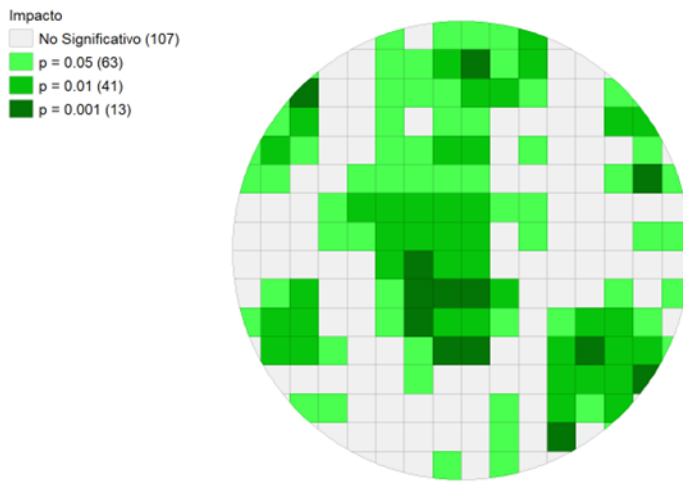


Para el análisis del impacto total por cuadrante el índice de Moran dio como resultado 0,468, mostrando una correlación espacial moderada donde los impactos por cuadrante no presentan una distribución aleatoria, sino que hay una agrupación espacial. El mapa de

significancia (Figura 16) muestra que muchos cuadrantes no presentan autocorrelación espacial significativa, pero muchos cuadrantes muestran significancia en diferentes niveles, y las áreas de significancia mayor indican agrupaciones de impactos, reflejando mayores probabilidades de patrones espaciales.

Figura 16.

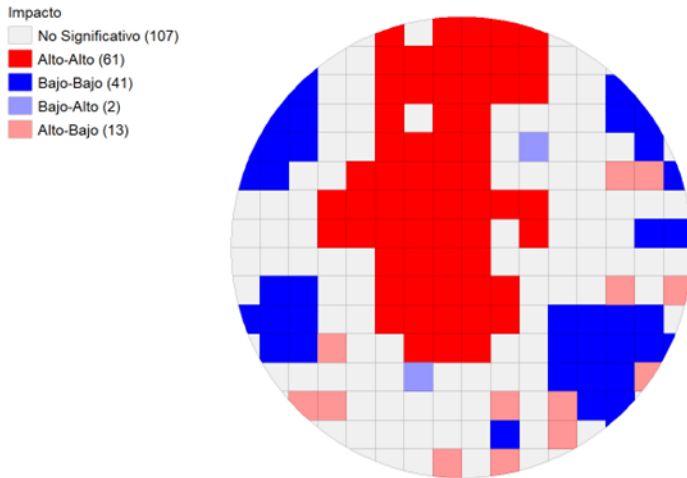
Mapa de significancia espacial por cuadrantes.



El mapa de conglomerados por cuadrantes (Figura 17) muestra que las agrupaciones más relevantes son las Alto-Alto y Bajo-Bajo, lo que indica una tendencia a que los cuadrantes con altos niveles de impacto se agrupen entre sí, al igual que aquellos con impactos bajos. Las agrupaciones Bajo-Alto y Alto-Bajo representan zonas de transición, donde un cuadrante presenta un nivel de impacto significativamente distinto al de sus vecinos, lo que sugiere la presencia de bordes o cambios abruptos en las condiciones socioambientales.

Figura 17.

Mapa de conglomerados por cuadrantes.



Estos resultados permiten construir una visión integral sobre las problemáticas socioambientales urbanas que enfrenta la ciudad de San Ramón. La revisión de literatura identificó los principales desafíos socioambientales comunes en ciudades de América Latina, tales como el deterioro de la cobertura vegetal, la fragmentación del paisaje, la presión sobre los recursos hídricos, la exposición a islas de calor y la gestión inadecuada de residuos. Estos hallazgos sirvieron como base conceptual para el mapeo participativo realizado en San Ramón, validando la presencia de estas problemáticas y permitiendo contextualizarlas según su percepción e impacto en el entorno inmediato.

La distribución espacial de las problemáticas socioambientales, revela su concentración en la zona central de la ciudad y en áreas de crecimiento urbano desordenado. La comprobación de campo confirmó la presencia de dichas problemáticas en los cuadrantes priorizados, validando de forma empírica el deterioro ambiental y la falta de infraestructura verde en sectores específicos.

Mediante la correlación espacial de impactos se evidenció que los cuadrantes con mayores niveles de afectación tienden a agruparse, lo que indica patrones territoriales definidos de impacto ambiental. Este conjunto de análisis ofrece una base sólida y situada para proponer SbN que respondan a las condiciones reales del paisaje urbano y a las necesidades socioambientales locales.

5.7. Caracterización de la cobertura del suelo en el área de estudio

Se realizó una comprobación de campo para determinar la precisión de la capa de cobertura del suelo obtenida a partir de teledetección utilizando imágenes SCOPE. En una primera revisión se encontraron 95 puntos conformes y 40 puntos disconformes (Tabla 15), entre la cobertura real en campo y la cobertura resultante en la capa.

Tabla 15.

Condición de los puntos en la primera validación de la capa de cobertura de suelo.

Condición	Puntos
Conforme	95
No conforme	40
Total	135

La matriz de confusión de esta primera revisión de campo muestra una precisión del 0,70 (Tabla 16), siendo forestal y pastos la combinación que presenta mayor confusión.

Tabla 16.

Matriz de confusión de la primera validación de la capa de cobertura del suelo.

		Cobertura en campo					
		Suelo descubierto	Urbano	Cultivo con sombra	Forestal	Pastos	Tacotal
Cobertura predicción	Suelo descubierto	2	1	0	1	1	0
	Urbano	6	44	0	0	3	0
	Cultivo con sombra	1	0	29	0	0	0
	Forestal	0	1	0	10	0	1
	Pastos	6	5	0	13	10	1
	Tacotal	0	0	0	0	0	0

Nota: Precisión: 0,70.

Una vez corregidos los sectores que generaban confusión y agregando más regiones de interés para las coberturas que presentaban mayor error, se generó una nueva capa de cobertura. Al comparar con los puntos de comprobación de campo, se encuentra que 121 son conformes y 14 no conforme (Tabla 17).

Tabla 17.

Condición de los puntos en la segunda validación de la capa de cobertura del suelo.

Condición	Puntos
Conforme	121
No conforme	14
Total	135

Una nueva matriz de confusión, realizada con la nueva capa de cobertura arroja una precisión de 0,89. Y presenta como mayor confusión 5 puntos de tacotal dentro de forestal (Tabla 18), por lo que se da por válida esta capa de cobertura.

Tabla 18.

Matriz de confusión de la segunda validación de la capa de cobertura del suelo.

		Cobertura en campo					
		Suelo descubierto	Urbano	Cultivo con sombra		Forestal	Pastos
Cobertura predicción	Suelo descubierto			5	0		
	Urbano	2	52	0	0	0	0
	Cultivo con sombra	0	0	31	0	0	0
	Forestal	0	0	0	16	0	1
	Pastos	3	1	0	0	17	1
	Tacotal	0	0	0	5	0	0

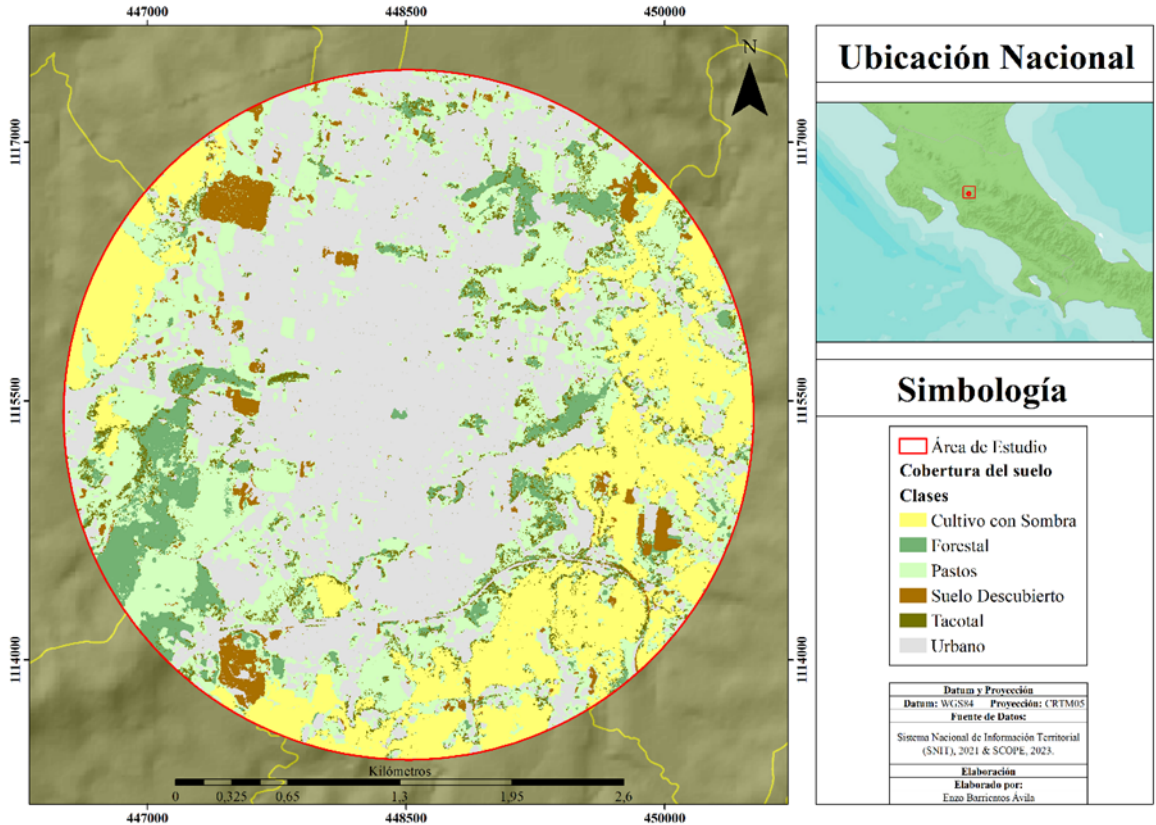
Nota: Precisión: 0,89.

En la Figura 18 se muestra el resultado de la capa de cobertura del suelo, así como la distribución espacial de las coberturas presentes. Siendo la cobertura urbana la más distribuida y mostrando pocos espacios dentro del área para implementar SbN de escalas

mayores. Por otro lado, se muestran espacios de oferta de naturaleza, como pequeños parches de cobertura forestal y pastos dentro del área urbana.

Figura 18.

Distribución de la cobertura del suelo en el área de estudio.



La cobertura urbana es la que ocupa la mayor extensión del territorio, seguida por los pastos y los cultivos con sombra, los cuales se concentran principalmente en la periferia de la ciudad. Dentro del área urbana también se identifican parches de cobertura forestal y de pastos, asociados a zonas de recreación y jardines. Asimismo, se observan áreas de suelo descubierto y tacotales, que representan las coberturas de menor presencia. (Tabla 19).

Tabla 19.*Coberturas del suelo y área que abarcan en el área de estudio.*

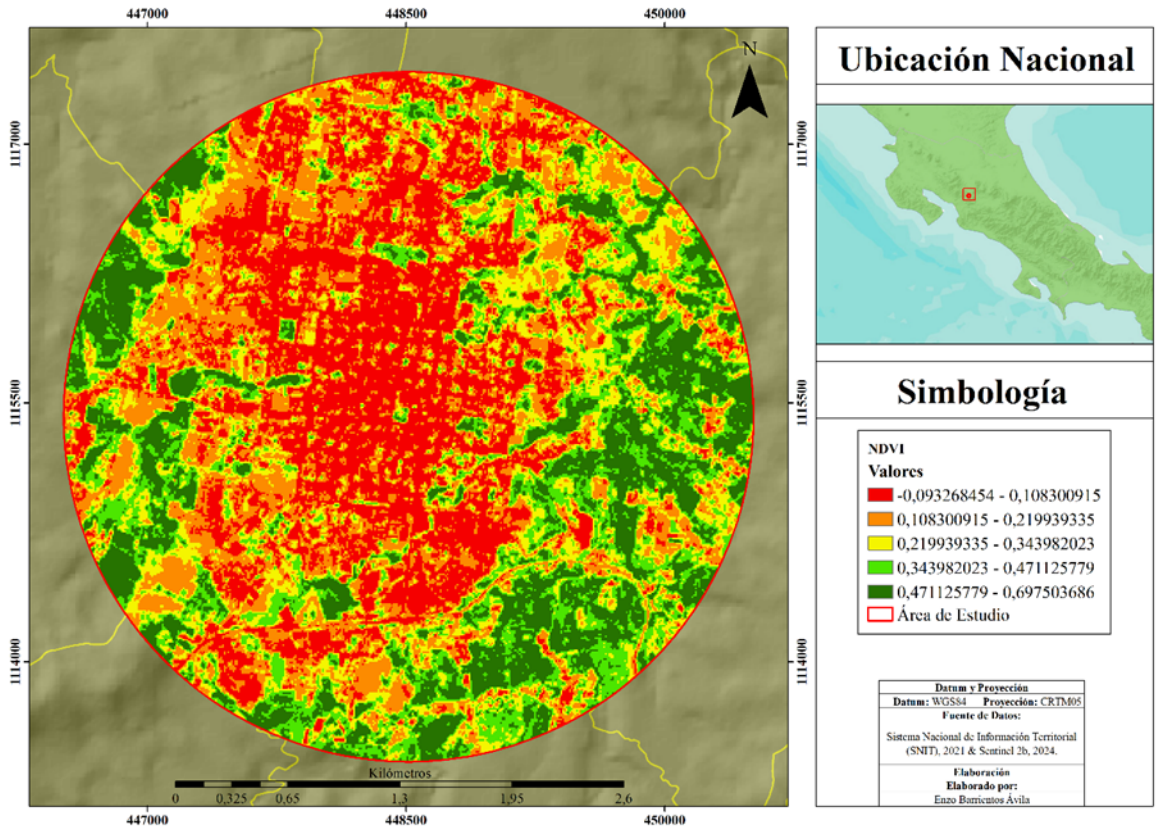
Cobertura	Área (km2)	Porcentaje (%)
Suelo descubierto	0,419044	3,34
Tacotal	0,561385	4,47
Forestal	0,782163	6,23
Cultivo con sombra	2,352031	18,73
Pastos	3,210688	25,56
Urbano	5,240228	41,72
Total	12,56	100

5.8. Índices de coberturas en la Ciudad de San Ramón

El índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, por sus siglas en inglés) muestra que el área se encuentra altamente urbanizada y que la cobertura vegetal presente se encuentra concentrada en la periferia (Figura 19). La vegetación presente tiene valores de 0,10 a 0,69, lo que significa que en el área hay vegetación no muy densa y de baja calidad (pastos) y zonas de vegetación densa y de mayor calidad (cobertura forestal y cultivos con sombra).

Figura 19.

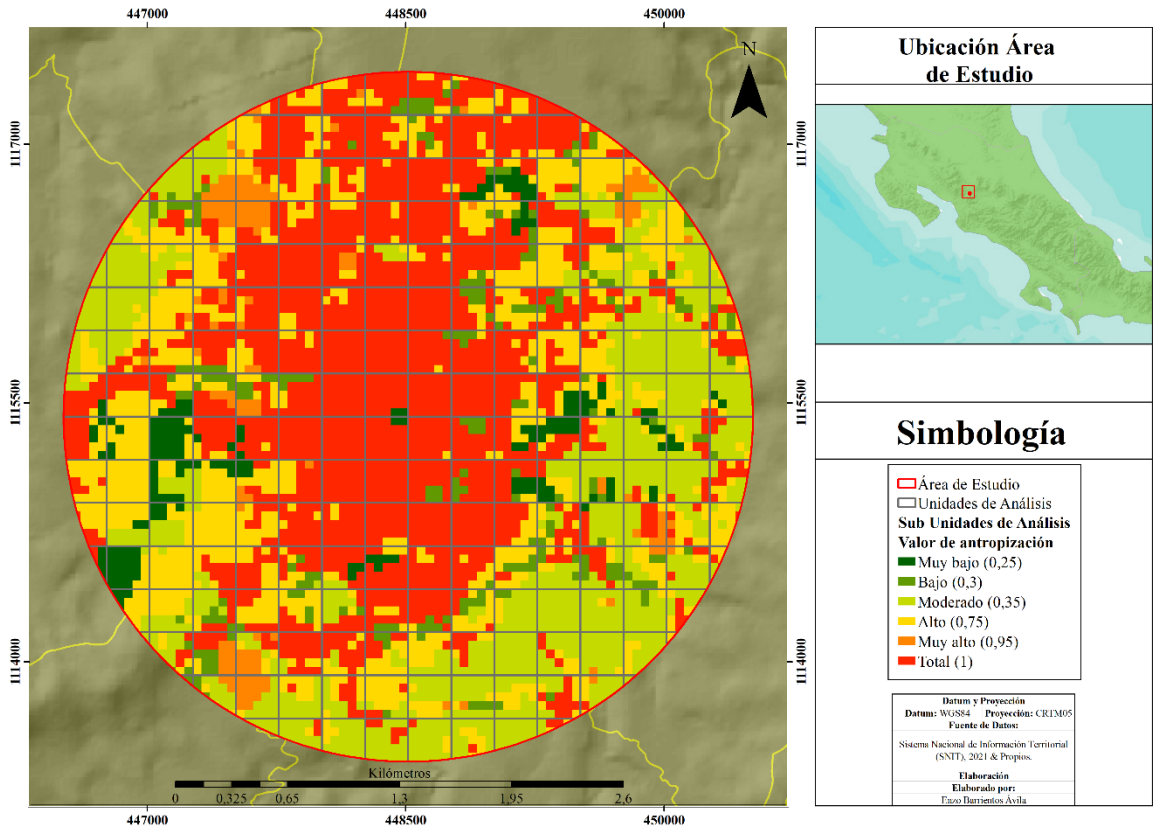
Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada en el área de estudio.



En la Figura 20 se muestran los valores de antropización asignados a cada subunidad de análisis, considerando la cobertura con mayor distribución en cada SUA. Todas las subunidades presentan algún grado de antropización, ya que en el área no se encuentran coberturas naturales primarias, solamente coberturas naturales en regeneración.

Figura 20.

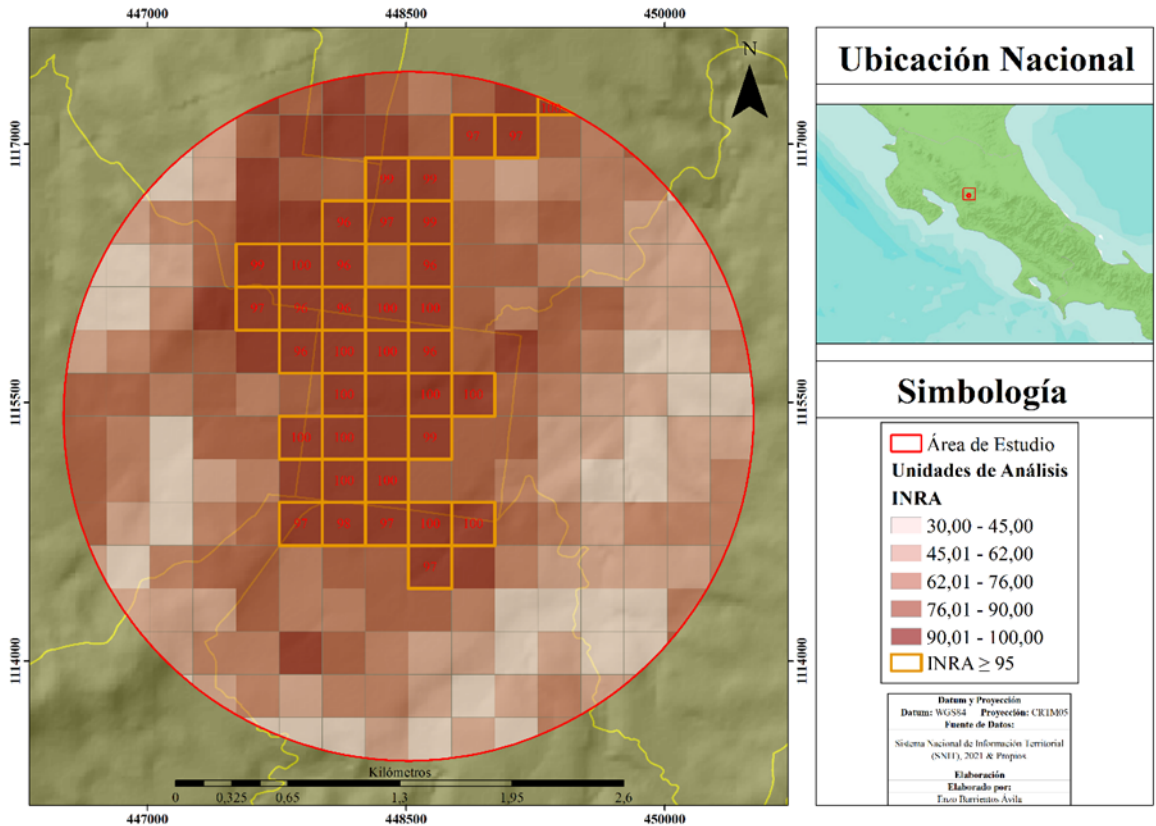
Valores de antropización en las subunidades de análisis y su distribución.



A partir de los valores asignados a cada SUA, se calcula el INRA (Figura 21) para todas las Unidades de Análisis (UA). Los resultados indican que todas las UAs presentan algún nivel de transformación antrópica. El valor más bajo registrado es de 30, correspondiente a la unidad 34, mientras que el valor máximo, 100, representa áreas completamente modificadas por la actividad humana, como ocurre en las unidades 161, 139, 136, 123, 120, 118, 106, 103, 102, 90, 89, 88, 87, 73 y 69, localizadas principalmente en la zona central del área de estudio.

Figura 21.

Índice Integrado Relativo de Antropización para las unidades de análisis del área de estudio.



Los resultados obtenidos a partir del NDVI y el INRA permiten una comprensión complementaria del estado socio ecológico del área de estudio. Mientras el NDVI revela la distribución y calidad de la cobertura vegetal, destacando su concentración en la periferia urbana, el INRA aporta una evaluación integrada del nivel de transformación antrópica en cada unidad de análisis. La combinación de ambos índices evidencia un patrón: las zonas con mayor vegetación tienden a coincidir con niveles más bajos de antropización, lo que refuerza la utilidad de estos indicadores para identificar áreas prioritarias en la planificación urbana y la implementación de soluciones basadas en la naturaleza.

5.9. Fragmentación del paisaje en el área urbana de San Ramón

El análisis a escala de clase se aplicó a cada categoría de cobertura del suelo, utilizando las siguientes métricas: Número de Parches (NP), Tamaño Medio de Parche (TMP), Distancia Euclidiana Media al Vecino Más Cercano (DEMVMC), Densidad de Bordes (ED), Índice de Forma (SI), Índice de Dimensión Fractal (FDI), Índice de Conectividad (CONNECT) e Índice de Agregación (AI). Los resultados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20.

Resultados de métricas de fragmentación a escala de clase.

Clase	NP	TMP	DEMVMC	ED	SI	FDI	CONNECT	AI
Urbano	272,0	1,9304	42,2677	142,8455	1,2816	1,0503	0,0000	86,6717
Pastos	827,0	0,3887	40,1223	221,6318	1,3282	1,0586	0,0000	65,3434
Forestal	355,0	0,2183	65,1542	53,7578	1,1626	1,0367	0,0000	65,6739
Suelo descubierto	217,0	0,1952	83,6165	28,8947	1,1388	1,0364	0,0000	67,1314
Tacotal	965,0	0,0583	46,5820	88,1339	1,1330	1,0366	0,0000	21,2093
Cultivos con sombra	21,0	0	62,6570	58,0437	2,1957	1,1030	0,0000	87,4107

El NP indica una alta fragmentación y dispersión en las clases Tacotal y Pastos, siendo estos los de mayor número. Los pastos presentan una alta ED, también indicador de fragmentación. Cultivo con sombra (11,214 m²) y Urbano (1,930 m²) tienen los TMP más grandes, lo que sugiere áreas más extensas y continuas. Suelo descubierto (0,1952 m²) y Forestales (0,2183 m²) presentan parches significativamente más pequeños.

Las categorías Cultivo con sombra (83,61 m) y Forestal (65,15 m) presentan mayor DEMVMC, lo que indica aislamiento relativo. Pastos (40,12 m) y Urbano (42,26 m) tienen parches más cercanos entre sí. En cuanto a SI y FDI, los Cultivos con Sombra son la cobertura con parches más complejos y Suelo Descubierto las más simples, todos los valores CONNECT son 0, indicando que no hay conectividad directa entre los parches dentro de cada clase en la distancia umbral considerada.

Esto sugiere un paisaje altamente fragmentado sin parches contiguos o cercanos dentro de las clases. El AI refleja que los parches de Cultivo con Sombra y Urbano están más concentrados y presentan menor fragmentación. Las métricas utilizadas a nivel de paisaje son: Densidad de Bordes (ED), Índice de Conectividad (CONNECT), Índice de Diversidad de Shannon (SHDI), Índice de Equitatividad de Shannon (SHEI) e Índice de Agregación (AI). Los resultados de estas métricas a escala de paisaje se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21.

Resultados de métricas de fragmentación a escala de paisaje.

Métrica	Valor
Densidad de Bordes (ED)	296,6537
Índice de Conectividad (CONNECT)	0,0000
Índice de Diversidad de Shannon (SHDI)	1,4518
Índice de Equitatividad de Shannon (SHEI)	0,8103
Índice de Agregación (AI)	76,4829

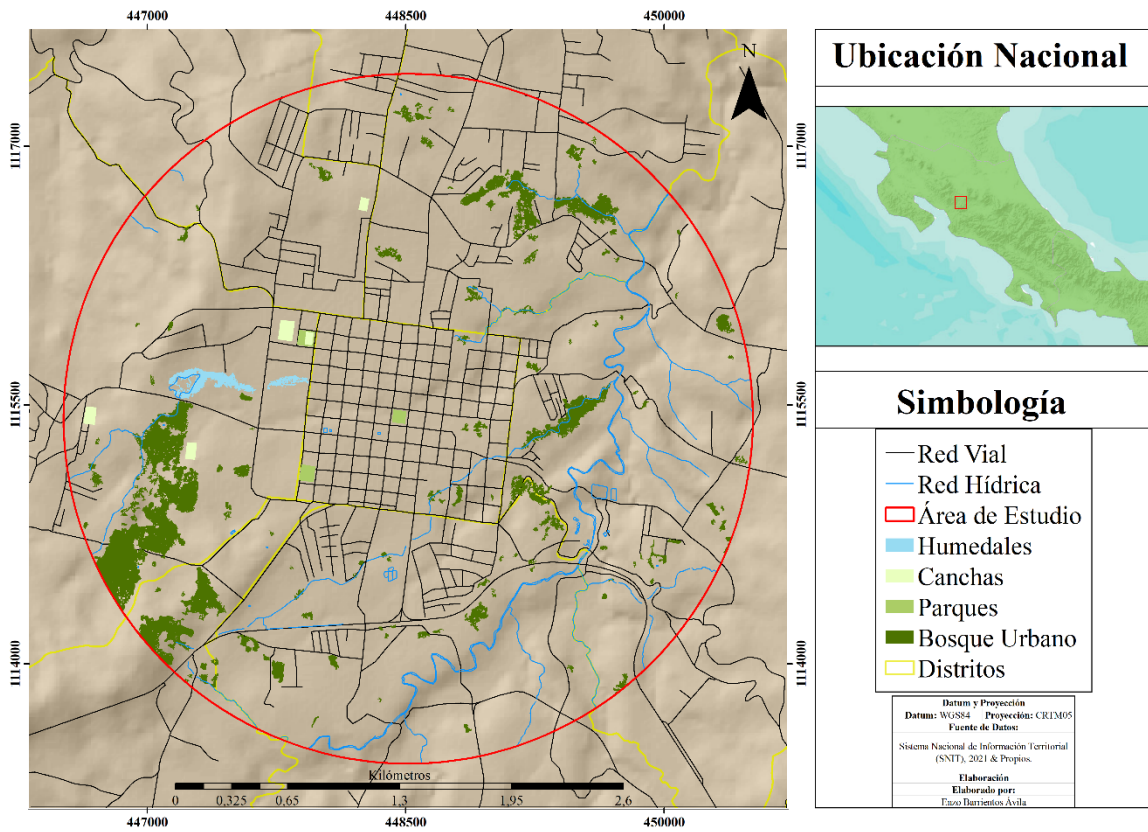
El número de parches (2657) refleja una alta fragmentación del paisaje, con numerosos parches distribuidos entre las diferentes clases de cobertura. La elevada cantidad indica una pérdida de continuidad espacial y división del territorio en múltiples unidades pequeñas. El valor de ED indica una gran cantidad de bordes en el paisaje, señala que los parches no solo son numerosos, sino que además tienen formas irregulares o contornos complejos.

El valor de CONNECT indica que no existe conectividad estructural entre parches bajo el umbral de distancia definido en el análisis. Esta desconexión total del paisaje muestra un entorno altamente fragmentado. Los resultados de SHDI reflejan una diversidad media de clases de cobertura dentro del paisaje. Es decir, no hay una dominancia abrumadora de una sola clase, sino una distribución relativamente equilibrada entre varios tipos de cobertura.

Mientras que SHEI indica que las clases están equitativamente representadas en el paisaje, aunque no en igualdad perfecta. Un valor cercano a 1 señala que la distribución de la superficie entre las clases es bastante homogénea, lo cual es indicativo de un paisaje heterogéneo. El AI muestra un grado moderadamente alto de agrupación espacial, lo que significa que los parches tienden a encontrarse próximos entre sí, esto indica una mezcla de parches agrupados con algunos más dispersos.

5.10. Oferta de naturaleza en el área urbana de San Ramón

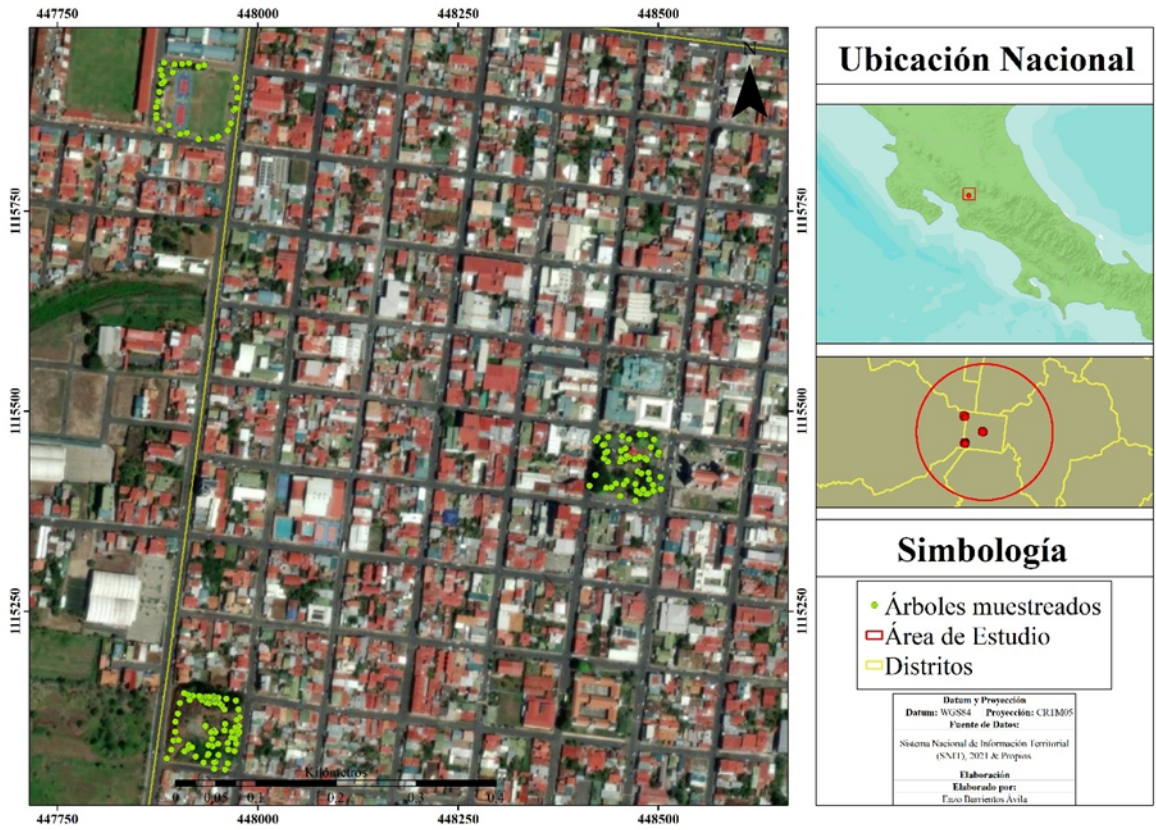
El área cuenta con una oferta de naturaleza representada por dos zonas de humedal, tres parques, cinco canchas, una red hídrica formada por dos quebradas y un río, así como parches de bosque urbano, tanto dentro de la zona urbana como en la periferia. La mayor parte de los espacios considerados como bosque urbano y humedal se encuentra fuera del área con mayor urbanismo, como se muestra en la Figura 22.

Figura 22.*Distribución de las áreas de oferta de naturaleza.*

En las tres áreas públicas seleccionadas se encontraron en total 155 árboles, distribuidos en Parque Alberto Manuel Brenes (51), Parque Recreativo La Sabana (30) y Cerro El Tremedal (74). Las áreas cuentan con zonas de esparcimiento y recreación, así como áreas para practicar deportes. La distribución de los árboles se observa en la figura 23.

Figura 23.

Distribución de los árboles muestreados en las áreas seleccionadas.



De los 155 árboles muestreados, las especies con mayor representación son *Tabebuia rosea* (61), *Tecoma stans* (17), *Casuarina equisetifolia* (15) y *Cojoba arborea* (10), la mayor cantidad de cobertura de dosel pertenece a *Tabebuia rosea*, seguido de *Cojoba arborea* y *Ficus costaricana*. Los árboles con mayor área foliar son los de la especie *Cojoba arborea* y el de menor área *Miconia argentea*, ambas especies repiten en biomasa foliar (Tabla 22).

Tabla 22.

Nombre de las especies y cantidad de árboles muestreados.

Especie	Cantidad	Cubierta de dosel (m ²)	Área foliar (m ²)	Biomasa foliar (kg)	Área basal (m ²)
<i>Acnistus arborescens</i>	3	29,3	70,3	5,6	0,1
<i>Albizia saman</i>	2	12,8	25,4	1,1	0,4
<i>Andira inermis</i>	3	87,8	257,1	22,2	1,1
<i>Bursera simaruba</i>	1	9,6	30,1	2,2	0,1
<i>Callistemon speciosus</i>	2	41,5	121,8	15,8	0,3
<i>Casuarina equisetifolia</i>	15	62,6	68,1	5,1	1,1
<i>Cedrela odorata</i>	1	15,9	35,6	2,6	0,5
<i>Citharexylum caudatum</i>	1	14,2	36,1	4,8	0,1
<i>Cojoba arborea</i>	10	374,5	2.852,2	246,5	11,8
<i>Croton niveus</i>	1	15,9	65,1	11,6	0,1
<i>Delonix regia</i>	2	26,7	72,6	6,3	0,4
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	3	89,1	723,7	62,5	0,7
<i>Ficus costaricana</i>	4	147,3	855,8	67,0	1,3
<i>Ficus aurea</i>	2	35,5	119,8	9,4	0,3
<i>Ficus pertusa</i>	1	8,3	20,3	1,6	0,1
<i>Handroanthus impetiginosum</i>	2	42,8	64,4	3,9	0,1
<i>Handroanthus ochraceus</i>	4	65,5	155,1	9,5	0,2
<i>Lagerstroemia speciosa</i>	6	111,1	308,6	39,9	1,5
<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i>	1	23,8	65,4	5,7	0,1
<i>Melaleuca quinquenervia</i>	1	15,9	128,1	16,6	0,3
<i>Miconia argentea</i>	1	7,1	14,3	1,9	0,0
<i>Myroxylon balsamum</i>	1	19,6	71,2	6,1	0,2
<i>Schinus terebinthifolia</i>	1	23,8	98,6	9,6	0,1
<i>Swietenia macrophylla</i>	4	117,4	734,6	54,6	1,3
<i>Tabebuia rosea</i>	61	773,2	1.600,9	97,5	2,6

Especie	Cantidad	Cubierta de dosel (m ²)	Área foliar (m ²)	Biomasa foliar (kg)	Área basal (m ²)
<i>Tecoma stans</i>	17	110,0	219,8	13,4	0,3
<i>Trichilia havanensis</i>	4	57,7	93,8	7,0	0,2
<i>Zygia brenesii</i>	1	19,6	49,0	4,2	0,1
Total	155	2.358,6	8.957,8	734,2	25,4

Los árboles cubrieron casi el 11% del área de los tres sitios seleccionados, proporcionando una cobertura de follaje de 0,8958 ha. El área foliar total es mayor en el Parque Alberto Manuel Brenes, seguido por el Cerro El Tremedal y el Parque Recreativo La Sabana. Las 10 especies más importantes se enumeran en la Tabla 23. El valor de importancia (VI) se calcula como la suma del porcentaje de población y el porcentaje de área foliar y determina las especies más dominantes en las áreas verdes analizadas.

Tabla 23.

Especies con mayor valor de importancia.

Especie	Porcentaje población	Porcentaje del área de las hojas	Valor de importancia
<i>Tabebuia rosea</i>	39,4	17,9	57,2
<i>Cojoba arborea</i>	6,5	31,8	38,3
<i>Tecoma stans</i>	11,0	2,5	13,4
<i>Ficus costaricana</i>	2,6	9,6	12,1
<i>Swietenia macrophylla</i>	2,6	8,2	10,8
<i>Casuarina equisetifolia</i>	9,7	0,8	10,4
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1,9	8,1	10,0
<i>Lagerstroemia speciosa</i>	3,9	3,4	7,3
<i>Andira inermis</i>	1,9	2,9	4,8
<i>Trichilia havanensis</i>	2,6	1,0	3,6

Los servicios ecosistémicos provistos por estos árboles se han dividido en almacenamiento de carbono, secuestro de carbono y escurrimiento evitado, para cada una de las especies, por cada sitio de muestreo y para el área total, tanto su contribución en cantidad como monetaria. El Parque Alberto Manuel Brenes (Tabla 24) es el estrato que más contribuye en estos servicios, seguido del cerro El Tremedal y por último el Parque Recreativo La Sabana.

En este primer sitio la especie con mayor almacenamiento de carbono corresponde a *Cojoba arborea*, acumulando 29,60 toneladas métricas de carbono. En términos de secuestro por año *Lagerstroemia speciosa* y *Swietenia macrophylla* son las especies que más aportan, fijando 0,11 toneladas métricas de carbono por año, y en escurrimiento evitado, *Cojoba arborea* es la especie con mayor cantidad de metros cúbicos al año evitados, siendo en total 20,97. En términos económicos el carbono almacenado suma ₡3.907.806,14, el secuestro de carbono por año ₡64.690,99 y el escurrimiento evitado por año ₡47.867,34; para un total de ₡4.020.364,47.

En el cerro El Tremedal la especie que más aporta en almacenamiento de carbono y al secuestro de carbono, corresponde a *Casuarina equisetifolia*, con un total de 1,76 toneladas métricas de carbono almacenadas y un secuestro de 0,20 toneladas de carbono por año. En el caso del escurrimiento evitado la especie con mayor aporte corresponde a *Ficus costaricana* (Tabla 25). En el aspecto económico el carbono almacenado suma ₡753.244,74, el secuestro de carbono por año ₡60.381,96 y el escurrimiento evitado por año ₡25.384,63; sumando en total ₡839.011,33.

Respecto al Parque Recreativo La Sabana (Tabla 26), la especie *Tabebuia rosea* es la que más aporta en los tres servicios ecosistémicos, almacenando 1,05 toneladas métrica de carbono, secuestrando 0,10 toneladas métricas de carbono al año y evitando 6,07 metros cúbicos de escurrimiento anual. Económicamente el carbono almacenado representa ₡115.023,90, el secuestro anual ₡12.449,06 y el escurrimiento evitado ₡8.697,60; sumando ₡136.170,56 en total.

Tabla 24.

Servicios ecosistémicos provistos por los árboles del Parque Alberto Manuel Brenes.

Estrato	Especie	Conteo	Almacenamiento de carbono		Secuestro bruto de carbono		Ecurrimiento evitado	
			t	Colones (C)	t/año	C/año	m ³ /año	C/año
Parque Alberto Manuel Brenes	<i>Andira inermis</i>	3	1,28	126.873,87	0,08	8.009,53	1,89	2.351,62
	<i>Callistemon speciosus</i>	2	0,37	36.286,53	0,03	2.794,33	0,90	1.114,04
	<i>Citharexylum caudatum</i>	1	0,10	10.343,65	0,01	995,23	0,27	330,49
	<i>Croton niveus</i>	1	0,23	22.475,46	0,01	538,57	0,48	595,91
	<i>Delonix regia</i>	2	0,64	63.395,66	0,04	4.429,00	0,53	663,78
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	1	0,00	271,39	0,00	123,20	0,02	21,36
	<i>Ficus pertusa</i>	1	0,04	4.136,27	0,00	444,42	0,15	185,89
	<i>Handroanthus impetiginosum</i>	2	0,24	23.961,09	0,02	2.280,20	0,47	588,94
	<i>Handroanthus ochraceus</i>	1	0,02	1.507,26	0,00	235,26	0,03	38,40
	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	6	1,90	188.523,39	0,11	11.132,92	2,27	2.823,04
	<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i>	1	0,09	8.678,19	0,01	905,70	0,48	598,23
	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	1	0,66	65.322,11	0,03	3.119,51	0,94	1.171,93
	<i>Myroxylon balsamum</i>	1	0,32	31.405,38	0,01	1.416,44	0,52	650,94

Estrato	Especie	Conteo	Almacenamiento de carbono		Secuestro bruto de carbono		Ecurrimiento evitado	
			t	Colones (C)	t/año	C/año	m ³ /año	C/año
	<i>Cojoba arborea</i>	10	29,60	2.933 280,66	0,06	5.940,70	20,97	26.093,18
	<i>Swietenia macrophylla</i>	2	2,43	240.501,48	0,11	11.359,42	4,45	5.534,07
	<i>Tabebuia rosea</i>	12	1,26	125.215,75	0,09	8.656,47	3,09	3.844,77
	<i>Trichilia havanensis</i>	3	0,14	13.868,01	0,01	1.258,52	0,65	812,18
	<i>Zygia brenesii</i>	1	0,12	11.759,97	0,01	1.051,57	0,36	448,55
	Total	51	39,44	3.907.806,14	0,65	64.690,99	38,47	47.867,34

Tabla 25.*Servicios ecosistémicos provistos por los árboles del cerro El Tremedal.*

Estrato	Especie	Conteo	Almacenamiento de carbono		Secuestro bruto de carbono		Escurrimiento evitado	
			t	Colones (¢)	t/año	¢/año	m ³ /año	¢/año
Cerro El Tremedal	<i>Acnistus arborescens</i>	3	0,19	18.516,32	0,03	3.025,94	0,52	643,37
	<i>Albizia saman</i>	2	0,35	34.320,39	0,02	1.585,09	0,19	232,36
	<i>Bursera simaruba</i>	1	0,08	7.858,15	0,00	360,01	0,22	275,66
	<i>Casuarina equisetifolia</i>	15	1,76	174.883,80	0,20	20.126,48	0,50	622,55
	<i>Cedrela odorata</i>	1	0,42	41.380,94	0,03	2.589,68	0,26	325,96
	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	2	1,39	137.815,24	0,07	7.118,56	5,30	6.599,24
	<i>Ficus costaricana</i>	4	1,31	130.163,11	0,06	6.429,10	6,29	7.828,92
	<i>Ficus aurea</i>	2	0,28	28.060,54	0,03	2.477,57	0,88	1.095,87
	<i>Handroanthus ochraceus</i>	3	0,38	37.985,59	0,03	2.638,21	1,11	1.380,89
	<i>Miconia argentea</i>	1	0,03	3.401,63	0,00	450,47	0,11	130,76
	<i>Schinus terebinthifolia</i>	1	0,18	18.249,67	0,01	788,03	0,73	902,13
	<i>Swietenia macrophylla</i>	2	0,56	55.532,67	0,04	4.086,69	0,95	1.186,17
	<i>Tabebuia rosea</i>	32	0,52	51.646,37	0,07	6.928,76	2,61	3.253,10
	<i>Tecoma stans</i>	4	0,12	11.560,38	0,01	1.433,50	0,69	861,55

Estrato	Especie	Conteo	Almacenamiento de carbono		Secuestro bruto de carbono		Escurrecimiento evitado	
			t	Colones (C)	t/año	C/año	m ³ /año	C/año
	<i>Trichilia.havanensis</i>	1	0,02	1.869,92	0,00	343,87	0,04	46,09
	<i>s</i>							
	Total	74	7,60	753.244,74	0,61	60.381,96	20,40	25.384,63

Tabla 26.

Servicios ecosistémicos provistos por los árboles del Parque Recreativo La Sabana.

Estrato	Especie	Conteo	Almacenamiento de carbono		Secuestro bruto de carbono		Escurrencimiento evitado	
			t	Colones (₡)	t/año	₡/año	m ³ /año	₡/año
Parque Recreativo La Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	17	1,05	104.117,83	0,10	10.351,76	6,07	7.547,96
	<i>Tecoma stans</i>	13	0,11	10.906,06	0,02	2.097,31	0,92	1.149,64
Total		30	1,16	115.023,90	0,13	12.449,06	6,99	8.697,60

El aporte total en almacenamiento de carbono corresponde a 48,20 t, lo que representa ¢4.776.074,78. La fijación anual total es de 1,39 t, equivalentes a ¢137.522,02 al año y el escurrimiento evitado es de 65,87 m³/año, para un monto de ¢81.949,57 anuales; en total suman ¢4.995.546,37. En cuanto a la producción de oxígeno, se calcula un total de 3,701 t/año, siendo el Parque Alberto Manuel Brenes (Tabla 27) el sitio de mayor producción y *Tabebuia rosea*, la especie que más genera, el sitio de mayor producción de servicios ecosistémicos corresponde también al sitio de mayor cantidad de área foliar.

Tabla 27.

Producción de oxígeno en cada uno de los sitios de muestreo y área foliar.

Estrato	Producción de oxígeno (tonelada métrica/año)	Área foliar (m²)
Parque Alberto Manuel Brenes	1,7	5.232,3
Parque Recreativo La Sabana	0,3	950,7
Cerro El Tremedal	0,6	2.774,8
Total	3,7	8.957,8

En conjunto, estos resultados detallan la estructura territorial, el grado de transformación y la disponibilidad de naturaleza en la ciudad de San Ramón. La caracterización de la cobertura del suelo mostró el predominio del uso urbano, seguido por coberturas como pastos y cultivos con sombra, principalmente en la periferia, mientras que los parches de cobertura forestal son escasos y fragmentados. Los índices de cobertura reflejaron una distribución desigual entre las clases, con predominancia de coberturas antrópicas y bajo porcentaje de vegetación densa, lo cual evidencia la presión urbana sobre el entorno natural.

Esta configuración se ve reforzada por los resultados del análisis de fragmentación del paisaje, donde métricas como el número de parches, la densidad de bordes y la baja conectividad revelaron una matriz urbana fragmentada, con parches pequeños, aislados y de forma compleja, especialmente en las zonas de mayor antropización. Finalmente, la oferta de naturaleza en el área urbana mostró que existe una cobertura vegetal insuficiente para proporcionar servicios ecosistémicos de manera equitativa y continua, especialmente en sectores densamente edificados.

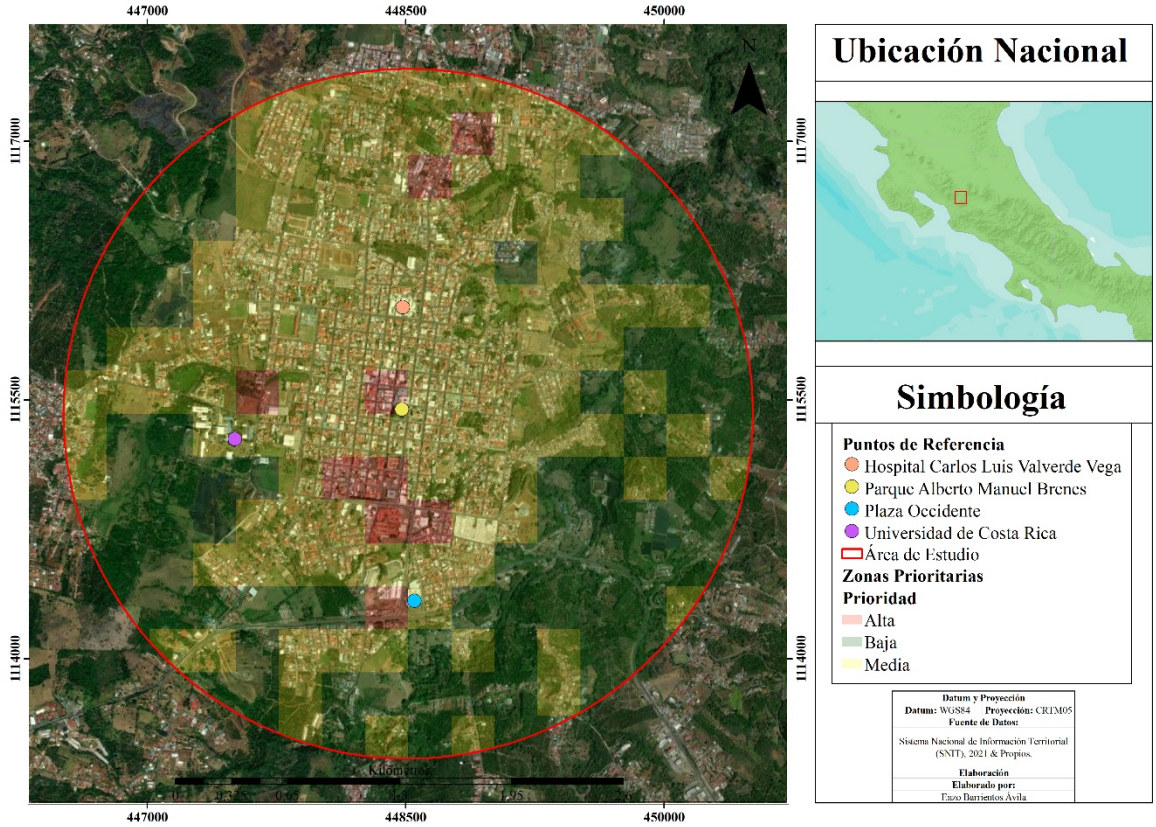
No obstante, el análisis específico del arbolado urbano en las tres áreas seleccionadas evidencia que, a pesar de su limitada presencia, los árboles brindan servicios clave como la captura de y almacenamiento de carbono, así como la regulación de procesos climáticos, contribuyendo de forma tangible al confort ambiental y a la salud urbana local. En conjunto, estos resultados evidencian la necesidad de restaurar la conectividad ecológica y aumentar la cobertura verde mediante estrategias planificadas que integren SbN, orientadas a recuperar funciones ecológicas y mejorar el bienestar urbano.

5.11. SbN: Propuesta para el área urbana de la ciudad de San Ramón

La priorización de zonas por cantidad de problemáticas divide las 224 zonas en: 95 de Baja prioridad, 120 en prioridad Media y nueve en prioridad Alta. Las regiones de baja prioridad se ubican principalmente en la periferia del área más urbanizada, mientras que las zonas de prioridad media siguen los patrones de urbanización. Las nueve zonas de prioridad alta se ubican en regiones de alta urbanización (Figura 24).

Figura 24.

Distribución de las zonas prioritarias en el área de estudio.

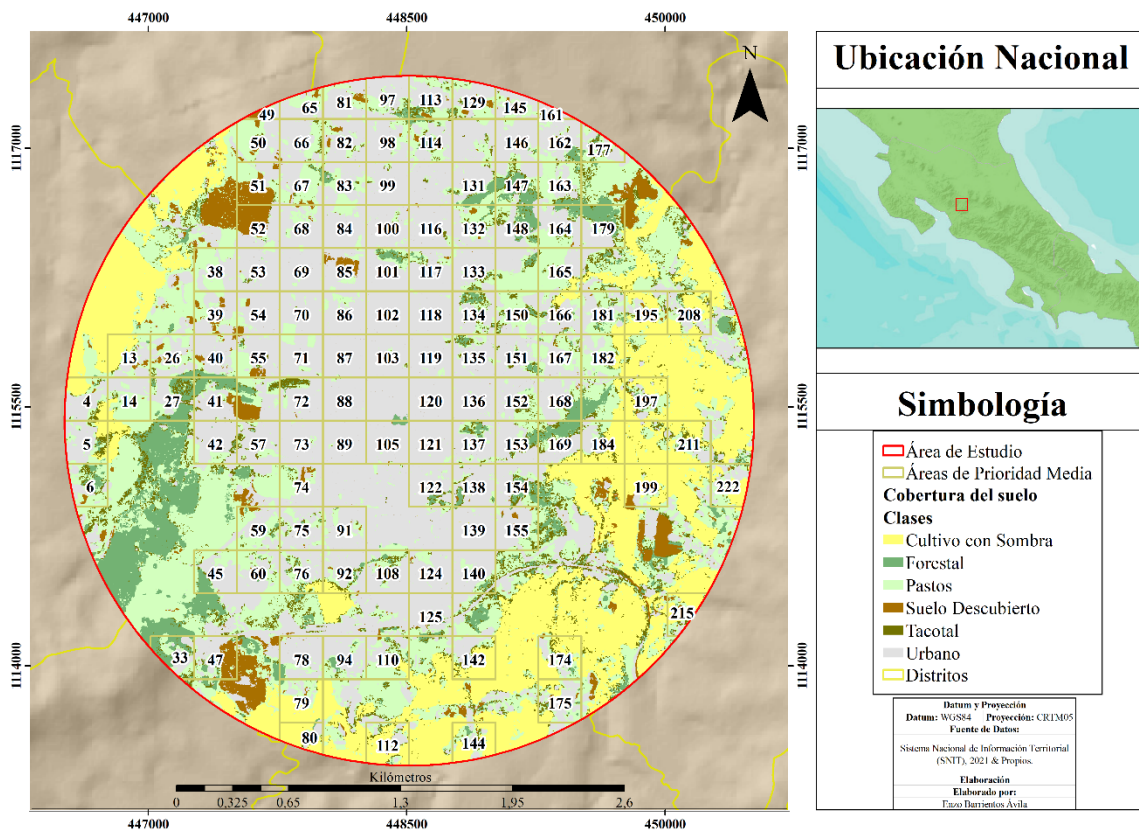


5.12. Propuesta para las zonas de prioridad media

Las zonas de prioridad media se encuentran distribuidas por toda el área de estudio (Figura 25), sin embargo, su diversidad de problemáticas no es tan amplia, por lo que pueden agruparse según estas. Estas zonas presentan espacios de oportunidad para la implementación de SbN de escala personal y comunal, a pesar de ello, al encontrarse en un área urbana, no todas presentan esta misma característica.

Figura 25.

Zonas de prioridad media en relación con la cobertura del suelo.



Las SbN para las zonas de prioridad media serán propuestas para los diferentes tipos de problemáticas existentes y se presentarán en diversas escalas, a menos que exista un espacio de gran importancia que pueda ser aprovechado y aporte de manera general al área urbana. El número de zonas y las problemáticas se encuentran enlistados en la Tabla 28.

Tabla 28.*Zonas de prioridad media y el tipo de problemáticas que presentan.*

Número de Zona			Tipo de problemáticas
● 4-6	● 65-71	● 142	● Suelo
● 13-14	● 73-76	● 144-155	● Clima
● 26	● 78-80	● 161-169	● Materiales de construcción
● 33	● 82-87	● 174-175	
● 38-39	● 91-92	● 177	
● 40-45	● 94	● 179	
● 47	● 97-101	● 181-182	
● 49-55	● 103	● 184	
● 57	● 110	● 195	
● 59-60	● 112-114	● 197	
	● 116-117	● 199	
	● 119-122	● 208	
	● 124	● 211	
	● 129	● 215	
	● 131-140	● 222	
<hr/>			
● 27			● Suelo
● 81			● Clima
● 108			● Materiales de construcción
			● Recurso hídrico
<hr/>			
● 72			● Suelo
● 89			● Clima
● 102			● Materiales de construcción
			● Inundaciones
<hr/>			
● 88			● Suelo
● 118			● Clima
			● Materiales de construcción
			● Ruido
<hr/>			
● 105			● Suelo
● 125			● Clima
			● Materiales de construcción

5.12.1. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas al clima

5.12.1.1. Infraestructuras verdes para mitigación del calor urbano

- Techos verdes: incentivar la instalación de techos verdes en edificios, para reducir la temperatura ambiente, mejorar la calidad del aire y promover la biodiversidad urbana.
- Jardines verticales: fomentar la creación de paredes verdes o jardines verticales en fachadas de edificios para mejorar la eficiencia energética, reducir el consumo de agua y proporcionar espacios verdes en entornos urbanos densamente poblados.
- Corredores verdes: establecer corredores verdes que conecten parques y áreas naturales dentro de la ciudad, facilitando el flujo de aire fresco, la absorción de CO₂ y proporcionando refugio para la fauna urbana.
- Parques y bosques urbanos: ampliar y mantener parques y bosques urbanos como espacios multifuncionales que ayuden a regular la temperatura, capturar carbono y promover la recreación y el bienestar comunitario.

5.12.1.2. Manejo sostenible del agua

- Jardines de lluvia: implementar jardines de lluvia en áreas urbanas para captar y filtrar aguas pluviales, reduciendo el riesgo de inundaciones y recargando los acuíferos subterráneos.
- Humedales urbanos: diseñar y restaurar humedales urbanos que actúen como filtros naturales para purificar aguas residuales y mejorar la calidad del agua en ríos.
- Pavimentos permeables: utilizar pavimentos permeables en áreas urbanas para permitir la infiltración de agua de lluvia en el suelo, reduciendo el escurrimiento superficial y mejorando la recarga de acuíferos.
- Restauración de ribera: restaurar y proteger las riberas de ríos y arroyos urbanos con vegetación nativa para estabilizar taludes, filtrar contaminantes y proporcionar hábitat para la vida silvestre.

5.12.2. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas al suelo

5.12.2.1. Fitorremediación y gestión natural del suelo

- Fitorremediación: implementar técnicas de fitorremediación en áreas contaminadas urbanas utilizando plantas como guarumo, helechos y moringa que absorban metales pesados y otros contaminantes del suelo.
- Compostaje urbano: promover programas de compostaje comunitario para mejorar la salud del suelo urbano, aumentar la fertilidad y reducir la cantidad de residuos orgánicos enviados a vertederos.
- Agricultura urbana: fomentar la agricultura urbana en azoteas, jardines comunitarios y espacios baldíos, utilizando técnicas sostenibles como la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos.
- Cubiertas vegetales: colocar cubiertas vegetales en áreas de suelo expuesto, para reducir la erosión del suelo, mejorar la calidad del aire y regular la temperatura del suelo.

5.12.3. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas a los materiales de construcción

5.12.3.1. Aislamiento natural

- Fibras naturales: promover el uso de fibras naturales como materiales de aislamiento en construcciones nuevas y remodelaciones debido a su capacidad de regulación térmica y baja huella de carbono.
- Cáscara de arroz y corcho: utilizar cáscara de arroz y corcho como materiales aislantes en paredes y techos, ya que son renovables, biodegradables y ofrecen excelentes propiedades de aislamiento térmico y acústico.

5.12.3.2. Materiales compuestos naturales

- Bambú laminado: promover el uso de bambú laminado como material estructural debido a su rápida renovación, resistencia y capacidad para absorber carbono durante su crecimiento.

5.12.3.3. Bloques de tierra comprimida (BTC):

- Bloques de tierra estabilizados: fomentar el uso de BTC, que consisten en tierra mezclada con un estabilizador como cal o cemento natural, para construcciones de bajo costo y alta eficiencia energética, minimizando el uso

de materiales convencionales, utilizados en muros decorativos y muros de bajo impacto.

- Bloques de adobe modernos: modernizar las técnicas de adobe tradicional con métodos de producción industrializada que mantengan las ventajas de este material (aislamiento térmico, durabilidad) con un menor impacto ambiental.

5.12.3.4. Pavimentos y revestimientos naturales

- Piedra natural y arcilla: utilizar piedra natural y arcilla como pavimentos y revestimientos debido a su durabilidad, resistencia al desgaste y bajo mantenimiento, además de ser materiales locales que reducen la huella de carbono asociada al transporte.
- Suelos de madera: fomentar el uso de suelos de madera, que proporcionan un ambiente interior saludable y naturalmente cálido.

5.12.4. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas al recurso hídrico

5.12.4.1. Gestión sostenible del agua

- Restauración de humedales y riberas: rehabilitar y conservar humedales y riberas naturales para mejorar la infiltración del agua, filtrar contaminantes y proporcionar hábitats para la vida silvestre.
- Sistemas de aguas grises y captación de agua de lluvia: promover la instalación de sistemas domésticos y urbanos para reutilizar aguas grises y captar agua de lluvia, reduciendo así la demanda de agua potable y mitigando el impacto en los sistemas hídricos locales.

5.12.5. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas a inundaciones

5.12.5.1. Infraestructuras verdes para gestión de aguas pluviales

- Jardines de lluvia y zanjas bio-retentivas: implementar jardines de lluvia y zanjas bio-retentivas en áreas urbanas para captar y filtrar agua de lluvia, reduciendo el riesgo de inundaciones y mejorando la calidad del agua.
- Pavimentos permeables: utilizar pavimentos permeables en calles, aceras y plazas para permitir la infiltración de agua de lluvia en el suelo y reducir el escurrimiento superficial hacia sistemas de drenaje.

5.12.6. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas al ruido

5.12.6.1. Espacios verdes y barreras naturales contra el ruido

- Bosques urbanos y cinturones verdes: establecer bosques urbanos y cinturones verdes alrededor de áreas residenciales y viales para absorber el ruido, mejorar la calidad del aire y proporcionar espacios recreativos.
- Paredes vegetales y arbustos: instalar paredes vegetales y arbustos densos como barreras naturales para reducir la propagación del ruido en zonas urbanas.

5.12.7. Propuesta de SbN para las problemáticas asociadas a los residuos sólidos

5.12.7.1. Gestión de residuos orgánicos

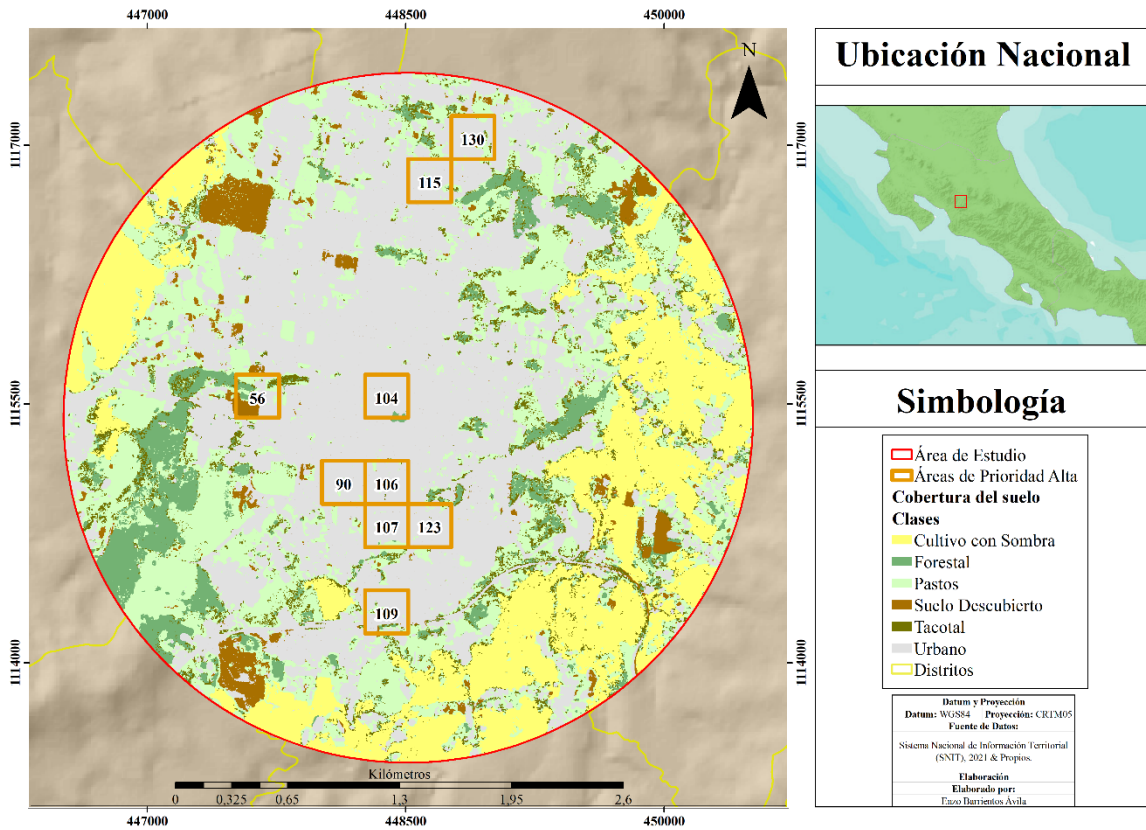
- Compostaje comunitario: fomentar programas de compostaje comunitario para gestionar residuos orgánicos y producir compost de alta calidad para uso en jardinería y agricultura.

5.13. Propuesta para las zonas de prioridad alta

Al encontrarse en áreas con un gran nivel de urbanismo (Figura 26), las zonas de prioridad alta no presentan espacios de oportunidad para SbN a escala comunal o institucional, en la mayoría de los casos. Para las zonas 56, 109 y 130, se cuenta con ciertos espacios que pueden ser aprovechados con propuestas a una escala de implementación mayor a la individual, ya que cuentan con fragmentos de coberturas que pueden utilizarse para implementar SbN que requieran mayor área física.

Figura 26.

Zonas de prioridad alta con relación a la cobertura del suelo.



Las SbN para las zonas de alta prioridad serán propuestas basándose en la diversidad de problemáticas que presentan y a los espacios de oportunidad con los que se encuentran. El número de zona, así como las problemáticas y la cobertura presente en la zona se encuentran enlistados en la Tabla 29.

Tabla 29.*Zonas de prioridad alta, el tipo de problemáticas que presentan y la oportunidad.*

Número de Zona	Tipo de problemáticas	Cobertura
56	<ul style="list-style-type: none"> ● Residuos sólidos ● Suelo ● Clima ● Alimentos ● Materiales de construcción 	<ul style="list-style-type: none"> ● Parches de áreas forestales y pastos ● Zonas de suelo descubierto ● Cobertura urbana
90	<ul style="list-style-type: none"> ● Residuos sólidos ● Suelo ● Clima ● Materiales de construcción ● Zonas verdes 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cobertura urbana predominante
104	<ul style="list-style-type: none"> ● Suelo ● Clima ● Materiales de construcción ● Inundaciones ● Contaminación atmosférica ● Alimentos ● Zonas verdes 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cobertura urbana predominante
106	<ul style="list-style-type: none"> ● Residuos sólidos ● Suelo ● Clima ● Materiales de construcción ● Zonas verdes 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cobertura urbana predominante
107	<ul style="list-style-type: none"> ● Residuos sólidos ● Suelo ● Clima ● Materiales de construcción ● Recurso hídrico 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cobertura urbana predominante ● Parches de pasto

Número de Zona	Tipo de problemáticas	Cobertura
109	<ul style="list-style-type: none"> ● Suelo ● Clima ● Materiales de construcción ● Contaminación atmosférica ● Ruido 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cobertura urbana predominante
115	<ul style="list-style-type: none"> ● Residuos sólidos ● Suelo ● Clima ● Materiales de construcción ● Recurso hídrico 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cobertura urbana predominante
123	<ul style="list-style-type: none"> ● Residuos sólidos ● Recurso hídrico ● Ruido ● Clima ● Materiales de construcción ● Suelo 	<ul style="list-style-type: none"> ● Cobertura urbana predominante
130	<ul style="list-style-type: none"> ● Residuos sólidos ● Recurso hídrico ● Clima ● Materiales de construcción ● Suelo ● Inundaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ● Parches de pastos ● Cobertura urbana predominante

Las zonas de alta prioridad se encuentran en su gran mayoría cubiertas por construcciones. Por esta razón, la implementación de SbN requiere modificaciones en el paisaje o adaptaciones a las construcciones, lo que impide escoger un punto específico de implementación. Las soluciones propuestas pretenden abarcar la mayor cantidad de problemáticas, por lo que distintas SbN pueden abordar distintos problemas a la vez o contribuir a mitigar sus impactos.

5.13.1. Propuesta de SbN para la zona 56

5.13.1.1. Residuos sólidos

Solución Basada en la Naturaleza: compostaje comunitario y jardines de permacultura.

Escala: comunitaria.

Implementación:

- Establecer centros de compostaje en parques o espacios verdes donde los residentes puedan depositar residuos orgánicos.
- Integrar jardines de permacultura en estos centros para utilizar el compost generado y cultivar alimentos.

5.13.1.2. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: uso de cubiertas vegetales y compostajes comunales.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Plantar especies de cobertura, en parques, áreas verdes y parcelas urbanas para prevenir la erosión y mejorar la estructura del suelo.
- Utilizar compost producido en los centros de compostaje para mejorar la calidad de los suelos.
- Integrar estas prácticas en espacios no utilizados o degradados dentro de la ciudad.

5.13.1.3. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: techos verdes y muros verdes.

Escala: personal e institucional.

Implementación:

- Instalar techos verdes en edificios residenciales y comerciales para mejorar el aislamiento térmico y reducir la temperatura ambiente.

- Implementar muros verdes en edificaciones para mitigar el calor y mejorar la calidad del aire.
- Plantar árboles y arbustos nativos en parches de pasto, áreas urbanas degradadas y zonas periurbanas.
- Crear corredores verdes que conecten parques y áreas forestales con el entorno urbano, utilizando especies vegetales nativas.

5.13.1.4. Alimentos

Solución Basada en la Naturaleza: agricultura urbana y huertos comunitarios.

Escala: personal y comunitaria.

Implementación:

- Fomentar la creación de jardines y huertos en patios y espacios comunitarios para la producción de alimentos.
- Desarrollar huertos comunitarios en terrenos baldíos y espacios comunitarios para el cultivo de frutas y verduras.

5.13.1.5. Materiales de construcción

Solución Basada en la Naturaleza: uso de materiales de construcción sostenibles y bioclimáticos.

Escala: institucional.

Implementación:

- Fomentar el uso de materiales locales y sostenibles, como bambú, adobe y madera certificada.
- Promover el diseño bioclimático que optimiza el uso de recursos naturales para reducir el consumo energético.

Espacios de oportunidad

Zonas forestales y parches de pasto:

- **Reforestación urbana y corredores verdes:** aprovechar estos espacios para la plantación de árboles y creación de corredores verdes que conecten áreas naturales y urbanas.

Áreas urbanas densas:

- **Techos verdes y agricultura urbana:** implementar techos verdes y huertos en azoteas para maximizar el uso del espacio limitado en áreas densamente pobladas.

Suelo descubierto:

- **Compostaje comunitario y huertos comunitarios:** utilizar suelos vacíos o degradados para crear centros de compostaje y huertos comunitarios que promuevan la gestión sostenible de residuos y la producción de alimentos.

5.13.2. Propuesta de SbN para la zona 90

5.13.2.1. Residuos sólidos

Solución Basada en la Naturaleza: compostaje comunitario y jardines de permacultura.

Escala: comunitaria e institucional.

Implementación:

- Crear centros de compostaje en áreas verdes donde los residentes puedan depositar sus residuos orgánicos.
- Integrar jardines en parques y espacios públicos para utilizar el compost generado y promover la agricultura urbana sostenible.

5.13.2.2. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: cobertura vegetal y reforestación urbana.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Plantar especies vegetales de cobertura en espacios vacíos, taludes y áreas con suelo desnudo para prevenir la erosión y mejorar la estructura del suelo.
- Iniciar programas de reforestación en parques y corredores verdes con árboles y arbustos nativos que ayuden a estabilizar el suelo y aumentar la materia orgánica.

5.13.2.3. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: pavimentos permeables y arbolado urbano.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Reemplazo de pavimentos tradicionales por pavimentos permeables en calles y aceras para facilitar la infiltración de agua de lluvia y reducir la escorrentía.
- Plantación de árboles de sombra a lo largo de las calles para proporcionar sombra, reducir la temperatura del pavimento y mejorar el confort térmico.

5.13.2.4. Materiales de Construcción

Solución Basada en la Naturaleza: reutilización de materiales y construcción modular.

Escala: institucional.

Implementación:

- Fomentar la reutilización de materiales de construcción de demoliciones y reformas en nuevos proyectos para estabilizar rellenos, promoviendo la economía circular en la construcción.
- Implementar la construcción modular que permite el fácil desensamblaje y reutilización de componentes, reduciendo los residuos de construcción y facilitando la adaptación a futuras necesidades.

5.13.2.5. Zonas verdes

Solución Basada en la Naturaleza: parques y corredores verdes multifuncionales

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Mejorar y mantener parques urbanos que integren áreas de recreación, espacios para la biodiversidad y gestión de aguas pluviales.

- Crear corredores verdes que conecten diferentes partes de la ciudad, facilitando la movilidad y el esparcimiento, y promoviendo la biodiversidad.

5.13.3. Propuesta de SbN para la zona 104

5.13.3.1. Inundaciones

Solución Basada en la Naturaleza: sistemas de drenaje urbano sostenible (SUDS).

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Integración de sistemas como jardines de lluvia, bioretención y áreas de infiltración que capturan y filtran el agua de lluvia, reduciendo la escorrentía y el riesgo de inundaciones.
- Uso de pavimentos permeables y canales verdes para permitir la infiltración y el almacenamiento temporal del agua.

5.13.3.2. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: cubiertas vegetales, compostaje urbano y mejoramiento del suelo.

Escala: personal y comunal.

Implementación:

- Aplicación de cubiertas vegetales como poaceas o las cubiertas de hojarasca para proteger el suelo descubierto y mejorar su calidad.
- Promoción de programas de compostaje comunitario para convertir los residuos orgánicos en compost y mejorar la fertilidad del suelo en áreas urbanas.
- Uso del compost producido para enriquecer los suelos en parques, jardines comunitarios y áreas verdes.

5.13.3.3. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: techos verdes y refugios climáticos en edificios públicos.

Escala: institucional.

Implementación:

- Instalación de techos verdes en edificios públicos como escuelas, hospitales y oficinas gubernamentales para mejorar el aislamiento térmico y reducir el calor urbano.
- Creación de "refugios climáticos" con áreas verdes y sistemas de refrigeración natural para proporcionar alivio térmico en olas de calor.

5.13.3.4. Zonas verdes

Solución Basada en la Naturaleza: jardines de bolsillo y micro parques en áreas densas

Escala: comunal.

Implementación:

- Creación de pequeños jardines de bolsillo y micro parques en espacios urbanos infrutilizados, como esquinas de calles y lotes vacíos.
- Uso de vegetación nativa y diseño sostenible para maximizar los beneficios ambientales y sociales en áreas limitadas.

5.13.3.5. Contaminación atmosférica

Solución Basada en la Naturaleza: bosques urbanos y barreras verdes.

Escala: comunal.

Implementación:

- Plantación de bosques urbanos y barreras verdes alrededor de áreas donde se liberen gases de procesos industriales o de alta concentración vehicular.
- Utilización de plantas con alta capacidad de filtración de aire, como las especies de follaje denso y las epífitas.

5.13.3.6. Alimentos

Solución Basada en la Naturaleza: agricultura urbana vertical.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Instalación de sistemas de agricultura vertical en edificios públicos, comerciales y residenciales. Estos sistemas utilizan estructuras verticales para cultivar plantas en capas, maximizando el uso del espacio y permitiendo el cultivo de alimentos en áreas urbanas densas.
- Utilización de tecnologías hidropónicas o aeropónicas que no requieren suelo, permitiendo el cultivo en entornos urbanos donde el espacio y la calidad del suelo pueden ser limitados.

5.13.3.7. Materiales de construcción

Solución Basada en la Naturaleza: utilización de biomateriales en la construcción.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Fomento del uso de biomateriales como la madera laminada, el bambú y los biopolímeros en proyectos de construcción y renovación urbana. Estos materiales son renovables y tienen una menor huella de carbono en comparación con los materiales de construcción convencionales.
- Integración de estos biomateriales en la planificación de nuevos desarrollos y en la rehabilitación de edificios existentes para promover la sostenibilidad en la construcción.

5.13.4. Propuesta de SbN para la zona 106

5.13.4.1. Residuos sólidos

Solución Basada en la Naturaleza: ecoparques de reciclaje y compostaje.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Establecimiento de EcoParques dedicados al reciclaje y compostaje de residuos sólidos urbanos. Estos parques pueden incluir áreas para la separación de residuos reciclables, compostaje de residuos orgánicos y educación comunitaria sobre la gestión de residuos.
- Integración de sistemas de compostaje comunitario donde los residentes pueden llevar sus residuos orgánicos para ser procesados en compost, que luego puede ser utilizado en jardines urbanos y huertos comunitarios.

5.13.4.2. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: jardines de lluvia y biofiltros.

Escala: comunal.

Implementación:

- Implementación de jardines de lluvia y biofiltros en áreas urbanas para gestionar la escorrentía y mejorar la calidad del agua del suelo. Estos sistemas capturan y filtran el agua de lluvia, reduciendo la erosión del suelo.
- Integración de plantas nativas y de bajo mantenimiento que pueden absorber y filtrar contaminantes, mejorando la calidad del suelo y promoviendo la biodiversidad.

5.13.4.3. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: parques lineales y bosques urbanos.

Escala: comunal.

Implementación:

- Creación de parques lineales y bosques urbanos que atraviesen la ciudad, proporcionando corredores verdes que conecten diferentes áreas y ofrezcan sombra, frescor y recreación.

- Plantación de árboles de sombra y vegetación densa para maximizar la reducción de la temperatura y mejorar el confort térmico, especialmente en áreas de alta densidad de construcción.

5.13.4.4. Materiales de construcción

Solución Basada en la Naturaleza: madera laminada cruzada (CLT).

Escala: institucional.

Implementación:

- Promoción del uso de madera laminada cruzada (CLT) en la construcción de estructuras urbanas de múltiples pisos. El CLT es un material renovable y de alto rendimiento que ofrece resistencia y durabilidad comparables a los materiales convencionales, pero con una huella de carbono significativamente menor.
- Aplicación de CLT en proyectos de edificios públicos y comerciales, fomentando políticas de construcción que incentiven el uso de materiales de baja huella de carbono.

5.13.4.5. Zonas verdes

Solución Basada en la Naturaleza: corredores verdes urbanos.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Creación de corredores verdes a lo largo de las calles principales y áreas de tránsito de la ciudad. Estos corredores incluyen la plantación de árboles y vegetación nativa, conectando parques y áreas verdes existentes y proporcionando rutas verdes para peatones y ciclistas.
- Diseño de estos corredores para mejorar la conectividad ecológica, ofreciendo hábitat y refugio para la fauna urbana y facilitando la movilidad sostenible dentro de la ciudad.

5.13.5. Propuesta de SbN para la zona 107

5.13.5.1. Residuos sólidos

Solución Basada en la Naturaleza: jardines de compostaje comunitarios.

Escala: comunal.

Implementación:

- Establecimiento de puntos de compostaje en parques comunitarios y espacios públicos donde los residentes puedan llevar sus residuos orgánicos. Estos puntos convertirán los residuos en compost que se puede usar en jardines comunitarios y áreas verdes urbanas.
- Educación y participación comunitaria para fomentar la segregación de residuos en origen y la utilización del compost producido en huertos urbanos y jardines.

5.13.5.2. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: jardines de lluvia.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Creación de jardines de lluvia en áreas urbanas para capturar y filtrar el agua de lluvia, reduciendo la escorrentía y la erosión del suelo. Estos jardines pueden integrarse en parques, plazas y en el diseño de calles.
- Utilización de plantas nativas y adaptadas para maximizar la eficiencia de absorción y filtración del agua.

5.13.5.3. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: calles frescas y parques lineales.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Rediseño de calles y pavimentos con materiales que reflejan el calor y vegetación que proporciona sombra para reducir la temperatura en áreas urbanas.
- Desarrollo de parques lineales a lo largo de aceras o ríos urbanos, creando corredores verdes que conecten diferentes partes de la ciudad.

5.13.5.4. Materiales de Construcción

Solución Basada en la Naturaleza: aislamiento térmico con materiales naturales.

Escala: institucional y personal.

Implementación:

- Uso de materiales de construcción naturales como el corcho para el aislamiento térmico de edificios, reduciendo la necesidad de sistemas de climatización artificial.
- Incentivos y regulaciones para promover la adopción de estos materiales en proyectos de construcción nuevos y renovaciones.

5.13.5.5. Recurso hídrico.

Solución Basada en la Naturaleza: rehabilitación de cuencas hidrográficas urbanas.

Escala: institucional.

Implementación:

- Restauración y rehabilitación de cuencas hidrográficas urbanas mediante técnicas como la reforestación de riberas, creación de zonas de infiltración natural, y remediación de áreas contaminadas.

5.13.6. Propuesta de SbN para la zona 109

5.13.6.1. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: biochar para la regeneración del suelo.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Aplicación de biochar, un tipo de carbón vegetal, en suelos urbanos para mejorar la retención de nutrientes y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.
- Establecimiento de proyectos piloto en áreas con suelos degradados y en jardines comunitarios para demostrar los beneficios del biochar.

5.13.6.2. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: creación de parques de tormentas.

Escala: comunal.

Implementación:

- Diseño y construcción de parques que actúan como sistemas de gestión de aguas pluviales, donde el agua de lluvia se captura y filtra antes de ser liberada en el sistema de drenaje.
- Utilización de plantas nativas y sistemas de humedales artificiales para mejorar la retención de agua y la filtración natural.

5.13.6.3. Materiales de construcción

Solución Basada en la Naturaleza: uso de madera laminada cruzada (CLT).

Escala: institucional y personal.

Implementación:

- Promoción del uso de madera laminada cruzada (CLT) en la construcción de edificios de varios pisos y estructuras urbanas, ofreciendo una alternativa sostenible al concreto y al acero.
- Fomento de políticas que favorezcan el uso de materiales renovables en proyectos de construcción y rehabilitación urbana.

5.13.6.4. Contaminación atmosférica

Solución Basada en la Naturaleza: jardines de fitorremediación para aire.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Desarrollo de jardines de fitorremediación en áreas urbanas con alta contaminación del aire, utilizando plantas que absorben y metabolizan contaminantes atmosféricos.
- Integración de estos jardines en parques y alrededor de fuentes de contaminación como carreteras.

5.13.6.4. Ruido

Solución Basada en la Naturaleza: zonas de amortiguación acústica.

Escala: institucional.

Implementación:

- Creación de zonas de amortiguación acústica alrededor de áreas residenciales sensibles utilizando combinaciones de vegetación densa, cuerpos de agua y elementos naturales que dispersan el sonido.
- Establecimiento de regulaciones que requieran zonas de amortiguación acústica en nuevos desarrollos urbanos cercanos a fuentes de ruido como autopistas y zonas industriales.

Espacios de oportunidad**Zonas forestales y parches de pasto:**

- **Reforestación urbana y corredores verdes:** aprovechar estos espacios para la plantación de árboles y creación de corredores verdes que conecten áreas naturales y urbanas.

5.13.7. Propuesta de SbN para la zona 115

5.13.7.1. Residuos sólidos

Solución Basada en la Naturaleza: compostaje comunitario y jardines verticales con compostadores integrados.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Establecer instalaciones de compostaje en áreas públicas como parques o jardines comunitarios donde los residentes puedan depositar sus residuos orgánicos. Estos sistemas pueden ser gestionados por la comunidad con apoyo del gobierno local.
- En edificios residenciales y comerciales, instalar jardines verticales que incluyan sistemas de compostaje en su base. Estos pueden procesar residuos orgánicos generados en el edificio y utilizar el compost producido para nutrir las plantas.

5.13.7.2. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: biochar y fitorremediación en zonas degradadas.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Incorporar biochar en parques y jardines comunitarios para mejorar la calidad del suelo. El biochar es una forma de carbón que se añade al suelo para aumentar su fertilidad y capacidad de retención de agua.
- Utilizar plantas con capacidades de fitorremediación en áreas de suelo contaminado o degradado. Estas plantas pueden absorber o estabilizar contaminantes, mejorando así la salud del suelo.

5.13.7.3. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: techos verdes y bosques urbanos.

Escala: personal, comunal e institucional.

Implementación:

- Instalar techos verdes en edificios para mejorar el aislamiento térmico y reducir el efecto de isla de calor urbano. Estos techos pueden incluir una variedad de plantas adaptadas a condiciones locales.
- Mejorar la calidad y cantidad del arbolado en parques para generar bosques que aumenten la cobertura arbórea, que proporciona sombra y mejora el microclima local.

5.13.7.4. Materiales de construcción

Solución Basada en la Naturaleza: uso de materiales naturales y tecnologías de construcción con bajo impacto.

Escala: institucional.

Implementación:

- Promover el uso de materiales de construcción sostenibles, como madera certificada, bambú, y materiales reciclados en proyectos de construcción nuevos y renovaciones.
- Integrar tecnologías como paneles solares y sistemas de recolección de agua de lluvia en nuevas construcciones para reducir la huella de carbono y el consumo de recursos.

5.13.7.5. Recurso hídrico

Solución Basada en la Naturaleza: sistemas de gestión de aguas pluviales.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Crear jardines de lluvia en parques, plazas y alrededor de edificios residenciales. Estos jardines están diseñados para capturar y filtrar las aguas pluviales, permitiendo que se infiltre lentamente en el suelo en lugar de escurrirse rápidamente hacia el sistema de alcantarillado.
- Combinar los jardines de lluvia con otras infraestructuras verdes, como techos verdes y pavimentos permeables, para maximizar la gestión del agua y el filtrado natural.

5.13.8. Propuesta de SbN para la zona 123

5.13.8.1. Residuos sólidos

Solución Basada en la Naturaleza: programas de reciclaje verde y jardines de compostaje.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Promover el uso de puntos de recogida de residuos reciclables en zonas verdes urbanas.
- Establecimiento de puntos de compostaje en parques comunitarios y espacios públicos donde los residentes puedan llevar sus residuos orgánicos.

5.13.8.2. Recurso Hídrico

Solución Basada en la Naturaleza: sistemas de drenaje urbano sostenible y captación y almacenamiento de aguas pluviales.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Incorporar sistemas de drenaje sostenible, como zanjas filtrantes, pavimentos permeables y estanques de retención en áreas urbanas para gestionar las aguas pluviales y reducir el riesgo de inundaciones.
- Instalar sistemas de captación de agua de lluvia en edificios públicos y residenciales. El agua recolectada puede ser utilizada para riego, lavado y otras aplicaciones no potables.

5.13.8.3. Ruido

Solución Basada en la Naturaleza: barreras, techos y muros verdes.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Plantar filas de árboles y arbustos densos a lo largo de carreteras y áreas comerciales para actuar como barreras naturales que absorben y dispersan el ruido.
- Instalar techos y muros verdes en edificios situados en áreas con alto tráfico o ruido. Estas superficies vegetadas ayudan a reducir la transmisión del ruido exterior al interior.

5.13.8.4. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: redes de sombra vegetal y corredores verdes urbanos.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Crear redes de árboles y pérgolas cubiertas de plantas en parques, plazas y calles para proporcionar sombra y reducir el efecto de isla de calor urbano.
- Establecer corredores verdes conectando parques y áreas naturales con zonas residenciales y comerciales para aumentar la cobertura vegetal y mejorar el microclima urbano.

5.13.8.5. Materiales de construcción

Solución Basada en la Naturaleza: materiales bio-basados y reciclaje de materiales de construcción.

Escala: institucional.

Implementación:

- Fomentar el uso de materiales de construcción bio-basados, como la madera de fuentes sostenibles, el bambú y el adobe, que tienen un bajo impacto ambiental y son renovables.
- Implementar programas de reciclaje para materiales de construcción y demolición, promoviendo el uso de agregados reciclados y productos de construcción reconstituidos en nuevos proyectos.

5.13.8.6. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: jardines de polinizadores en áreas urbanas y cultivos de cobertura.

Escala: comunal e institucional.

Implementación:

- Establecer jardines de polinizadores en espacios urbanos como parques, bordes de caminos y áreas abandonadas para mejorar la calidad del suelo a través del enriquecimiento orgánico y la actividad biológica.
- Utilizar cultivos de cobertura como trébol y leguminosas en lotes vacíos y áreas de construcción temporal para mejorar la estructura y fertilidad del suelo y prevenir la erosión.

5.13.9. Propuesta de SbN para la zona 130

5.13.9.1. Residuos sólidos

Solución Basada en la Naturaleza: jardines comunitarios de compostaje.

Escala: comunal.

Implementación:

- Establecimiento de jardines comunitarios dedicados al compostaje en áreas verdes y espacios subutilizados de la ciudad.
- Promoción de programas educativos sobre compostaje doméstico y separación de residuos orgánicos.
- Instalación de puntos de recolección de residuos orgánicos en los barrios para facilitar la participación de los residentes.

5.13.9.2. Recurso hídrico

Solución Basada en la Naturaleza: sistemas de captación de agua de lluvia.

Escala: institucional y personal.

Implementación:

- Instalación de sistemas de captación de agua de lluvia en edificios públicos y privados para recolección y reutilización en el riego de jardines y limpieza de espacios exteriores.

- Implementación de cisternas y tanques de almacenamiento en áreas urbanas para maximizar la recolección y el uso del agua de lluvia.
- Desarrollo de políticas que incentiven la adopción de estas tecnologías en nuevas construcciones y renovaciones.

5.13.9.3. Clima

Solución Basada en la Naturaleza: bosques urbanos y parques microclimáticos.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Desarrollo de bosques urbanos y la creación de parques microclimáticos que ayuden a mitigar los efectos de las islas de calor urbano.
- Plantación de árboles y vegetación densa en espacios públicos y zonas verdes para proporcionar sombra y enfriamiento natural.
- Promoción de la plantación de árboles en áreas residenciales y comerciales a través de programas de reforestación urbana.

5.13.9.4. Materiales de construcción

Solución Basada en la Naturaleza: uso de materiales de construcción sostenibles y verdes.

Escala: institucional y personal.

Implementación:

- Promoción del uso de materiales de construcción sostenibles, como madera certificada, bambú y ladrillos de arcilla, en nuevas construcciones y renovaciones.
- Fomento de la adopción de técnicas de construcción con bajo impacto ambiental, como el uso de techos verdes y paredes vegetales.
- Desarrollo de normativas que incentiven la reutilización de materiales y la construcción con materiales reciclados.

5.13.9.5. Suelo

Solución Basada en la Naturaleza: restauración de suelos urbanos con biochar y composta.

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Aplicación de biochar y composta en áreas urbanas con suelos degradados para mejorar la fertilidad y la estructura del suelo.
- Creación de programas de restauración del suelo que involucren a la comunidad en la mejora de los suelos en parques, jardines y áreas verdes.
- Establecimiento de políticas para integrar la enmienda del suelo con biochar en proyectos de renovación urbana.

5.13.9.6. Inundaciones.

Solución Basada en la Naturaleza: jardines de lluvia y sistemas de drenaje sostenible (suds).

Escala: institucional y comunal.

Implementación:

- Diseño e instalación de jardines de lluvia y SUDS en áreas propensas a inundaciones para mejorar la infiltración y la retención de agua de lluvia.
- Integración de sistemas de drenaje sostenibles en nuevas construcciones y rehabilitaciones urbanas para gestionar de manera efectiva el agua de lluvia.
- Promoción de la creación de superficies permeables y pavimentos porosos en espacios urbanos para reducir el escurrimiento superficial.

Espacios de oportunidad

Parches de pasto:

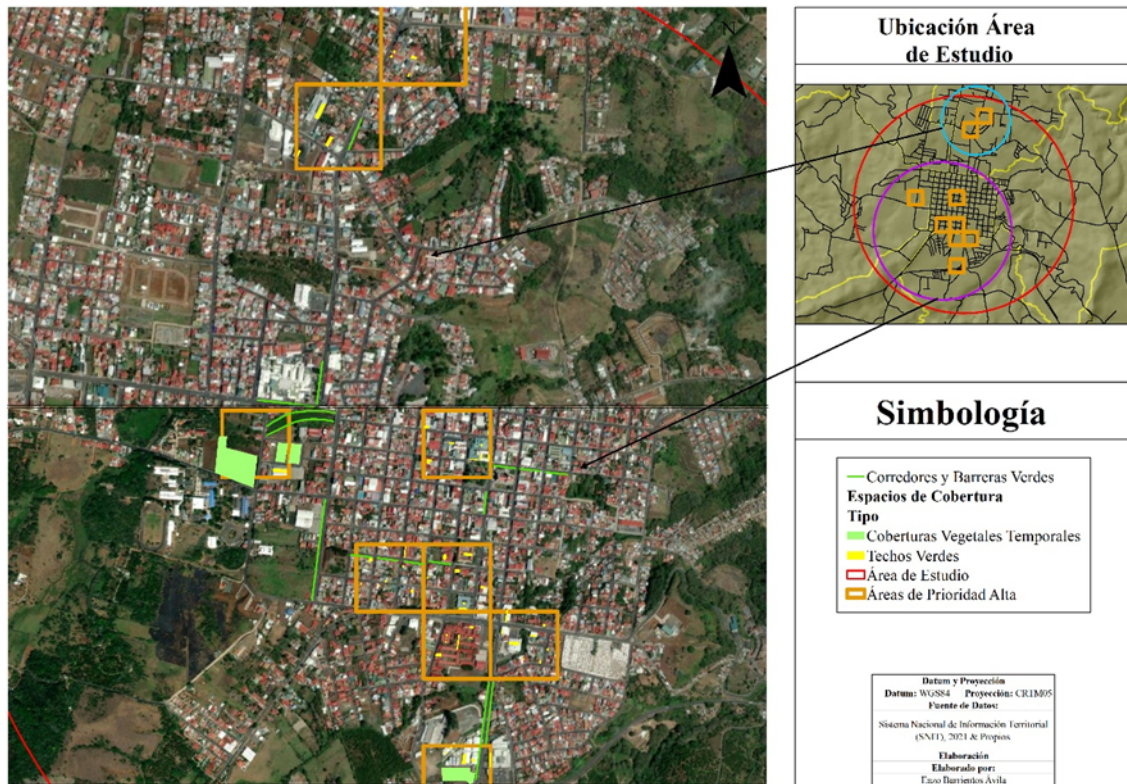
- **Cercas vivas:** aprovechar estos espacios para la plantación de árboles y creación de cercas vivas que conecten áreas naturales y urbanas.

5.14. Posible escenario de implementación de las SbN

Se tomó en cuenta las áreas de alta prioridad y las SbN asociadas al incremento de cobertura vegetal para presentar un posible escenario de implementación (Figura 27). Debido a que el área presenta en su mayoría cobertura urbana, a menos de que exista un reemplazo de esta, no se puede aumentar la presencia de parques y bosques urbanos, por lo que se da un enfoque de aprovechamiento del espacio urbano planteando techos verdes en edificios públicos y zonas residenciales, así como corredores y barreras verdes (líneas verdes en el mapa) para conectar parques y áreas de cobertura forestal densa, que también funcionen como barrera para ruido.

Figura 27.

Posible escenario de implementación de SbN asociadas a la cobertura vegetal.



5.15. Co-beneficios de las SbN propuestas

Las SbN se caracterizan por su posibilidad de presentar varios beneficios, por lo que una solución puede abordar diferentes problemáticas a la vez. En la Tabla 30 se muestran los beneficios asociados a mejora, aumento y creación, de las SbN propuestas. En la Tabla 31 se muestran las SbN propuestas, así como los beneficios que brindan cada una de estas en términos de reducción. Estos beneficios van asociados a la remoción de contaminantes o riesgos que se puedan presentar en el área urbana con altos niveles de construcción o de suelo descubierto.

Uno de los principales rubros donde se concentran los co-beneficios es la mitigación y adaptación al cambio climático, ya que muchas de las SbN planteadas conllevan un aumento en la cobertura vegetal, la cual ayuda a mitigar los efectos del cambio climático. La Tabla 32 muestra las SbN propuestas, así como los beneficios que proveen, asociados a la conservación, mitigación y adaptación.

Tabla 30.*Co-beneficios de las SbN propuestas correspondientes a mejora, aumento y creación.*

Solución /Beneficio	Calidad del aire	Calidad del agua	Mejora de la salud y el bienestar	Creación de espacios recreativos	Fomento de la cohesión comunitaria	Oportunidades educativas	Mejora de la seguridad alimentaria	Aumento de resiliencia
Techos verdes	✓		✓	✓				
Jardines verticales	✓		✓	✓		✓		
Corredores verdes	✓		✓	✓	✓			
Parques y bosques	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Jardines de lluvia		✓	✓	✓	✓			✓
Humedales urbanos		✓	✓	✓	✓	✓		✓
Pavimentos permeables		✓	✓	✓				✓
Fitorremediación			✓	✓				
Compostaje urbano		✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Agricultura urbana			✓	✓	✓	✓	✓	
Coberturas vegetales	✓		✓	✓				

Solución /Beneficio	Calidad del aire	Calidad del agua	Mejora de la salud y el bienestar	Creación de espacios recreativos	Fomento de la cohesión comunitaria	Oportunidades educativas	Mejora de la seguridad alimentaria	Aumento de resiliencia
Elementos de construcción naturales	✓		✓	✓		✓		
Paredes vegetales	✓		✓	✓				
Jardines de permacultura		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Arbolado urbano	✓		✓	✓	✓	✓		
Sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS)		✓	✓	✓	✓			✓
Refugios climáticos	✓		✓	✓	✓			
Jardines de bolsillo	✓		✓	✓	✓			
Microparques	✓		✓	✓	✓			
Barreras verdes	✓		✓	✓				
Biofiltros	✓	✓	✓	✓	✓			✓
Parques lineales	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Biochar		✓	✓	✓	✓			
Parques de tormentas		✓	✓	✓	✓			✓

Solución /Beneficio	Calidad del aire	Calidad del agua	Mejora de la salud y el bienestar	Creación de espacios recreativos	Fomento de la cohesión comunitaria	Oportunidades educativas	Mejora de la seguridad alimentaria	Aumento de resiliencia
Jardines de fitorremediación de aire	✓		✓	✓	✓			
Redes de sombra vegetal	✓		✓	✓	✓			
Jardines de polinizadores	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 31.

Co-beneficios de las SbN propuestas correspondientes a reducción.

Solución / Beneficio	Reducción de la contaminación del suelo	Reducción de la erosión del suelo	Reducción de costos de infraestructura	Reducción de riesgos de inundaciones
Techos verdes			✓	
Jardines verticales			✓	
Corredores verdes		✓		
Parques y bosques		✓	✓	
Jardines de lluvia		✓		✓
Humedales urbanos		✓		✓
Pavimentos permeables		✓	✓	✓

Solución / Beneficio	Reducción de la contaminación del suelo	Reducción de la erosión del suelo	Reducción de costos de infraestructura	Reducción de riesgos de inundaciones
Fitorremediación	✓	✓		
Compostaje urbano		✓	✓	
Agricultura urbana	✓	✓	✓	
Coberturas vegetales			✓	
Elementos de construcción naturales	✓		✓	
Paredes vegetales			✓	
Jardines de permacultura	✓	✓	✓	✓
Arbolado urbano			✓	
Sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS)	✓	✓	✓	✓
Refugios climáticos			✓	
Jardines de bolsillo			✓	
Microparques			✓	
Barreras verdes			✓	
Biofiltros	✓	✓	✓	✓
Parques lineales	✓	✓	✓	✓
Biochar	✓	✓	✓	
Parques de tormentas		✓	✓	✓
Jardines de fitorremediación de aire	✓	✓	✓	

Solución / Beneficio	Reducción de la contaminación del suelo	Reducción de la erosión del suelo	Reducción de costos de infraestructura	Reducción de riesgos de inundaciones
Redes de sombra vegetal			✓	
Jardines de polinizadores	✓	✓	✓	✓

Tabla 32.

Co-beneficios de las SbN propuestas correspondientes a conservación, mitigación y adaptación.

Solución / Beneficio	Mitigación del cambio climático	Conservación de la biodiversidad	Regulación de la temperatura	Ahorro energético	Adaptación al cambio climático
Techos verdes	✓	✓	✓	✓	✓
Jardines verticales	✓	✓	✓	✓	
Corredores verdes	✓	✓	✓		
Parques y bosques	✓	✓	✓		✓
Jardines de lluvia	✓	✓			

Solución / Beneficio	Mitigación del cambio climático	Conservación de la biodiversidad	Regulación de la temperatura	Ahorro energético	Adaptación al cambio climático
Humedales urbanos	✓	✓			
Pavimentos permeables					
Fitorremediación		✓			
Compostaje urbano	✓				
Agricultura urbana	✓	✓		✓	✓
Coberturas vegetales	✓	✓	✓	✓	✓
Elementos de construcción naturales	✓	✓	✓	✓	✓
Paredes vegetales	✓	✓	✓	✓	
Jardines de permacultura	✓	✓			
Arbolado urbano	✓	✓	✓	✓	✓
Sistemas de drenaje urbano sostenibles (SUDS)	✓	✓			✓
Refugios climáticos	✓	✓	✓	✓	✓
Jardines de bolsillo	✓	✓	✓	✓	
Microparques	✓	✓	✓	✓	
Barreras verdes	✓	✓	✓	✓	✓
Biofiltros		✓			✓
Parques lineales	✓	✓	✓		✓
Biochar	✓	✓			✓

Solución / Beneficio	Mitigación del cambio climático	Conservación de la biodiversidad	Regulación de la temperatura	Ahorro energético	Adaptación al cambio climático
Parques de tormentas	✓	✓			✓
Jardines de fitorremediación de aire	✓	✓	✓	✓	✓
Redes de sombra vegetal		✓	✓	✓	✓
Jardines de polinizadores	✓	✓		✓	✓

Los resultados obtenidos revelan un paisaje urbano con elevada fragmentación, escasa conectividad ecológica y formas espaciales complejas. Estas condiciones reflejan un entorno vulnerable desde el punto de vista ambiental, social y territorial. El análisis del NDVI permitió identificar zonas con cobertura vegetal escasa o degradada, mientras que el INRA evidenció altos niveles de intervención antrópica, particularmente en el núcleo urbano.

Estas condiciones coinciden espacialmente con cuadrantes donde se concentraron las principales problemáticas socioambientales, como contaminación, isla de calor y baja accesibilidad a espacios verde. La correlación espacial de los impactos producidos mostró que los cuadrantes con niveles altos de impacto tienden a agruparse, así como aquellos con impactos bajos, revelando patrones de concentración de afectación y posibles zonas de transición. En este contexto, la diversidad de coberturas y su distribución desigual representan una oportunidad para insertar SbN adaptadas a las características y necesidades del territorio.

La implementación de SbN permitirá generar co-beneficios múltiples, como la regulación climática, la gestión sostenible del agua, la mitigación de riesgos, la restauración ecológica y la mejora del bienestar social. De este modo, las SbN no solo contribuirán a restaurar la estructura ecológica del paisaje, sino también a fortalecer la resiliencia urbana, en especial en las áreas más afectadas por la degradación y la desigualdad ambiental.

Capítulo VI. Discusión

6.1. Las problemáticas socioambientales de la ciudad de San Ramón

La región latinoamericana enfrenta una gran cantidad de problemas en cuanto al desarrollo sostenible dentro de las áreas urbanas. La pérdida de los recursos naturales y el deterioro del ambiente urbano son de las principales causas de este incremento de situaciones que afectan la sostenibilidad urbana (Mendoza, 2024). En general, el aumento en la contaminación del aire, suelo y agua, la contaminación por desechos sólidos, el aumento al grado de exposición a agentes contaminantes, están asociados a los procesos de urbanización no planificados (Winchester, 2006).

Tomando en cuenta que América Latina presenta los niveles de urbanización más alto, relacionado con otras regiones en desarrollo, con aproximadamente el 80% de la población habitando en zonas urbanas (UNDESA, 2014), las preocupaciones por los efectos del deterioro de los ecosistemas urbanos sobre la población van en aumento. Es por esto que los resultados de la revisión de literatura muestran una gran cantidad de estudios en la línea de diagnosticar los efectos de estas problemáticas en las ciudades de América Latina.

Descartando los documentos que abordan la problemática ambiental urbana de forma general, los estudios centrados en el tema del recurso hídrico son los que se encuentran en mayor número. Debido al aumento de la población urbana, existe a su vez mayor demanda de agua, alimentos, energía y procesos industriales, produciendo un cambio hacia una economía con mayor dependencia hacia el agua (Michael et al., 2017). En San Ramón, esta problemática está presente, de manera puntual, pero con un alto impacto y las principales preocupaciones están asociadas al estado de los acueductos y la falta de protección de las fuentes y las zonas de recarga.

La cantidad de infraestructura azul, entendida como todos los hábitats acuáticos superficiales como ríos, estanques, lagos y arroyos (Raymond et al., 2016), es poca en la ciudad de San Ramón, concordando con un panorama global, resultante del rellano, la construcción y abandono (Romero Lankao, 2010). A su vez, la calidad de estos elementos puede verse vulnerada dada su cercanía con zonas residenciales o comerciales, de las cuales

pueden fluir diversidad de sustancias que ponen en riesgo la integridad de estos ecosistemas y de la población alrededor (Bai et al., 2021; Ramírez-Agudelo et al., 2021).

El estado de los acueductos es una de las principales preocupaciones en la región latinoamericana, ya que según estudios de CEPAL (2005) muchas veces se cuentan con redes de abastecimiento con muchos años de antigüedad, así como en situaciones precarias. Otra problemática de gran interés en América Latina es la gestión de los residuos sólidos, los resultados muestran que para la ciudad de San Ramón se considera una problemática puntual y con un alto impacto en el área, además, las principales preocupaciones se asocian a la falta de educación en temas de clasificación, el mal manejo de los residuos orgánicos y los hábitos de consumo.

Según Romero et al. (2008), los pilares fundamentales para el manejo de residuos sólidos en Costa Rica corresponden a educación de la población, la infraestructura y contactos con empresas recicladoras, sin embargo, el tema de la gestión integral de residuos sólidos es uno de los temas menos abordado por las organizaciones ambientales en el país (Programa Estado de la Nación, 2023). El manejo de los residuos orgánicos es vital dentro de las áreas urbanas, ya que estos pueden generar emisiones de gases que pueden provocar enfermedades o transmitirlas mediante diversos vectores. Dentro de estas enfermedades se pueden encontrar el dengue y la chinkungunya, ampliamente distribuidas en América Latina (Novais & Márquez, 2020), y presentes en varios sectores de Costa Rica.

En materia de consumo, la sociedad actual cuenta con hábitos de consumo que generan una gran producción de materiales. Esta alta producción y necesidad de adquisición provoca la degradación del entorno, debido a que las personas, instituciones y empresas no prestan suficiente énfasis en la importancia de una correcta gestión de los residuos (Bedoya & Trespalacio, 2022). Estos hábitos han llevado a promover la adquisición como un medio de satisfacción individual, sin embargo, no se toma responsabilidad por los residuos que se generan, mostrando así la falta de cultura y sensibilización en temas de disposición de residuos (Ramírez-Benítez, 2024).

Para las problemáticas asociadas al clima se encontraron 23 artículos durante la revisión, donde se considera al clima uno de los principales desafíos desde hace décadas. Esto no solo

en el ámbito urbano, sin embargo, en este se pueden encontrar eventos como: efecto de isla de calor, tormentas severas, inundaciones y sequías (Aguilar et al., 2021). En San Ramón, se considera una problemática de alto impacto, con un alcance difuso, ya que no afecta áreas específicas, sino que se extiende a lo largo de la ciudad, destacando como situaciones específicas el aumento de las temperaturas y los cambios en la biodiversidad.

Con respecto a la modificación del clima en las áreas urbanas, se entiende que este espacio presenta características diferentes al resto, debido a que el crecimiento de la población ha llevado a un crecimiento en las infraestructuras, ya sea en el ámbito civil, institucional e industrial, carreteras y el uso de medios de transporte (Candanedo & Villareal, 2020). Este incremento en la infraestructura favorece la modificación del clima urbano, ya que retiene el calor durante el día y lo libera en las noches, también modifica los flujos de las corrientes de aire (Reyes-Escobedo & Aguiluz-León, 2022), asociando estos factores con las actividades que se realizan dentro de las ciudades, principalmente el transporte y la industria, contribuyen al calentamiento urbano (Oke, 2009) y generando el fenómeno de isla de calor.

Se entiende como isla de calor la diferencia de temperatura entre el área urbana y sus alrededores (Ortiz Porangaba et al., 2021), es un tema que eleva su importancia día con día, debido principalmente a la tendencia a la urbanización y crecimiento de las ciudades (Villanueva-Solís et al., 2014). Además de que es un proceso que afecta a la población, desde el incremento local de las temperaturas, hasta la liberación de agentes contaminantes a la atmósfera (Canul-Turriza et al., 2024). Es por esto por lo que es importante tomar en cuenta como todos los elementos dentro de las ciudades influyen en la isla de calor, para de esta forma poder establecer medidas de mejora para el clima urbano (Kim & Brown, 2021; Liang et al., 2021).

En el ámbito de la biodiversidad, la preocupación se extiende a especies y ecosistemas. A nivel global se reconoce que la biodiversidad en las zonas urbanas se encuentra en gran amenaza debido a las modificaciones del clima (Connop et al., 2016; Jenerette et al., 2016) y a su vez se entiende el papel que juega la biodiversidad en proveer beneficios que influyen en el bienestar de la población (Taylor & Hochuli, 2014; Campbell-Arvai, 2018). Autores como Solecki y Marcotullio (2013) sugieren que algunos efectos del cambio climático en la biodiversidad urbana podrían asociarse a los cambios en los regímenes de distribución de los

sistemas urbanos. Estos cambios abruptos en el clima pueden beneficiar al establecimiento de especies invasoras, enfermedades y parásitos, así como generar un cambio en los recursos disponibles para la biodiversidad, mediante cambios en la fenología de las plantas (Useche et al., 2019).

Autores como Wilby y Perry (2006) y Alberti et al. (2017), argumentan que los escenarios climáticos son análogos a los sistemas climáticos de las ciudades, por lo que las ciudades pueden ser entendidas como puntos de referencia para analizar los efectos del clima sobre la biodiversidad, sin embargo, en muy pocas ciudades se ha estudiado el efecto del clima sobre la biodiversidad presente (Useche et al., 2019). Resalta entonces de importancia comprender el clima en los entornos urbanos, así como sus efectos sobre la biodiversidad, para de esta forma plantear medidas efectivas que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida en las ciudades, tanto para la biodiversidad como la población en general.

La contaminación atmosférica es otro ejemplo de situaciones que afectan la sostenibilidad dentro de las ciudades, en la revisión se encuentran un total de 23 documentos, enfocados principalmente a la liberación de contaminantes por parte de vehículos e industria. Se entiende la contaminación atmosférica urbana como uno de los desafíos más importantes en el mundo y que podría representar el mayor riesgo ambiental relacionado a la salud (Quirama-Aguilar et al., 2021).

La ciudad de San Ramón no cuenta con estudios que permitan valorar el alcance y el impacto que genera esta problemática, sin embargo, el desafío está presente y entre las situaciones en las que se manifiesta se destacan los puntos de alta concentración vehicular y la existencia de actividades que generan gases de efecto invernadero sin regulación. Según Barria (2019), la región latinoamericana es una de las zonas del mundo donde se presentan mayores afectaciones con respecto a los embotellamientos en el tráfico, encontrándose Sao Paulo y Bogotá, entre las 6 con mayor problema de tráfico a nivel global.

Este problema no es ajeno a la realidad de Costa Rica, la cual sufre de la falta de planificación y la alta expansión urbana, así como de la priorización de infraestructura para los vehículos (Fernández-Garza y Hernández-Vega, 2019). Esta infraestructura en muchos casos no se encuentra en condiciones óptimas o es deficiente, lo que genera el

congestionamiento vehicular (CEPAL, 2001). Estos congestionamientos generan que los vehículos en alta concentración generen emisiones de gases y partículas al ambiente, contribuyendo a la emisión de gases de efecto invernadero (Soto & Sellamén, 2011; Shen et al., 2018; Tapia et al., 2018), siendo los vehículos responsables de más del 75% de las emisiones de monóxido de carbono y 60% de óxidos de nitrógeno (Gately et al., 2017).

La contaminación del aire producida por las emisiones de la actividad industrial es un asunto de preocupación en toda Latinoamérica, siendo Perú el país con peores niveles de PM_{2,5} en toda la región, superando 4 veces lo recomendado por la OMS. Estos contaminantes están asociados a la amplia flota vehicular y la gran concentración de actividades industriales (Maldonado & Aguirre, 2024). El ruido, como forma de contaminación acústica, afecta puntos específicos de la ciudad de San Ramón debido al congestionamiento vial y a la concentración de actividades comerciales en el centro urbano, generando un impacto elevado en la zona.

Se entiende como ruido al nivel de sonido que es inaceptable, que provoca molestias, obstaculiza la paz mental y física y puede provocar daños severos en la salud (Akintunde et al., 2020). El ruido es considerado a nivel mundial la segunda amenaza de carácter ambiental, debido a su crecimiento asociado al aumento de la población (Berrezueta et al., 2018). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) aproximadamente el 5% de la población mundial presenta discapacidades auditivas asociadas a la exposición a altos niveles de ruido (Śliwińska & Zaborowski, 2017).

Los puntos específicos donde se produce congestionamiento vehicular en la ciudad de San Ramón generan una gran cantidad de ruido. De acuerdo con Bostanci (2018), estudios realizados en varios países concuerdan en que el transporte es la principal fuente de ruido en zonas urbanas. Sin embargo, también se puede producir debido a la actividad comercial, industrial y de servicios, derivando este conjunto de factores en lo que se conoce como contaminación acústica urbana (Orozco, 2008). Sus efectos sobre las personas incluyen dolor de cabeza, estrés, insomnio, hipertensión, discapacidad auditiva, trastornos gastrointestinales, entre otros (Chaux & Acevedo, 2019).

En la ciudad de San Ramón también se encuentran problemáticas asociadas a la presencia de zonas verdes, en este caso el impacto es bajo y el alcance es puntual, dentro de las principales preocupaciones destacan la utilización de espacios inadecuados y la ausencia o poco control en el mantenimiento. Los cuidados básicos de las áreas verdes urbanas incluyen berma y ronda, riego, acolchado, fertilización, manejo y control de plagas, estabilización del árbol y podas (Ballesteros & Padilla, 2022). Este mantenimiento es necesario para mantener el árbol en buenas condiciones y evitar problemas asociados como crecimiento de las ramas en dirección al tendido eléctrico, así como caída de ramas o árboles debido a su peso o estado de salud.

La planificación de las áreas verdes en las ciudades juega un papel crucial en su creación y mantenimiento, la identificación y selección de áreas adecuadas es vital para maximizar los beneficios de las áreas verdes, tomando en cuenta la proximidad a zonas residenciales y la equidad de acceso (García & García, 2023). Una buena selección de la ubicación permite aprovechar los beneficios de las áreas verdes de mejor manera, estos beneficios pueden verse como mejora de la calidad de aire, regulación climática, protección de zonas de recarga, filtración de aguas residuales, reducción de ruidos y control de inundaciones (Frutos & Esteban, 2009).

Las inundaciones son un tema de gran importancia en San Ramón, debido a la topografía de la ciudad y factores como el alcantarillado. La zona sufre de inundaciones en época de lluvias, se cataloga la problemática como de alto impacto y alcance puntual. Se destaca dentro de los eventos que se producen debido a las inundaciones los efectos que causan en el casco central de la ciudad, afectando la red vial, así como zonas comerciales y residenciales. Este fenómeno representa un gran desafío para el urbanismo, principalmente en países en vías de desarrollo (Jha et al., 2012).

Mansilla (2011) menciona que en la región latinoamericana el 86% de los eventos de desastre por inundaciones entre 1980 y 2009 se dieron en zonas urbanas. Específicamente en Costa Rica, el 96,1% de los eventos ocurrieron en ciudades. Estos eventos ocurren en las ciudades por una combinación de factores de carácter meteorológico e hidrológico, según Aragón-Durand (2014) se presentan cuando se reduce la superficie permeable en las

ciudades, lo que incrementa la escorrentía, logrando saturar los sistemas de drenaje, además de la presencia de asentamientos en llanuras inundables.

En Latinoamérica, desde el año 2000, los desastres han afectado a más de 190 millones de personas, esto se traduce en pérdidas cercanas a los 7 mil millones de dólares en daños materiales y 4,5 millones de personas afectadas al año (Zilbert, 2023). Además de las consecuencias en la población y la economía, sin embargo, también existen consecuencias socioculturales, como el atraso en la educación, escasez de alimentos e incremento de enfermedades (Aragón-Durand, 2014).

Las problemáticas asociadas a los materiales de construcción tienen un amplio rango de distribución en la ciudad de San Ramón y se considera como un impacto muy alto. Dentro de las situaciones específicas se destaca la construcción con materiales poco amigables con el ambiente y sin resiliencia al cambio climático. El 50% de los materiales que se extraen de la tierra se convierten en materiales de construcción y a su vez, cuando estos son desechados, representan un 50% de los residuos generados (Abarca, 2017), además, la mayor parte de los materiales utilizados requieren altos costes medioambientales, por su alto gasto energético para extracción, transporte y transformación (Hernández-Zamora et al., 2021).

La utilización de elementos que generan materiales de construcción que mejoran la calidad del ambiente ha venido en aumento y se puede ver en casos como el uso de concretos antibacterianos en hospitales, con aditivos como plata, cobre o zinc (Qiu et al., 2020). Estas soluciones abarcan, además de fachadas de cerámicas fotocatalíticas y pavimentos con dióxido de titanio, que oxidan diversos contaminantes atmosféricos y contrarrestan el efecto de isla de calor (ProsolvE, 2013), el recubrimiento del vidrio con materiales semiconductores, que genera ventanas capaces de regular la entrada de luz y calor (Caballero et al., 2023).

Otro elemento que presenta grandes impactos en el área urbana de San Ramón es el suelo, principalmente por la alta ocupación de los espacios, la erosión y los botaderos clandestinos. El alcance de esta problemática es difuso y cuenta con un muy alto impacto. Lal (2009) define el término “degradación de suelos” como la disminución en la calidad del suelo, entendiéndose como una reducción en su capacidad para mantener servicios y actividades del ecosistema, incluye cuatro tipos de degradación, física, química, biológica y ecológica.

Estos tipos de degradación conlleva alteraciones en procesos ecosistémicos como la interrupción del ciclo hidrológico, la infiltración, la depuración y la reducción de la productividad biológica en general, y estos pueden ser generados por condiciones naturales o antropogénicas (Choudhary et al., 2024). El desarrollo urbano y las construcciones en general provocan la impermeabilización y la compactación de los suelos, lo que puede generar erosión, además, la actividad industrial puede generar residuos sólidos, líquidos o gaseosos que tienen la capacidad de contaminar los suelos (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2016).

En tema de alimentos, el impacto se valora como medio y el alcance difuso, dentro de las situaciones que se presentan se destaca la seguridad alimentaria y las practicas no responsables con el ambiente. El proceso de urbanización ha generado transformaciones en los sistemas productores de alimentos a nivel global, planteando retos en la producción de comida en cantidad y variedad necesaria para la creciente demanda, así como el cumplimiento de estándares que brinden calidad y hagan un uso responsable de los recursos naturales sin afectación a los servicios ecosistémicos (FAO, 2017).

Las preocupaciones en el área de estudio recaen en la calidad de los alimentos que son adquiridos dentro del área y de las prácticas productivas con las que estos se consiguen, una preocupación muy válida debido a la realidad del país, ya que durante muchos años se ha encontrado en debate el presunto alto consumo de plaguicidas en la agricultura en Costa Rica (Vargas, 2022). Este uso se estimó para el año 2006 en 19,33 kg i.a./h/año (Ramírez et al., 2009). Los plaguicidas tienen varios efectos sobre la salud humana y están asociados a enfermedades como el cáncer, leucemia, Parkinson, asma, problemas neuropsicológicos y cognitivos, este impacto depende de la exposición, concentración y grupo etario al que pertenecen las personas (Muñoz-Quesada et al., 2016; Kim et al., 2017).

Es a partir de estas situaciones donde surgen estrategias como la agricultura urbana, que pretende generar espacios de seguridad y soberanía alimentaria (Córdova-Bojórquez, 2023). El acercamiento de la producción a las ciudades lleva a los ciudadanos a tener mayor conocimiento de lo que consumen y cómo se produce, además, con huertos personales se puede asegurar la calidad del producto y las prácticas. La concentración de mayor cantidad de problemáticas se encuentra en una cuadrícula ubicada al centro del área urbana,

evidenciando que la falta de planificación presenta mayor cantidad de problemáticas socioambientales. De acuerdo con ONU-Hábitat (2014) las problemáticas que afectan las ciudades son en su mayoría por la falta de planificación estratégica integral.

Como se ha evidenciado, muchas de las problemáticas presentes están asociadas a los niveles de crecimiento urbano, ya que este genera una intensa explotación de los recursos para satisfacer las necesidades de la población, contribuyendo a factores como el cambio climático y la crisis del agua (Bento et al., 2018). Esto conduce a la búsqueda de ciudades sostenibles, siendo parte de los Objetivos del Desarrollo Sostenible la necesidad de contar con asentamientos inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (ONU, 2015).

El ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles cuenta con una serie de metas e indicadores asociados a temas relevantes en las ciudades, como economía, energía, salud, educación, gobernanza, seguridad pública y manejo de residuos (Viante, 2021). El progreso en el cumplimiento de estas metas conlleva una disminución en los efectos de las problemáticas contempladas en las ciudades. Este objetivo necesita de la formulación de políticas públicas que permitan mejorar la resiliencia en las ciudades, siendo de particular interés las zonas de alta vulnerabilidad social y ambiental (Rodríguez-Aldabe, 2018) por lo que se requiere un análisis profundo de las características de las ciudades.

6.2. Espacios de oferta y oportunidad para la naturaleza en la ciudad de San Ramón

En el área de estudio es predominante la cobertura urbana, la cual abarca el 41,72% de la totalidad del espacio disponible, seguido de los pastos, que representan 25,56% y los cultivos con sombra con el 18,73%. Este alto nivel de urbanismo siempre ha caracterizado la región de América Latina, principalmente por procesos acelerados y desordenados (Hurni et al., 2004). En Costa Rica, estas ciudades medianas y pequeñas empezaron a aparecer en el territorio nacional con mayor frecuencia después de 1950 (Castro y Guido, 2001). En el caso de San Ramón se ha mantenido en constante crecimiento desde esta época, la construcción de viviendas en la periferia de la ciudad continua y debido a las condiciones laborales el espacio urbano se cataloga como ciudad dormitorio, entendidas como ciudades en las que los residentes duermen, pero en su mayoría, no trabajan o estudian en la misma ciudad (Castro y Guido 2000; ProDUS, 2000).

Estudios recientes muestran que el crecimiento urbano en la ciudad de San Ramón ha presentado procesos de mayor aceleración y pausas a lo largo de los años, sin embargo, siempre se ha dado de manera descontrolada. Barrientos et al. (2020) mencionan que para el periodo que abarca entre 1991 y 2001, la tasa de cambio hacia cobertura urbana fue de 5,48, esta tasa disminuye entre los años 2001-2011 hasta 2,16 y vuelve a aumentar entre 2011-2018 hasta 6,17. La tasa de crecimiento del área urbana de la ciudad de San Ramón es comparable a las que se viven en el Gran Área Metropolitana, tomando en cuenta periodos de tiempo similares (Sánchez, 2019).

Este crecimiento urbano tiende a reemplazar coberturas naturales para satisfacer las necesidades de espacio de la población, principalmente se pierden las funciones y servicios ecosistémicos que brindan las coberturas naturales, generando modificaciones en los ecosistemas (Smith & Romero, 2009). Costa Rica ha realizado grandes esfuerzos en temas de protección y restauración de cobertura vegetal del paisaje rural, sin embargo, las ciudades no presentan esta misma realidad (Acuña & Miranda, 2020). Los entornos urbanos del país experimentan un deterioro ambiental y pérdida de la funcionalidad de los ecosistemas, a pesar de la constante promoción del establecimiento de trama verde dentro de las ciudades (Morales-Cerdas et al., 2018).

El INRA muestra que existen zonas con bajos niveles de antropización, que se encuentran principalmente en la periferia del área construida, las unidades de análisis con valores de antropización más altos se encuentran en el centro del área de estudio y se distribuyen hacia el norte de la misma. La urbanización es el proceso más antropogénico que existe, debido a que es el que causa mayores modificaciones en el territorio y el ambiente (Merlotto et al., 2012), ya que, el índice considera las coberturas para determinar el grado de antropización es normal encontrar los más altos en el centro de la ciudad, reflejando la poca presencia de cobertura vegetal.

Sumado a esto, los resultados de cobertura del suelo muestran la presencia de cobertura vegetal dentro del área de mayor urbanismo de San Ramón, sin embargo, se puede observar que se encuentra en pequeñas cantidades en comparación con la periferia y en parches aislados. A su vez, el índice de vegetación revela valores bajos para la calidad y cantidad de vegetación presente en el área. La integridad de los ecosistemas, los espacios verdes, su conectividad, las especies que habitan y las áreas de protección de cuerpos de agua dentro de las zonas urbanas se han visto afectados por el acelerado urbanismo (Gutiérrez & Miranda, 2022), debido a que dentro de los procesos de crecimiento urbano no se han contemplado el espacio verde como factores determinantes en el bienestar de la población (Gutiérrez, 2021).

A pesar de esto, en Costa Rica se crean propuestas que pretenden mejorar el estado de la trama verde dentro de las ciudades, como lo son los Parques Naturales Urbanos (Decreto Ejecutivo 42742-MINAE, 2021), establecidos mediante decreto, brindando una nueva herramienta jurídica para la gestión de sitios de importancia para la conservación en ciudades. Estas estrategias surgen ya que la pérdida de cobertura dentro de las ciudades limita los servicios ecosistémicos que se pueden encontrar en estas áreas. Estos tienen cada vez más demanda por parte de la población, la cual percibe en menor cantidad confort climático, agua, captura de carbono, belleza paisajística, deporte y recreación, alimentos, entre otros (Acuña et al., 2022).

Actualmente, la cobertura presente en el área de estudio muestra altos niveles de fragmentación. Según los resultados, a escala de clase, la cobertura forestal no es la que presenta mayor complejidad en su forma, ni en la densidad de sus bordes, sin embargo, todas

las clases presentan una separación de al menos 10 metros en sus distintos parches, y el índice de agregación muestra alta agrupación en los parches de cobertura urbana. Estos procesos de fragmentación se dan debido a la urbanización, la cual afecta tanto a sus ecosistemas internos como periféricos (Torres-Ariza & Gil-T, 2023), en la GAM y otros centros urbanos, los remanentes de bosques y áreas de cobertura árboles se encuentran fragmentados, generalmente cuentan con pocas hectáreas de tamaño, con condiciones naturales alteradas y su distribución es escasa (Acuña et al., 2022).

La fragmentación del paisaje es un proceso resultante de la conversión de grandes unidades de paisaje homogéneas en hábitats menores. Es un proceso que afecta principalmente a las zonas periurbanas, debido a las conexiones entre infraestructuras (Jaeger et al., 2011). Además de la fragmentación, los hábitats también se aíslan en mayor medida debido a la separación creada por carreteras (Hladnik & Nastran, 2023).

La fragmentación de los ecosistemas en torno a las áreas urbanas tiene un gran impacto sobre la biodiversidad (Salbitano et al., 2016). Se genera degradación en la calidad y cantidad de los bosques, la distancia entre los parches dificulta el desplazamiento de especies (van Dorp & Opdam, 1987; Environment Canada, 2013) y reduce la función climática de los bosques, ya que, parches grandes tiene mayor efecto de mitigación (Natram et al., 2019).

Debido a todos estos procesos y características, el área de estudio cuenta con poca oferta de naturaleza, y la que se encuentra está degradada, dispersa o con un tamaño insuficiente para brindar adecuadamente sus servicios ecosistémicos. A esto se suma la escasez de espacios disponibles como oportunidad para la naturaleza a gran escala, debido a la alta concentración de cobertura urbana. La disponibilidad de naturaleza en las ciudades es fundamental, al punto que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda contar con al menos 9 m² de espacio verde por habitante, y establece 50 m² como el patrón ideal de presencia de áreas verdes (Yukhnovskiy & Zibtseva, 2019). Esta recomendación se basa en la amplia gama de beneficios que estos espacios ofrecen a la población en forma de servicios ecosistémicos.

En cuanto a las oportunidades, estas se entienden como los espacios disponibles para realizar intervenciones sin requerir modificaciones drásticas en la infraestructura existente,

tales como lotes baldíos, espacios públicos o centros de cuadra en desuso. Sin embargo, en el área de estudio no se identifican este tipo de espacios. En algunas ciudades donde no se cuenta con estos espacios se ha optado por modificar en forma extrema áreas de la ciudad.

En el caso de Seúl, se creó un parque lineal de 8 km de longitud, tomando como base un río que se encontraba entubado, sobre el que pasaba una autopista, afectando la calidad del aire y la degradación ambiental (ONU-Hábitat, 2018). Para la construcción se eliminó la autopista y se creó un espacio que mejora la calidad del hábitat y la resiliencia de la ciudad (Valentinuzzi, 2022).

Si bien, estos procesos a gran escala generan un impacto importante en la sostenibilidad urbana, hay que considerar ciudades con poco espacio o poca capacidad financiera o de ejecución. Es por esto que es necesario tomar en cuenta características del área, posibilidades técnicas y necesidades de la población (Pancewicz & Kurianowicz, 2024), ya que se debe aprovechar al máximo los pequeños espacios que existen para maximizar los beneficios de las áreas verdes urbanas (Tan & Jim, 2017; Breuste, 2023). Estas mejoras a menor escala pueden incluir arreglos en fachadas y aceras, reverdecer parques y jardines privados, cableado subterráneo y mejoramiento de iluminación pública (Valentinuzzi, 2022).

Muchos de los procesos asociados a la urbanización han llevado a una reducción de los servicios ecosistémicos que se generan en las áreas verdes de la ciudad, los cuales no logran abordar plenamente las problemáticas del entorno urbano (Renner, 2019; Céspedes, 2007). Sánchez et al. (2022) realizaron un estudio en 10 parques de la ciudad de San José, en el que se evaluaron 1.287 árboles. El análisis reveló un total de 443,25 toneladas de carbono almacenado, 14,85 toneladas de carbono secuestrado anualmente, 37,22 toneladas de oxígeno producidas cada año y 984,75 metros cúbicos de escurrimiento evitado.

Uno de los parques estudiados, con 167 árboles, tiene un número similar al total de los tres parques analizados en la ciudad de San Ramón (155). Sin embargo, este parque en San José posee mayor cobertura foliar, lo que le permite proveer una mayor cantidad de servicios ecosistémicos en comparación con los tres parques de San Ramón. Esto evidencia que un aumento en la cantidad de árboles puede generar un impacto significativo en la producción de servicios ecosistémicos en un área.

Otro estudio similar realizado en Corea del Sur (Kim et al., 2024) muestra resultados comparables en cuestión de cantidad de carbono almacenado y secuestro de carbono, sin embargo, en este estudio no se presentan los datos de diámetro a la altura del pecho o altura de los árboles. Para este caso el total de árboles corresponde a 190, mientras que en San Ramón se tomaron en cuenta 155, el almacenamiento de carbono para el estudio de Corea del Sur corresponde a 118 toneladas y para San Ramón de 48,20 toneladas y la fijación anual es de 2,89 toneladas/año para la ciudad de Daejeon y 1,39 toneladas/año para San Ramón.

Estas diferencias en almacenamiento, a pesar de contar con números similares de árboles, pueden estar asociadas a factores que determinan la cantidad de carbono que pueden almacenar, como pueden ser la composición de especies, el tamaño de sus copas, la densidad de árboles y la estructura de la biomasa (Peri et al., 2023). Para el caso de San Ramón, se encontraron en muchos casos árboles muy jóvenes, con poca cobertura de copa y grosor de sus tallos, principalmente de la especie *Tecoma stans* el cual puede alcanzar hasta los 20 metros de altura y un diámetro a la altura del pecho de 25 centímetros (Martínez & Diego-Pérez, 2007), valores que no eran alcanzados por ninguno de los presentes en el área de estudio, siendo en total 17 árboles.

Este estado de crecimiento permite un mayor secuestro de carbono anual, ya que, este carbono se almacena mediante el proceso de fotosíntesis, donde los árboles sintetizan la materia orgánica necesaria para su crecimiento (Kim et al., 2024). De acuerdo con Fan et al. (2022) los factores de importancia en el secuestro de carbono son la cubierta de la copa y la altura de los árboles. Mientras que Jin et al. (2023) menciona que la selección de especies también es influyente debido a la tasa fotosintética, el área de copa y el índice de área foliar.

En tema de escurrimiento evitado, el total es de 65,87 m³/año, los árboles regulan el flujo de las aguas de lluvia. Lo cual evita daños materiales, debido a su capacidad de retención en hojas, absorción mediante tejidos y el aumento del drenaje natural que causan sus raíces, importante en aguas pluviales, ya que la superficie permeable aumenta la infiltración del agua en el suelo (Moffat et al., 2017). En la ciudad de San Ramón han existido a lo largo del tiempo eventos de inundaciones asociados a las aguas de lluvia, autores como Quesada (2003) mencionan que el impacto de estos ha aumentado con los años, lo cual podría

asociarse al aumento de la cobertura urbana que mencionan Barrientos et al. (2020), la cual ha reemplazado las coberturas permeables.

Otro factor en consideración es la diversidad de especies presente en los sitios analizados, en total se encuentran 28 especies, siendo la de mayor presencia *Tabebuia rosea*, debido a su importancia como planta ornamental, sin embargo, además de esta y otras tres especies, las demás cuentan con menos de 10 individuos presentes. La diversidad de especies juega un papel crucial en la función y en la estabilidad de los bosques urbanos, de igual forma que en los sistemas naturales (Nowak et al., 2016). También desempeña un papel importante en la resiliencia de los bosques urbanos, por lo que a mayor diversidad se espera una mayor estabilidad de las funciones ecológicas (Wood & Dupras, 2021; Fan et al., 2019).

De las tres áreas muestreadas en esta investigación, la que cuenta con menor diversidad de especies es el Parque Recreativo La Sabana, con solo dos especies presentes, a su vez es el que cuenta con menor número de individuos y menor aporte en servicios ecosistémicos. Hay una relación importante entre la diversidad de las especies presentes y la prestación de los servicios ecosistémicos, en general, los bosques urbanos diversos tienden a proveer mayor y calidad de beneficios (Yan & Yang, 2017; Kendal et al., 2014; Nowak et al., 2016). Además de un aumento en los beneficios, la diversidad contribuye a proteger a los bosques urbanos de plagas, enfermedades, cambio climático y condiciones ambientales adversas (Wang et al., 2021; Dangulla et al., 2020; Paquette et al., 2021).

El papel de los servicios ecosistémicos que puedan proveer sistemas naturales como el arbolado urbano son claves para el bienestar y el confort de la población dentro de las ciudades, así como su aporte a la biodiversidad presente en estas áreas. De Groot et al. (2002) vinculan estos procesos con la satisfacción de las necesidades humanas, ya sea de forma directa o indirecta. Es así como los servicios ecosistémicos cumplen un rol de conexión entre la población y el ecosistema (Gómez-Rangel & Ballinas-Aquino, 2022). Este último es representado por todas las redes naturales, seminaturales y artificiales de los sistemas ecológicos presentes en el interior y la periférica de las ciudades (Tzoulas et al., 2007).

Los servicios ecosistémicos brindados por estos espacios abarcan la mejora de la calidad de aire, secuestro y almacenamiento de carbono, disminución de la escorrentía y erosión,

purificación del agua, mitigación de efectos climáticos, preservación de la biodiversidad y mejora del paisaje (Valderrama & Ceron, 2023). Además, estos espacios influyen culturalmente, permitiendo la interacción de la persona consigo mismo, con otros y con el entorno, favoreciendo la construcción de la identidad (Ballinas, 2014), afectando también la interacción de habitantes de distintos estratos sociales (Martínez-Valdez et al., 2020). Además, producen efectos positivos sobre la salud física y mental, reducción del ruido y apreciación estética (Romero-Duque et al., 2020; Muñoz-Pacheco & Villaseñor, 2022).

La producción de estos beneficios depende de factores ecológicos y sociales, debido a que son el resultado de la interacción del entorno con las personas (Braat & De Groot, 2012). Además, la generación se ve condicionada por las características de las áreas verdes, como su superficie, distribución de sus elementos y proximidad con sus habitantes (Karis & Ferraro, 2017; Reyes-PäcKe & Figueroa-Aldunce, 2010). Los espacios de mayor tamaño permiten el desarrollo de mayor cantidad de actividades y una mayor riqueza y diversidad de especies (Breuste et al., 2013). De aquí surge la importancia de contar con espacios verdes de gran tamaño dentro de las ciudades y que cuenten con una correcta distribución, que permitan el acceso a la mayor cantidad de la población.

Dado que los impactos sobre las ciudades abarcan los ejes ambiental, social y económico, las SbN se presentan como una alternativa importante para mejorar el entorno urbano, ya que, desde su definición se presentan como soluciones para enfrentar los desafíos de la sociedad y que proporcionen beneficios ambientales, sociales y económicos, así como aumentar la resiliencia urbana (Samaniego et al., 2021). Se han visto resultados asociados a la implementación de SbN en campos como la reducción de temperatura, ahorro energético, remoción de contaminantes, aumento en la biodiversidad y reducción de emisiones de carbono, así como la gestión de riesgo climáticos y generación de espacios de interacción social (Magdelenat, 2021).

6.3. Propuesta de SbN

Dados los espacios de oportunidad disponibles tan reducidos, las SbN a gran escala son difíciles de implementar, a menos que se decida realizar grandes modificaciones al paisaje, por lo que se plantean SbN que pretenden maximizar sus beneficios en función al espacio y

las necesidades. Ya que la cobertura es uno de los principales desencadenantes de las problemáticas ambientales en las ciudades, muchas SbN están basadas en la integración de zonas verdes en el espacio urbano, este planteamiento pretende recuperar la naturaleza, aportando beneficios tanto para los habitantes como el medio ambiente (Aguilera & Candido, 2023).

A la inclusión de la naturaleza dentro de la ciudad, se le conoce como infraestructura verde, incorpora elementos como corredores y tejados verdes, así como sistemas de drenaje sostenibles, los cuales ayudan a maximizar los servicios ecosistémicos, como reducción de escorrentía y mejora de calidad de aire (Beatley, 2011). Dentro de estas se encuentran los techos verdes, los cuales pueden definirse como una capa de vegetación que se coloca sobre los techos de construcciones, la cual funciona como un sistema impermeabilizante que filtra y limpia el agua de las lluvias y el aire (López-González et al., 2020).

Ha habido un aumento considerable en la utilización de los techos para realizar cultivos, desde las razones estéticas, hasta el mejoramiento del entorno (Li et al., 2010), ya que las plantas pueden reducir las temperaturas, dentro y fuera de los edificios, mediante su proceso de transpiración (Fujii et al., 2005). Además, pueden producirse mejoras en la calidad del aire, removiendo contaminantes y partículas (Nowak et al., 2006). Se ha demostrado en implementación en ciudades la capacidad de reducir la temperatura ambiente entre 0,3 y 3 °C (Beradi et al., 2014), además de disminuir la concentración de polvo en la atmósfera hasta un 25% y almacenar en promedio 168 g de carbono por metro cuadrado de área (Živković et al., 2018).

Es así como los techos verdes se han posicionado como una alternativa con mayor reconocimiento para enfrentar desafíos como el cambio climático y problemas ambientales comunes de las ciudades (Jim & Tsang, 2011). Sin embargo, estos sistemas también presentan riesgo de no cumplir con sus funciones, la viabilidad de la implementación varía dependiendo de las ciudades y sus condiciones climáticas, culturales y legales (Zielinski et al., 2012). Por esta razón se debe realizar un análisis de viabilidad para una correcta implementación y un mejor aprovechamiento de beneficios.

Otro elemento de cobertura vegetal que puede aportar a las ciudades son los jardines verticales, estos incluyen la utilización de cobertura vegetal en fachadas, los muros vegetales y los biowalls (Quintero-González & Quintero-González, 2019). Estos son definidos como el cultivo y desarrollo de especies vegetales con fines de aumento de biodiversidad, aislamiento térmico y sonoro, producción alimenticia y ornamentación (Fernández-Cañero et al., 2008). En términos de eficiencia energética y rendimiento térmico, los muros verdes tienen la capacidad de reducir las temperaturas y el consumo energético en los edificios que se instalan (Maier, 2022; Karimi et al., 2022). Además, reducen el ruido y generan confort en el ambiente (Osquendo-Di Cosola et al., 2022) y proporcionan mayor cobertura vegetal con relación al área de los edificios (El Menshawy et al., 2022).

Dentro de estas dos SbN se puede incluir el concepto de agricultura urbana, ya que puede darse en sistemas de cultivo vertical, para aprovechar espacios, o en sistemas horizontales tradicionales, como techos y balcones. Esto no se limita a la implementación en edificios, ya que se puede aprovechar espacios disponibles en la ciudad para la creación de huertos comunales (Barroso & Neto, 2024). Esta práctica se ha vuelto más popular alrededor del mundo, indiferentemente de sus fines, que pueden ser alimentarios, recreativos, ornamentales, pedagógicos, socioculturales, económicos y ambientales (Sierra-Reyes et al., 2023).

La agricultura urbana es una respuesta a problemas asociados a la seguridad alimentaria, sostenibilidad ambiental y calidad de vida en las ciudades (Manoel & Andion, 2023). Contribuye a dar un cambio de mentalidad con relación al consumo, fomentando elecciones alimentarias más conscientes y la comprensión del proceso que genera mayor apreciación hacia los productos, derivando en prácticas de consumo más éticas (Bosetti, 2023). Su principal aporte es el fomento de la seguridad alimentaria, reduciendo la dependencia de cadenas de consumo, y proveyendo alimentos frescos y con prácticas productivas responsables (Barroso & Neto, 2024).

Un ejemplo de implementación ocurre en la ciudad de Sao Paulo, donde se encuentran alrededor de 550 establecimientos agrícolas registrados, los cuales ocupan una superficie de casi 11 mil hectáreas y generan empleo para más de 1900 personas (Biazoti et al., 2021). Los productos tienen salidas locales, sin embargo, también han llegado a ferias orgánicas e

institutos de comercio sostenible, aprovechando el sistema de organización con el que cuentan los productores (Domene et al., 2023).

En esta línea de integración de elementos se encuentra la permacultura, ya que su concepto integra los elementos de vivienda y paisaje, para ahorrar materiales y producir una menor cantidad de recursos (Rodríguez et al., 2016). Se incluye este concepto con jardines de permacultura, donde se pretende generar espacios de diseño consciente de sistemas productivos que tengan diversidad, estabilidad y resiliencia (Santos & Mayer, 2021). Se encuentran ejemplos de implementación en proyectos a gran escala en Argentina, mediante procesos de construcción comunitaria en ecovillas o ecoaldeas (Zapelli & Guerrero, 2023). Sin embargo, también se encuentran proyectos de reacondicionamiento de espacios públicos que permiten integrar conceptos de mejoramiento del paisaje, agroecología y ocio y recreación, como el planteado por Santos y Mayer (2021) para la creación de mercados públicos.

El mejoramiento del paisaje puede darse también utilizando elementos a pequeñas escalas, como lo son los jardines de bolsillo. Estos aprovechan espacios en zonas urbanas, subutilizados o abandonados, que se convierten en espacios de recreación y disfrute de la población, se caracterizan por ser realizados en poco tiempo, tener bajo costo y un impacto perceptible (Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2014). Este tipo de proyectos se han desarrollado en la ciudad de México, con el fin de recuperar espacios públicos, teniendo como resultado la creación de 35 parques de bolsillo distribuidos en la ciudad (Martínez-Salvador & Alvarado-Ramírez, 2020). Gracias a su tamaño se integran fácilmente dentro de las ciudades y ofrecen todos los beneficios asociados a la vegetación.

Estos cambios en la cobertura también benefician a la biodiversidad presente en las ciudades, ya que hay gran evidencia de que los jardines de las áreas urbanas son capaces de dar soporte a varios polinizadores (García-Albarado, 2022), este grupo ha perdido recursos florales y lugares de reproducción (Dandforth et al., 2019). La estabilidad de los polinizadores es vital para asegurar la producción agrícola, se estima que un 75% de los 115 principales cultivos a nivel mundial dependen de algún modo de polinizadores (Ollerton, 2021). Los jardines son comunes dentro de las ciudades, sin embargo, estos tienen como objetivo principal el soporte de los polinizadores, por lo que la selección de las plantas es

vital, en el país ya se encuentran ejemplos de este tipo en la ciudad de San José (Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), 2021).

Además, estos jardines pueden generar beneficios como mejorar la calidad de aire, regular las temperaturas, amortiguar el ruido, mejorar la calidad de vida, sensibilizar y educar y producción de plantas ornamentales o medicinales (Secretaría del Medio Ambiente, 2020). Los jardines también pueden utilizarse para reducir la escorrentía producida por la lluvia, entonces toman el nombre de jardines de lluvia, donde son descritos como sistemas de infiltración o cuencas de detención, son eficaces para eventos de precipitación de intensidad baja y media (Aravena & Dussailant, 2009). También tienen la capacidad de ralentizar y atenuar el flujo del agua de las lluvias, aumentando las tasas de infiltración por parte del suelo (Monash Water for Livability Centre, 2014).

Estos elementos se pueden incluir en espacios de poca superficie, son de bajo costo, disminuyen la cantidad de escorrentía y mejoran la calidad de agua de forma naturales, además de agregar valor estético y mejorar el paisaje, en zonas residenciales o comerciales (Dussai-llant et al., 2004; Ishimatsu et al., 2017). A su vez, un parque dedicado a mejorar la filtración del agua, utilizando especies que fomenten este factor, será utilizado como un parque de tormentas. Los jardines también pueden utilizarse como medios de fitorremediación, tanto de suelo como de aire, ya que las plantas tienen capacidad de remover o neutralizar compuestos orgánicos, metales pesados o radionucleido (Boyd et al., 2008; Mengoni et al., 2010), estos procesos pueden darse por la absorción de las plantas mismas o los microorganismos presenten gracias a estas (Marrero-Coto et al., 2012).

Autores como Prieto et al. (2024) mencionan que la fitorremediación aprovecha la capacidad de las plantas para absorber contaminantes presentes en suelo, aire, agua y sedimentos, por lo que la técnica puede utilizarse en diversos campos y aprovechar sus múltiples beneficios. Los beneficios de la fitorremediación en los distintos sustratos van a depender de las plantas seleccionadas para los jardines de fitorremediación, si bien, las plantas son capaces de realizar todas estas funciones, unas serán más adecuadas que otras en la remoción de contaminantes dependiendo del sustrato (Delgadillo et al., 2011), por lo que cada jardín debe tener un objetivo claro y aprovecharse de sus co-beneficios.

En ciudades con poco espacio para incluir naturaleza, se cuenta con opciones que comprimen las ideas tradicionales como los parques y las convierten en parques lineales, haciendo referencia a vías verdes, largas y estrechas. Estas se ubican cerca de fuentes de agua o vías de comunicación, con el fin de fomentar los servicios ecosistémicos, el uso de los usuarios y la conectividad del paisaje (Bravo, 2004). En las ciudades de América Latina generalmente siguen la red hídrica de las ciudades, son pensados como elementos para crear transversalidad en los ríos, generar conexión entre espacios, conservación de la biodiversidad y descontaminación de microcuencas (Herrán-Cuertas, 2012).

A nivel Latinoamericano se pueden encontrar ejemplos de estos parques en Medellín, la provincia del Chaco, la ciudad de Puerto Madero y en la ciudad de Curitiba, estos parques se crearon alrededor de cuerpos de agua, con la finalidad de mantener estos espacios (Muñoz, 2019). También proveen beneficios a la población para la realización de actividades como paseos, senderismo, actividad ciclística, deportes acuáticos, juegos para los niños (Silva-Correia et al., 2010), de esta forma contribuyen al bienestar general de las poblaciones (Park et al., 2009; Li, 2010). Estos parques también pueden tener un enfoque de mayor peso hacia la conectividad, convirtiéndose en corredores verdes que unan áreas de mayor tamaño que se distribuyen dentro de la ciudad o su periferia.

Estos corredores representan una estrategia fundamental para lograr el equilibrio entre la urbanización y la preservación del entorno urbano de calidad, proporcionan espacios de interacción con la naturaleza y a su vez permiten el movimiento y dan refugio a la fauna urbana (Luna-Rodríguez & Delgado-Valdez, 2024). En Costa Rica, el Sistema Nacional de Áreas de Conservación, cuenta con los corredores biológicos interurbanos, como su instrumento para realizar gestión y conservación de la biodiversidad y servicios ecosistémicos en un espacio determinado (Ministerio de Ambiente y Energía-Fondo para el Medio Ambiente Mundial-Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2019), principalmente áreas urbanas.

La implementación de trama verde dentro de estos corredores biológicos interurbanos, así como de los corredores biológicos convencionales que cuenten con área urbana, mejoraría la conectividad de los ecosistemas y aportaría a los objetivos de creación de los corredores. En el Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, se han planteado SbN que ayuden a

mejorar la conectividad de los ecosistemas y mejorar la calidad de vida de la población presente (Miranda et al., 2022). La colocación de esta cobertura vegetal de manera lineal, alrededor de áreas vulnerables a altos niveles de ruido, puede convertirlas en barreras verdes, que mitiguen los efectos del ruido y mejoren las condiciones de confort (Posada et al., 2009).

Un estudio realizado por Alfaro-Rojas et al. (2020) en una microcuenca de la ciudad de Heredia, muestra las diferencias en los niveles de ruido en áreas verdes urbanas y periurbanas, donde las zonas con mayor afectación antropogénica presentan mayor cantidad de ruido. Posada et al. (2009) menciona que, para lograr una mitigación considerable del ruido, se debe utilizar barreras de árboles heterogéneas, con árboles de hojas anchas, gruesas y perennes, troncos gruesos que se ubiquen cerca de las fuentes de ruido. Sin embargo, menciona que en estudios analizados no se logró encontrar una diferencia significativa, posiblemente asociada a las características de la vegetación.

Un factor donde se ha logrado demostrar que la vegetación marca una diferencia es en la reducción de temperaturas urbanas, se han encontrado diferencias considerables en la temperatura de los sitios sin o poco arbolados y los vecindarios ricos en cobertura arbórea (Bounoua et al., 2015). En estudios realizados en Reino Unido la temperatura máxima superficial de los bosques urbanos es de 18,4°C y de los centros urbanos de 31,2°C, en Tokio, se registran diferencias de hasta 12°C, en Sao Paulo y Caracas, las diferencias de temperatura llegan hasta los 10°C y en Curridabat se han encontrado diferencias de 8,2°C (Pramova et al., 2012; Wickham, 2013; Córdova., 2011; Municipalidad de Curridabat, 2019).

Por lo que es importante crear redes de sombra vegetal a lo largo de las ciudades, fundamentales en la regulación del microclima urbano, mejorando el aire, reduciendo la evaporación y disminuyendo las temperaturas al interceptar radiación solar y proveer sombra (Adams y Smith, 2014). Gran parte de la calidad de los climas urbanos depende de los espacios verdes inmersos en este entorno. Todos estos elementos inclusión de cobertura vegetal dentro de las ciudades se pueden convertir en refugios climáticos, ya que pueden brindar protección y bienestar a la población durante eventos extremos relacionados con el clima, como las olas de calor o precipitaciones extremas (Amorim-Maia et al., 2022; Amorim-Maia et al., 2023). Estos espacios son fundamentales en la adaptación de las

ciudades frente al cambio climático ya que proporcionan confort térmico y resiliencia a las ciudades (Aguado & Davila, 2024).

Elementos de mayor tamaño como los parques y bosques urbanos pueden tener un mayor impacto en la generación de beneficios para la población, a nivel mundial se estima que la suma de sus servicios y ahorros alcanza la suma de \$12 000 millones, solamente asociados a la reducción de temperatura y consumo de energía en edificios (Endreny et al., 2017). En San Ramón se cuenta con poco espacio para crear nuevos parques o bosques urbanos, por lo que la propuesta va dirigida a mejorar la calidad de los servicios que se ofrecen en los que ya existen. Como se evidencio en los resultados de la sección de oferta de naturaleza y de acuerdo con Nowak (2018), el atributo de mayor importancia para la provisión de servicios ecosistémicos del arbolado urbano es el área foliar.

Sánchez et al. (2022) muestra en su estudio realizado en 10 parques de San José de Costa Rica que a mayor cantidad de área foliar, mayor son los servicios ecosistémicos que proveen los árboles. Bajo esta premisa, es vital aumentar el área cubierta por árboles dentro de las ciudades y generar una mayor cantidad de beneficios para la población. El arbolado urbano juega un papel crucial en los estados fisiológicos y psicológicos de la población de las ciudades, si este es extenso, sano y longevo, permite a las personas sentirse en un ambiente natural y gozar de sus beneficios (Fernández et al., 2022).

Los humedales son elementos que suelen encontrarse altamente degradados dentro de las ciudades, Latinoamérica es la región principal en pérdida de humedales por cambios en la cobertura del suelo a nivel mundial (Darrah et al., 2019). Con el crecimiento de las ciudades y la mayor necesidad de espacio, los humedales tienden a secarse y aprovechar el espacio para construcciones. Situación alarmante debido a la gran pérdida de beneficios que estos ecosistemas pueden brindar a la población, como mitigación de inundaciones, reducción de la erosión, hábitat de biodiversidad, limpieza del aire y secuestro de carbono (Basu et al., 2021; Dabrowska-Zielinska et al., 2014; Penatti et al., 2015).

Estos ecosistemas son considerados como SbN para abordar problemáticas de inundaciones urbanas y mejorar el diseño de parques urbanos orientados a los usos comunes (Zhai & Lange, 2021). En Nueva York, la restauración de humedales y su transformación en

espacios públicos han sido una estrategia para enfrentar las consecuencias de inundaciones producidas por huracanes (Campo, 2016). En España, se restauraron los humedales de Salburua, lo que ha convertido a la ciudad en capital verde de reconocimiento internacional y en China, se crean “Ciudades Esponja”, que incluyen parques con humedales urbanos, que absorban y permitan la reutilización de al menos el 70% del agua de lluvia (Rojas et al., 2022; Caprotti et al., 2015). La ciudad de San Ramón cuenta con humedales con un gran estado de degradación, su restauración y correcto mantenimiento podría ayudar a hacer mejor frente a las inundaciones urbanas que se presentan en el área.

La gestión de las aguas pluviales es un tema crucial para el correcto funcionamiento de las ciudades, problema principalmente asociado al reemplazo de coberturas naturales por impermeables, las cuales eliminan la capacidad de infiltración y aumentan la esorrentía. Ante esta situación, se plantea el uso de Sistemas de Drenaje Urbano Sostenible (SDUS), los cuales tratan de imitar el comportamiento natural de sumideros y pueden integrarse a los humedales presentes (Rodríguez-Vivas & Esteban-Peña, 2023). Los sistemas de drenaje principales se basan en cubiertas vegetales, superficies permeables, franjas filtrantes, pozos de infiltración, cunetas verdes, estanques de retención y humedales artificiales (Hernandez & Maida, 2015).

Estos sistemas de drenaje han sido considerados como alternativas que empiezan a reglamentarse en países desarrollados y en desarrollo, principalmente por sus potenciales y beneficios (Castellanos, 2018). En la ciudad de Paterna, España, se implementaron SDUS en desarrollos urbanos, zonas verdes como depósito de retención de agua, permitiendo compensar los incrementos de caudal que se producen sobre el río Turia y en República Dominicana se evaluó la posibilidad de los SDUS como generadores de espacio público para garantizar la disponibilidad de agua (García, 2007; Ontaño, 2018).

Dentro de los SDUS más conocidos se encuentran los pavimentos permeables, los cuales son superficies que favorecen la infiltración del agua superficial a través de huecos entre adoquines o por la porosidad del material, esto genera un proceso de filtración que puede mejorar la calidad del agua (Lekuona-Orkaizagirre et al., 2024). Los pavimentos permeables típicos consisten en mezclas de concreto elaborado con poco o ningún agregado fino, para mayor porosidad que los concretos tradicionales (Haselbach et al., 2006), en general, los

pavimentos permeables más conocidos son los adoquines de hormigón entrelazados, hormigón y asfalto permeables (Lekuona-Orkaizagirre et al., 2024).

Estos pavimentos han demostrado ser efectivos para evitar el estancamiento del agua en las ciudades, pero también en la remoción de contaminantes orgánicos como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Enterococcus faecalis*. al agregar una capa fotocatalítica de nanopartículas de Fe₂O₃ (Ortega-Villar et al., 2017). También han mostrado efectividad en la reducción de metales pesados en el agua (Lekuona-Orkaizagirre et al., 2024). Los impactos de la urbanización tradicional han llevado a la necesidad de pensar en arquitectura sostenible en el ámbito social, económico y ambiental, destacando la preferencia de insumos que cuenten con ciclos de vida que causen un menor impacto sobre el medio ambiente, es aquí donde son importantes los materiales naturales (Rocha-Tamayo, 2011).

Los pavimentos permeables son uno de los tantos materiales sostenibles que pueden utilizarse en las ciudades para reducir el impacto de la urbanización, estos materiales generalmente son de origen naturales o están elaborados a partir de recursos renovables o reciclables y son duraderos (Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción, 2019). Otro ejemplo de materiales sostenibles es el uso de madera laminada cruzada, esta trae beneficios desde su origen, ya que permite el uso de especies poco utilizadas, en aplicaciones como vigas estructurales y componentes de muebles de uso cotidiano (López et al., 2013; Ilce et al., 2015), lo que reduce la presión sobre especies maderables comunes.

Esta madera se define como un material de integración que se fabrica a partir de placas unidas con adhesivos, orientadas en dirección paralela al eje de las piezas (Stark et al., 2010) y además de presentar beneficios para las especies con mayor explotación, el uso de madera en la construcción influye en el carbono almacenado. El bambú es un material que puede aumentar su uso en el sector constructivo ya que es de rápido crecimiento en comparación a otras maderas, tiene una alta resistencia a la tensión, es renovable, biodegradable y puede generar recursos económicos de forma más rápida para las localidades que lo produzcan, aportando a distintos indicadores de sostenibilidad (Mahdavi et al., 2011; Goonewardena et al., 2022; Ramírez et al., 2012; van der Lugt et al., 2006).

En Colombia, el bambú se ha aprovechado como un elemento estructural en la construcción de puentes peatonales, utilizados de manera temporal o en caso de emergencias, generando construcciones de bajo impacto sobre el ambiente y accesibles a los recursos económicos de pequeñas comunidades (Carmioli, 2010). Otro ejemplo son los bloques de tierra comprimida (BTC), estos son el resultado de la combinación de suelo, previamente seleccionado, agua y cemento común, resultando en una mezcla que se moldea y comprime para adquirir la forma de bloques con resistencia a la compresión y durabilidad que permiten ser usados en la construcción (Galindo-Díaz et al., 2023).

El principal atractivo de este elemento es el bajo impacto ambiental, su gran disponibilidad y sus propiedades, actualmente la innovación del material y las técnicas de construcción con “tierra” hacen posible la aplicación a soluciones constructivas, en compañía de otros materiales, permitiendo generar construcciones sostenibles en comparación con materiales tradicionales (Calderón-Peñañiel, 2024). Galindo-Díaz et al. (2023) menciona que se ha utilizado en construcciones de muros y cubiertas en forma de bóveda y en México y Argentina se ha utilizado para la construcción de viviendas, además, en 2014 en Colombia se construyó un edificio utilizando muros de BTC para dar soporte a una cúpula (Garzón, 2014).

También es importante para reducir los impactos producidos por la utilización de materiales de construcción considerar el reciclaje o la reutilización de estos, materiales como los polímeros y el vidrio pueden ser reutilizados para reducir costos en el proceso de fabricación y reducir el consumo de petróleo, además, el ladrillo, concreto y otros materiales pétreos pueden ser triturados para usarse como agregados o bases de relleno en construcción, reduciendo la presión de la extracción (Velez-Moreno, 2019). Además de estos residuos, en las ciudades se produce una gran cantidad de residuos orgánicos que pueden aprovecharse para realizar compostaje urbano y producir compost para utilizar en las huertas urbanas comunitarias o personales.

Dentro de los materiales que pueden ser utilizados para el proceso de compostaje y que se desprenden del día a día en las ciudades, se encuentran los residuos de alimentos, las podas de jardinería y residuos municipales (Soto & Muñoz, 2002). El compostaje es un proceso biológico que se desarrolla en condiciones aerobias, con humedad y temperatura controlada,

donde microorganismos transforman la materia orgánica en humus (García-López et al., 2023). Estos procesos reducen la cantidad de residuos que terminan en los vertederos y a su vez ayudan a la restauración de los suelos y su uso en huertos urbanos. Un estudio realizado en suelos de agricultura urbana mostró que el compost a base de plantas aplicado a un sistema de hortalizas aumentó la población de microbiota y las enzimas que extraen nutrientes, esto en comparación a fertilizantes inorgánicos (Igalavithana et al., 2017).

Otro producto que puede ser utilizado para mejorar las condiciones del suelo es el biochar, el cual se origina de la descomposición térmica de materiales orgánicos, con escaso o limitado oxígeno, a temperaturas relativamente bajas. Es destinado al uso agrícola principalmente (Escalante-Rebolledo et al., 2016), generando un sustrato sólido rico en carbono. El biochar se diferencia del tradicional carbón vegetal utilizado como combustible por sus propiedades de recuperación en suelos agrícolas (Lehmann & Joseph, 2015), ya que se observa un aumento de los microorganismos al aplicar biochar en el suelo, aun después de años de su adición (Steiner et al., 2004).

Las SbN han demostrado traer múltiples beneficios para la población urbana mediante su implementación, así mismo, se ha visualizado que cada una de las Soluciones puede dar abstraje a más de una problemática a la vez, el surgimiento de estos resultados positivos secundarios que no fueron buscados de forma activa se conoce como co-beneficios (Corrales & Fung, 2017). En el contexto urbano, como menciona Corrales (2019), la infraestructura verde dentro de la ciudad de Curridabat da conectividad a los espacios y genera áreas de uso público para el disfrute de la población, a su vez, juega un papel importante en la regulación climática de la ciudad, abordando varios desafíos urbanos a la vez.

Es importante resaltar que las SbN tienen un potencial para la contribución en los ODS, ya que, a pesar de tener un alto enfoque en la conservación, integran acciones que generen impacto positivo y avances en varios objetivos con las mismas intervenciones o la coordinación de estas, ya que incorporan co-beneficios asociados al bienestar humano, la conectividad ecológica e hídrica y la regulación del agua, aire y suelo (Vega & Mejía, 2023). Cabe destacar que Costa Rica menciona en su primera contribución nacionalmente determinada (NDC) para el Acuerdo de París, el enfoque de Adaptación Basada en Ecosistemas (Luna & Pérez, 2019) y en la actualización para 2020 se incorpora de manera

explicita el concepto de SbN como enfoque para la acción climática, que incluye adaptación y mitigación (Gobierno de Costa Rica, 2020).

Estos elementos resaltan la importancia de la implementación de las SbN en espacios urbanos, para el cumplimiento de los compromisos adquiridos para la acción climática, y sus co-beneficios asociados al mejoramiento del entorno urbano y el bienestar de la población. Las SbN requieren de un correcto análisis de factores sociales, económicos y ambientales para su correcta implementación, así como maximizar los beneficios que estas producen, sin embargo, queda demostrado que pueden resultar iniciativas de bajo costo y gran impacto en el ambiente y la sociedad, logrando así un acercamiento a las ciudades sostenibles.

Capítulo VII. Implicaciones para el Desarrollo Sostenible

En esta investigación se aborda el Desarrollo Sostenible como un proceso integral que articula dimensiones sociales, ambientales y económicas. Este enfoque distingue la relación entre los sistemas ecológicos y sociales, siendo la conservación y el manejo adecuado de los recursos naturales el pilar central para mantener los procesos urbanos de forma adecuada. En este caso, el desarrollo sostenible es la búsqueda del equilibrio entre el crecimiento urbano y la conservación de la biodiversidad, equidad social y participación ciudadana.

Es claro que la situación ambiental en América Latina es cada vez más preocupante, sin embargo, todo esfuerzo realizado para la sostenibilidad ambiental entra en conflicto con un estilo de desarrollo que continúa teniendo como bandera la explotación de los recursos naturales. (Gligo et al., 2020). Tomando en cuenta la situación de la región, con una gran cantidad de recursos naturales, pero con sistemas productivos que los degradan, erosión de la cohesión social, además de una fuerte tendencia a la urbanización, han llevado a la población a vivir en espacios poco sostenibles (De Miguel & Tavares, 2015).

El diagnóstico constituye una etapa clave de la investigación: genera el conocimiento necesario para diseñar cambios orientados a atender los problemas o necesidades identificadas. Implica un proceso de análisis y síntesis de la realidad social o del fenómeno estudiado (Duque et al., 2019). El conocimiento de las problemáticas es vital para fundamentar las propuestas que se realizan para solventarlas, principalmente en regiones como América Latina, donde la inversión con relación al PIB es baja e insuficiente para producir un crecimiento real y bienestar general (Winchester, 2006). Al tener recursos limitados, es vital enfocarlos en solventar las necesidades reales.

Es necesario cambiar los patrones de producción, energía y consumo que ya no son viables, transformando el paradigma de desarrollo a uno sobre las vías del desarrollo sostenible, inclusivo y de largo plazo (Naciones Unidas, 2018). Este desarrollo sostenible involucra en gran parte las ciudades, ya que suelen ser fuente de problemas si no se realiza la planificación adecuada, si las políticas públicas y las instituciones son disfuncionales y la distribución socioespacial de oportunidades es injusta, surgen ciudades insostenibles (ONU-Hábitat, 2008).

Mejorar la calidad ecosistémica en las ciudades en vías de desarrollo es determinante para el futuro de la sostenibilidad del planeta en términos de crecimiento económico, reducción de pobreza y desigualdad, estabilización demográfica, sostenibilidad ambiental y derechos humanos (UNFPA, 2007). Los desafíos sociales y ambientales, la calidad de vida, el acceso a salud pública, cambio climático y disponibilidad de recursos y servicios ecosistémicos van a determinarse por la forma, el patrón y la función de los entornos urbanos (PNUMA, 2021), por lo que resulta fundamental alcanzar un desarrollo sostenible en las ciudades.

Las SbN se presentan como una alternativa para el abordaje de muchas de las problemáticas que se encuentran en las ciudades, ya que están diseñadas para abordar claros desafíos sociales, pueden fomentar el desarrollo urbano sostenible y a su vez cumplir con objetivos de adaptación y mitigación al cambio climático, ayudan a la biodiversidad y a la resiliencia de las poblaciones urbanas (Magdelenat, 2021). Las SbN derivan de prácticas ya consolidadas, como la restauración de paisaje, gestión integral del recurso hídrico, adaptación y mitigación basada en ecosistemas y reducción de desastres, por lo que actualmente son considerados por una gran cantidad de actores como un medio esencial para alcanzar el desarrollo sostenible (UICN, 2020).

La propuesta de SbN tiene un vínculo directo con el ODS 11, debido a que aborda los retos y oportunidades que enfrentan las ciudades en su camino hacia la sostenibilidad, incluyendo problemáticas como la urbanización descontrolada, degradación de ecosistemas urbanos, islas de calor, inundaciones y reducción de espacios verdes. Estos elementos reflejan las metas del ODS 11, orientadas conseguir ciudades inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles (United Nations, 2015).

Asimismo, la propuesta de implementar SbN responde a la necesidad de mejorar la calidad del ecosistema urbano, fortalecer la resiliencia frente al cambio climático y crear espacios más equitativos y saludables para la población. Estos aspectos que son coherentes con la visión de sostenibilidad integral promovida por el ODS 11 y que lo convierten en un catalizador del cumplimiento de otros objetivos de la Agenda 2030, como salud (ODS 3), agua limpia y saneamiento (ODS 6) y acción por el clima (ODS 13) (Le Blanc, 2015; UN-Habitat, 2020).

La propuesta de SbN integra todas las dimensiones del desarrollo sostenible, lo que contribuye a la equidad y el bienestar, buscando la reducción de vulnerabilidades urbanas y ampliando el acceso a espacios públicos saludables (Kabisch et al., 2016b). Se busca una mejora de la sostenibilidad al restaurar funciones ecosistémicas claves y conservar la biodiversidad, la propuesta impulsa la viabilidad económica mediante medidas costo-efectivas (Raymond et al., 2017) que disminuyen daños por eventos extremos y gastos en infraestructura, a la vez que generan oportunidades de gestión comunitaria.

Incluir naturaleza en las ciudades mejora sus condiciones de habitabilidad, principalmente para personas vulnerables, debido a su capacidad de reducir temperaturas, filtrar agua y mejorar la calidad del aire. Las SbN urbanas han demostrado su eficiencia y eficacia en distintas ciudades alrededor del mundo, en países desarrollados y en vías de desarrollo (Magdelenat, 2021). El abordaje clásico para el mejoramiento de los ecosistemas urbanos se basa en la identificación de los elementos de biodiversidad presentes en la ciudad, actualmente se requieren enfoques adicionales, que involucren todos los elementos de las áreas urbanas (Figueroa-Arango, 2020), las SbN son un concepto que abarca acciones que apoyan los servicios ecosistémicos para responder desafíos sociales (UICN, 2016), razón por la cual su implementación viene en crecimiento.

A su vez, el Estándar Global de las Soluciones Basadas en Naturaleza, generado por UICN (2020) establece como primer criterio que las SbN planteadas respondan de manera eficaz a los desafíos sociales de la región, destacando la importancia de la participación social en el proceso de identificación de desafíos prioritarios. Entre sus características destacan la ganancia en términos de diversidad e integridad de ecosistemas, la viabilidad económica, y su alcance social, debido a que se basan en procesos de gobernanza inclusivos, transparentes y que empoderan a los actores locales (Romero & Alfaro, 2021).

Estas características se desprenden del estándar global y pretenden responder a una evaluación del estado actual de los ecosistemas, así como los elementos que causan su degradación, asegurar la sostenibilidad tomando en cuenta aspectos económicos que permitan su implementación y mantenimiento, tomando en cuenta y respondiendo a las preocupaciones de diversos actores (UICN, 2015). A partir de esto, se entiende que las SbN tienen un impacto positivo en los procesos de desarrollo sostenible en áreas urbanas y se

establecen como una alternativa viable para generar espacios urbanos que generen un mayor bienestar a la población y sean amigables con la biodiversidad y los ecosistemas presentes.

La investigación genera un impacto al desarrollo sostenible de San Ramón, aportando herramientas útiles para el abordaje de los aspectos sociales, ambientales y económicos, como un diagnóstico de las problemáticas socioambientales urbanas. Mediante la utilización de estas herramientas, se genera una mayor orientación en la toma de decisiones locales, basadas en evidencia y datos geoespaciales, fortaleciendo la planificación territorial y la implementación de estrategias ajustadas a la realidad cantonal.

La implementación de las SbN propuestas tendría un impacto positivo en el desarrollo sostenible del área urbana, colaborando de manera efectiva en el abordaje de problemáticas como las inundaciones, la falta de espacios verdes y las islas de calor. Estas propuestas no solo mejorarían la calidad del medio ambiente y la resiliencia ante el cambio climático, también contribuiría en el bienestar social, aportando espacios públicos más habitables y saludables para la población.

Al proponer un portafolio de SbN específicas para zonas de prioridad media y alta, se ofrece un marco de acción concreto que contribuye a reducir vulnerabilidades ambientales y sociales. Destacando la posibilidad de disminuir riesgos de inundaciones, mejorar la calidad del aire, incrementar la cobertura vegetal y reforzar la conectividad ecológica, todo esto se traduce en beneficios directos para la salud, el bienestar y la equidad de la población urbana.

Asimismo, el estudio incide en el desarrollo sostenible local al impulsar la gobernanza participativa: integra la validación con actores sociales e institucionales del cantón y fomenta la construcción de soluciones colectivas, fortaleciendo la corresponsabilidad en la gestión urbana. Finalmente, el carácter replicable de la metodología permite que San Ramón se posicione como un referente para otras ciudades intermedias de Costa Rica que enfrentan desafíos similares, multiplicando su impacto más allá del ámbito local.

Capítulo VIII. Conclusiones y recomendaciones

8.1. Conclusiones

La revisión de artículos científicos permitió identificar que las problemáticas ambientales urbanas más estudiadas en América Latina están relacionadas con el recurso hídrico, residuos sólidos, contaminación atmosférica y cambio climático. Se observa un aumento sostenido en la producción académica sobre estos temas a partir de 2017, con un pico en 2021, lo cual refleja un creciente interés por los desafíos ambientales urbanos desde una perspectiva científica. Las temáticas como alimentos, ruido y materiales de construcción presentan una baja representación, lo que evidencia vacíos de investigación relevantes para futuras intervenciones.

El análisis espacial y participativo mostró que las principales problemáticas ambientales urbanas en San Ramón se concentran en torno a la contaminación del recurso hídrico, la mala gestión de residuos sólidos, la escasez de cobertura vegetal y el ruido urbano. Se determinó un predominio de coberturas asociadas a la urbanización, como construcciones, pastos y zonas agrícolas. La vegetación natural, como bosque o tacotal, representa un porcentaje bajo del área urbana, lo que implica una disponibilidad limitada de naturaleza en la ciudad. Se identificó un INRA alto, con una proporción significativa del suelo ocupado por infraestructura impermeable. La baja proporción de cobertura vegetal en relación con el total urbano refuerza la urgencia de restaurar la conectividad ecológica y aumentar la presencia de SbN.

Estos casos se reflejan en limitaciones en la disponibilidad de sitios aptos para intervenciones que requieran superficies amplias y modificaciones estructurales significativas, como la creación de nuevos parques o corredores verdes densos. La presencia de lotes baldíos, espacios públicos no edificados y centros de cuadra en desuso es reducida, lo que restringe la posibilidad de implementar Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) que dependan de una extensión territorial del tamaño de una cuadra.

Ante esta situación, resulta prioritario optimizar la funcionalidad de las áreas verdes existentes mediante intervenciones localizadas en espacios más puntuales de la ciudad, como

techos o paredes. Estas acciones, además de ser económicamente viables, pueden contribuir a mejorar la conectividad ecológica urbana y generar efectos acumulativos al replicarse en otros sitios con características similares.

La fragmentación del paisaje urbano en San Ramón es evidente, con ecosistemas degradados y dispersos que no logran proporcionar adecuadamente sus servicios ecosistémicos. La alta fragmentación y dispersión de las clases de cobertura, como Tacotal y Pastos, indican la necesidad de esfuerzos concertados para mejorar la conectividad y la agregación de los parches de naturaleza en el entorno urbano.

En tema de oferta de naturaleza, se encontró que las áreas de oferta de naturaleza, como el Parque Recreativo La Sabana, presentan menos servicios ecosistémicos en comparación con otras áreas debido a que se encuentran en etapa temprana de desarrollo vegetal, menor diversidad de sus árboles y por lo tanto menor área foliar. En total, se estudiaron 155 árboles en tres áreas públicas, donde las especies dominantes como *Tabebuia rosea* y *Cojoba arborea*, contribuyen significativamente a la cobertura de dosel y la biomasa foliar. Este último juega un papel importante en maximizar la calidad y cantidad de los beneficios percibidos, por lo que se destaca la importancia de incrementar la cantidad de área foliar, mediante la siembra de más árboles y la diversificación de especies.

A pesar de la existencia de estas áreas verdes, su tamaño reducido, distribución dispersa y bajo grado de madurez vegetal limitan la oferta real de servicios ecosistémicos. Esta situación afecta especialmente la regulación climática, la filtración de agua, la captura de carbono y la provisión de hábitats urbanos.

La evaluación del territorio urbano de San Ramón demostró que, a pesar de las limitaciones espaciales, existen oportunidades para aplicar SbN de bajo requerimiento territorial. Estas soluciones son particularmente relevantes en zonas con déficit de cobertura vegetal, fragmentación ecológica y múltiples problemáticas superpuestas.

Las SbN pueden implementarse en espacios reducidos como jardines lineales, techos verdes o bordes de vía pública. Aunque estas acciones son puntuales, su replicación permite

generar una red de microespacios que contribuyen a la conectividad ecológica urbana y a la provisión distribuida de servicios ecosistémicos.

Estas soluciones, que incluyen la creación de espacios verdes, la implementación de sistemas de drenaje sostenible y la utilización de materiales de construcción ecológicos, han tenido un impacto positivo en la reducción de las temperaturas urbanas, la mejora de la calidad del aire y el manejo adecuado de las aguas pluviales. En el contexto de San Ramón, las SbN desarrollarían un papel fundamental en la promoción de ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11). La integración de infraestructura verde, la creación de espacios públicos naturales y la gestión sostenible de recursos hídricos han mejorado la calidad de vida urbana, fomentando entornos más saludables y equitativos para los ciudadanos.

Entre los co-beneficios más relevantes destacan: la regulación térmica local, la mejora en la calidad del aire, la reducción del escurrimiento superficial, el aumento de biodiversidad urbana y la recuperación estética del paisaje urbano. Estos efectos, si bien son de carácter ambiental, también tienen repercusiones sociales y económicas.

8.2. Recomendaciones

Es de gran importancia que el gobierno local incluya explícitamente las SbN en planes reguladores, planes estratégicos de desarrollo municipal y agendas climáticas territoriales, priorizando su implementación en zonas críticas identificadas. Además, que tomen en cuenta los resultados del análisis espacial (mapas de problemáticas, fragmentación, correlación de impactos) como insumo técnico para la priorización de áreas de intervención y la evaluación de escenarios urbanos.

Debe existir un esfuerzo interinstitucional, de academia, gobierno local y MINAE para promover la siembra de especies que maximicen la provisión de servicios ecosistémicos (como sombra, captura de carbono, filtración de aire y regulación térmica), con base en el inventario realizado y en criterios de área foliar, adaptabilidad y diversidad. Para la implementación de las SbN, se necesita que el gobierno local tome el liderazgo mediante un abordaje estratégico y planificado, encabezado por el gobierno local, como entre de mayor

injerencia en la gestión del territorio, en coordinación con las instituciones públicas encargadas de regular y promover prácticas sostenibles.

Además, es necesaria la participación de la empresa privada, considerando el impacto que tiene la producción sobre los recursos naturales y el entorno urbano, al igual que por su capacidad de aportar recursos financieros y tecnológicos. La academia también juega un rol crucial, proporcionando conocimiento técnico-científico, así como el desarrollo de herramientas de evaluación y propuestas de adaptación. El éxito de la implementación de SbN depende de este enfoque colaborativo y multisectorial, de forma que integre las perspectivas y recursos de los diversos actores involucrados en la construcción de espacios urbanos resilientes.

Bibliografía

- Abarca, L. (2017). Nivel de importancia de las causas de generación de residuos en la construcción en Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 30(4), 130-137.
- Acreman, M., Smith, A., Charters, L., Tickner, D., Opperman, J., Acreman, S., Edwards, F., Sayers, P., & Chivava, F. (2021). Evidence for the effectiveness of nature-based solutions to water issues in Africa. *Environmental Research Letters*, 16(6). DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0210>
- Acuña, F., Vargas, E., & Lobo, A. (2022). Parques Naturales Urbanos: nueva categoría de manejo en Costa Rica para la gestión de espacios boscosos urbanos. *Ambientico*, 284, 4-11.
- Acuña, F., & Miranda, M. (2020). Monitoreo de los cambios en el uso y cobertura del suelo del paisaje urbano. *Ambientico*, 276, 20-25.
- Adams, M. P., & Smith, P. L. (2014). A systematic approach to model the influence of the type and density of vegetation cover on urban heat using remote sensing. *Landscape and Urban Planning*, 132, 47-54. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.08.008>
- Aguado, I., & Dávila, N. (2024). Refugios climáticos y vulnerabilidad socioespacial en la ciudad de Vitoria-Gasteiz: equidad distributiva para una justicia espacial. En G. López & J. García (Coords.), *La ciudad “veinte-treinta” miradas a los espacios urbanos del siglo XXI. XVII Coloquio de Geografía Urbana. I Coloquio Internacional de Geografía Urbana* (pp. 987-998). Asociación de Geógrafos Españoles.
- Aguilar, S., Godfrid, D., Ramírez Cuesta, A., Scardamaglia, V., D’Annibali, S., Espinoza Proaño, C., Heidel, E., Heredia, A. S., Pacheco Alonso, A., & Pugliese, N. (2021). *Las ciudades frente al cambio climático I: ¿Cómo hacer un Plan de Acción Climática a nivel local? Diagnóstico y trabajo preliminar para la acción climática*. FLACSO Argentina y Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

- Aguilera, C. G., & Candido, M. C. G. A. (2023). Trayendo la naturaleza a las ciudades: planificación y gestión del verde urbano como aliados en la sostenibilidad. *Revista Latino-Americana De Ambiente Construido & Sustentabilidade*, 4(17). <https://doi.org/10.17271/rlass.v4i17.4557>
- Akintunde, E. A., Bayei, J. Y., & Akintunde, J. A. (2020). Noise level mapping in University of Jos, Nigeria. *GeoJournal*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s10708-019-10135-w>
- Alaña Castillo, T. P., Capa Benítez, L. B., & Sotomayor Pereira, J. G. (2017). Desarrollo sostenible y evolución de la legislación ambiental en las MIPYMES del Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 9(1), 91-99.
- Alberti, M., Marzluff, J., & Hunt, V. M. (2017). Urban driven phenotypic changes: empirical observations and theoretical implications for eco-evolutionary feedback. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 372, 20160029.
- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4), 480-493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>
- Alfaro-Rojas, D., Portuguese-Brenes, I., Perdomo-Velázquez, H., & Vargas-Masís, R. (2020). Environmental noise in urban and periurban green areas of a micro basin in Heredia, Costa Rica. *UNED Research Journal*, 12(2), e2846. <https://doi.org/10.22458/urj.v12i2.2846>
- Amorim-Maia, A. T., Anguelovski, I., Chu, E., & Connolly, J. (2022). Intersectional climate justice: A conceptual pathway for bridging adaptation planning, transformative action, and social equity. *Urban Climate*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.101053>
- Amorim-Maia, A. T., Anguelovski, I., Connolly, J., & Chu, E. (2023). Seeking refuge? The potential of urban climate shelters to address intersecting vulnerabilities. *Landscape and Urban Planning*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104836>

- Angeoletto, F., Essy, C., Ruiz-Sanz, J. P., Silva, F. F. D., Albertin, R. M., & Santos, J. W. M. C. (2015). Ecología Urbana: La Ciencia Interdisciplinaria del Planeta Ciudad. *DQuestão*, 13(32), 6-20. <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2015.32.6-20>
- Aragón-Durand, F. (2014). *Inundaciones en zonas urbanas de cuencas en América Latina. Soluciones prácticas*.
- Aravena, J. E., & Dussailant, A. (2009). Storm-water infiltration and focused recharge modeling with finite-volume two-dimensional Richards Equation: Application to an experimental rain garden. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000111](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000111)
- Araya, C. (2016). Evaluación del Estado Socioeconómico del Cantón de San Ramón: Una Aplicación del Método HJ-Biplot. *Revista Pensamiento Actual*, 15(24), 73-81.
- Ayala, E. (2017). La ciudad como espacio habitado y fuente de socialización. *Ánfora*, 24(42), 189-216.
- Babbie, E. R. (2021). *The practice of social research* (15th ed.). Cengage Learning.
- Babí Almenar, J., Elliot, T., Rugani, B., Philippe, B., Navarrete Gutierrez, T., Sonnemann, G., & Geneletti, D. (2021). Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land Use Policy*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104898>
- Bai, W., Takao, Y., & Kubo, T. (2021). First evaluation of genotoxicity of strong bases and zwitterions in treated household effluents. *Journal of Hazardous Materials*, 416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126053>
- Balian, E., Eggermont, H., & Le Roux, X. (2014). Outcomes of the strategic foresight workshop. BiodivERsA Strategic Foresight workshop, Nature-based solutions in a BiodivERsA context. *BiodivERsA*. <http://www.biodiversa.org/687/download>
- Ballester, F., & Padilla, C. (2022). Establecimiento y manejo de árboles en la ciudad. *Ambientico*, 284, 24-29.

- Ballinas, M. (2014). Áreas verdes en el diseño de viviendas sustentables: una mirada desde la calidad de vida urbana. En R. González (Ed.), *Estudios ambientales y riesgos naturales*. Jaguar.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2019). *Promover Ciudades Sostenibles: Perspectivas Regionales*. BID.
- Barrantes, O. (2020). *Análisis del efecto del cambio de la cobertura de la tierra en el fenómeno de Isla de Calor Urbano (ICU) en la ciudad de Heredia, Costa Rica* [Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica]. Repositorio Kérwá. <https://hdl.handle.net/10669/82280>
- Barrera, A., Bolay, J. C., García, C., & Hostettler, S. (con apoyo de Gerritsen, P., Mejía, R., Ortiz, C., Sánchez, M., Pedrazzini, Y., Poschet, L., & Rabinovich, A.) (2004). JACS Central America and the Caribbean. Key challenges of sustainable development and research priorities: Social practices as driving forces of change. En H. Hurni, U. Wiesman, & R. Schertenleib (Eds.), *Research for Mitigating Syndromes of Global Change. A Transdisciplinary Appraisal of Selected Regions of the World to Prepare Development Oriented Research Partnerships. Vol. 1* (pp. 293-328). Geographica Bernensia / Perspectives of the Swiss National Centre of Competence in Research North-South / Universidad de Berna.
- Barrientos, E., Guido, I., & Moya, M. (2020). Dinámica de la cobertura urbana de la ciudad de San Ramón, Alajuela, 1991-2018. *Pensamiento Actual*, 20(35), 43-54. <https://doi.org/10.15517/PA.V20I35.44238>
- Barroso, R. A., & Neto, O. (2024). Da varanda ao telhado: como a agricultura urbana está transformando espaços urbanos. *Revista Multidisciplinar Do Nordeste Mineiro*, 1(1). <https://doi.org/10.61164/rnm.v1i1.2090>
- Barton, H., & Grant, M. (2006). A health map for the local human habitat. *The Journal for the Royal Society for the Promotion of Health*, 126(6), 252–253.

- Basu, T., Das, A., Pham, Q. B., Al-Ansari, N., Linh, N. T. T., & Lagerwall, G. (2021). Development of an integrated peri-urban wetland degradation assessment approach for the Chatra Wetland in eastern India. *Scientific Reports*, *11*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83512-6>
- Beatley, T. (2011). *Biophilic cities: Integrating nature into urban design and planning*. Island Press.
- Bedoya, L., & Trespalacio, A. (2022). Manejo de residuos en edificios residenciales. *Revista Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, *9*(2), 27-36. <https://doi.org/10.26495/icti.v9i2.2259>
- Bento, S. C., Conti, D. de M., Baptista, R. M., & Ghobril, C. N. (2018). As novas diretrizes e a importância do planejamento urbano para o desenvolvimento de cidades sustentáveis. *Revista De Gestão Ambiental E Sustentabilidade*, *7*(3), 469–488. <https://doi.org/10.5585/geas.v7i3.1342>
- Berardi, U., Ghaffarianhoseini, A. H., & Ghaffarianhoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, *115*, 411–428. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>
- Berrezueta, J., Berrú, J., Oyola, E., & Zambrano, W. (2018). Metodología para la elaboración de mapas de ruido urbano en la ciudad de Machala. En *Conference Proceedings*, *2*(2), 157-165. <http://investigacion.utmachala.edu.ec/proceedings/index.php/utmach/index>
- Biazoti, A., de Souza, V., Junqueira, R., & Mauad, T. (2021). Agricultura urbana no município de São Paulo: considerações sobre produção e comercialização. *Estudos Avançados*, *35*(101), 189-207.
- Bostanci, B. (2018). Accuracy assessment of noise mapping on the main street. *Arabian Journal of Geosciences*, *11*(1), 4. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3343-z>
- Bounoua, L., Zhang, P., Mostovoy, G., Thome, K., Masek, J., Imhoff, M., Shepherd, M., Quattrochi, D., Santanello, J., Silva, J., Wolfe, R., & Toure, A. M. (2015). Impact of

- urbanization on US surface climate. *Environmental Research Letters*, 10(8).
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/084010>
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>
- Boyd, R. S., Davis, M. A., & Balkwill, K. (2008). Elemental patterns in Ni hyperaccumulating and non-hyperaccumulating ultramafic soil populations of *Senecio coronatus*. *South African Journal of Botany*, 74, 158-162.
- Braat, L., & De Groot, R. (2012). The ecosystem services agenda: Bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, 1(1), 4-15.
- Bravo, M. (2004). Integrando la transportación con la naturaleza: Plan para desarrollar una red de parques lineales. *AIDIS - Forjando el Ambiente que Compartimos*.
<https://n9.cl/ktbjm>
- Breuste, J. (2023). The Green City: General Concept. En J. Breuste, M. Artmann, C. Ioja, & S. Qureshi (Eds.), *Making Green Cities: Concepts, Challenges and Practice*. Springer International.
- Breuste, J., Schnellinger, J., Qureshi, S., & Faggi, A. (2013). Urban ecosystem services on the local level: Urban green spaces as providers. *Ekologia Bratislava*, 32(2), 290-304.
<https://doi.org/10.2478/eko-2013-0026>
- Burek, P., Mubareka, S., Rojas, R., De Roo, A., Bianchi, A., Baranzelli, C., Lavalle, C., & Vandecasteele, I. (2012). *Evaluation of the Effectiveness of Natural Water Retention Measures*. JRC Scientific and Policy Reports.
https://ec.europa.eu/environment/water/blueprint/pdf/EUR25551EN_JRC_Blueprint_NWRM.pdf

- Caballero, C., Alfaro, M., Hipólito, E., & Torres, L. (2023). Importancia de los edificios inteligentes para el medio ambiente. *Revista Digital Universitaria*, 24(1). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2023.24.1.3>
- Caird, S., Hudson, L., & Kortuem, G. (2016). *A tale of evaluation and reporting in UK smart cities*. The Open University. <http://oro.open.ac.uk/46008/>
- Çakir, G., Sivrikaya, F., & Keleş, S. (2007). Forest cover change and fragmentation using Landsat data in Maçka State Forest Enterprise in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 137, 51–66. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9732-9>
- Calaza-Martínez, P. (2018). Urbanismo + ecología: ¿binomio biofílico? Estrategias y movimientos internacionales para la planificación de ciudades biofílicas. *Arquitekturax*, 1(1), 133-149. <https://doi.org/10.29097/26191709.206>
- Calderón-Peñañiel, J. C. (2024). Diseño de tabiques modulares sostenibles con bloques de tierra comprimida para espacios interiores. *Diseño Arte y Arquitectura*, 16, 111–147. <https://doi.org/10.33324/daya.vi16.770>
- Campbell-Arvai, V. (2018). Engaging urban nature: Improving our understanding of public perceptions of the role of biodiversity in cities. *Urban Ecosystems*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0821-3>
- Campo, D. (2016). A new postindustrial nature: Remembering the wild waterfront of Hunters Point. *Street Notes*, 25. <https://doi.org/10.5070/S5251030458>
- Candanedo, M., & Villarreal, D. (2020). Efecto de las islas de calor urbano en las principales vías de la Ciudad de Panamá. *Revista de I+D Tecnológico*, 16(2), 25-36.
- Canul-Turriza, R., Aké-Turriza, K., May-Tzuc, O., & Jiménez-Torres, M. (2024). Análisis espacio temporal de islas de calor aplicado en la ciudad costera de San Francisco de Campeche, México. *Revista Urbano*, 49, 8-23.
- Caprotti, F. (2018). Future cities: Moving from technical to human needs. *Palgrave Communications*, 4(1), 1–4. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0089-5>

- Caprotti, F., Springer, C., & Harmer, N. (2015). 'Eco' for whom? Envisioning eco-urbanism in the Sino-Singapore Tianjin Eco-city, China. *International Journal of Urban and Regional Research*, 39(3), 495–517. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12233>
- Carabias, J., Meave, J., Valverde, T., & Cano-Santana, Z. (2009). *Ecología y medio ambiente en el siglo XXI*. Pearson Educación.
- Carmioli, V. (2010). Bambú Guadua en puentes peatonales. *Tecnología en Marcha*, 23(1), 29-38.
- Cartín, M. (2020). Anfibios y reptiles de un humedal periurbano: El Estero, San Ramón, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 20 (35). <https://doi.org/10.15517/pa.v20i35.44234>
- Castellanos, G. (2018). *Metodología de estudio de la viabilidad de implementación de SUDS en centros comerciales mediante el uso de análisis de decisión multicriterio y SIG, caso de estudio Bogotá* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes]. Bogotá.
- Castro, S., & Guido, F. (2000). De pueblo a ciudad en los albores del siglo XXI: El caso de San Ramón. *Cuadernos de Antropología*, 12, 123-134.
- Castro, S., & Guido, F. (2001). Urbanización fuera del área metropolitana en Costa Rica: Aspectos generales y estudio de caso. *Pensamiento Actual*, 2(3), 54-65.
- Celemín, J. P. (2009). Autocorrelación espacial e indicadores locales de asociación espacial: Importancia, estructura y aplicación. *Revista Universitaria de Geografía*, 18(1), 11-31. Recuperado el 16 de diciembre de 2022 de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-42652009000100002&lng=es&tlng=es
- Céspedes, T. (2007). *Evaluación de los servicios ecosistémicos prestados por los árboles al campus de la Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia*. https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=3874

- Chapin, F. S. III., Carpenter, S. R., & Kofinas, G. P. (2009). Ecosystem stewardship: Sustainability strategies for a rapidly changing planet. *Trends in Ecology and Evolution*, *25*(4), 241-249.
- Chaux Álvarez, L. M., & Acevedo Buitrago, B. (2019). Evaluación de ruido ambiental en alrededores a centros médicos de la localidad Barrios Unidos, Bogotá. *Revista Científica*, *35*, 234-246. <https://doi.org/10.14483/23448350.13983>
- Choudhary, R., Prajapati, A., & Gupta, H. (2024). Soil health assessment and degradation: Strategies for restoring soil health. En A. Rajput, V. Pandey, S. Kapoor, & A. Prajapati (Eds.), *Fundamentals of soil science* (Vol. 2). Golden Leaf Publishers.
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (Eds.). (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/46191>
- Comar, C., Gasperoni, F., & Dewar, R. (2003). *Benefits and misunderstandings of free software in the European space industry*. Cambridge: Harvard University.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2001). *La congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales*. Naciones Unidas.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2005). *Administración del agua en América Latina: Situación actual y perspectivas*. Naciones Unidas.
- Conde, M., Perelman, S., & Cerezo, A. (2009). Efecto de diferentes métodos de clasificación de imágenes satelitales sobre índices de paisaje. *Revista de Teledetección*, *32*, 5-13.
- Congalton, G. R. (1991). A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, *37*, 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Connop, S., Vandergert, P., Eisenberg, B., Collier, M. J., Nash, C., Clough, J., & Newport, D. (2016). Renaturing cities using a regionally-focused biodiversity-led

- multifunctional benefits approach to urban green infrastructure. *Environmental Science & Policy*, 62, 99-111.
- Córdova-Bojórquez, G. (2023). Acción comunitaria y agricultura urbana en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 33(62). <https://doi.org/10.24836/es.v33i62.1377>
- Córdova, K. (2011). Impacto de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. *Terra. Nueva Etapa*, 27(42).
- Corrales, L. (2019). La función de la conectividad y la infraestructura verde urbana en la adaptación al cambio climático. *Ambientico*, 272, 74-82.
- Corrales, L., & Fung, E. (2017). *Diseño de un sistema de monitoreo de los co-beneficios generados por la iniciativa REDD+ MbA de El Salvador*. CATIE.
- Croeser, T., Garrard, G., Sharma, R., Ossola, A., & Bekessy, S. (2021). Choosing the right nature-based solutions to meet diverse urban challenges. *Urban Forestry & Urban Greening*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127337>
- Dabrowska-Zielinska, K., Budzynska, M., Tomaszewska, M., Bartold, M., Gatkowska, M., Malek, I., Turlej, K., & Napiorkowska, M. (2014). Monitoring wetlands ecosystems using ALOS PALSAR (L-band, HV) supplemented by optical data: A case study of Biebrza Wetlands in northeast Poland. *Remote Sensing*, 6(2), 1605–1633. <https://doi.org/10.3390/rs6021605>
- Dangulla, M., Abd Manaf, L., Ramli, M. F., & Yacob, M. R. (2020). Urban tree composition, diversity, and structural characteristics in north-western Nigeria. *Urban Forestry & Urban Greening*, 48, 126512.
- Darrah, S. E., Shennan-Farpón, Y., Loh, J., Davidson, N. C., Finlayson, C. M., Gardner, R. C., & Walpole, M. J. (2019). Improvements to the Wetland Extent Trends (WET) index as a tool for monitoring natural and human-made wetlands. *Ecological Indicators*, 99, 294–298. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.12.032>

- Decreto Ejecutivo 42742-MINAE. (2021). [Ministerio de Ambiente y Energía]. Creación y regulación de la categoría de manejo denominada Parques Naturales Urbanos (PANU), y de un Programa Nacional para su promoción e implementación. *Diario Oficial La Gaceta*, n.º 53, 17 de marzo del 2021.
- De Groot, R., Wilson, M. A., & Bowmans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description, and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41, 393-408.
- De Miguel, C., & Tavares, M. (Eds.). (2015). *El desafío de la sostenibilidad ambiental en América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612.
- Demuzere, M., Orru, K., Heidrich, O., Olazabal, E., Geneletti, D., Orru, H., Faehnle, M. (2014). Mitigating and adapting to climate change: Multi-functional and multi-scale assessment of green urban infrastructure. *Journal of Environmental Management*, 146, 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.025>. European Environment Agency. (2024). EEA greenhous
- Department of the Environment, Food and Rural Affairs (Defra). (2007). *Securing a healthy natural environment: An action plan for embedding an ecosystems approach*. Department of the Environment, Food and Rural Affairs.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2021). *Proyecto Biodiver_ City San José*. <https://biocorredores.org/biodiver-city-sanjose/>
- De Vries, S., Verheij, R. A., Groenewegen, P. P., & Spreeuwenberg, P. (2003). Natural environments - healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health. *Environment and Planning A*, 35(10), 1717–1731.
- Díaz, S. E. (2009). *Desarrollo sustentable, oportunidad para la vida*. McGraw Hill.

- Domene, S. M. Á., Sawaya, A. L., Mauad, T., do Carmo Pinho Franco, M., de Albuquerque, M. P., Wanderley, M. B., Pereira, C. M., Kazze, M. C., & Peliano, A. M. M. (2023). Alimentação saudável, agricultura urbana e familiar. *Estudos Avançados*, *37*(109), 207–225. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2023.37109.013>
- Duque, D., Dávalos, E., Guevara, A., & Ochoa, P. (2019). La importancia del diagnóstico y línea base en la formulación de proyectos socio-productivos. *Espacios*, *40*(40).
- Dussaillant, A., Wu, C., & Potter, K. (2004). Richard's equation model of a rain garden. *Journal of Hydrologic Engineering*, *9*(3), 219–225.
- Eggermont, H., Balian, E., Azevedo, J., Beumer, V., Brodin, T., Claudet, J., Fady, B., Grube, M., Keune, H., Lamarque, P., Reuter, K., Smitt, M., Van Ham, C., Weisser, W. W., & Le Roux, X. (2015). Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe. *GAIA Ecological Perspectives*, *24*(4), 243–248.
- El Menshawy, A. S., Mohamed, A. F., & Fathy, N. M. (2022). A comparative study on green wall construction systems: Case study of South Valley Campus of AASTMT. *Case Studies in Construction Materials*, *16*, e00808. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00808>
- Endreny, T., Santagata, R., Perna, A., De Stefano, C., Rallo, R. F., & Ulgiati, S. (2017). Implementing and managing urban forests: A much-needed conservation strategy to increase ecosystem services and urban well-being. *Ecological Modelling*, *360*, 328–335. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.016>
- Environment Canada. (2013). *How much habitat is enough?* Environment Canada.
- Equere, V., Mirzaei, P. A., & Riffat, S. (2020). Definition of a new morphological parameter to improve prediction of urban heat island. *Sustainable Cities and Society*, *56*, 102021. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102021>
- Escalante-Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (bio-

- carbón) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- Fan, C., Johnston, M., Darling, L., Scott, L., & Liao, F. H. (2019). Land use and socio-economic determinants of urban forest structure and diversity. *Landscape and Urban Planning*, 181, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.09.012>
- Fan, L., Wang, J., Han, D., Gao, J., & Yao, Y. (2022). Research on promoting carbon sequestration of urban green space distribution characteristics and planting design models in Xi'an. *Sustainability*, 15(1), 572. <https://doi.org/10.3390/su15010572>
- FAO. (2017). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Aprovechar los sistemas alimentarios para lograr una transformación rural inclusiva*. FAO. <http://www.fao.org/3/a-I7658s.pdf>
- Fernández-Cañero, R., Pérez, N., Quevedo, S., Pérez, L., & Franco, A. (2008). Ajardinamiento de fachadas y jardines verticales: Otras formas de jardinería aplicadas a un desarrollo urbano más sostenible. En M. J. Sainz & C. Salinero (Eds.), *Actas de horticultura* (nº 52, pp. 231-236). Pontevedra: Sociedad Española de Ciencias Hortícolas.
- Fernández-Garza, A., & Hernández-Vega, H. (2019). Estudio de la movilidad peatonal en un centro urbano: Un caso en Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*, 62, 244-277. <https://doi.org/10.15359/rgac.62-1.10>
- Fernández, M., Vargas, M., & Allamand, N. (2022). Arbolado urbano: Desafíos y propuestas para la región metropolitana. Enel Distribution.
- Figuroa-Arango, C. (2020). *Guía para la integración de las soluciones basadas en la naturaleza en la planificación urbana: Primera aproximación para Colombia*. Alexander von Humboldt Stiftung, Ecologic Institute, Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Foladori, G., & Tommasino, H. (2000). *El concepto de desarrollo sustentable, 30 años después*. Editora da UFPR.

- Foro de Ministros y Autoridades Máximas de la Vivienda y el Urbanismo de América Latina y el Caribe (MINURVI). (2016). *Desafíos, dilemas y compromisos de una agenda urbana común*. CEPAL.
- Frantzeskaki, N., & Kabisch, N. (2016). Designing a knowledge co-production operating space for urban environmental governance-Lessons from Rotterdam, Netherlands and Berlin, Germany. *Environmental Science & Policy*, 62, 90-98.
- Frantzeskaki, N., & McPhearson, T. (2022). Transformative climate adaptation in cities: The potential of nature-based solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 55, 101168. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101168>
- Frenkel, A., & Ashkenazi, M. (2008). Measuring urban sprawl: How can we deal with it? *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(1), 56-79.
- Frutos, P. D., & Esteban, S. (2009). Estimación de los beneficios generados por los parques y jardines urbanos a través del método de valoración contingente. *Urban Public Economics Review*, 10, 13-51.
- Fujii, S., Cha, H., Kagi, N., Miyamura, H., & Kim, Y. S. (2005). Effects on air pollutant removal by plant absorption and adsorption. *Building and Environment*, 40(1), 105-112.
- Galindo-Díaz, J., Escorcía-Oyola, O., & González-Calderón, A. J. (2023). El Centro Interamericano de Vivienda - CINVA y los orígenes de la experimentación con bloques de tierra comprimida (BTC) en la vivienda social (1953-1957). *Informes de la Construcción*, 75(570), e503. <https://doi.org/10.3989/ic.6183>
- García-Albarado, J. C., Rosas-López, F., & Bautista-Hernández, L. (2022). Oasis de las flores: Un jardín urbano para polinizadores. *Agro-Divulgación*, 2(6). <https://doi.org/10.54767/ad.v2i6.120>
- García, C., & García, M. (2023). Trazando la naturaleza para las ciudades: Planeamiento y gestión del verde urbano como aliados en la sostenibilidad. *Revista Latinoamericana de Ambiente Construido y Sustentabilidad*, 4(17), 40-50.

- García, L. (2007). Aplicación de sistemas de drenaje urbano sostenible en el desarrollo urbanístico de Paterna (Valencia). http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds_altarejos.pdf
- García-López, D., Vázquez-Durán, E., Aceves-Domínguez, K., Amador-Castilla, G., & López-Cabrera, Y. (2023). Comparación de tres técnicas de compostaje para el manejo de residuos orgánicos. *Avance Tecnológico*, 16(31).
- Garzón, L. E. (2014). IEIASCA: Cuidar la vida. Transferencia de tecnologías con tierra: Una obra contemporánea de arquitectura sostenible. En M. Castellanos (Comp.), *14 Seminario Iberoamericano de Arquitectura y Construcción con Tierra* (pp. 110-115). San Salvador: SIACOT.
- Gately, C. K., Hutyra, L. R., Peterson, S., & Wing, I. S. (2017). Urban emissions hotspots: Quantifying vehicle congestion and air pollution using mobile phone GPS data. *Environmental Pollution*, 229, 496-504. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.010>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting cities for climate change: The role of green infrastructure. *Built Environment*, 33, 115-133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Glaeser, E., & Joshi-Ghani, A. (2014). *The urban imperative: Toward shared prosperity*. Policy Research Working Paper 687. The World Bank.
- Gligo, N., Barkin, D., Brzovic, F., Durán, H., Gallopín, G., Marino de Botero, M., Ortiz-Monasterio, F., Pengue, W., Rofman, A., Sejenovich, H., Villamil, J., Alonso, G., Brailovsky, A., Carrizosa, J., Fernández, P., Leal, J., Morales, C., Panario, D., Saa, R., & Sunkel, O. (2020). *La tragedia ambiental de América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Gobierno de Costa Rica. (2020). *Contribución nacionalmente determinada*. <https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Costa%20Rica%20F>

irst/Contribucio%CC%81n%20Nacionalmente%20Determinada%20de%20Costa%
20Rica%202020%20-%20Versio%CC%81n%20Completa.pdf

- Gómez-Rangel, M., & Ballinas-Aquino, M. L. (2022). Percepción de servicios ecosistémicos de parques urbanos en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 11(30). <https://doi.org/10.31644/IMASD.30.2022.a07>
- Gómez, X. (2017). Los co-beneficios como base para la integración de las agendas de mitigación, adaptación y desarrollo: Memoria del Taller de Expertos 2017 y estudios de caso de Colombia, Chile y Cuba. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- González-Hernández, L., Romo-Lozano, J. L., Cristóbal-Acevedo, D., Martínez Damian, M. Á., & Mohedano Caballero, L. (2023). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de cuatro sistemas forestales periurbanos a través de i-Tree Eco. *Madera y Bosques*, 29(3), e2932588.
- González, M., & Barrantes, T. (2018). Especies arbóreas identificadas en el Bosque Demostrativo de la Sede de Occidente, San Ramón, Alajuela, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 18(30), 78-124.
- Goonewardena, J., Ashraf, M., Reiner, J., Kafle, B., & Subhani, M. (2022). Constitutive material model for the compressive behaviour of engineered bamboo. *Buildings*, 12(9), 1490. <https://doi.org/10.3390/buildings12091490>
- Gordziejczuk, M., & Lucero, P. (2019). Turismo y calidad de vida: Un estudio de autocorrelación espacial aplicado a la ciudad de Mar del Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 28(1), 23-42. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n1.67275>
- Grant, M., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26, 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>

- Guido, I., & Rodríguez, C. (2009). Avifauna del bosque municipal José Figueres Ferrer, San Ramón, Alajuela, Costa Rica (Noviembre 2006 a mayo 2009). *Zeledonia*, 13(1), 20-27.
- Guido, I., & Rodríguez, C. (2011). Avifauna de la ciudad de San Ramón, Alajuela, Costa Rica y su área de expansión urbana. *Brenesia*, 75-76, 23-36.
- Gutiérrez, M. (2021). Los espacios verdes como determinantes de la salud en la población del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar, Gran Área Metropolitana de Costa Rica. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/176000>
- Gutiérrez, M., & Miranda, M. (2022). El espacio verde como determinante de la salud en la ciudad. *Ambientico*, 284, 46-58.
- Guo, A., Yang, J., Xiao, X., Xia, J., Jin, C., & Li, X. (2020). Influences of urban spatial form on urban heat island effects at the community level in China. *Sustainable Cities and Society*, 53, 101972. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101972>
- Hack, J. (2021). Soluciones basadas en la naturaleza para la restauración de ríos en áreas metropolitanas: El proyecto Visión Urbana del Agua en la cuenca Quebrada Seca-Río Burío, Costa Rica. *Ambientico*, 280, 42-49.
- Hamui-Sutton, A., & Varela-Ruiz, M. (2013). La técnica de grupos focales. *Investigación en Educación Médica*, 2(5), 55-60.
- Hasselbach, M. L., Valavala, S., & Montes, F. (2006). Permeability predictions for sand-clogged Portland cement pervious concrete pavement systems. *Journal of Environmental Management*, 81, 42-49.
- Harrison, P. A., Vandewalle, M., Sykes, M. T., Berry, P. M., Bugter, R., de Bello, F., Feld, C., Grandin, U., Harrington, R., Haslett, J., Jongman, R., Luck, G., da Silva, P., Moora, M., Settele, J., Sousa, P., & Zobel, M. (2010). Identifying and prioritising services in European terrestrial and freshwater ecosystems. *Biodiversity and Conservation*, 19(10), 2791–2821. <https://doi.org/10.1007/s10531-010-9789-x>

- Hartig, T., Mitchell, R., de Vries, S., & Frumkin, H. (2014). Nature and health. *Annual Review of Public Health, 35*, 207-228. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-032013-182443>
- He, B. J. (2018). Potentials of meteorological characteristics and synoptic conditions to mitigate urban heat island effects. *Urban Climate, 24*, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2018.01.004>
- Helgenberger, S., Jänicke, M., & Gürtler, K. (2019). Co-benefits of climate change mitigation. In W. Leal Filho, A. Azul, L. Brandli, P. Özuyar, & T. Wall (Eds.), *Encyclopedia of the UN–Sustainable Development Goals* (pp. 103-117). Springer.
- Hernández, C. O., & Maida, C. O. (2015). Sistema de drenaje urbano sostenible. *Revista Tecnociencia Universitaria Bolivia, 13*, 3-13.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.^a ed.). McGraw-Hill Education.
- Herrán-Cuartas, C. (2012). Los parques lineales como nueva modalidad de espacio público inclusivo en la ciudad de Medellín. *Sistemas & Telemática, 10(22)*, 159-166.
- Hladnik, D., & Nastran, M. (2023). Landscape structure and fragmentation: Key factors in the characterisation of urban and peri-urban forests in Slovenia. *Land, 12*, 1968. <https://doi.org/10.3390/land12111968>
- Hong, W., & Guo, R. (2017). Indicators for quantitative evaluation of the social services function of urban greenbelt systems: A case study of Shenzhen, China. *Ecological Indicators, 75*, 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.029>
- Hurni, H., Wiesmann, U., & Schertenleib, R. (Eds.). (2004). *Research for mitigating syndromes of global change: A transdisciplinary appraisal of selected regions of the world to prepare development-oriented research partnerships*. Perspectives of the Swiss National Centre of Competence in Research (NCCR) North-South, University of Berne.

- IASS. (2017). Mobilizing the co-benefits of climate change mitigation: Connecting opportunities with interests in the new energy world of renewables. *IASS Working Paper*. https://www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/iass_working_paper_co_benefits.pdf
- IASS. (2020). *Co-beneficios: Contribución de la transición energética para el desarrollo sostenible en México*. GIZ México.
- Igalavithana, A., Lee, S., Niazi, N., Lee, Y.-H., Kim, K., Park, J.-H., Moon, D., & Ok, Y. (2017). Assessment of soil health in urban agriculture: Soil enzymes and microbial properties. *Sustainability*, 9, 310. <https://doi.org/10.3390/su9020310>
- Ilce, A. C., Budakci, M., Ozdemir, S., & Akkus, M. (2015). Analysis of usability in furniture production of wood plastic laminated board. *Bioresources*, 10(3), 4300-4314. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.4300-4314>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2011a). *Costa Rica: Indicadores demográficos y sociales según provincia, cantón y distrito, Censo 2011*. Recuperado de: <https://www.inec.cr/censos/censos-2011>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2011b). *Costa Rica: Indicadores económicos según cantón, Censo 2011*. Recuperado de: <https://www.inec.cr/censos/censos-2011>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2020). *Indicadores de seguimiento ODS 2019: Tomo II*. INEC.
- Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (Ed.). (2019). *Guía para la selección de materiales de construcción sostenible*. INTRMAC. <http://www.degren.eu/wp-content/uploads/2020/05/DEGREN-SMCS.pdf>
- Ishimatsu, K., Ito, K., Mitani, Y., Tanaka, Y., Sugahara, T., & Naka, Y. (2016). Use of rain gardens for stormwater management in urban design and planning. *Landscape and Ecological Engineering*, 13(1), 205–212. <https://doi.org/10.1007/s11355-016-0309-3>

- Jackson, D. L. (2002). *The farm as natural habitat: Reconnecting food systems with ecosystems*. Island Press.
- Jaeger, J. A. G., Soukup, T., Madrinan, L., Schwick, C., & Kienast, F. (2011). *Landscape fragmentation in Europe*. EEA Report No. 2/2011. Publications Office of the European Union.
- James, N. (2023). Urbanization and Its Impact on Environmental Sustainability. *Journal of Applied Geographical Studies*, 3(1), 54–66.
- Jenerette, G. D., Clarje, L. W., Avolio, M. L., Pataki, D. E., Gillespie, T. W., Pincetl, S., Nowak, D. J., Hutrya, L. R., McHale, M., McFadden, J. P., & Alonzo, M. (2016). Climate tolerances and trait choices shape continental patterns of urban tree biodiversity. *Global Ecology and Biogeography*, 25(11), 1249–1260. <https://doi.org/10.1111/geb.1249>
- Jha, A., Lamond, J., Proverbs, D., Bhattacharya-Mis, N., & Barker, R. (2012). *Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management for the 21st century*. World Bank Publications.
- Jim, C. Y., & Tsang, S. W. (2011). Ecological energetics of tropical intensive green roof. *Energy and Buildings*, 43(10), 2696-2704. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.06.023>
- Jin, S., Zhang, E., Guo, H., Hu, C., Zhang, Y., & Yan, D. (2023). Comprehensive evaluation of carbon sequestration potential of landscape tree species and its influencing factors analysis: Implications for urban green space management. *Carbon Balance and Management*, 18, 17. <https://doi.org/10.1186/s13021-023-00238-w>
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., Haase, D., Knapp, S., Korn, H., Stadler, J., Zaunberger, K., & Bonn, A. (2016a). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: Perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 21(2), 39. <https://doi.org/10.5751/ES-08373-210239>

- Kabisch, N., Korn, H., Stadler, J., & Bonn, A. (Eds.). (2016b). *Nature-based solutions to climate change adaptation in urban areas: Linkages between science, policy and practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56091-5>
- Karimi, K., Farrokhzad, M., Roshan, G., & Aghdasi, M. (2022). Evaluation of effects of a green wall as a sustainable approach on reducing energy use in temperate and humid areas. *Energy and Buildings*, 262, 112014. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112014>
- Karis, C., & Ferraro, R. (2017). Identificación de la infraestructura verde y azul en la ciudad de Mar del Plata. *Revista I + A, Facultad de Arquitectura Urbanismo y Diseño*, 20(19), 187-206.
- Kendal, D., Dobbs, C., & Lohr, V. I. (2014). Global patterns of diversity in the urban forest: Is there evidence to support the 10/20/30 rule? *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(3), 411-417. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.05.003>
- Keniger, L. E., Gaston, K. J., Irvine, K. N., & Fuller, R. A. (2013). What are the benefits of interacting with nature? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(3), 913-935. <https://doi.org/10.3390/ijerph10030913>
- Kim, J., Kang, Y., Kim, D., Son, S., & Kim, E. J. (2024). Carbon storage and sequestration analysis by urban park grid using i-Tree Eco and drone-based modeling. *Forests*, 15. <https://doi.org/10.3390/f15040683>
- Kim, K. H., Kabir, E., & Jahan, S. A. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of The Total Environment*, 575, 525-535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.098>
- Kim, S. W., & Brown, R. D. (2021). Urban heat island (UHI) intensity and magnitude estimations: A systematic literature review. *Science of The Total Environment*, 779, 146389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146389>
- Kingsley, J., Egerer, M., Nuttman, S., Keniger, L., Pettitt, P., Frantzeskaki, N., Gray, T., Ossola, A., Lin, B., Bailey, A., Tracey, D., Barron, S., & Marsh, P. (2021). Urban

- agriculture as a nature-based solution to address socio-ecological challenges in Australian cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 60, 127059. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127059>
- Kitzinger, J. (1995). Qualitative research: Introducing focus groups. *The BMJ*, 311, 299–302. <https://doi.org/10.1136/bmj.311.7000.299>
- Kolokotsa, D., Lilli, A., Lilli, M. A., & Nikolaidis, N. P. (2020). On the impact of nature-based solutions on citizens' health & well-being. In *Energy and Buildings* (Vol. 229, pp. 110527). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110527>
- Laforteza, R., Chen, J., van den Bosch, C. K., & Randrup, T. B. (2018). Nature-based solutions for resilient landscapes and cities. *Environmental Research*, 165, 431–441. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.11.038>
- Laforteza, R., & Sanesi, G. (2019). Nature-based solutions: Settling the issue of sustainable urbanization. *Environmental Research*, 172, 394–398. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.063>
- Lal, R. (2009). Soil degradation as a reason for inadequate human nutrition. *Food Security*, 1(1), 45–57. <https://doi.org/10.1007/s12571-009-0005-9>
- Lanbim, E. F., & Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3465–3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1013483008>
- Le Blanc, D. (2015). *Towards integration at last? The sustainable development goals as a network of targets*. *Sustainable Development*, 23(3), 176–187. <https://doi.org/10.1002/sd.1582>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (Eds.). (2015). *Biochar for environmental management: Science, technology, and implementation*. Earthscan.
- Lekuona-Orkaizagirre, A., Meaurio, M., Gredilla, A., Madrazo-Uribeetxebarria, E., Carrero, J. A., & Garmendia-Antín, M. (2024). Evaluation of the content of metals and

- metalloids in permeable pavements and their surroundings. *Ingeniería del Agua*, 28(2), 82–92. <https://doi.org/10.4995/Ia.2024.21068>
- Li, J., Wai, O. W. H., Li, Y. S., Zhan, J., Ho, A., Li, J., & Lam, E. (2010). Effect of green roof on ambient CO₂ concentration. *Building and Environment*, 45(12), 2644–2651. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.05.020>
- Li, Q. (2010). Effect of forest bathing trips on human immune function. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15(1), 9–17. <https://doi.org/10.1007/s12199-009-0152-8>
- Liang, Z., Huang, J., Wang, Y., Wei, F., Wu, S., Jiang, H., Zhang, X., & Li, S. (2021). The mediating effect of air pollution in the impacts of urban form on nighttime urban heat island intensity. *Sustainable Cities and Society*, 74. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102985>
- Liquete, C., Udias, A., Conte, G., Grizzetti, B., & Masi, F. (2016). Integrated valuation of a nature-based solution for water pollution control: Highlighting hidden benefits. *Ecosystem Services*, 22, 392–401. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.11.005>
- López-González, B., Camacho, A., Martínez-Rodríguez, M., & Marcelino-Aranda, M. (2020). Techos verdes: Una estrategia sustentable. *Tecnología en Marcha*, 33(3), 68–79.
- López Y., F. N., Polanco, C., & Bermúdez, J. C. (2013). Caracterización mecánica estructural para veinte combinaciones de madera laminada encolada. *Colombia Forestal*, 16(2), 138–157.
- Luna, M., & Pérez, M. (2019). Entendiendo el enfoque de adaptación basada en ecosistemas en los NDCs en México y América Central. *Cuadernillo 1, Serie Evidencia. Catálogo de Adaptación basada en Ecosistemas*. UICN. https://www.iucn.org/sites/dev/files/content/documents/serie_4_01_evidencia_entendondcs.pdf

- Luna-Rodríguez, S., & Delgado-Valdez, N. P. (2024). Mobiliario urbano para corredores verdes en Monterrey y su área metropolitana. *Mundo, Arquitectura, Diseño Gráfico y Urbanismo*, 7(13), 1–23. <https://doi.org/10.36800/madgu.v7i11.105>
- Maas, J., Verheij, R. A., de Vries, S., Spreeuwenberg, P., Schellevis, F. G., & Groenewegen, P. P. (2009). Morbidity is related to a green living environment. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 63(12), 967–973. <https://doi.org/10.1136/jech.2008.079105>
- MacLean, M., & Congalton, G. (2015). A comparison of landscape fragmentation analysis programs for identifying possible invasive plant species locations in forest edge. *Landscape Ecology*, 30(7), 1241–1256. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0198-4>
- Maestría en Desarrollo Sostenible. (2000). *Documento de creación de la Maestría en Desarrollo Sostenible*.
- Magdelano, F., Magdelano, G., Monte, J., Aparicio, M., & Sánchez, F. (2021). Las SbN en la gestión del riesgo de inundación y restauración fluvial. *Ambienta*, 127, 32-41.
- Magdelenat, C. (Ed.). (2021). *Soluciones urbanas basadas en la naturaleza: Ciudades que lideran el camino*. Fondo Mundial para la Naturaleza.
- Mahdavi, M., Clouston, P. L., & Arwade, S. R. (2011). Development of laminated bamboo lumber: Review of processing, performance, and economical considerations. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(7), 1036–1042. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000234](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000234)
- Maier, D. (2022). Perspective of using green walls to achieve better energy efficiency levels: A bibliometric review of the literature. *Energy and Buildings*, 264, Article 112070. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112070>
- Majka, D., Jenness, J., & Beier, P. (2007). Corridor Designer: ArcGIS tools for designing and evaluating corridors. Recuperado de <http://corridordesign.org/>

- Maldonado, E., & Aguirre, P. (2024). Calidad de aire y sostenibilidad: Revisión de la contaminación atmosférica por PM2.5 en ciudades de América Latina y Europa. *Working Paper Series Puentes Interdisciplinarios*, 2(6). Bonn: Centro Interdisciplinario de Estudios Latinoamericanos/Interdisziplinäres Lateinamerikazentrum (ILZ), Universidad de Bonn.
- Manoel, A. A., & Andion, C. (2023). Agricultura urbana, inovação social e governança: Um estudo em Florianópolis. *Cadernos Metrópole*, 25, 563-590. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2023-1870>
- Mansilla, E. (2010). Riesgo urbano y políticas públicas en América Latina: La irregularidad y el acceso al suelo. *UNDRR*.
- Marbán Flores, R. (2006). La Agenda 21 impulsora del desarrollo sostenible y de la protección del medio ambiente en Europa y España. *Boletín ICE Económico*. Recuperado el 22 de junio de 2022 de https://www.ecotec.edu.ec/material/material_2016F1_DER492_11_62980.pdf
- Marrero-Coto, J., Amores-Sánchez, I., & Coto-Pérez, O. (2012). Fitorremediación: Una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(3), 52-61.
- Martínez, L., & Herrera, I. (2023). Manual paso a paso para el uso de FRAGSTATS: Un programa de análisis de patrones espaciales. UNAM.
- Martínez-Salvador, L. E., & Alvarado-Ramírez, D. F. (2020). Parques de bolsillo: Un análisis desde la percepción de usuarios en la ciudad de México. *Economía Sociedad y Territorio*, 20(63), 489–511. <https://doi.org/10.22136/est20201585>
- Martínez-Valdés, V., Silva-Rivera, E., & González, E. (2020). Parques urbanos: Un enfoque para su estudio como espacio público. *Intersticios Sociales*, 19(1), 67-86.
- Martínez Z., & Diego-Pérez, N. (2007). *Flora de Guerrero No. 29. Bignoniaceae*. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Maslow, A., Stephen, D., & Gary, H. (1998). *Maslow on management*. John Wiley.
- Meadows, D., Randers, J., y Meadows, D. (2004). *Limits to growth: The 30-year update*. Chelsea Green Publishing.
- Medrano, R. (2020). Ciudades sobrecargadas: La sobreexplotación de recursos como limitante del desarrollo sustentable. *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología*, 29(39), 3–12. <https://doi.org/10.7440/antipoda39.2020.01>
- Mella-Márquez, J., & López-López, A. (2015). Ciudades sostenibles: Análisis y posibles estrategias. *Encuentros Multidisciplinares*, 17(50), 59-68.
- Mendoza, L. (2024). Evaluación crítica del desarrollo sostenible en zonas urbanas de Latinoamérica: Revisión sistemática. *Revista Científica "Visión de Futuro"*, vol. 28, núm. 2, 146-162. DOI: <https://doi.org/10.36995/j.visiondefuturo.2024.28.02.005.es>
- Mengoni, A., Henk, S., & Vangronsveld, J. (2010). Plants as extreme environments? Ni-resistant bacteria and Ni-hyperaccumulators of serpentine flora. *Plant and Soil*, 331, 5-16. <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0257-5>
- Merlotto, A., Piccolo, M., & Bértola, G. (2012). Crecimiento urbano y cambios del uso/cobertura del suelo en las ciudades de Necochea y Que-quén, Buenos Aires, Argentina. *Revista de Geografía Norte Grande*, 53, 159-176. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022012000300010>
- Michael, A., Post, V., Wilson, A., & Werner, A. (2017). Science, society, and the coastal groundwater squeeze: Coastal groundwater squeeze. *Water Resources Research*, 53, 2610–2617. <https://doi.org/10.1002/2017WR020851>
- Millennium Ecosystem Assessment - MEA. (2005). *Ecosystems and human well-being: Biodiversity synthesis*. World Resources Institute.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2016). *Política para la gestión sostenible del suelo*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible-Grupo de Divulgación de Conocimiento y Cultura Ambiental.

Ministerio de Ambiente y Energía-Fondo para el Medio Ambiente Mundial-Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo [MINAE-GEF-PNUD]. (2019). Diagnóstico multidimensional del Corredor Biológico Interurbano María Aguilar. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Proyecto Conservando la biodiversidad a través de la gestión sostenible en los paisajes de producción en Costa Rica. <https://www.cr.undp.org/content/costarica/es/home/library/diagnostico-multidimensional-del-corredor-biologico-interurbano-.html>

Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. (2019). *La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible en lenguaje claro*. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la Nación y Naciones Unidas Argentina.

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2018). *Índice de Desarrollo Social 2017*. Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica.

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN). (2023). *Costa Rica: Estadísticas del Índice de Desarrollo Social 2023 por provincia, cantón y distrito*. Recuperado de: <https://www.mideplan.go.cr/indice-desarrollo-social>

Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica (MIDEPLAN) y Secretaría Técnica de los ODS. (2017). *Objetivos del desarrollo sostenible: Indicadores de seguimiento, Costa Rica*. MIDEPLAN.

Miranda, M., Gutiérrez, M., Calderón, E., & Jiménez, K. (2022). El Corredor Biológico Interurbano María Aguilar y el desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza. *Ambientico*, 281, 36-64.

Miyatsuka, A., & Zusman, E. (2010). What are co-benefits? *Institute for Global Environmental Strategies*.

Moffat, A. J., Doick, K. J., & Handley, P. (2017). Petersfield's trees: Their importance and value. *The Petersfield Society*. Recuperado el 4 de julio de 2024 de <https://petersfieldsociety.org.uk/>

- Monash Water for Liveability Centre. (2014). *Vegetation guidelines for stormwater biofilters in the South-west of Western Australia*. Monash University. Recuperado el 8 de julio de 2024 de https://watersensitivecities.org.au/wp-content/uploads/2016/07/381_Biofilter_vegetation_guidelines_for_southwestWA.pdf
- Montero, A. (2014). Una aproximación a los cambios en el paisaje en el Valle Central de Costa Rica (1820-1900). *HALAC*, 2(2), 276-309.
- Mora, C., Spirandelli, D., Franklin, E., Lynham, J., Kantar, M., Miles, W., Smith, C., Freel, K., Moy, J., Louis, L., Barba, E., Bettinger, K., Frazier, A., Colburn IX, J., Hanasaki, N., Hawkins, E., Hirabayashi, Y., Knorr, W., Little, C., Emanuel, K., Sheffield, J., Patz, J., & Hunter, C. (2018). Broad threat to humanity from cumulative climate hazards intensified by greenhouse gas emissions. *Nature Climate Change*, 8, 1062-1071. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0315-6>
- Morales-Cerdas, V., Piedra Castro, L., Romero Vargas, M., & Bermúdez Rojas, T. (2018). Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 66(4), 1421-1435. <https://doi.org/10.15517/rbt.v66i4.32258>
- Mostafavi, M., & Doherty, G. (Eds.). (2010). *Ecological Urbanism*. Lars Müller Publishers, Harvard University Graduate School of Design.
- Moya, M., & Brenes, L. (2014). Oferta de servicios turísticos presente en el cantón de San Ramón, Alajuela, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 14(23), 93-114.
- Municipalidad de Curridabat. (2019). Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del cantón de Curridabat. Curridabat Ciudad Dulce-CATIE.
- Municipalidad de San Ramón. (2022). Amenazas Naturales. Municipalidad de San Ramón. Recuperado el 13 de octubre de 2022 de: <https://sites.google.com/sanramondigital.net/sanramongocr/sanram%C3%B3n/amenazas-naturales>

- Muñoz, M. A. F. (2019). Antecedentes urbanos, infraestructura de esparcimiento y recreación. Parques Lineales. *Labor E Engenho*, 13, e019018. <https://doi.org/10.20396/labore.v13i0.8656735>
- Muñoz-Pacheco, C. B., & Villaseñor, N. R. (2022). Urban ecosystem services in South America: A systematic review. *Sustainability*, 14(17), 10751. <https://doi.org/10.3390/su141710751>
- Muñoz-Quezada, M. T., Lucero, B., Iglesias, V., Muñoz, M. P., Achú, E., Cornejo, C., Concha, C., Grillo, A., & Brito, A. M. (2016). Plaguicidas organofosforados y efecto neuropsicológico y motor en la Región del Maule, Chile. *Gaceta Sanitaria*, 30(3), 227-231.
- Naciones Unidas. (2018). *La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. CEPAL.
- Naeem, S., Ingram, J. C., Varga, A., Agardy, T., Barten, P., Bennett, G., Bloomgarden, E., Bremer, L. L., Burkill, P., Cattau, M., Ching, C., Colby, M., Cook, D. C., Costanza, R., De Clerck, F., Freund, C., Gartner, T., Goldman-Benner, R., Gunderson, J., Jarrett, D., Kinzig, A. P., Kiss, A., Koontz, A., Kumar, P., Lasky, J. R., Masozera, M., Meyers, D., Milano, F., Naughton-Treves, L., Nichols, E., Olander, L., Olmsted, P., Perge, E., Perrings, C., Polasky, S., Potent, J., Prager, C., Quétier, R., Redford, K., Saterson, K., Thoumi, G., Vargas, M. T., Vickerman, S., Weisser, W., Wilkie, D., & Wunder, S. (2015). Get the science right when paying for nature's services. *Science*, 347(6227), 1206–1207. <https://doi.org/10.1126/science.aaa1758>
- Nastran, M., Kobal, M., & Eler, K. (2019). Urban heat islands in relation to green land use in European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 37, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.12.008>
- Novais, J., & Márquez, J. (2020). Los residuos sólidos urbanos municipales en Luanda: Caracterización y consecuencias ambientales de su inadecuada gestión. *Centro Azúcar*, 47(1), 33-42. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612020000100033&lng=es&tlng=es

- Nowak, D. J. (2018). Mejorar los bosques urbanos a través de la evaluación, la modelización y el seguimiento. *Unasylva*, 69(1), 30-36.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4, 115–123. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.09.004>
- Nowak, D. J., Hoehn, R. E., Bodine, A. R., Greenfield, E. J., & O’Neil-Dunne, J. (2016). Urban forest structure, ecosystem services, and change in Syracuse, NY. *Urban Ecosystems*, 19(4), 1455-1477. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0534-1>
- Núñez, M. (2020). Anfibios y reptiles de un humedal periurbano: El Estero, San Ramón, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 20(35), 1-9.
- Oke, T. R. (2009). *Boundary layer climates* (2nd ed.). Routledge. ISBN: 978-0-415-04319-9
- Oke, T., Mills, G., Christen, A., & Voogt, J. (2017). *Urban climates*. Cambridge University Press.
- Ollerton, J. (2021). *Pollinators and pollination: Nature and society*. Pelagic Publishing.
- ONU. (2015). *Agenda 2030: ONU Brasil*. <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/> (Consultado: 3 jul. 2024)
- ONU-Habitat. (2014). *Planeamiento urbano para autoridades locales*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.
- ONU-Habitat. (2008). *State of the world’s cities 2010/2011: Bridging the urban divide*. United Nations Human Settlements Programme.
- ONU-Habitat, Ciudades y Gobiernos Locales Unidos, & Global Taskforce of Local and Regional Governments. (2018). *Diálogo sobre ciudades sostenibles: La gobernanza urbana en el núcleo de la implementación del ODS 11*. https://www.uclg.org/sites/default/files/dialogo_sobre_ciudades_sostenibles_esp.pdf

- ONU-Habitat. (2018, 23 de enero). *De la autopista al espacio público*. <https://onuhabitat.org.mx/index.php/de-la-autopista-al-espacio-publico>
- Opperman, J. J., Galloway, G. E., Fargione, J., Mount, J. F., Richter, B. D., & Secchi, S. (2009). Sustainable floodplains through large-scale reconnection to rivers. *Science*, *326*(5959), 1487–1488. <https://doi.org/10.1126/science.1179838>
- Oquendo-Di Cosola, V., Olivieri, F., & Ruiz-García, L. (2022). A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: Temperature reduction and noise attenuation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *162*, 112463. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112463>
- Organización Internacional del Trabajo. (2017). *Objetivos del desarrollo sostenible: Manual de referencia sindical sobre la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible*. Centro Internacional de Formación de la OIT.
- Ornés, S. (2014). La gestión urbana sostenible: Conceptos, rol del gobierno local y vinculación con el marketing urbano. *Provincia*, *31*, 147-171.
- Orozco, M. (2008). El análisis de ruido en Guadalajara: Elementos clave para la realización de estudios de ruido urbano. En A. Curiel-Ballesteros (Ed.), *Investigación socioambiental: Paradigmas aplicados en salud ambiental y educación ambiental* (pp. 161-182). Universidad de Guadalajara.
- Ortega-Villar, R., Coronel-Olivares, C., Lizárraga-Mendiola, L., Beltrán-Hernández, R., Lucho-Constantino, C., & Vázquez-Rodríguez, G. (2017). Remoción de contaminantes microbiológicos presentes en agua de escorrentía urbana mediante pavimentos permeables. *Revista de Ingeniería Biomédica y Biotecnología*, *1*(2), 1-7.
- Ortiz Porangaba, G. F., Teixeira, D. C. F., Amorim, M. C. de C. T., Silva, M. H. S., & Dubreuil, V. (2021). Modeling the urban heat island at a winter event in Três Lagoas, Brazil. *Urban Climate*, *37*, 100853. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100853>
- Osorio, A. (2011). Dimensión ambiental y problemáticas urbanas en Colombia (1960-2010). *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, *4*(7), 90-109.

- Otaño, J. (2018). Los SUDS, regeneradores urbanos en entornos vulnerables: El caso de Bella Vista, República Dominicana [Trabajo de grado]. Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ozment, S., DiFrancesco, K., & Gartner, T. (2015). The role of natural infrastructure in the water, energy, and food nexus. *Nexus Dialogue Synthesis Papers*. IUCN.
- Ozment, S., González, M., Schumacher, A., Oliver, E., Morales, G., Gartner, T., Silva, M., Watson, G., & Grünwaldt, A. (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza en América Latina y el Caribe: Situación regional y prioridades para el crecimiento*. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo e Instituto de Recursos Mundiales.
- Pancewicz, A., & Kurianowicz, A. (2024). Urban greening in the process of climate change adaptation of large cities. *Energies*, 17, 377. <https://doi.org/10.3390/en17020377>
- Paquette, A., Sousa-Silva, R., Maure, F., Cameron, E., Belluau, M., & Messier, C. (2021). Praise for diversity: A functional approach to reduce risks in urban forests. *Urban Forestry & Urban Greening*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127191>
- Park, B. J., Tsunetsugu, Y., Kasetani, T., Kagawa, T., & Miyazaki, Y. (2009). The physiological effects of Shinrin-yoku (taking in the forest atmosphere or forest bathing): Evidence from field experiments in 24 forests across Japan. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 15(1), 18-26. <https://doi.org/10.1007/s12199-009-0066-6>
- Penatti, N. C., Ribeiro, T. I., Ferreira, L. G., Arantes, A. E., & Coe, M. T. (2015). Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. *Remote Sensing of Environment*, 170, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.031>
- Peralta, J. (2020). Sostenibilidad urbana en el contexto latinoamericano y en el europeo. *Cuaderno de Investigación Urbanística*, (131), 131-148.

- Peri, P., Mancinelli, R., Meersmans, J., Wei, Y., Jim, C. Y., Gao, J., & Zhao, M. (2023). Determinants of above ground carbon storage of woody vegetation in an urban-rural transect in Shanghai, China. *Sustainability*, *15*. <https://doi.org/10.3390/su15042000>
- Planet Labs PBC. (2018). *Planet application program interface: In space for life on Earth*. <https://api.planet.com>
- PNUMA. (2021). *Soluciones basadas en la naturaleza para ciudades de América Latina y el Caribe: Guía metodológica*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe.
- Posada, M. I., Arroyave, M., & Fernández, C. (2009). Influencia de la vegetación en los niveles de ruido urbanos. *Revista EIA*, *12*, 79-89.
- Pramova, E., Locatelli, B., Djoudi, H., & Somorin, O. (2012). Forests and trees for social adaptation to climate variability and change. *WIREs Climate Change*, *3*, 581–596. <https://doi.org/10.1002/wcc.195>
- Prieto, O. O., Urdánigo, J. P., Sánchez, M. N., & Sánchez, N. C. (2024). Beneficios de las micorrizas arbusculares en técnicas de fitorremediación para descontaminación de suelos en Ecuador. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, *6(1)*, 187–202. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i1.980>
- ProDUS. (2000). *Plan estratégico urbano de la ciudad de San Ramón*. Universidad de Costa Rica.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat). (2020). *Informe de resultados: Consulta de ciudades sostenibles*. ONU-Habitat.
- Programa Estado de la Nación. (2023). *Informe Estado de la Nación*. Programa Estado de la Nación Costa Rica.
- ProsolveE. (2013). A pollution-eating facade module. *ProsolveE370*. <http://www.prosolve370e.com/>

- Qiu, L., Dong, S., Ashour, A., & Han, B. (2020). Antimicrobial concrete for smart and durable infrastructures: A review. *Construction and Building Materials*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120456>
- Quesada, M. (2003). Análisis cronológico de los desbordamientos de la Quebrada Estero, San Ramón. *Revista Pensamiento Actual*, 4(5), 35-41.
- Quintero-González, L. E., & Quintero-González, J. R. (2019). Infraestructuras verdes vivas: Características tipológicas, beneficios e implementación. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 12(23). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu12-23.ivvc>
- Quirama-Aguilar, M., García-Aguirre, D., & Gaona-Quiroga, L. (2021). Gobernanza del aire: Estrategia para el mejoramiento de la calidad del aire en ciudades. *Gestión y Ambiente*, 24(supl. 3), 33-46. <https://doi.org/10.15446/ga.v24nSupl3.96609>
- Ramírez-Agudelo, N., Pablo, J., & Roca, E. (2021). Exploring alternative practices in urban water management through the lens of circular economy: A case study in the Barcelona metropolitan area. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129565. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129565>
- Ramírez-Benítez, L. (2024). Retos de la educación ambiental por el incremento de la sociedad de consumo. *Entorno*, 1(75), 19–24. <https://doi.org/10.5377/entorno.v1i75.16934>
- Ramírez, F., Chaverri, F., de la Cruz, E., Wesseling, C., Castillo, L., & Bravo, V. (2009). Importación de plaguicidas en Costa Rica: Periodo 1977-2006. *Serie Informes Técnicos, Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET)*, N° 6. Universidad Nacional.
- Ramírez, F., Correal, J., Yamin, L., Atoche, J., & Piscal, C. (2012). Dowel-bearing strength behavior of glued laminated Guadua bamboo. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(11), 1378–1387. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000515](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000515)

- Ramírez, R. (1995). *Microzonificación sísmica de San Ramón, Alajuela, Costa Rica* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica].
- Raymond, C. M., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Kabisch, N., de Bel, M., & Geneletti, D. (2017). An impact evaluation framework to support planning and evaluation of nature-based solutions projects. *Ambio*, *46*(5), 525-534.
- Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., Geneletti, D., & Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, *77*, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008>
- Raymond, C. M., Gottwald, S., Kuoppa, J., & Kyttä, M. (2016). Integrating multiple elements of environmental justice into urban blue space planning using public participation geographic information systems. *Landscape and Urban Planning*, *153*, 198–208. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.05.011>
- Renner, I. (2019). *Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación y gestión urbana: Un enfoque sistemático en pasos para profesionales*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Reyes-Escobedo, M., & Aguiluz-León, J. (2022). Factores de influencia para la formación de islas de calor en la zona metropolitana de Querétaro. *LEGADO de Arquitectura y Diseño*, *18*(33), 7-16.
- Reyes-Päcke, S., & Figueroa-Aldunce, I. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. *Eure*, *36*(109), 89-110. <https://doi.org/10.4067/S0250-71612010000300004>
- Richards, J. (2013). *Remote sensing digital image analysis: An introduction* (5th ed.). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Ricketts, T. (2001). The matrix matters: Effective isolation in fragmented landscapes. *The American Naturalist*, *158*(1), 87–99. <https://doi.org/10.1086/320862>

- Rocha-Tamayo, E. (2011). Construcciones sostenibles: Materiales, certificaciones y LCA. *Revista Nodo*, 6(11), 99-116.
- Rodríguez-Aldabe, Y. (2018). Potenciar la resiliencia de las ciudades y sus territorios de pertenencia en el marco de los acuerdos sobre cambio climático y de la Nueva Agenda Urbana. *Comisión Económica para América Latina (CEPAL)*.
- Rodríguez-Arias, C. y Silva, M. (2017). Los Humedales de la Quebrada Estero en San Ramón, Costa Rica: su importancia y estado actual. *Revista Posgrado y Sociedad*, 15(1), 13-26.
- Rodríguez, C., y Guido, I. (2011). Lista preliminar de la avifauna de la Ciudad Universitaria Carlos Monge Alfaro de la Universidad de Costa Rica, San Ramón 2006-2008. *InterSedes*, 9(16).
- Rodríguez, C., y Silva, M. (2015). Calidad del agua en la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. *Pensamiento Actual*, 15(25), 85–97.
- Rodríguez, R., Hernández, R., Hernández, J. C., & Pérez, A. (2016). La permacultura: Una alternativa en la producción de alimentos desde la escuela y la comunidad. *Revista de Cooperativismo y Desarrollo*, 4(1), 84-94.
- Rodríguez-Vivas, D. E., & Esteban-Peña, N. (2023). Los sistemas urbanos de drenaje sostenibles como alternativa holística para la conservación de los humedales urbanos de Neiva, Huila. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 16.
- Rojas, C., Jorquera, F., & Steiniger, S. (2022). Acceder caminando a los humedales urbanos: Una oportunidad de recreación y bienestar. *Urbano*, 25(46), 56–67. <https://doi.org/10.22320/07183607.2022.25.46.05>
- Romero-Duque, L. P., Trilleras, J. M., Castellarini, F., & Quijas, S. (2020). Ecosystem services in urban ecological infrastructure of Latin America and the Caribbean: How do they contribute to urban planning? *Science of The Total Environment*, 728, 138780. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138780>

- Romero-Lankao, P. (2010). Water in Mexico City: What will climate change bring to its history of water-related hazards and vulnerabilities? *Environment and Urbanization*, *22(1)*, 157–178. <https://doi.org/10.1177/0956247809362440>
- Romero, L., Salas, J., & Jiménez, J. (2008). Manejo de desechos en universidades: Estudio de caso del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, *21(3)*, 33-41.
- Romero, N., & Alfaro, A. (2021). Guía y catálogo de soluciones basadas en la naturaleza: Una herramienta para alcanzar ciudades verdes. *Ambientico*, *280*, 24-28.
- Rosales, A. (2013). *Manual para la interpretación de imágenes de sensores remotos de las principales coberturas y usos de la tierra en Costa Rica*. MAG/INTA/FITTACORI/SUNII.
- Rubiera-Morollón, F., González-Marroquín, V. M., & Pérez-Rivero, J. L. (2016). Urban sprawl in Spain: Differences among cities and causes. *European Planning Studies*, *24(1)*, 207-226. <https://doi.org/10.1080/09654313.2015.1081354>
- Sachs, J. (2015). *The age of sustainable development*. Columbia University Press.
- Salas-Zapata, L., López-Ríos, M., Gómez-Molina, S., Franco-Moreno, D., & Martínez-Herrera, E. (2016). Ciudades sostenibles y saludables: Estrategias en busca de la calidad de vida. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, *34(1)*, 105–110.
- Salbitano, F., Borelli, S., Conigliaro, M., & Chen, Y. (2016). *Guidelines on urban and peri-urban forestry*. FAO. <https://www.fao.org/3/i6210e/i6210e.pdf>
- Salmond, J. A., Tadaki, M., Vardoulakis, S., Arbuthnott, K., Coutts, A., Demuzere, M., Dirks, K. N., Heaviside, C., Lim, S., Macintyre, H., McInnes, R. N., & Wheeler, B. W. (2016). Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environmental Health*, *15(1)*, 36. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0103-6>

- Samaniego, J., Alatorre, J. E., & Van Der Borght, R. (2021). Soluciones basadas en la naturaleza: El potencial de la restauración y conservación de bosques para la adaptación al cambio climático en Centroamérica. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe*. <http://www.cepal.org/apps>
- Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (6a ed.). McGraw-Hill.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., y Lucio, M. del P. B. (2022). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta* (7.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Sánchez, G., Orozco-Aguilar, L., & Cercas, J. (2022). Cuantificación de los servicios ecosistémicos en 10 parques urbanos de San José. *Ambientico*, 281, 66–73.
- Sánchez, L. (2019). Patrones de crecimiento urbano y sus impactos sobre la movilidad. Informe Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible 2019. Recuperado el 27 de agosto de 2019 de <http://repositorio.conare.ac.cr/handle/20.500.12337/7817>
- Sánchez, R., Üрге-Vorsatz, D., & Barau, A. S. (2018). Sustainable Development Goals and climate change adaptation in cities. *Nature Climate Change*, 8(3), 181–183. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0098-9>
- Santos, Í., & Mayer, L. (2021). Proposta de mercado público através dos conceitos da permacultura urbana. *Revista Projetar: Projeto e Percepção do Ambiente*, 6(1), 138–152. <https://doi.org/10.21680/2448-296X.2021v6n1ID21564>
- Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2014). *Lineamientos para el diseño e implementación de parques públicos de bolsillo*. Ciudad de México, SEDUVI. <http://sistemadecalles.agucdmx.gob.mx/doctos/06.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente. (2020). *Guía para la creación de jardines polinizadores*. Gobierno de la Ciudad de México-Secretaría del Medio Ambiente.
- Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the*

- National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(40), 16083–16088. <https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109>
- Shen, Y.-L., Liu, W.-T., Lee, K.-Y., Chuang, H.-C., Chen, H.-W., & Chuang, K.-J. (2018). Association of PM_{2.5} with sleep-disordered breathing from a population-based study in Northern Taiwan urban areas. *Environmental Pollution*, 233, 109–113. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.10.052>
- Sierra-Reyes, Y., de Dios-Martínez, A., Pereda-Mouso, J., & Rodríguez-Saldaña, M. F. (2023). A proposal of indicators for urban agriculture planning in Camagüey. *Cuadernos de Administración*, 39(75). <https://doi.org/10.25100/cdea.v39i75.12202>
- Silva-Correia, B., Corrêa da Silva, M., & Magnabosco, M. (2010). Naturaleza y ocupación del espacio urbano: Los parques de la ciudad. *Bitácora Urbano Territorial*, 16(1), 107–120.
- Singh, S. K., Srivastava, P. K., Szabó, S., Petropoulos, G. P., Gupta, M., & Islam, T. (2016). Landscape transform and spatial metrics for mapping spatiotemporal land cover dynamics using Earth observation datasets. *Geocarto International*, 31(1), 1–15. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1011706>
- Sirakayaa, A., Cliquet, A., & Harris, J. (2018). Ecosystem services in cities: Towards the international legal protection of ecosystem services in urban environments. *Ecosystem Services*, 29, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.10.007>
- Śliwińska Kowalska, M., & Zaborowski, K. (2017). WHO environmental noise guidelines for the European region: A systematic review on environmental noise and permanent hearing loss and tinnitus. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(10), 1139. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101139>
- Smith, K., Woodward, A., Campbell-Lendrum, D., Chadee, D., Honda, Y., Liu, Q., Olwoch, J., Revich, B., & Sauerborn, R. (2014). Human health: Impacts, adaptation, and co-benefits. In C. B. Field, V. Barros, & D. Dokken (Eds.), *Climate change 2014:*

- Impacts, adaptation, and vulnerability* (Vol. I, pp. 1–32). Cambridge University Press.
- Smith, P., & Romero, H. (2009). Efectos del crecimiento urbano del Área Metropolitana de Concepción sobre los humedales de Rocuant-Andalién, Los Batros y Lengua. *Revista de Geografía Norte Grande*, 43, 81–93. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022009000100007>
- Solecki, W., & Marcotullio, P. J. (2013). Climate change and urban biodiversity vulnerability. In T. Elmqvist, M. Fragkias, J. Goodness, B. Güneralp, P. J. Marcotullio, R. I. McDonald, S. Parnell, M. Schewenius, M. Sendstad, K. C. Seto, & C. Wilkinson (Eds.), *Urbanization, biodiversity and ecosystem services: Challenges and opportunities* (pp. 485–504). Springer.
- Soto, D. J. A., & Sellamén, G. A. (2011). Creación de una carga impositiva por contaminación ambiental para el sector vehicular de servicio público en la ciudad de Bogotá. *Criterio Libre*, 9(14), 229–256. <https://doi.org/10.18041/1900-0642/criteriolibre.2011v9n14.1240>
- Soto, G., & Muñoz, C. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, 65, 123–129.
- Stark, N., Cai, Z., & Carll, C. (2010). Wood-based composite materials panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-non wood composite materials. In United States Department of Agriculture (Ed.), *Wood handbook: Wood as an engineering material* (pp. 1–30). Forest Products Laboratory.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., & Zech, W. (2004). Microbial response to charcoal amendments of highly weathered soils and Amazonian dark earths in Central Amazonia: Preliminary results. In B. Glaser & W. I. Woods (Eds.), *Amazonian dark earths: Explorations in space and time* (pp. 155–168). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-05683-7_15

- Steiner, F. (2011). Landscape ecological urbanism: Origins and trajectories. *Landscape and Urban Planning*, *100*, 333–337. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.02.013>
- Sun, L., Chen, J., Li, Q., & Huang, D. (2020). Dramatic uneven urbanization of large cities throughout the world in recent decades. *Nature Communications*, *11*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14740-3>
- Tan, P. Y., & Jim, C. Y. (2017). *Greening cities*. Springer.
- Tapia, V., Carbajal, L., Vásquez, V., Espinoza, R., Vásquez-Velásquez, C., Steenland, K., & Gonzales, G. F. (2018). Reordenamiento vehicular y contaminación ambiental por material particulado (2.5 y 10), dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno en Lima Metropolitana, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, *35*, 190-197. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3250>
- Tavano, G., Grossi, E., Pieretti, G., Ferilli, G., & Landi, A. (2015). Cities, the urban green environment, and individual subjective well-being: The case of Milan, Italy. *Urban Study Research*, 2015.
- Taylor, L., & Hochuli, D. F. (2014). Creating better cities: How biodiversity and ecosystem functioning enhance urban residents' wellbeing. *Urban Ecosystem*, *18*, 747–762. <https://doi.org/10.1007/s11252-014-0427-3>
- Terradas, J. (2001). *Ecología urbana*. Editorial Rubes.
- Thompson-Coon, J., Boddy, K., Stein, K., Whear, R., Barton, J., & Depledge, M. H. (2011). Does participating in physical activity in outdoor natural environments have a greater effect on physical and mental wellbeing than physical activity indoors? A systematic review. *Environmental Science & Technology*, *45*(5), 1761–1772.
- Torres-Ariza, S., & Gil-T, A. (2023). Aves en el área de importancia ecológica Madre de Agua del suroccidente de Bogotá, Colombia. *Intropica*, *18*(2). <https://doi.org/10.21676/23897864.4895>
- Tzoulas, K., Korpela, K., Venn, S., Yli-Pelkonen, V., Kazmierczak, A., Niemela, J., & James, P. (2007). Promoting ecosystem and human health in urban areas using green

- infrastructure: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 81, 167-178.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.02.001>
- UCR & PNUD. (2020). *Atlas de Desarrollo Humano Cantonal 2020*.
<https://www.cr.undp.org/content/costarica/es/home/atlas-de-desarrollo-humano-cantonal.html>
- UNDESA. (2014). *World urbanization prospects: The 2014 revision*. New York, New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs.
- UNESCO. (2005). *Decade of Education for Sustainable Development (2005–2014): International Implementation Scheme*.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000148654>
- UNFPA (United Nations Population Fund). (2007). *State of the world population 2007*. UNFPA.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2020). *Estándar global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza: Un marco sencillo para la verificación, el diseño y la extensión de SbN*. UICN.
- Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). (2016). Resolución 69 sobre la definición de soluciones basadas en la naturaleza (WCC-2016-Res-069). Resoluciones, recomendaciones y otras decisiones de la UICN. Congreso Mundial de la Naturaleza, Honolulu, Hawaii, Estados Unidos.
https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/resrecfiles/WCC_2016_RES_069_ES.pdf
- United Nations. (1992). *Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, 3–14 June 1992: Volume I – Resolutions adopted by the Conference*. United Nations.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations. <https://sdgs.un.org/2030agenda>

- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2024a). *World Population Prospects 2024: Summary of Results*. United Nations.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2024b). *Assessing the status of implementation of the Programme of Action of the International Conference on Population and Development and its contribution to the follow-up to the 2030 Agenda for Sustainable Development: Report of the Secretary-General (E/CN.9/2024/2)*. Economic and Social Council.
- United Nations Environment Programme. (2019). *The nature-based solutions for climate manifesto*. August 14, 2019. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/29705/190825NBSManifesto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). (2020). *World Cities Report 2020: The value of sustainable urbanization*. UN-Habitat. <https://unhabitat.org/World-Cities-Report-2020>
- US Department of Agriculture, Forest Service. (2021). *i-Tree Eco user's manual (v.6)*. US Department of Agriculture, Forest Service.
- Useche, D., Durán-Prieto, J., Zárate, I., Moreno-Echeverry, D., Velásquez, L., & Camargo, P. (2019). Clima, ciudades y biodiversidad: Revisión de producción científica. *Biodiversidad en la Práctica*, 4(1), 212-237.
- Valderrama, C., & Ceron, A. (2023). Evaluación de resiliencia urbana: percepción ciudadana en paisajes sostenibles, agroforestería y regeneración del espacio público. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 26(2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v26.n2.2023.2246>
- Valentinuzzi, S. (2022). La renovación urbana en la GAM es posible: ¿Qué se requiere? *Ambientico*, 284, 52-60.
- Van der Jagt, A. P. N., Szaraz, L. R., Delshammar, T., Cvejić, R., Santos, A., Goodness, J., & Buijs, A. (2017). Cultivating nature-based solutions: The governance of communal

- urban gardens in the European Union. *Environmental Research*, 159, 264–275.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.013>
- Van der Lugt, P., van den Dobbelsteen, A. A. J. F., & Janssen, J. J. A. (2006). An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials*, 20(9), 648–656.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.02.023>
- Van Dorp, D., & Opdam, P. (1987). Effects of patch size, isolation and regional abundance on forest bird communities. *Landscape Ecology*, 1, 59–73.
- Vargas, E. (2022). Uso aparente de plaguicidas en la agricultura de Costa Rica. PNUD.
- Vega, A., & Mejía, L. (2023). Soluciones basadas en la naturaleza para la mitigación y la adaptación al cambio climático en ciudades de América Latina. Iniciativa UE LAIF CAF – AFD sobre ciudades y cambio climático.
- Vélez-Moreno, L. M. (2019). Construcciones sostenibles, impactos ambientales. *Revista Nodo*, 14(27), 86–95. <https://doi.org/10.54104/nodo.v14n27.171>
- VIANTE, M. F. (2021). *Cidades sustentáveis: um estudo sobre a cidade de Guarapuava, Paraná* [Tesis de maestría]. Universidade Estadual do Centro-Oeste.
- Villanueva-Solís, J., Ranfla, A., & Quintanilla-Montoya, A. (2014). Isla de calor urbana: Modelación dinámica y evaluación de medidas de mitigación en ciudades de clima árido extremo. *Información Tecnológica*, 24(1), 15-24.
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000100003>
- Waldheim, C. (Ed.). (2006). *The Landscape Urbanism Reader*. Princeton Architectural Press.
- Wang, B., Tian, C., & Liang, Y. (2021). Mixed-effects of landscape structure, tree diversity and stand's relative position on insect and pathogen damage in riparian poplar forests. *Forest Ecology and Management*, 479.

- Westman, W. (1977). How much are nature's services worth? *Science*, 197, 960–964.
- Wickham, C., Rohde, R., Muller, R. A., Wurtele, J., Curry, J., Groom, D., Jacobsen, R., Perlmutter, S., Rosenfeld, A., & Mosher, S. (2013). Influence of urban heating on the global temperature land average using rural sites identified from MODIS classifications. *Geoinformatics & Geostatistics: An Overview*, 1(2). <http://doi.org/10.4172/2327-4581.1000104>
- Wilby, R. L., & Perry, G. L. W. (2006). Climate change, biodiversity and the urban environment: A critical review based on London, UK. *Progress in Physical Geography*, 30(1), 73-98.
- Winchester, L. (2006). Desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades en América Latina y El Caribe. *Revista eure*, 32(96), 7-25.
- Wood, S. L. R., & Dupras, J. (2021). Increasing functional diversity of the urban canopy for climate resilience: Potential tradeoffs with ecosystem services? *Urban Forestry & Urban Greening*, 58.
- Xie, L., & Bulkeley, H. (2020). Nature-based solutions for urban biodiversity governance. *Environmental Science and Policy*, 110(May), 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.04.002>
- Xie, Y., Liu, C., Chang, S., & Jiang, B. (2022). Urban Sustainability: Integrating Socioeconomic and Environmental Data for Multi-Objective Assessment. *Sustainability*, 14(15), 9142.
- Yan, P., & Yang, J. (2017). Species diversity of urban forests in China. *Urban Forestry & Urban Greening*, 28, 160-166.
- Yu, L., Liang, L., Wang, J., Zhao, Y., Cheng, Q., Hu, L., Liu, S., Yu, L., Wang, X., Zhu, P., Li, X., Xu, Y., Li, C., Fu, W., Li, X., Li, W., Liu, C., Cong, N., Zhang, H., Sun, F., Bi, X., Xin, Q., Li, D., Yan, D., Zhu, Z., Goodchild, M., & Gong, P. (2014). Meta-discoveries from a synthesis of satellite-based land-cover mapping research.

- International Journal of Remote Sensing*, 35(13), 4573-4588.
<https://doi.org/10.1080/01431161.2014.930206>
- Yukhnovskiy, V., & Zibtseva, O. (2019). Normalization of green space as a component of ecological stability of a town. *Journal of Forensic Sciences*, 65, 428-437.
<https://doi.org/10.17221/85/2019-JFS>
- Zapelli, F., & Guerrero, E. M. (2023). Permacultura: una respuesta territorial a la crisis ambiental basada en el conocimiento ecológico local en Tandil, Argentina. *Revista Estudios Ambientales*, 11(1), 57-71.
- Zhai, X., & Lange, E. (2021). The influence of COVID-19 on perceived health effects of wetland parks in China. *Wetlands*, 41(8). <https://doi.org/10.1007/s13157-021-01505-7>
- Zhang, X., Du, L., Tan, S., Wu, F., Zhu, L., Zeng, Y., & Wu, B. (2021). Land use and land cover mapping using RapidEye imagery based on a novel band attention deep learning method in the Three Gorges reservoir area. *Remote Sensing*, 13(6), 1-17.
<https://doi.org/10.3390/rs13061225>
- Zhang, R. (2020). Cooling effect and control factors of common shrubs on the urban heat island effect in a southern city in China. *Nature Scientific Reports*, 10(1), 1-8.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-74559-y>
- Zhu, C., Ji, P., & Li, S. (2017). Effects of urban green belts on the air temperature, humidity, and air quality. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 25(1), 39-55.
- Zielinski, S., García Collante, M. A., & Vega Paternina, J. C. (2012). Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta? *Gestión y Ambiente*, 15(1), 91-104.
- Zilbert, L. (2023). Impacto social y territorial de las inundaciones. *Diagnóstico*, 6(3), 189-195.

Živković, P. M., Dimitrijević-Jovanović, D. G., & Stevanović, Z. Z. (2018). The impact of the building envelope with the green living systems on the built environment. *Thermal Science*, 22(4), 1033–1045. <https://doi.org/10.2298/TSCI170531225D>

Anexos

Anexo 1. Participantes del grupo focal.

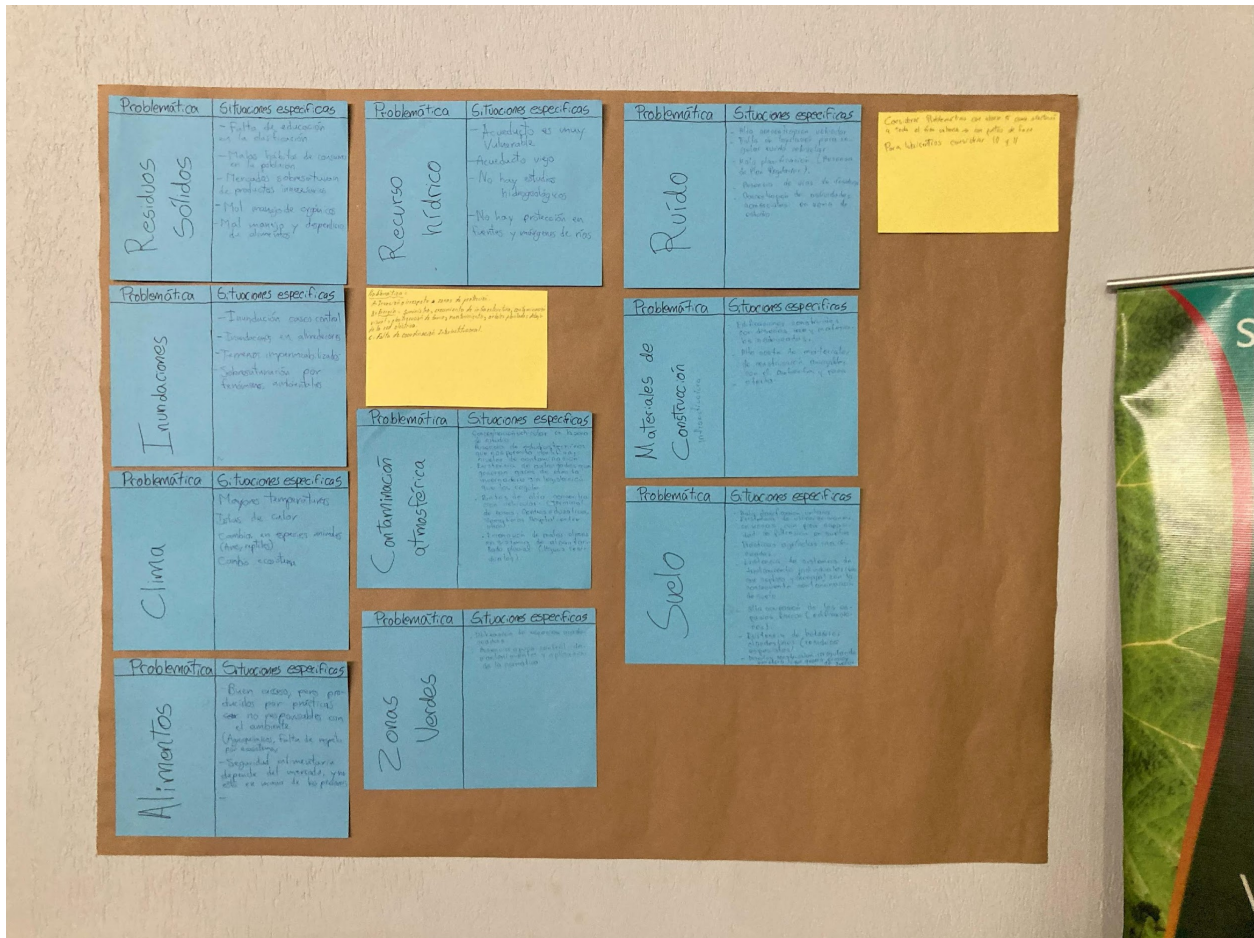


Anexo 2. Desglose de problemáticas específicas.

Problemática	Situaciones específicas
Alimentos	<ul style="list-style-type: none"> ● Buen acceso, producción mediante practicas no responsables con el ambiente. ● Seguridad alimentaria depende del mercado y no está en manos de las personas.
Clima	<ul style="list-style-type: none"> ● Mayores temperaturas. ● Islas de calor. ● Cambios en especies animales (aves y reptiles). ● Cambios en ecosistemas.
Inundaciones	<ul style="list-style-type: none"> ● Inundación en el casco central. ● Inundaciones en los alrededores. ● Suelos impermeabilizados. ● Sobresaturación por fenómenos ambientales.
Materiales de construcción	<ul style="list-style-type: none"> ● Edificaciones construidas con materiales y diseños inadecuados. ● Alto costo de materiales de construcción amigables con el ambiente y poca oferta.
Ruido	<ul style="list-style-type: none"> ● Alta concentración vehicular. ● Falta de legislación para regular ruido vehicular. ● Mala planificación. ● Ausencia de vías de desahogo. ● Concentración de actividades comerciales en el área central.
Suelo	<ul style="list-style-type: none"> ● Mala planificación urbana. ● Existencia de urbanizaciones en zonas con poca capacidad de filtración en suelos. ● Prácticas agrícolas inadecuadas. ● Existencia de sistemas de tratamiento individuales (Tanque séptico y drenaje). ● Alta ocupación de espacios físicos.

	<ul style="list-style-type: none"> ● Existencia de botaderos clandestinos. ● Diseño y construcción irregular que genera erosión de suelos.
Zonas verdes	<ul style="list-style-type: none"> ● Utilización de espacios inadecuados. ● Ausencia o poco control de mantenimiento y aplicación de la normativa.
Contaminación atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> ● Concentración vehicular. ● Ausencia de estudios técnicos que identifiquen los niveles de contaminación. ● Existencia de actividades que generan gases de efecto invernadero sin regulación. ● Puntos de alta concentración vehicular (Terminal de buses, centro educativo, semáforos, hospital, etc.) ● Emanación de malos olores en sistema de alcantarillado pluvial.
Residuos sólidos	<ul style="list-style-type: none"> ● Falta de educación en tema de clasificación. ● Malos hábitos de consumo en la población. ● Mercado sobresaturado de productos innecesarios. ● Mal manejo de residuos orgánicos. ● Mal manejo y desperdicio de alimentos.
Recurso hídrico	<ul style="list-style-type: none"> ● Acueducto muy vulnerable. ● Acueducto viejo. ● No hay estudios hidrogeológicos. ● No hay protección en fuentes y márgenes de ríos. ● Invasión de las zonas de protección.
Energía	<ul style="list-style-type: none"> ● Crecimiento de infraestructura. ● Contaminación visual. ● Electrocutación de fauna. ● Árboles plantados debajo de la red eléctrica.

Anexo 3. Fichas de situaciones específicas de problemáticas.



Anexo 4. Identificación de presencia de problemáticas, impactos y alcance.

#	Problemáticas	Presencia	Impacto	Alcance
1	Alimentos	✓	3 <small>→ escala</small>	5
2	Clima	✓	4	5
3	Inundaciones	✓	4	2
4	Materiales de Construcción	✓	5	5
5	Ruido	✓	5	5
6	Suelo	✓	5	5
7	Zonas Verdes	✓	2	2
8	Contaminación Atmosférica	✓	?	?
9	Desastres Naturales	✓ <small>escala</small>	—	—
10	Residuos Sólidos	✓ <small>escala</small>	4	5
11	Recurso Hídrico	✓	5	5

Anexo 6. Datos recopilados de los árboles en las tres zonas de muestreo.

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Parque	<i>Delonix regia</i>	44,1	1,3											0%	3,54	3,54	2,8	3	3	0%
Parque	<i>Andira inermis</i>	33,8	1,3	46,3	1,3	34,4	1,3	42,7	1,3					0%	4,23	4,23	3,67	7	6,5	0%
Parque	<i>Andira inermis</i>	41,4	1,3											0%	5,15	5,15	3,77	7	4	0%
Parque	<i>Andira inermis</i>	79,9	1,3											15% - 20%	6,76	6,76	3,77	7	5	15% - 20%
Parque	<i>Callistemon speciosus</i>	28,4	1,3	26,2	1,3									0%	4,46	4,46	3,31	4,5	5	0%
Parque	<i>Trichilia havanensis</i>	3,3	1,3											0%	3,81	3,81	3,17	5	6	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	81,4	1,3											0%	8,1	8,1	6,31	8	6	0%
Parque	<i>Swietenia macrophylla</i>	67,2	1,3											0%	12,74	12,74	5,84	10	6	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	31,3	1,3											0%	5,47	5,47	3,67	1	2	45% - 50%
Parque	<i>Delonix regia</i>	46,8	1,3	39,1	1,3									0%	10,9	10,9	5,84	6	4	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	8,3	1,3											0%	4,92	4,92	2,85	0,5	0,5	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	18,9	1,3											0%	6,3	6,3	3,54	5	6	0%
Parque	<i>Swietenia macrophylla</i>	55,1	1,3	69,7	1,3									0%	15,5	15,5	7,68	6	8	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	58,6	1,3											0%	5,22	5,22	3,3	1	1,5	45% - 50%
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	89,5	1,3	79	1,3									0%	15,5	15,5	7,22	8	9	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	15	1,3											0%	5,15	5,15	3,54	3	2	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	28	1,3											0%	5,38	5,38	2,62	4	3	0%
Parque	<i>Citharexylum caudatum</i>	29,9	1,3											0%	6,2	6,2	2,94	5	3,5	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	31,4	1,3											0%	5,15	5,15	2,8	7	8	0%
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	54,7	1,3	71,7	1,3									0%	4,59	4,59	3,03	4	2	45% - 50%
Parque	<i>Lonchocarpus heptaphyllus</i>	13,4	1,3	22,6	1,3									0%	7,22	7,22	3,77	5	6	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	9,9	1,3											0%	4,04	4,04	3,03	2	1,5	0%
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	133,8	1,3	104,8	1,3									0%	18,26	18,26	7,22	12	10	0%
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	59,6	1,4	41,4	1,4									0%	5,56	5,56	4,36	4	1,5	25% - 30%
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	134,1	1,3											0%	21,94	21,94	9,06	12	4	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	21,7	1,3											0%	4	4	2,66	4	6	0%
Parque	<i>Zygia</i>	23,2	1,3	23,3	1,3									0%	6,07	6,07	3,54	4	6	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	30,4	1,3											0%	5,51	5,51	3,63	5	6	0%
Parque	<i>Trichilia havanensis</i>	17,7	1,3	15	1,3									0%	4,55	4,55	3,12	4	4	0%
Parque	<i>Trichilia havanensis</i>	34,1	1,3											0%	5,19	5,19	3,35	6	4	0%
Parque	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	38,7	1,3	40,4	1,3									1% - 5%	4,32	4,32	3,35	5	4	1% - 5%
Parque	<i>Ficus pertusa</i>	13,1	1,3	17	1,3	16,6	1,3							0%	5,38	5,38	3,67	3,5	3	0%
Parque	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	8	1,3											0%	3,95	3,95	2,94	1,5	0,5	0%
Parque	<i>Melaleuca quinquenervia</i>	58,6	1,3											0%	13,01	13,01	4,82	6	3	0%
Parque	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	49,4	1,3											0%	5,01	5,01	3,67	5	2	25% - 30%
Parque	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	37,9	1,3	30,4	1,3									0%	5,15	5,15	3,67	3	2	15% - 20%
Parque	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	56,7	1,3											0%	6,3	6,3	3,77	5	8	5% - 10%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
	<i>mia speciosa</i>																			
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	112	1,3											0%	18,81	18,81	9,98	8	12	0%
Parque	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	24,2	1,3	22,8	1,3	21,3	1,3							0%	6,89	6,89	3,63	5	6	0%
Parque	<i>Handroanthus ochraceus ssp. ochraceus</i>	12	1,3											0%	4,13	4,13	2,71	1	3	0%
Parque	<i>Callistemon speciosus</i>	42,3	1,3											0%	6,57	6,57	4	5	6	0%
Parque	<i>Handroanthus impetiginosum</i>	22,3	1,3											0%	4,36	4,36	3,12	7	6	0%
Parque	<i>Lagerstroemia speciosa</i>	80,5	1,3											0%	8,41	8,41	5,1	4	7	0%
Parque	<i>Croton</i>	41,6	1,3											0%	8,6	8,6	3,6	4	5	1% - 5%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	27,1	1,3											0%	6,3	6,3	3,6	5	2	0%
Parque	<i>Myroxylon balsamum</i>	46,2	1,3											0%	7,49	7,49	3,54	4	6	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Parque	<i>Handroanthus impetiginosum</i>	36,6	1,3											0%	5,47	5,47	3,63	4	3	0%
Parque	<i>Tabebuia rosea</i>	35,2	1,3											0%	5,09	5,09	3,63	3	5	0%
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	130,1	1,3											0%	5,84	5,84	3,81	4	5	5% - 10%
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	106,8	1,3											0%	11,08	11,08	7,77	9	6	10% - 15%
Parque	<i>Cojoba arborea</i>	179	1,3											0%	5,47	5,47	3,72	4	6	5% - 10%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	4,9	1,3	4,1	1,3	6,2	1,3	3,2	1,3	3,8	1,3			0%	3,49	3,49	2,11	3,5	1	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	7,3	1,3	5,4	1,3	8,6	1,3							0%	6,63	6,63	2,43	3	2	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	1,9	1,3											0%	4,09	4,09	2,57	2	1	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	26	1,3											0%	4,69	4,69	2,8	4	5	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	3	1,3	7,3	1,3									0%	3,21	3,21	2,29	1,5	1	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	12,6	1,3	11,5	1,3									0%	3,95	3,95	2,2	3	3	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	4,8	1,3	4,5	1,3	3,7	1,3	3,5	1,3	5,7	1,3			0%	3,12	3,12	1,93	2	2,5	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	28,4	1,3											0%	5,15	5,15	3,35	5	6	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	31,7	1,3											0%	5,65	5,65	3,21	7	5	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	33,4	1,3											0%	5,01	5,01	2,89	8	7	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	28,5	1,3	27,1	1,3									0%	4,13	4,13	2,85	7	5	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	21,7	1,3											0%	5,25	5,25	4,16	4	2	1% - 5%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	28,7	1,3											0%	4,41	4,41	2,89	5	4	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	20,4	1,3											0%	5,05	5,05	3,35	3,5	1,5	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	31,3	1,3											0%	6,11	6,11	3,95	7	8	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	30,3	1,3	21	1,3									0%	5,33	5,33	3,17	6	7	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	34,6	1,3											0%	5,47	5,47	3,45	5	7	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	18,5	1,3											0%	5,15	5,15	2,98	2,5	2	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	23,9	1,3	26,1	1,3									0%	5,93	5,93	3,17	5	7	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	28,5	1,3											0%	6,66	6,66	3,9	6	6	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	5,6	1,3	9,1	1,3									0%	5,01	5,01	2,66	3	2	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	27,6	1,3											0%	6,11	6,11	3,44	6	7	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	26,9	1,3											0%	6,49	6,49	4,09	4	3	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	4	1,3											0%	7,86	7,86	3,17	6	4	0%
Sabana	<i>Tabebuia rosea</i>	18,3	1,3											0%	3,71	3,71	2,34	3	2	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	2,5	1,3	2,5	1,3	2,9	1,3	4,8	1,3	6,1	1,3			0%	3,17	3,17	2,25	1,5	1	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	7,1	1,3	7,3	1,3									0%	4,09	4,09	2,2	1,9	2	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	15,5	1,3											0%	5,1	5,1	2,85	3	5	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	8	1,3											0%	3,67	3,67	2,34	3	2	0%
Sabana	<i>Tecoma stans</i>	4,3	1,3	5,6	1,3	3,8	1,3							0%	3,95	3,95	2,48	1	1	0%
Tremedal	<i>Albizia saman</i>	31,8	1,3											5% - 10%	7,68	7,68	4,5	5	2	5% - 10%
Tremedal	<i>Albizia saman</i>	60,6	1,3											0%	5,01	5,01	3,67	2	2	65% - 70%
Tremedal	<i>Ficus</i>	34,9	1,3	18	1,3	14	1,3							0%	4,67	4,64	2,48	6	4	1% - 5%
Tremedal	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	20,4	1,3	36,6	1,3	25,5	1,3	26,4	1,3					0%	7,68	7,68	4,04	6	9	0%
Tremedal	<i>Ficus</i>	47,8	1,3	43,3	1,3	22,3	1,3	27,7	1,3					0%	6,02	6,02	4,18	6	7	0%
Tremedal	<i>Miconia</i>	15,9	1,3	13,7	1,3	8	1,3							0%	4,18	4,18	2,48	4	2	0%
Tremedal	<i>Cedrela odorata</i>	39,5	1,3	36,6	1,3	29,9	1,3	51	1,3					0%	5,97	5,97	4,13	2	7	20% - 25%
Tremedal	<i>Acnistus arborescens</i>	10,5	1,3	9,6	1,3									0%	3,72	3,72	2,2	4	2	0%
Tremedal	<i>Tecoma stans</i>	26,8	1,3	9,6	1,3									0%	4,15	4,15	1,86	2	3	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Tremedal	<i>Schinus terebinthifolia</i>	11,9	1,3	23,7	1,3	11,6	1,3	19,4	1,3	15,3	1,3	9,6	1,3	5% - 10%	7,22	7,22	3,35	6	5	1% - 5%
Tremedal	<i>Tecoma stans</i>	11,5	1,3	14	1,3									0%	4,7	4,7	2,2	4	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	13,6	1,3	26,4	1,3									0%	7,22	7,22	3,26	3	5	0%
Tremedal	<i>Ficus</i>	22,9	1,3	38,9	1,3	51,9	1,3							0%	11,82	11,82	3,44	7	9	0%
Tremedal	<i>Swietenia macrophylla</i>	22,9	1,3	26,1	1,3									0%	5,47	5,47	3,58	3	2	25% - 30%
Tremedal	<i>Acnistus arborescens</i>	14	1,3	14,3	1,3	8,9	1,3	8,9	1,3	15	1,3			0%	5,15	5,15	2,18	4	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,3	1,3											0%	3,4	3,4	2,21	2	1	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	11,6	1,3											0%	3,15	3,15	1,76	2	2	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	39,5	1,3	12,4	1,3									1% - 5%	6,69	6,69	3,63	1	3	5% - 10%
Tremedal	<i>Trichilia havanensis</i>	14,6	1,3											0%	5,35	5,35	3,4	1	2	0%
Tremedal	<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	53,2	1,3	58,6	1,3									0%	16,48	16,48	4,37	8	7	0%
Tremedal	<i>Bursera</i>	37,6	1,3											0%	6,59	6,59	4,35	4	3	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Tremedal	<i>Handroant hus ochraceus</i>	23,2	1,3											0%	8,16	8,16	2,48	3	7	0%
Tremedal	<i>Ficus</i>	53,5	1,3	17,8	1,3	19,4	1,3	10,8	1,3	24,6	1,3			0%	6,48	6,48	3,35	6	9	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	8,1	1,3											0%	5,23	5,23	2,36	2	2	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,5	1,3											0%	3,67	3,67	1,96	2	1	0%
Tremedal	<i>Handroant hus ochraceus</i>	32,8	1,3											0%	8,41	8,41	4,55	6	7	0%
Tremedal	<i>Handroant hus ochraceus</i>	17,7	1,3											0%	5,15	5,15	2,75	3	4	0%
Tremedal	<i>Swietenia macrophylla</i>	58,9	1,3											0%	10,07	10,07	4,55	6	5	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	36,3	1,3											0%	9,06	9,06	4,36	6	7	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	6,8	1,3											0%	5,37	5,37	2,69	3	2	0%
Tremedal	<i>Acnistus arborescens</i>	14,7	1,3	7,6	1,3	13,4	1,3							0%	5,64	5,64	3,28	5	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	6,1	1,3											0%	5,35	5,35	2,74	2	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	6,2	1,3											0%	6,12	6,12	4,16	3	2	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,3	1,3											0%	6,06	6,06	2,25	3	4	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,6	1,3											0%	5,68	5,68	2,16	2	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	9,2	1,3											0%	6,27	6,27	2,09	3	4	0%
Tremedal	<i>Ficus aurea</i>	16,2	1,3	18,6	1,3	13,9	1,3	5	1,3					0%	6,39	6,39	4,18	4	5	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	8,5	1,3											0%	5,21	5,21	3,17	3	2	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,3	1,3											0%	6,23	6,23	4,15	1	3	0%
Tremedal	<i>Tecoma stans</i>	15,9	1,3	6,1	1,3	14,3	1,3	6,8	1,3	8,5	1,3	6,2	1,3	0%	6,42	6,42	3,29	4	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	6,4	1,3											0%	5,94	5,94	3,64	2	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	5,3	1,3											0%	4,73	4,73	3,62	2	2	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	5,6	1,3											0%	4,53	4,53	3,04	2	3,4	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	6,3	1,3											0%	5,34	5,34	4,68	2	4	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	8,5	1,3											0%	6,34	6,34	3,24	2	4	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,6	1,3											0%	5,37	5,37	3,49	2	4	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,9	1,3											0%	5,26	5,26	3,17	3	4	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	44,3	1,3	37,4	1,3									1% - 5%	7,21	7,21	4,62	2	2	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,2	1,3											0%	5,34	5,34	3,76	3	2	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	8,5	1,3	5,2	1,3									0%	6,46	6,46	3,26	2	3	0%
Tremedal	<i>Tecoma stans</i>	6,9	1,3	5,7	1,3	7,1	1,3	6,6	1,3					0%	3,96	3,96	1,27	6	4	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	16,4	1,3	11,3	1,3									0%	7,62	7,62	3,53	2	3	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	20,8	1,3	16,2	1,3									0%	7,23	7,23	3,74	3	4	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	49,9	1,3											0%	5,24	5,24	3,56	3	1	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	30,6	1,3											1% - 5%	6,34	6,34	4,39	2	2	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	23,6	1,3											0%	6,49	6,49	4,56	4	3	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	16,5	1,3											0%	6,91	6,91	4,63	1	2	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	17,2	1,3											0%	6,87	6,87	4,65	2	3	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	47,1	1,3											0%	6,09	6,09	5,98	3	1	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	18,3	1,3											0%	6,56	6,56	4,32	2	3	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	26,6	1,3											0%	6,83	6,83	4,51	1	2	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	22,5	1,3											0%	7,93	7,93	6,27	2	3	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	19,3	1,3											0%	9,07	9,07	6,96	2	3	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	15,1	1,3											0%	6,57	6,57	4,93	1	2	0%
Tremedal	<i>Casuarina equisetifolia</i>	20,4	1,3											0%	4,89	4,89	2,07	1,2	1	0%
Tremedal	<i>Ficus aurea</i>	56,1	1,3											0%	6,37	6,37	3,56	6	4	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	5,1	1,3											0%	5,84	5,84	3,95	2	2	0%

Estrato	Especies	DA P 1 (cm)	DA P 1: Altura (m)	DA P 2 (cm)	DA P 2: Altura (m)	DA P 3 (cm)	DA P 3: Altura (m)	DA P 4 (cm)	DA P 4: Altura (m)	DA P 5 (cm)	DA P 5: Altura (m)	DA P 6 (cm)	DA P 6: Altura (m)	Copa: % Muerte regresiva	Total Altura (m)	Copa: Altura superior (m)	Copa: Altura a la base (m)	Copa: Ancho N/S (m)	Copa: Ancho E/O (m)	Copa: % Falta nte
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	4,6	1,3											0%	3,27	3,27	2,25	2	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	5,7	1,3											0%	4,09	4,09	3,07	2	2	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	4,6	1,3											0%	4,12	4,12	3,46	2	1	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	5,6	1,3											0%	3,47	3,47	2,85	2	4	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	7,5	1,3											0%	3,84	3,84	2,23	2	3	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	5,1	1,3											0%	4,02	4,02	3,14	2	1	0%
Tremedal	<i>Tabebuia rosea</i>	5,6	1,3											0%	3,97	3,97	2,27	4	3	0%

Anexo 7. Lista de referencias de revisión de literatura.

- Alberti, M. A., Blanco, I., Vox, G., Scarascia-Mugnozza, G., Schettini, E., & Pimentel da Silva, L. (2022). The challenge of urban food production and sustainable water use: Current situation and future perspectives of the urban agriculture in Brazil and Italy. *Sustainable Cities and Society*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103961>
- Alvarez-Vázquez, L. J., García-Chan, N., Martínez, A., & Vázquez-Méndez, M. E. (2017). Numerical simulation of air pollution due to traffic flow in urban networks. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 326, 44–61. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2017.05.017>
- Alves, R., Lima, R. da S., Silva, K., Gomes, W., & González-Calderón, C. (2019). Functional and environmental impact analysis of urban deliveries in a Brazilian historical city. *Case Studies on Transport Policy*, 7(2), 443–452. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.01.009>
- Amaral, M. H., Benites-Lazaro, L. L., Antonio de Almeida Sinisgalli, P., Prates da Fonseca Alves, H., & Giatti, L. L. (2021). Environmental injustices on green and blue infrastructure: Urban nexus in a macrometropolitan territory. *Journal of Cleaner Production*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125829>
- Andrade Lima, S. M. S., Lopes, W. G. R., & Façanha, A. C. (2019). Urban planning challenges in the expansion of cities: Between plans and reality. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180037>
- Araújo, M. P., Hamacher, C., Farias, C. de O., & Soares, M. L. G. (2021). Fecal sterols as sewage contamination indicators in Brazilian mangroves. *Marine Pollution Bulletin*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112149>
- Arboit, M. E., & Maglione, D. S. (2018). The current situation and recent changes in vegetation indices (VIs) in forested cities with dry climates: The case of the Mendoza metropolitan

- area, Argentina. *Urbano*, 21(38), 18–35.
<https://doi.org/10.22320/07183607.2018.21.38.02>
- Arenas Aquino, Á. R., Matsumoto Kuwabara, Y., & Kleiche-Dray, M. (2017). Energía solar y marginación. Análisis de la percepción social sobre nuevas tecnologías para la articulación de una transición energética en el municipio de Nezahualcóyotl, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33(3), 449–461.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.08>
- Arroyo, P., Tommelein, I. D., & Ballard, G. (2016). Selecting Globally Sustainable Materials: A Case Study Using Choosing by Advantages. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001041](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001041)
- Artmann, M., Inostroza, L., & Fan, P. (2019). Urban sprawl, compact urban development and green cities. How much do we know, how much do we agree? *Ecological Indicators Vol. 96*, 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.059>
- Ayala-Carrillo, M., Farfán, M., Cárdenas-Nielsen, A., & Lemoine-Rodríguez, R. (2022). Are Wildfires in the Wildland-Urban Interface Increasing Temperatures? A Land Surface Temperature Assessment in a Semi-Arid Mexican City. *Land*, 11(12).
<https://doi.org/10.3390/land11122105>
- Azevedo, B. D., Scavarda, L. F., & Caiado, R. G. G. (2019). Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1377–1386.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.162>
- Azuela, A., & Cosacov, N. (2013). Transformaciones urbanas y reivindicaciones ambientales. En torno a la productividad social del conflicto por la construcción de edificios en la Ciudad de Buenos Aires. *EURE*, 39(118), 149–172.
- Bartra, J., & Delgado, J. M. (2020). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 4(2), 993–1008.
https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.135

- Bergamini, K., & Pérez, C. (2015). Fiscalización y cumplimiento ambiental en Chile: principales avances, desafíos y tareas pendientes. *EURE*, 41(124), 267–277.
- Bernache Pérez, G. (2015). La gestión de los residuos sólidos: un reto para los gobiernos locales
Solid waste management: a challenge for local governments. *Sociedad y Ambiente*, 3(7), 72–101.
- Bernardini, S. P. (2018). O planejamento da expansão urbana na interface com a urbanização dispersa: uma análise sobre a região metropolitana de Campinas (1970-2006). *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 10(1), 172–185. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.ao02>
- Bertrand, G., Petelet-Giraud, E., Cary, L., Hirata, R., Montenegro, S., Paiva, A., Mahlknecht, J., Coelho, V., & Almeida, C. (2022). Delineating groundwater contamination risks in southern coastal metropolises through implementation of geochemical and socio-environmental data in decision-tree and geographical information system. *Water Research*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117877>
- Birche, M. E., & Jensen, K. C. (2018). The survey and cataloguing of public-use green spaces in the City of La Plata, Argentina. *Urbano*, 21(37), 82–93. <https://doi.org/10.22320/07183607.2018.21.37.07>
- Blettler, M. C. M., Garello, N., Ginon, L., Abrial, E., Espinola, L. A., & Wantzen, K. M. (2019). Massive plastic pollution in a mega-river of a developing country: Sediment deposition and ingestion by fish (*Prochilodus lineatus*). *Environmental Pollution*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113348>
- Bompadre, M. J., Benavidez, M., Colombo, R. P., Silvani, V. A., Godeas, A. M., Scotti, A., Pardo, A. G., & Fernández Bidondo, L. (2021). Mycorrhizal stress alleviation in *Senecio bonariensis* Hook y Arn growing in urban polluted soils. *Journal of Environmental Quality*, 50(3), 589–597. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20212>
- Bonilla-Bedoya, S., Estrella, A., Santos, F., & Herrera, M. Á. (2020). Forests and urban green areas as tools to address the challenges of sustainability in Latin American urban socio-

ecological systems. *Applied Geography*, 125.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2020.102343>

- Bordim, M. H. S., Longo, R. M., & Bordim, B. S. (2020). Urban environmental sustainability: analysis of the influence of vegetation in environmental parameters. *Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade*, 11(1). <https://doi.org/10.5585/geas.v11i1.19447>
- Borges-Pedro, J. P., Müller, P., Nunes, A. P., & Gomes, M. C. R. L. (2018). Avaliação do cenário WASH (água, saneamento e higiene) em escolas urbanas e rurais de uma pequena cidade na Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, 48(1), 75–82. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201600263>
- Brandli, L. L., Marques Prietto, P. D., & Neckel, A. (2015). Estimating the Willingness to Pay for Improvement of an Urban Park in Southern Brazil Using the Contingent Valuation Method. *Journal of Urban Planning and Development*, 141(4). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)up.1943-5444.0000254](https://doi.org/10.1061/(asce)up.1943-5444.0000254)
- Braun, A. B., Visentin, C., William da Silva Trentin, A., & Thomé, A. (2021). List of relevant sustainability indicators in remediation processes and their validation by stakeholders. *Journal of Cleaner Production*, 317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128440>
- Buenrostro-Delgado, O., Ortega-Rodriguez, J. M., Clemitshaw, K. C., González-Razo, C., & Hernández-Paniagua, I. Y. (2015). Use of genetic algorithms to improve the solid waste collection service in an urban area. *Waste Management*, 41, 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.03.026>
- Caixeta, E. S., Meza Bravo, J. V., & Pereira, B. B. (2022). Ecotoxicological assessment of water and sediment river samples to evaluate the environmental risks of anthropogenic contamination. *Chemosphere*, 306. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135595>
- Calderón-Contreras, R., & Quiroz-Rosas, L. E. (2017). Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: A case from Mexico City. *Ecosystem Services*, 23, 127–137. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.004>

- Calva-Alejo, C. L., & Rojas-Caldelas, R. I. (2014). Diagnóstico de la gestión de residuos sólidos urbanos en el municipio de Mexicali, México: Retos para el logro de una planeación sustentable. *Informacion Tecnológica Vol. 25, num. 3*, 59–72. Centro de Informacion Tecnologica. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642014000300009>
- Camargo, F. M. (2016). La historia ambiental urbana: Contexto de surgimiento y contribuciones para el análisis histórico de la ciudad. *Anuario Colombiano de Historia Social y de La Cultura, 43(1)*, 375–402. <https://doi.org/10.15446/achsc.v43n1.55075>
- Caorsi, V., Sprau, P., Zollinger, S. A., & Brumm, H. (2019). Nocturnal resting behaviour in urban great tits and its relation to anthropogenic disturbance and microclimate. *Behavioral Ecology and Sociobiology, 73(2)*. <https://doi.org/10.1007/s00265-018-2624-1>
- Caprario, J., & Finotti, A. R. (2019). Socio-technological tool for mapping susceptibility to urban flooding. *Journal of Hydrology, 574*, 1152–1163. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.005>
- Caprario, J., Rech, A. S., Tasca, F. A., & Finotti, A. R. (2019). Influence of drainage network and compensatory techniques on urban flooding susceptibility. *Water Science and Technology, 79(6)*, 1152–1163. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.113>
- Carneiro, E., Lopes, W., & Espindola, G. (2021). Linking urban sprawl and surface urban heat island in the teresina–timon conurbation area in Brazil. *Land, 10(5)*. <https://doi.org/10.3390/land10050516>
- Carraro, V., Visconti, C., & Inzunza, S. (2021). Neoliberal urbanism and disaster vulnerability on the Chilean central coast. *Geoforum, 121*, 83–92. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2021.02.023>
- Carter, V., & Henríquez, C. (2022). Can Strategic Environmental Assessment (SEA) contribute towards the implementation of biophilic urbanism in urban planning? The case of Chilean Municipal Regulatory Plans. *Environmental Impact Assessment Review, 95*. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106765>

- Castelhana, F. J. (2021). Risks and vulnerabilities from the air quality perspective. *Finisterra*, *56(118)*, 253–269. <https://doi.org/10.18055/Finis20231>
- Castillo-Figueroa, E. (2021). The population at risk and the quality of the water in the south of the Guadalajara Metropolitan Area (Jalisco, México). *Agua y Territorio*, *17*, 55–76. <https://doi.org/10.17561/at.17.5469>
- Castro e Silva, D. de M., Marcusso, R. M. N., Barbosa, C. G. G., Gonçalves, F. L. T., & Cardoso, M. R. A. (2020). Air pollution and its impact on the concentration of airborne fungi in the megacity of São Paulo, Brazil. *Heliyon*, *6(10)*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05065>
- Cevallos, E., Gómez, L., & Roldán, A. (2015). Análisis de los problemas ambientales en el Cantón La Concordia, Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador. *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, *4(1)*, 1–16.
- Charlesworth, S. M., Kligerman, D. C., Blackett, M., & Warwick, F. (2022). The Potential to Address Disease Vectors in Favelas in Brazil Using Sustainable Drainage Systems: Zika, Drainage and Greywater Management. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19(5)*. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052860>
- Conke, L. S., & Ferreira, T. L. (2015). Urban metabolism: Measuring the city's contribution to sustainable development. *Environmental Pollution*, *202*, 146–152. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.03.027>
- Costa, B. F. D., & Roche, K. F. (2020). Acute toxicity in urban area of Água boa stream watershed, MS, Brazil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, *25(1)*, 31–39. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522020147956>
- Cotillas, S., Llanos, J., Miranda, O. G., Díaz-Trujillo, G. C., Cañizares, P., & Rodrigo, M. A. (2014). Coupling UV irradiation and electrocoagulation for reclamation of urban wastewater. *Electrochimica Acta*, *140*, 396–403. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2014.04.037>

- Cunha, L. H. (2020). Inequalities in water access patterns and limits of water citizenship in rural communities in the semi-arid region. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 55, 99–116. <https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73371>
- da Silva, C. L., Weins, N., & Potinkara, M. (2019). Formalizing the informal? A perspective on informal waste management in the BRICS through the lens of institutional economics. *Waste Management*, 99, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.023>
- da Silva, L. P., da Fonseca, M. N., de Moura, E. N., & de Souza, F. T. (2022). Ecosystems Services and Green Infrastructure for Respiratory Health Protection: A Data Science Approach for Paraná, Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3). <https://doi.org/10.3390/su14031835>
- Dalle, I., & Panisset, L. (2021). Análise da disposição de resíduos sólidos urbanos em Minas Gerais e em cidades médias do Grupo Bambuí. *Ateliê Geográfico*, 15(1), 238–265.
- de Amorim, W. S., Borchardt Deggau, A., do Livramento Gonçalves, G., da Silva Neiva, S., Prasath, A. R., & Salgueirinho Osório de Andrade Guerra, J. B. (2019). Urban challenges and opportunities to promote sustainable food security through smart cities and the 4th industrial revolution. *Land Use Policy*, 87. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104065>
- de Andrade, L. C., Coelho, F. F., Hassan, S. M., Morris, L. A., & de Oliveira Camargo, F. A. (2019). Sediment pollution in an urban water supply lake in southern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(1). <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7132-2>
- de Borba, W. F., da Silva, J. L. S., da Cunha Kemerich, P. D., Fries, M., Fernandes, G. D., de Souza, E. B., Ilha, L. M., & da Silva, G. S. N. (2023). Assessment of an urban waste disposal contamination using chemical analysis and DC resistivity. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(7), 7939–7950. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04496-y>
- de Moura, R. R., Chiba de Castro, W. A., Farinhas, J. H., Pettan-Brewer, C., Kmetiuk, L. B., dos Santos, A. P., & Biondo, A. W. (2022). One Health Index (OHI) applied to Curitiba, the ninth-largest metropolitan area of Brazil, with concomitant assessment of animal,

- environmental, and human health indicators. *One Health*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2022.100373>
- de Oliveira, M. L., Rufino, I. A. A., Cunha, J. E. de B. L., Vasconcelos, R. S., & de Brito, H. C. (2020). Urban growth dynamics based on surface albedo changes in Petrolina, Brazil. *Acta Scientiarum - Technology*, 42(1). <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v42i1.46270>
- de Paula, G., Freiria, R. C., & Canteras, F. B. (2022). Telhados verdes no contexto de cidades sustentáveis: aspectos técnicos e legislações ambientais vigentes. *Revista de Direito Da Cidade*, 14(2). <https://doi.org/10.12957/rdc.2022.59152>
- de Siqueira, A. C. H., Najjar, M. K., Hammad, A. W. A., Haddad, A., & Vazquez, E. (2020). Sustainable urban development in Slum areas in the city of Rio de Janeiro based on LEED-ND indicators. *Buildings*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS10070116>
- de Souza, D. T., & Torres, P. H. C. (2021). Greening and Just Cities: Elements for Fostering a South–North Dialogue Based on a Systematic Literature Review. *Frontiers in Sustainable Cities (Vol. 3)*. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.669944>
- de Souza, F. T. (2019). Morbidity Forecast in Cities: A Study of Urban Air Pollution and Respiratory Diseases in the Metropolitan Region of Curitiba, Brazil. *Journal of Urban Health*, 96(4), 591–604. <https://doi.org/10.1007/s11524-018-0271-5>
- di Fiore, G., Specht, K., Rover, O. J., & Zanasi, C. (2022). Stakeholders’ social acceptance of a new organic waste management policy in the city of Florianópolis (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, 379. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134756>
- Dias, V. M., Soares, P. P. de M. A., Brondizio, E. S., & Cruz, S. H. R. (2021). Grassroots mobilization in Brazil’s urban Amazon: Global investments, persistent floods, and local resistance across political and legal arenas. *World Development*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105572>
- Diep, L., Parikh, P., Dodman, D., Alencar, J., & Martins, J. R. S. (2023). Problematizing infrastructural “fixes”: critical perspectives on technocratic approaches to Green

- Infrastructure. *Urban Geography*, 44(3), 470–491.
<https://doi.org/10.1080/02723638.2022.2087947>
- Dintrans, A., & Préndez, M. (2013). A method of assessing measures to reduce road traffic noise: A case study in Santiago, Chile. *Applied Acoustics*, 74(12), 1486–1491.
<https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2013.06.012>
- Dobbs, C., Escobedo, F. J., Clerici, N., de la Barrera, F., Eleuterio, A. A., MacGregor-Fors, I., Reyes-Paecke, S., Vásquez, A., Zea Camaño, J. D., & Hernández, H. J. (2019). Urban ecosystem Services in Latin America: mismatch between global concepts and regional realities? *Urban Ecosystems*, 22(1), 173–187. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0805-3>
- dos Santos, M. F. N., Barbassa, A. P., & Vasconcelos, A. F. (2021). Low impact development strategies for a low-income settlement: Balancing flood protection and life cycle costs in Brazil. *Sustainable Cities and Society*, 65. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102650>
- Duarte, A. L., Schneider, I. L., Artaxo, P., & Oliveira, M. L. S. (2022). Spatiotemporal assessment of particulate matter (PM10 and PM2.5) and ozone in a Caribbean urban coastal city. *Geoscience Frontiers*, 13(1). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101168>
- Eakin, H., Parajuli, J., Yogya, Y., Hernández, B., & Manheim, M. (2021). Entry points for addressing justice and politics in urban flood adaptation decision making. *Current Opinion in Environmental Sustainability Vol. 51*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.01.001>
- Escobedo, F. J., Clerici, N., Staudhammer, C. L., & Corzo, G. T. (2015). Socio-ecological dynamics and inequality in Bogotá, Colombia's public urban forests and their ecosystem services. *Urban Forestry and Urban Greening*, 14(4), 1040–1053.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.09.011>
- Escobedo, F. J., Giannico, V., Jim, C. Y., Sanesi, G., & Laforteza, R. (2019). Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? *Urban Forestry and Urban Greening Vol. 37*, 3–12.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011>

- Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S., & Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, *68*(3), 409–427.
- Espínola, M., Piedra-Fernández, J. A., Ayala, R., Iribarne, L., Leguizamón, S., & Wang, J. Z. (2016). Simulating rainfall, water evaporation and groundwater flow in three-dimensional satellite images with cellular automata. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *67*, 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2016.07.003>
- Feged-Rivadeneira, A., Andrade-Rivas, F., González-Casabianca, F., & Escobedo, F. J. (2022). Scaling patterns of human diseases and population size in Colombia. *Global Environmental Change*, *75*. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2022.102546>
- Fernández, I. C., & Wu, J. (2018). A GIS-based framework to identify priority areas for urban environmental inequity mitigation and its application in Santiago de Chile. *Applied Geography*, *94*, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.03.019>
- Ferreira, D. M., & Fernandes, C. V. S. (2022). Integrated water quality modeling in a river-reservoir system to support watershed management. *Journal of Environmental Management*, *324*. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116447>
- Ferrer, A. L. C., Thomé, A. M. T., & Scavarda, A. J. (2018). Sustainable urban infrastructure: A review. *Resources, Conservation and Recycling*, *128*, 360–372. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.07.017>
- Filho, W. L., Balogun, A. L., Olayide, O. E., Azeiteiro, U. M., Ayal, D. Y., Muñoz, P. D. C., Nagy, G. J., Bynoe, P., Oguge, O., Yannick Toamukum, N., Saroar, M., & Li, C. (2019). Assessing the impacts of climate change in cities and their adaptive capacity: Towards transformative approaches to climate change adaptation and poverty reduction in urban areas in a set of developing countries. *Science of the Total Environment*, *692*, 1175–1190. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.227>

- Flores-Ramírez, R., Pérez-Vázquez, F. J., Medellín-Garibay, S. E., Aldrete, A. C., Vallejo-Pérez, M. R., de León-Martínez, L. D., Yáñez, L. C., & Díaz-Barriga, F. (2018). Exposure to mixtures of pollutants in Mexican children from marginalized urban areas. *Annals of Global Health Vol. 84, num. 2*, 250–256. <https://doi.org/10.29024/aogh.912>
- Franco, M. A. M., & de Sousa, J. S. (2020). Sustainable constructions: Applications for the city of Uberaba - MG. *Revista de Gestao Ambiental e Sustentabilidade*, 9(1). <https://doi.org/10.5585/GEAS.V9I1.16205>
- Freiles Ariza, N. S. (2016). Manejo y separación de residuos sólidos urbanos. Análisis comparativo entre Madrid (España) y el distrito especial industrial y portuario de Barranquillas (Colombia). *Observatorio Medioambiental*, 19, 197–211. <https://doi.org/10.5209/obmd.54168>
- Fuentes, R., Molinos-Senante, M., Hernández-Sancho, F., & Sala-Garrido, R. (2020). Analysing the efficiency of wastewater treatment plants: The problem of the definition of desirable outputs and its solution. *Journal of Cleaner Production*, 267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121989>
- Furley, T. H., Brodeur, J., Silva de Assis, H. C., Carriquiriborde, P., Chagas, K. R., Corrales, J., Denadai, M., Fuchs, J., Mascarenhas, R., Miglioranza, K. S. B., Miguez Caramés, D. M., Navas, J. M., Nugegoda, D., Planes, E., Rodriguez-Jorquera, I. A., Orozco-Medina, M., Boxall, A. B. A., Rudd, M. A., & Brooks, B. W. (2018). Toward sustainable environmental quality: Identifying priority research questions for Latin America. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 14(3), 344–357. <https://doi.org/10.1002/ieam.2023>
- Gabriel Lasso, J., Castelo Branco, D., & Magrini, A. (2021). Assessing the greenhouse gas emissions of buildings in Brazil: a case study of a housing complex. *Environmental Engineering and Management Journal*, 20(8), 1225–1236. <http://www.eemj.icpm.tuiasi.ro/>; <http://www.eemj.eu>
- Gallego-Hernández, A. L., Meza-Figueroa, D., Tanori, J., Acosta-Elías, M., González-Grijalva, B., Maldonado-Escalante, J. F., Rochín-Wong, S., Soto-Puebla, D., Navarro-Espinoza, S.,

- Ochoa-Contreras, R., & Pedroza-Montero, M. (2020). Identification of inhalable rutile and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) nanoparticles in the atmospheric dust. *Environmental Pollution*, 260. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114006>
- García, H., Toyo, L., Acosta, Y., Rodríguez, L., & Zauahre, M. el. (2014). Percepción del manejo de residuos sólidos urbanos (fracción inorgánica) en una comunidad universitaria Ciencias Ambientales. *MULTICIENCIAS*, 14, 247–256.
- García, M. M., Hileman, J., Bodin, Ö., Nilsson, A., & Jacobi, P. R. (2019). The unique role of municipalities in integrated watershed governance arrangements: A new research frontier. *Ecology and Society*, 24(1). <https://doi.org/10.5751/ES-10793-240128>
- García-Chan, N., Alvarez-Vázquez, L. J., Martínez, A., & Vázquez-Méndez, M. E. (2021). Designing an ecologically optimized road corridor surrounding restricted urban areas: A mathematical methodology. *Mathematics and Computers in Simulation*, 190, 745–759. <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2021.06.016>
- Goehler, L. O., Moruzzi, R. B., Tomazini da Conceição, F., Júnior, A. A. C., Speranza, L. G., Busquets, R., & Campos, L. C. (2022). Relevance of tyre wear particles to the total content of microplastics transported by runoff in a high-imperviousness and intense vehicle traffic urban area. *Environmental Pollution*, 314. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120200>
- Gomes, C. S., Ferreira, L. L. B., Henriques, R. J., Barros, J. D. S., Carvalho, R. P. B. de, & Magalhães Jr., A. P. (2021). Nascentes naturais em áreas urbanas: usos e funções socioambientais em Belo Horizonte, MG. *Geo UERJ*, 39, e41059. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2021.41059>
- Gómez-Soto, J. A., Sánchez-Toro, Ó. J., & Matallana-Pérez, L. G. (2019). Residuos urbanos, agrícolas y pecuarios en el contexto de las biorrefinerías. *Revista Facultad de Ingeniería*, 28(53), 7–32. <https://doi.org/10.19053/01211129.v28.n53.2019.9705>
- González, B. Z., Narváez, Y. V., Cárdenas, F. P., Ramos, L. R., Aranda, Ó. M., Sierra, V. P., & Martínez, J. I. V. (2019). Exposure to noise by vehicular traffic and impact on the quality

- of sleep and performance in residents of urban areas. *Estudios Demograficos y Urbanos*, 34(3), 601–629. <https://doi.org/10.24201/edu.v34i3.1743>
- González-Bravo, R., Marques, M. C., Bezerra, M. O., Coutinho, B., Castillo, J. L. del, Vollmer, D., Ramirez, A. I. O., & Mahlknecht, J. (2020). Urban sustainability: Analyzing the water-energy nexus in the Guandu river basin, Rio de Janeiro, Brazil. *Energy Reports*, 6, 254–260. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.08.053>
- Gonzalez-Calderon, C. A., Posada-Henao, J. J., Granada-Muñoz, C. A., Moreno-Palacio, D. P., & Arcila-Mena, G. (2022). Cargo bicycles as an alternative to make sustainable last-mile deliveries in Medellin, Colombia. *Case Studies on Transport Policy*, 10(2), 1172–1187. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2022.04.006>
- González-Rodríguez, M. S., Clairand, J. M., Soto-Espinosa, K., Jaramillo-Fuelantala, J., & Escrivá-Escrivá, G. (2020). Urban traffic flow mapping of an andean capital: Quito, Ecuador. *IEEE Access*, 8, 195459–195471. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3033518>
- Gonzalez-Trevizo, M. E., Martinez-Torres, K. E., Armendariz-Lopez, J. F., Santamouris, M., Bojorquez-Morales, G., & Luna-Leon, A. (2021). Research trends on environmental, energy and vulnerability impacts of Urban Heat Islands: An overview. *Energy and Buildings Vol. 246*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111051>
- Graells, G., Nakamura, N., Celis-Diez, J. L., Lagos, N. A., Marquet, P. A., Pliscoff, P., & Gelcich, S. (2021). A Review on Coastal Urban Ecology: Research Gaps, Challenges, and Needs. *Frontiers in Marine Science Vol. 8*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.617897>
- Graizbord, B., & González Granillo, J. L. (2019). Urban Growth and Environmental Concerns: The Venture of the Greater Mexico City Metropolitan Area. *Politics and Policy*, 47(1), 178–206. <https://doi.org/10.1111/polp.12292>
- Guzman, L. A., Escobar, F., Peña, J., & Cardona, R. (2020). A cellular automata-based land-use model as an integrated spatial decision support system for urban planning in developing

- cities: The case of the Bogotá region. *Land Use Policy*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104445>
- Hajiouni, S., Mohammadi, A., Ramavandi, B., Arfaenia, H., De-la-Torre, G. E., Tekle-Röttering, A., & Dobaradaran, S. (2022). Occurrence of microplastics and phthalate esters in urban runoff: A focus on the Persian Gulf coastline. *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150559>
- Hardoy, J., Hernández, I., Pacheco, J. A., & Sierra, G. (2014). Institutionalizing climate change adaptation at municipal and state level in Chetumal and Quintana Roo, Mexico. *Environment and Urbanization*, 26(1), 69–85. <https://doi.org/10.1177/0956247813519053>
- Henao, J. J., Rendón, A. M., & Salazar, J. F. (2020). Trade-off between urban heat island mitigation and air quality in urban valleys. *Urban Climate*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100542>
- Ibáñez-Forés, V., Bovea, M. D., Coutinho-Nóbrega, C., de Medeiros-García, H. R., & Barreto-Lins, R. (2018). Temporal evolution of the environmental performance of implementing selective collection in municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. *Waste Management*, 72, 65–77. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.027>
- Ibarra, D., Ramírez-Mendoza, R., & López, E. (2017). Noise emission from alternative fuel vehicles: Study case. *Applied Acoustics*, 118, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.11.010>
- Ivanov, V. Y., Xu, D., Dwelle, M. C., Sargsyan, K., Wright, D. B., Katopodes, N., Kim, J., Tran, V. N., Warnock, A., Fatichi, S., Burlando, P., Caporali, E., Restrepo, P., Sanders, B. F., Chaney, M. M., Nunes, A. M. B., Nardi, F., Vivoni, E. R., Istanbuluoglu, E., ... Bras, R. L. (2021). Breaking Down the Computational Barriers to Real-Time Urban Flood Forecasting. *Geophysical Research Letters*, 48(20). <https://doi.org/10.1029/2021GL093585>

- Izquierdo-Horna, L., Damazo, M., & Yanayaco, D. (2022). Identification of urban sectors prone to solid waste accumulation: A machine learning approach based on social indicators. *Computers, Environment and Urban Systems*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2022.101834>
- Jiménez, N. (2017). El residuo: producto urbano, asunto de intervención pública y objeto de la gestión integral. *Cultura y Representaciones Sociales*, 22, 158–192. www.culturayrs.org.mx
- Jin, Z., Velásquez Angel, M. A., Mura, I., & Franco, J. F. (2022). Enriched spatial analysis of air pollution: Application to the city of Bogotá, Colombia. *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.966560>
- José Filho, O., Oliveira, J., & Albuquerque, A. (2021). Bacias hidrográficas urbanas: O reflexo da precarização do saneamento em Manaus. *Ateliê Geográfico*, 15(2), 70–93.
- Kayo de Brito Nunes, H., & Maria Sabóia de Aquino, C. (2018). A temática ambiental em áreas urbanas: o Rio Poti como objeto de estudo em Teresina/Piauí. *GEOAmbiente*, 31, 38. www.revistas.ufg.br/geoambiente
- Kitagawa, Y. K. L., de Almeida Albuquerque, T. T., Kumar, P., Nascimento, E. G. S., & Moreira, D. M. (2022). Coastal-urban meteorology: A sensitivity study using the WRF-urban model. *Urban Climate*, 44. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101185>
- Krellenberg, K., Link, F., Welz, J., Harris, J., Barth, K., & Irarrazaval, F. (2014). Supporting local adaptation: The contribution of socio-environmental fragmentation to urban vulnerability. *Applied Geography*, 55, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.08.013>
- Krellenberg, K., Welz, J., Link, F., & Barth, K. (2017). Urban vulnerability and the contribution of socio-environmental fragmentation: Theoretical and methodological pathways. *Progress in Human Geography*, 41(4), 408–431. <https://doi.org/10.1177/0309132516645959>
- Kumar, P., Hama, S., Abbass, R. A., Nogueira, T., Brand, V. S., Wu, H. W., Abulude, F. O., Adelodun, A. A., de Fatima Andrade, M., Asfaw, A., Aziz, K. H., Cao, S. J., El-Gendy,

- A., Indu, G., Kehbila, A. G., Mustafa, F., Muula, A. S., Nahian, S., Nardocci, A. C., ... Shiva Nagendra, S. M. (2022). CO2 exposure, ventilation, thermal comfort and health risks in low-income home kitchens of twelve global cities. *Journal of Building Engineering*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105254>
- Lamphar, H., Kocifaj, M., Limón-Romero, J., Paredes-Tavares, J., Chakameh, S. D., Mego, M., Prado, N. J., Baez-López, Y. A., & Diez, E. R. (2022). Light pollution as a factor in breast and prostate cancer. *Science of the Total Environment*, 806. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150918>
- Leal Filho, W., Brandli, L., Moora, H., Kruopiene, J., & Stenmarck, Å. (2016). Benchmarking approaches and methods in the field of urban waste management. *Journal of Cleaner Production Vol. 112*, 4377–4386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.065>
- Lima, P. A. B., Paião Júnior, G. D., Santos, T. L., Furlan, M., Battistelle, R. A. G., Silva, G. H. R., Ferraz, D., & Mariano, E. B. (2022). Sustainable Human Development at the Municipal Level: A Data Envelopment Analysis Index. *Infrastructures*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/infrastructures7020012>
- Lin, B. B., Ossola, A., Alberti, M., Andersson, E., Bai, X., Dobbs, C., Elmqvist, T., Evans, K. L., Frantzeskaki, N., Fuller, R. A., Gaston, K. J., Haase, D., Jim, C. Y., Konijnendijk, C., Nagendra, H., Niemelä, J., McPhearson, T., Moomaw, W. R., Parnell, S., ... Tan, P. Y. (2021). Integrating solutions to adapt cities for climate change. *The Lancet Planetary Health Vol. 5, num. 7*, e479–e486. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00135-2](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00135-2)
- Lisboa, É. G., Mendes, R. L. R., Figueiredo, M. M. P., & Bello, L. A. L. (2020). Fuzzy-probabilistic model for a risk assessment of groundwater contamination: Application to an urban zone in the City of Belem, Para, Brazil. *Water (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/w12051437>
- Loayza, J., & Silva, V. (2013). Los procesos industriales sostenibles y su contribución en la prevención de problemas ambientales. *Revista de La Facultad de Ingeniería Industrial*, 16(1), 108–117.

- Lome-Hurtado, A., Touza-Montero, J., & White, P. C. L. (2020). Environmental Injustice in Mexico City: A Spatial Quantile Approach. *Exposure and Health, 12*(2), 265–279. <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00310-2>
- Lopes Cabral, S., Sampaio Reis, R., & Ruberto Fragoso Júnior, C. (2013). Avaliação do efeito da urbanização na produção de sedimentos da bacia do Rio Jacarecica/al mediante uso de modelo hidrossedimentológico distribuído. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo, 37*, 1073–1080.
- López de Munain, D., Castelo, B., & Ruggerio, C. A. (2021). Social metabolism and material flow analysis applied to waste management: A study case of Autonomous City of Buenos Aires, Argentina. *Waste Management, 126*, 843–852. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.04.014>
- López Vázquez, J. (2013). Problemática y propuesta de gestión ambiental en la ciudad de Laredo, Trujillo, Perú. *Revista Ciencia y Tecnología, 9*(1), 191–208.
- López-Goyburu, P., & García-Montero, L. G. (2018). The urban-rural interface as an area with characteristics of its own in urban planning: A review. *Sustainable Cities and Society Vol. 43*, 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.07.010>
- López-Pérez, F., & Guerrero-Erao, J. (2017). Environmental considerations on the consumption of water and energy in urban households as a social practice. *Revista Espacios, 38*(59).
- Lopez-Restrepo, S., Yarce, A., Pinel, N., Quintero, O. L., Segers, A., & Heemink, A. W. (2020). Forecasting PM10 and PM2.5 in the Aburrá Valley (Medellín, Colombia) via EnKF based data assimilation. *Atmospheric Environment, 232*. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117507>
- Lucena, A. J. de, Rotunno Filho, O. C., França, J. R. de A., Peres, L. de F., & Xavier, L. N. R. (2013). Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. *Theoretical and Applied Climatology, 111*(3–4), 497–511. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0668-0>

- Luna-Galván, M., & Vargas-Chaves, I. (2018). Approaching Resilience for Climate Change Adaptation in Complex Milieus: The Case of Vulnerable Neighborhoods in Cartagena de Indias. *European Journal of Sustainable Development*, 7(3). <https://doi.org/10.14207/ejsd.2018.v7n3p255>
- Machado, R. A. S., Oliveira, A. G., & Lois-González, R. C. (2019). Urban ecological infrastructure: The importance of vegetation cover in the control of floods and landslides in Salvador / Bahia, Brazil. *Land Use Policy*, 89. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104180>
- Magdaleno, F., Cortés, F., & Martín, B. M. (2018). Infraestructuras verdes y azules: estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático Green and Blue Infrastructures: Adaptation and Mitigation Strategies to Climate Change. *Revista de Ingeniería Civil*, 198, 105–112. <https://www.researchgate.net/publication/329831069>
- Mansur, A. V., Brondizio, E. S., Roy, S., de Miranda Araújo Soares, P. P., & Newton, A. (2018). Adapting to urban challenges in the Amazon: flood risk and infrastructure deficiencies in Belém, Brazil. *Regional Environmental Change*, 18(5), 1411–1426. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1269-3>
- Manzano, C. A., Jácome, M., Syn, T., Molina, C., Toro Araya, R., & Leiva-Guzmán, M. A. (2021). Local Air Quality Issues and Research Priorities Through the Lenses of Chilean Experts: An Ontological Analysis. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 17(1), 273–281. <https://doi.org/10.1002/ieam.4320>
- Martines, M. R., Cavagis, A. D. M., Kawakubo, F. S., Morato, R. G., Ferreira, R. V., & Toppa, R. H. (2020). Spatial segregation in floodplain: An approach to correlate physical and human dimensions for urban planning. *Cities*, 97. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102551>
- Martínez-González, M. B., Milanes, C. B., Moreno-Gómez, J., Padilla-Llano, S., Vásquez, A., Lavell, A., Saltarín-Jiménez, A., & Suárez, A. (2021). Understanding social and environmental hazards in urban areas: An analysis from barranquilla, Colombia. *Social Sciences*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/socsci10110411>

- Martins, M. S., Kalil, R. M. L., & Rosa, F. D. (2021). Sustainable neighbourhoods: Applicable indicators through principal component analysis. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*, *174*(1), 25–36. <https://doi.org/10.1680/jurdp.20.00058>
- Massuga, F., Doliveira, S. L. Di., Gonzaga, C. A. M., & Soares, S. (2021). Sustainability urban solid waste management: A study on restaurants in Irati City, PR. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, *58*, 886–910. <https://doi.org/10.5380/dma.v58i0.71571>
- Mattos, J. B., Silva, K. B., Silva, R. J., Almeida, T. H. M., Póvoas, H. S. S., Silva, P. V. R., Góes, I. M. de A., & Matos, I. S. (2019). Natural factors or environmental neglect? Understanding the dilemma of a water crisis in a scenario of water plenty. *Land Use Policy*, *82*, 509–517. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.027>
- Medeiros de Saboia, M. A., de Souza Filho, F. de A., Helfer, F., & Rolim, L. Z. R. (2020). Robust Strategy for Assessing the Costs of Urban Drainage System Designs under Climate Change Scenarios. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *146*(11). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0001281](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0001281)
- Mejía-Dugand, S., & Pizano-Castillo, M. (2020). Touching down in cities: Territorial planning instruments as vehicles for the implementation of SDG strategies in cities of the global south. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(17). <https://doi.org/10.3390/SU12176778>
- Melo, R. A., Pimentel, R. L., Lacerda, Di. M., & Silva, W. M. (2015). Applicability of models to estimate traffic noise for urban roads. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, *13*(1). <https://doi.org/10.1186/s40201-015-0240-9>
- Mendonça Silva, M., Hipel, K. W., Marc Kilgour, D., & Cabral Seixas Costa, A. P. (2017). Urban Planning in Recife, Brazil: Evidence from a Conflict Analysis on the New Recife Project. *Journal of Urban Planning and Development*, *143*(3). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)up.1943-5444.0000391](https://doi.org/10.1061/(asce)up.1943-5444.0000391)
- Mendoza-Cano, O., Aquino-Santos, R., López-De la Cruz, J., Edwards, R. M., Khouakhi, A., Pattison, I., Rangel-Licea, V., Castellanos-Berjan, E., Martínez-Preciado, M. A., Rincón-

- Avalos, P., Lepper, P., Gutiérrez-Gómez, A., Uribe-Ramos, J. M., Ibarreche, J., & Perez, I. (2021). Experiments of an IoT-based wireless sensor network for flood monitoring in Colima, Mexico. *Journal of Hydroinformatics*, 23(3), 385–401. <https://doi.org/10.2166/HYDRO.2021.126>
- Mercader-Moyano, P., Morat, O., & Serrano-Jiménez, A. (2021). Urban and social vulnerability assessment in the built environment: An interdisciplinary index-methodology towards feasible planning and policy-making under a crisis context. *Sustainable Cities and Society*, 73. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103082>
- Mesquita, P. dos S., & Bursztyn, M. (2018). Food and climate change: Perceptions and the potential of behavioral changes towards mitigation. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 49, 1–16. <https://doi.org/10.5380/dma.v49i0.54835>
- Mestre Martí, M., & Castillo Mena, A. (2017). Retos urbanos y medioambientales para una mejor gestión del patrimonio cultural en cuatro ciudades del caribe: La Habana, san juan viejo, santo domingo y cartagena de indias. *Architecture, City and Environment*, 11(33), 87–116. <https://doi.org/10.5821/ace.11.33.4784>
- Miguez, M. G., Battemarco, B. P., de Sousa, M. M., Rezende, O. M., Veról, A. P., & Gusmaroli, G. (2017). Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model. *Water (Switzerland)*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/w9060445>
- Molinos-Senante, M., & Guzmán, C. (2018). Reducing CO2 emissions from drinking water treatment plants: A shadow price approach. *Applied Energy*, 210, 623–631. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.065>
- Morales-Betancourt, R., Wilches-Mogollon, M. A., Sarmiento, O. L., Mendez Molano, D., Angulo, D., Filigrana, P., Arellana, J., Guzman, L. A., Garzon, G., Gouveia, N., Levy, P., & Diez-Roux, A. v. (2023). Commuter's personal exposure to air pollutants after the implementation of a cable car for public transport: Results of the natural experiment TrUST. *Science of the Total Environment*, 865. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160880>

- Morales-Cerdas, V., Castro, L. P., Romero Vargas, M., & Rojas, T. B. (2018). Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica. *Revista Biología Tropical Vol. 66, num. 4*.
- Moreno, E. (2014). Indicadores para el estudio de la sustentabilidad urbana en Chimalhuacán, Estado de México. *Estudios Sociales (Hermosillo, Son.)*, 22(14), 161–186.
- Morita, A. K. M., & Moreno, F. N. (2022). Phytoremediation applied to urban solid waste disposal sites. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(2), 377–384. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210105>
- Moruzzi, R. B., de Lima, J. L. M. P., Abrantes, J. R. C. B., & Silveira, A. (2020). Liquid phase nonpoint source pollution dispersion through conveyance structures to sustainable urban drainage system within different land covers. *Ecological Engineering*, 158. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106012>
- Mycoo, M. A. (2017). A Caribbean New Urban Agenda post-Habitat III: Closing the gaps. *Habitat International*, 69, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2017.09.001>
- Nadaleti, W. C., Martins, R., Lourenço, V., Przybyla, G., Bariccatti, R., Souza, S., Manzano-Agugliaro, F., & Sunny, N. (2021). A pioneering study of biomethane and hydrogen production from the wine industry in Brazil: Pollutant emissions, electricity generation and urban bus fleet supply. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(36), 19180–19201. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.03.044>
- Nascimento Júnior, L. (2018). O clima urbano como risco climático: contribuição da geografia do clima aos estudos sobre os climas das cidades / urban climate as a climate risk: contribution of climate geography to studies about cities 'climates. *Geo UERJ*, 33, e36827. <https://doi.org/10.12957/geouerj.2018.36827>
- Negev, M., Zea-Reyes, L., Caputo, L., Weinmayr, G., Potter, C., & de Nazelle, A. (2022). Barriers and Enablers for Integrating Public Health Cobenefits in Urban Climate Policy. *Annu. Rev. Public Health*, 43, 255–270. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth>

- Negret, F. (2018). Problemática socioambiental das favelas Sol Nascente e Pôr do Sol no Distrito Federal – 2000/2015: ausências e precariedade no espaço de vida. *Desenvolv. Meio Ambiente*, 46.
- Nicollier, V., Bernardes, M. E. C., & Kiperstok, A. (2022). What Governance Failures Reveal about Water Resources Management in a Municipality of Brazil. *Sustainability (Switzerland)*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042144>
- Oliver, S., Corburn, J., & Ribeiro, H. (2019). Challenges regarding water quality of eutrophic reservoirs in urban landscapes: A mapping literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health* Vol. 16, num. 1. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010040>
- Oltra, C., Sala, R., Boso, À., & Asensio, S. L. (2017). Public engagement on urban air pollution: an exploratory study of two interventions. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(6). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6011-6>
- Ortega Montoya, C. Y., López-Pérez, A. O., Ugalde Monzalvo, M., & Ruvalcaba Sánchez, M. L. G. (2021). Multidimensional urban exposure analysis of industrial chemical risk scenarios in mexican metropolitan areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(11). <https://doi.org/10.3390/ijerph18115674>
- Ortiz-Báez, P., Cabrera-Barona, P., & Bogaert, J. (2021). Characterizing landscape patterns in urban-rural interfaces. *Journal of Urban Management*, 10(1), 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2021.01.001>
- Pacifici, M., Marins, K. R. de C., Catto, V. de M., Rama, F., & Lamour, Q. (2017). Morphological and climate balance: Proposal for a method to analyze neighborhood urban forms by way of densification. *Sustainable Cities and Society*, 35, 145–156. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.023>
- Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J. M., Noyola, A., & Güereca, L. P. (2016). Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities. *Environmental Impact Assessment Review*, 57, 101–113. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.007>

- Pereira, M. C. S., Martins, J. R. S., Nogueira, F. F., Magalhães, A. A. B., & da Silva, F. P. (2021). Improvement of water quality in urban rivers: New paradigms to explore – pinheiros river basin, são paulo, brazil. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26(3), 577–590. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190272>
- Peres, R. B., & Cassiano, A. M. (2019). The Neighborhood Impact Study (NIS) in the southern and southeastern regions of Brazil: Advances and challenges to environmental urban management. *Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 11. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180128>
- Pérezd-Martínez, P. J., Miranda, R. M., & Andrade, M. F. (2020). Freight road transport analysis in the metro São Paulo: Logistical activities and CO2 emissions. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 137, 16–33. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2020.04.015>
- Perló Cohen, M., & Zamora Saenz, I. (2017). Perspectivas ambientales sobre la contaminación y la recuperación del río Magdalena en la ciudad de México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 33(3), 377–391. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.03.02>
- Pinzón Botero, M. V. (2018). Retos ambientales para los Planes de Ordenamiento Territorial modernos o de segunda generación: el caso de los municipios intermedios de Colombia. *El Ágora USB*, 18(2), 426–445. <https://doi.org/10.21500/16578031.3223>
- Possanti, I., & Marques, G. (2022). A modelling framework for nature-based solutions expansion planning considering the benefits to downstream urban water users. *Environmental Modelling and Software*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2022.105381>
- Quintero-González, J.-R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 57. <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd21-40.citm>
- Razzolini, M. T. P., Breternitz, B. S., Kuchkarian, B., & Bastos, V. K. (2020). Cryptosporidium and Giardia in urban wastewater: A challenge to overcome. *Environmental Pollution*, 257. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113545>

- Rehman, A., Ma, H., Radulescu, M., Sinisi, C. I., Paunescu, L. M., Alam, M. S., & Alvarado, R. (2021). The energy mix dilemma and environmental sustainability: Interaction among greenhouse gas emissions, nuclear energy, urban agglomeration, and economic growth. *Energies, 14*(22). <https://doi.org/10.3390/en14227703>
- Requena-Sanchez, N., Carbonel-Ramos, D., Moonsammy, S., Klaus, R., Punil, L. S., & Ng, K. T. W. (2022). Virtual Methodology for Household Waste Characterization During The Pandemic in An Urban District of Peru: Citizen Science for Waste Management. *Environmental Management, 69*(6), 1078–1090. <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01610-1>
- Reyes, S., & de La Barrera, F. (2019). Monitoreo de los avances en desarrollo urbano: análisis de los catastros de áreas verdes urbanas en el Área Metropolitana de Santiago, Chile. *Revista INVI, 34*(96), 129–150. <http://orcid.org/0000-0002-6854-3197>.
- Robledo Zacarías, V. H., Velázquez Machuca, M. A., Montañez Soto, J. L., Pimentel Equihua, J. L., Vallejo Cardona, A. A., López Calvillo, M. D., & Venegas González, J. (2017). Hidroquímica y contaminantes emergentes en aguas residuales urbano-industriales de Morelia, Michoacán, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 33*(2), 221–235. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.02.04>
- Rocha-Dos-santos, W. J., Leite, W. C. de A., & Schalch, V. (2022). Application of activity-based costing in solid waste management: a case study. *Engenharia Sanitaria e Ambiental, 27*(6), 1105–1111. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220104>
- Rocha-Melogno, L., Ginn, O., Bailey, E. S., Soria, F., Andrade, M., Bergin, M. H., Brown, J., Gray, G. C., & Deshusses, M. A. (2020). Bioaerosol sampling optimization for community exposure assessment in cities with poor sanitation: A one health cross-sectional study. *Science of the Total Environment, 738*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139495>
- Rodrigues, E. A., Ferreira, M. L., de Carvalho, A. R., Bustillos, J. O. W. V., Victor, R. A. B. M., Sodr e, M. G., & de Andrade, D. A. (2022). Land, Water, and Climate Issues in Large and Megacities under the Lens of Nuclear Science: An Approach for Achieving Sustainable

Development Goal (SDG11). *Sustainability (Switzerland)*, 14(20).
<https://doi.org/10.3390/su142013646>

Rodríguez, M., Bodini, A., Escobedo, F. J., & Clerici, N. (2021). Analyzing socio-ecological interactions through qualitative modeling: Forest conservation and implications for sustainability in the periurban bogota (Colombia). *Ecological Modelling*, 439.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109344>

Rodríguez-Algeciras, J., Tablada, A., Nouri, A. S., & Matzarakis, A. (2021). Assessing the influence of street configurations on human thermal conditions in open balconies in the Mediterranean climate. *Urban Climate*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100975>

Rodríguez-Urrego, D., & Rodríguez-Urrego, L. (2020). Air quality during the COVID-19: PM2.5 analysis in the 50 most polluted capital cities in the world. *Environmental Pollution Vol.* 266. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115042>

Rotger, D. V. (2020). Degraded landscapes and social imaginaries. Del Gato stream perceptions in la Plata city, Argentina. *Revista de Urbanismo*, 42, 120–133.
<https://doi.org/10.5354/0717-5051.2020.52561>

Rozante, J. R., Rozante, V., Alvim, D. S., Manzi, A. O., Chiquetto, J. B., D'Amelio, M. T. S., & Moreira, D. S. (2017). Variations of carbon monoxide concentrations in the Megacity of São Paulo from 2000 to 2015 in different time Scales. *Atmosphere*, 8(5).
<https://doi.org/10.3390/atmos8050081>

Ruiz-Fernández, A. C., Alonso-Hernández, C., Espinosa, L. F., Delanoy, R., Solares Cortez, N., Lucienna, E., Castillo, A. C., Simpson, S., Pérez-Bernal, L. H., Caballero, Y., Peña-Castro, A., López-Monroy, F., Quejido-Cabezas, A. J., Garay-Tinoco, J. A., Díaz-Asencio, M., Gómez-Batista, M., Parra Lozano, J. P., & Sanchez-Cabeza, J. A. (2020). 210Pb-derived sediment accumulation rates across the Wider Caribbean Region. *Journal of Environmental Radioactivity*, 223–224. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106366>

- Sagaris, L., Berríos, E., & Tiznado-Aitken, I. (2020). Using PAR to frame sustainable transport and social justice on policy agendas. A pilot experience in two contrasting Chilean cities. *Journal of Transport Geography*, 83. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102654>
- Salas, S., & Sánchez-González, D. (2014). Envejecimiento de la población, salud y ambiente urbano en América Latina. Retos del Urbanismo gerontológico. *Revista de La Facultad de Arquitectura de La Universidad Autónoma de Nuevo León*, 8, 31–49.
- Sampaio, S. A., dos Santos, T. C., & Silva, E. R. M. (2021). Análise da expansão urbana na Zona Sul de Ilhéus e as condições de balneabilidade das praias. *Cadernos de Geografia*, 43, 81–96. https://doi.org/10.14195/0871-1623_43_6
- Sandoval, J., Castañón-Puga, M., Gaxiola-Pacheco, C., & Suarez, E. D. (2017). Identifying clusters of complex urban-rural issues as part of policy making process using a network analysis approach: A case study in Bahía de Los ángeles, Mexico. *Sustainability (Switzerland)*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/su9061059>
- Santibañez-Aguilar, J. E., Ponce-Ortega, J. M., Betzabe González-Campos, J., Serna-González, M., & El-Halwagi, M. M. (2013). Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste. *Waste Management*, 33(12), 2607–2622. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.08.010>
- Siqueira, M. T. (2021). comunidades planejadas: Utopia e segregação socioespacial em florianópolis, brasil. *Bitacora Urbano Territorial*, 31(3), 139–151. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v31n3.87792>
- Siqueira-Gay, J., & Sánchez, L. E. (2019). Mainstreaming environmental issues into housing plans: the approach of Strategic Environmental Assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 77, 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.12.005>
- Solano Meza, J. K., Rodrigo-Illari, J., Hernández, C. P. R., & Rodrigo-Clavero, M. E. (2020). Analytical methodology for the identification of critical zones on the generation of solid waste in large urban areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph17041196>

- Sosa, D., Hilber, I., Faure, R., Bartolomé, N., Fonseca, O., Keller, A., Bucheli, T. D., & Escobar, A. (2019). Polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in urban and semi-urban soils of Havana, Cuba. *Journal of Soils and Sediments*, *19*(3), 1328–1341. <https://doi.org/10.1007/s11368-018-2137-6>
- Soto Villagrán, P. (2018). Towards the construction of a gender geography of the city. Plural forms of inhabiting and meaning urban spaces in Latin America. Rumo à construção de uma geografia de gênero da cidade. Formas plurais de habitar e significar espaços urbanos na América Latina. *Revista Perspectiva Geográfica*, *23*(2), 13–31. <https://doi.org/10.19053/01233769.7382>
- Soto-Cortés, J. J. (2015). El crecimiento urbano de las ciudades: enfoques desarrollista, autoritario, neoliberal & sustentable. *Paradigma Económico*, *7*(1), 127–149.
- Soto-Montes-de-Oca, G., & Alfie-Cohen, M. (2019). Impact of climate change in Mexican peri-urban areas with risk of drought. *Journal of Arid Environments*, *162*, 74–88. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.10.006>
- Starkl, M., Brunner, N., López, E., & Martínez-Ruiz, J. L. (2013). A planning-oriented sustainability assessment framework for peri-urban water management in developing countries. *Water Research*, *47*(20), 7175–7183. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.037>
- Tavares, A. M. F., Stival, M. M., & Dutra e Silva, S. (2020). The restricted environmental jurisprudence of the inter-American court of human rights and possible innovations on urban environmental protection. *Veredas Do Direito*, *17*(37), 241–262. <https://doi.org/10.18623/RVD.V17I37.1559>
- Texeira, M., Almeida, H., & Cabral, T. (2013). Metodologia para priorização de ações em aglomerados subnormais considerando os riscos de deslizamentos e inundações e as condições de moradia. *Eng Sanit Ambient*, *18*(1).
- Thornhill, I., Hill, M. J., Castro-Castellon, A., Gurung, H., Hobbs, S., Pineda-Vazquez, M., Gómez-Osorio, M. T., Hernández-Avilés, J. S., Novo, P., Mesa-Jurado, A., & Calderon-

- Contreras, R. (2022). Blue-space availability, environmental quality and amenity use across contrasting socioeconomic contexts. *Applied Geography*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102716>
- Trevisan, R., Flores-Nunes, F., Dolores, E. S., Mattos, J. J., Piazza, C. E., Sasaki, S. T., Taniguchi, S., Montone, R. C., Bicego, M. C., dos Reis, I. M. M., Zacchi, F. L., Othero, B. N. M., Bastolla, C. L. V., Mello, D. F., Fraga, A. P. M., Wendt, N., Toledo-Silva, G., Razzera, G., Dafre, A. L., ... Bainy, A. C. D. (2017). Thiol oxidation of hemolymph proteins in oysters *Crassostrea brasiliana* as markers of oxidative damage induced by urban sewage exposure. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 36(7), 1833–1845. <https://doi.org/10.1002/etc.3543>
- Valente de Macedo, L. S., Barda Picavet, M. E., Puppim de Oliveira, J. A., & Shih, W. Y. (2021). Urban green and blue infrastructure: A critical analysis of research on developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 313. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127898>
- Velasco Bautista, E., Nayeli Cortés Barrera, E., González Hernández, A., Moreno Sánchez, F., & Benavides Meza, H. M. (2013). Diagnóstico Y Caracterización Del Arbolado Del Bosque De San Juan De Aragón. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(19), 102–111.
- Velázquez, G., & Celemín, J. P. (2019). Geografía y calidad de vida en la Argentina: análisis según departamentos y radios censales (2010). *Journal de Ciencias Sociales*, 7(13), 88.
- Ventriglio, A., Torales, J., Castaldelli-Maia, J. M., de Berardis, D., & Bhugra, D. (2021). Urbanization and emerging mental health issues. *CNS Spectrums Vol. 26, num. 1*, 43–50. <https://doi.org/10.1017/S1092852920001236>
- Vergara-Erices, L., Muñoz, R. G., & Curío, V. H. (2015). Os primórdios da insustentabilidade: Problemas urbanos e institucionalidade na cidade de temuco, 1955-1970. *Cuadernos de Vivienda y Urbanismo*, 8(16), 264–281. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cvu8-16.iipu>
- Vergel Ortega -Margarita, M., Contreras, M., Joaquín, D.-J., & Lozano, M. (2016). Percepciones y características del espacio público y ambiente urbano entre habitantes de la ciudad de

- Cúcuta-Colombia 1 Perceptions and characteristics of public space and urban environment among city inhabitants in Cúcuta-Colombia. *Revista de Trabajo Social e Intervención Social*, 21, 213–239.
- Verrelli, B. C., Alberti, M., des Roches, S., Harris, N. C., Hendry, A. P., Johnson, M. T. J., Savage, A. M., Charmantier, A., Gotanda, K. M., Govaert, L., Miles, L. S., Rivkin, L. R., Winchell, K. M., Brans, K. I., Correa, C., Diamond, S. E., Fitzhugh, B., Grimm, N. B., Hughes, S., ... Ziter, C. (2022). A global horizon scan for urban evolutionary ecology. *Trends in Ecology and Evolution* Vol. 37, num. 11, 1006–1019. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.07.012>
- Viegas, C. v., Saldanha, D. L., Bond, A., Ribeiro, J. L. D., & Selig, P. M. (2013). Urban land planning: The role of a Master Plan in influencing local temperatures. *Cities*, 35, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.05.006>
- Villegas, C. E. C., Espíndola, H. S., & García, P. Á. (2020). Unsustainability of social housing settlements in México: An approach from design thinking. case study: Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. *Architecture, City and Environment*, 14(42). <https://doi.org/10.5821/ace.14.42.8256>
- Vlasov, D., Ramírez, O., & Luhar, A. (2022). Road Dust in Urban and Industrial Environments: Sources, Pollutants, Impacts, and Management. *Atmosphere* Vol. 13, num. 4. <https://doi.org/10.3390/atmos13040607>
- Vörösmarty, C. J., de Guenni, L. B., Wollheim, W. M., Pellerin, B., Bjerklie, D., Cardoso, M., D’Almeida, C., Green, P., & Colon, L. (2013). Extreme rainfall, vulnerability and risk: A continental-scale assessment for South America. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2002). <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0408>
- Walteros, J. M., & Ramírez, A. (2020). Urban streams in Latin America: Current conditions and research needs. *Revista Biología Tropical*. Vol. 68.

- Weins, N. W., de Oliveira Santos, L. C., Silva, M. D., Gadda, T., & da Silva, C. L. (2021). Payments for watershed ecosystem services in the Miringuava basin, Brazil: Mediating or exacerbating conflicts in peri-urban commons? *Revista Brasileira de Marketing*, *10(1)*. <https://doi.org/10.5585/geas.v10i1.18468>
- White, P. A., Gelfand, A. E., Rodrigues, E. R., & Tzintzun, G. (2019). Pollution state modelling for Mexico City. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A: Statistics in Society*, *182(3)*, 1039–1060. <https://doi.org/10.1111/rssa.12444>
- Wilk, J., Jonsson, A. C., Rydhagen, B., del Callejo, I., Cerruto, N., Chila, G., Encinas, S., Kumar, A., & Rani, A. (2018). Assessing vulnerability in Cochabamba, Bolivia and Kota, India: how do stakeholder processes affect suggested climate adaptation interventions? *International Journal of Urban Sustainable Development*, *10(1)*, 32–48. <https://doi.org/10.1080/19463138.2018.1436061>
- Xavier, L. H., Ottoni, M., & Lepawsky, J. (2021). Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks. *Journal of Cleaner Production*, *297*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>
- Zambrano-Monserrate, M. A., & Ruano, M. A. (2019). Does environmental noise affect housing rental prices in developing countries? Evidence from Ecuador. *Land Use Policy*, *87*. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104059>
- Zamorano González, B., Peña Cárdenas, F., Parra Sierra, V., Velázquez Narváez, Y., & Vargas Martínez, J. I. (2015). Noise pollution in Matamoros's downtown. *Acta Universitaria*, *25(5)*, 20–27. <https://doi.org/10.15174/au.2015.819>
- Zimmerer, K. S., Bell, M. G., Chirisa, I., Duvall, C. S., Egerer, M., Hung, P. Y., Lerner, A. M., Shackleton, C., Ward, J. D., y Yacamán Ochoa, C. (2021). Grand Challenges in Urban Agriculture: Ecological and Social Approaches to Transformative Sustainability. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.668561>