

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE TECHOS VERDES
EN LA CIUDAD DE LIMA”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

ENRIQUE PÍO HAAKER SALAZAR












LIMA – PERÚ

2023

Document Information

Analyzed document	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE TECHOS VERDES EN LA CIUDAD DE LIMA 5 FEB 2023.pdf (D158241341)
Submitted	2/9/2023 12:56:00 PM
Submitted by	Edgardo Arturo Vilcara Cárdenas
Submitter email	eavilcara@lamolina.edu.pe
Similarity	4%
Analysis address	eavilcara.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	CORONEL CASTILLO_MERA TANTALEAN - Para antiplagio.pdf Document CORONEL CASTILLO_MERA TANTALEAN - Para antiplagio.pdf (D109534096)	 3
W	URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf Fetched: 2/9/2023 1:15:00 PM	 3
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/275644297_Techos_verdes_Una_herramienta_viable_para_l... Fetched: 2/7/2020 4:10:17 PM	 3
W	URL: https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-evaluacion-rapida-niveles-ruido-lima-metropolitana Fetched: 2/9/2023 1:18:00 PM	 2
W	URL: https://repositorio.usil.edu.pe/bitstreams/31393395-f93c-49e9-a040-83b428c82172/download Fetched: 1/14/2022 4:16:26 AM	 8
W	URL: https://elperuano.pe/NormasElperuano/2019/04/08/1757875-1/1757875-1.htm Fetched: 2/9/2023 1:17:00 PM	 1
SA	techos verdes - felix castillo jumbo. ing. civil 8-1.doc Document techos verdes - felix castillo jumbo. ing. civil 8-1.doc (D26649684)	 1
SA	UCP_INGENIERÍA VICIL_2021_TESIS_CINTHIA AREVALO_JAIME MUÑOZ_V1.pdf Document UCP_INGENIERÍA VICIL_2021_TESIS_CINTHIA AREVALO_JAIME MUÑOZ_V1.pdf (D122925737)	 1
W	URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf Fetched: 2/9/2023 1:15:00 PM	 1
W	URL: http://www.limacomovamos.org/wp-content/uploads/2019/11/Encuesta-2019_web.pdf Fetched: 2/9/2023 1:17:00 PM	 1
W	URL: https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/crean-el-programa-techo-verde-en-el-districto-de-s... Fetched: 2/9/2023 1:18:00 PM	 1

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE TECHOS VERDES
EN LA CIUDAD DE LIMA”**

Enrique Pío Haaker Salazar

Trabajo de Suficiencia Profesional para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Ph.D. Elizabeth Consuelo Heros Aguilar
PRESIDENTE

Ing. M. Univ. Edgardo Arturo Vilcara Cárdenas
ASESOR

Ing. Mg. Sc. Giovanna Patricia Rivera Oballe
MIEMBRO

Ing. M. Sc. Sofía Jesús Flores Vivar
MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mi esposa, Jenny, y a nuestros hijos, Victoria y Mateo, por su amor y alegría de cada día. A mis padres, Flor y Enrique, y a mi hermano, Alejandro, por todo lo que tenemos para agradecer. A mi familia y a mis amigos. A todos ellos, por su constante apoyo; día a día me enseñan el valor y el camino. Por tantos maravillosos momentos y aventuras juntos. Con profundo amor y agradecimiento.

A mi inmenso país: el Perú. Por la congregación de todos los peruanos en el corazón de la tierra.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria La Molina y especialmente a la Facultad de Agronomía, en sus profesores, que nos brindan las enseñanzas científicas y técnicas con valores humanos de cuidado, carácter y amistad, que contienen el sentido y el espíritu de nuestra carrera profesional. Con gran respeto y aprecio.

A mi asesor en este trabajo de suficiencia profesional, el Ing. M. Univ. Edgardo Arturo Vilcara Cárdenas, por su especial dedicación en brindarme el soporte académico y el acompañamiento necesario para la construcción, revisión y conclusión de este documento.

*“We shall not cease from exploration
and the end of all our exploring
will be to arrive where we started
and know the place for the first time.”*

– T.S. Eliot

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 SITUACIÓN ACTUAL	3
2.2 EL MEDIO AMBIENTE Y SUS IMPLICANCIAS EN LA SALUD HUMANA.....	5
2.2.1 Islas de Calor	6
2.2.2 Situación medio ambiental en la ciudad de Lima.....	7
2.3 SOSTENIBILIDAD DE LIMA METROPOLITANA.....	12
2.4 TECHOS VERDES	12
2.4.1 Componentes de los techos verdes	13
2.4.2 Tipos de techos verdes.....	13
2.4.3 Beneficios de los techos verdes	14
2.4.4 Análisis Político-Gubernamental.....	16
2.4.5 Ordenanzas municipales	16
2.4.6 Oportunidades comerciales	17
2.4.7 Empresas dedicadas a la instalación de techos verdes en Lima	18
III. DESARROLLO DEL TRABAJO.....	19
3.1 INFORMACIÓN GENERAL	19
3.2 EXPERIENCIA TÉCNICA.....	20
3.2.1 Sistema techo verde – componentes.....	20
3.2.2 Sistema techo verde – otros factores relacionados	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
4.1 DISEÑO DE TECHOS VERDES	50
4.2 INSTALACIÓN DE TECHOS VERDES.....	50
4.3 MANTENIMIENTO DE TECHOS VERDES.....	55
4.4 EVALUACIÓN Y RENDIMIENTO DE TECHOS VERDES.....	56
V. CONCLUSIONES	58
VI. RECOMENDACIONES	60
VII.BIBLIOGRAFÍA	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Superficie de área verde urbana por habitante	9
--	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cambios en la distribución de la población por área de residencia	4
Figura 2. Viviendas particulares censadas por tipo de vivienda.....	5
Figura 3. Vehículos por cada mil habitantes en la ciudad de Lima.....	8
Figura 4. Evaluación rápida de los niveles de ruido en Lima Metropolitana.....	11
Figura 5. Techo plano de concreto armado macizo como soporte estructural	21
Figura 6. Soporte sobredimensionado	22
Figura 7. Límites estructurales	23
Figura 8. Impermeabilización horizontal y vertical en geomembrana	25
Figura 9. Prueba de estanqueidad	25
Figura 10. Aprobación de prueba de estanqueidad	26
Figura 11. Capa de drenaje sintética.....	27
Figura 12. Instalación de capa filtrante	28
Figura 13. Preparación de sustrato en el lugar de instalación	31
Figura 14. Sustrato ligero para techo verde instalado	32
Figura 15. Sustrato con base en suelo y grava.....	32
Figura 16. Plantas xerófitas en techo verde.....	34
Figura 17. Plantas para sombra y semi sombra en techo verde.....	35
Figura 18. Plantas para sol directo en techo verde intensivo.....	35
Figura 19. Huerto urbano en techo de Lima.....	36
Figura 20. Árbol para techo verde	36
Figura 21. Plano de diseño de sistema de riego tecnificado	41
Figura 22. Tendido de mangueras de riego por goteo	42
Figura 23. Riego por aspersión en funcionamiento.....	42
Figura 24. Lectura de hidrómetro	44
Figura 25. Techo verde en semi sombra.....	45
Figura 26. Elementos que generan interferencias a la luz y radiación solar en techo verde.....	46
Figura 27. Ave local en techo verde	47
Figura 28. Proyecto en construcción	51
Figura 29. Interferencia por equipos en frente de instalación	52
Figura 30. Interferencia por otros trabajos sobre impermeabilización	53
Figura 31. Acarreo de sustrato por escaleras.....	54
Figura 32. Elevación de sustrato con grúa.....	54

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional se basa en la experiencia profesional desarrollada del año 2015 al año 2021 en el diseño, instalación y mantenimiento de techos verdes en la ciudad de Lima; aunque considera también la experiencia obtenida en un proyecto en la ciudad de Tacna en el año 2018. Teniendo en consideración la coyuntura climática global, el crecimiento urbano y los principales retos que enfrenta la humanidad, se presentan los múltiples beneficios que los techos verdes brindan a las ciudades y sus habitantes, situándolos como instrumento del urbanismo moderno para la mitigación de impactos negativos y aporte a la sostenibilidad. Para buen entendimiento de los techos verdes se presentan uno a uno sus componentes, así como sus aspectos críticos de diseño, construcción y mantenimiento, como resultado del conocimiento adquirido en la ejecución de proyectos. Adicionalmente, se plantea una fórmula para evaluar cualitativamente el rendimiento de techos verdes en base a sus factores de incidencia. Finalmente, se presentan conclusiones, retos y oportunidades para este tipo de infraestructura verde en el ámbito local en base a un análisis de los niveles de sostenibilidad de la ciudad de Lima.

Palabras clave: techos verdes, infraestructura verde, construcción sostenible, sostenibilidad urbana.

ABSTRACT

This work is based on the design, installation and maintenance professional experience obtained through green roof projects between 2015 and 2021 in Lima – Peru. It also considers the experience obtained in a project located in Tacna city in 2018. Considering information of the actual state of global climate, urban growth and the main challenges that humanity faces, green roofs multiple benefits for cities and its inhabitants are presented, situating these systems as an instrument for impact mitigation and sustainability contribution in modern urbanism. For the better understanding of green roofs its components are presented one by one, each of them with their critical points regarding design, installation and maintenance, as result of the knowledge obtained through projects execution. In addition, a formula for green roofs qualitative performance assessment is proposed based on its incidence factors. Finally, conclusions, challenges and opportunities for this kind of green infrastructure are presented for the local sphere based on an analysis of sustainability levels in Lima.

Key words: green roofs, green infrastructure, green building, urban sustainability

I. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMÁTICA

Los retos que afronta la humanidad actualmente son enormes y complejos. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), al establecer los Objetivos de Desarrollo Sostenible al 2030, define el horizonte y la línea de trabajo para abordar uno a uno los más importantes retos que la comunidad global debe atender. En el ámbito geo político internacional, el Acuerdo de París, busca, por medio de un acuerdo global, detener o disminuir el impacto causado por las actividades del ser humano, así como reducir el calentamiento global, requiriendo la participación, tanto a nivel macro, por países y gobiernos, como a nivel micro, por comunidades e individuos.

Los techos verdes, de origen muy antiguo, constituyen una infraestructura verde, de construcción humana, que cumple diferentes funciones, tales como aislamiento térmico, recolección de aguas pluviales y reducción del ruido; favoreciendo el bienestar humano e incrementando el valor de las edificaciones, entre otros. Debido al amplio rango de opciones de diseño de techos verdes que existen, con las consecuentes diferencias que esto significa en costos, requerimientos y beneficios, es importante conocer y establecer las condiciones particulares de cada proyecto urbanístico y sus objetivos desde etapas iniciales, lo que permitirá su adecuada concepción; así, durante las etapas de diseño y planificación, se podrá aprovechar el estado del arte, propiciando mayores posibilidades de alcanzar los resultados y beneficios esperados en las diferentes etapas del proyecto, desde la construcción del techo verde, hasta el final de su vida útil, de ser el caso. Esta forma de trabajo permite la optimización de recursos y la formación de equipos de profesionales idóneos para las diferentes tareas a realizarse.

El presente trabajo de suficiencia profesional busca determinar los principales beneficios y criterios a tener en cuenta en el diseño de techos verdes en entornos urbanos, particularmente en la ciudad de Lima, en base a los conocimientos y experiencias que se tiene en relación a estos sistemas en diferentes lugares del mundo. Adicionalmente, busca establecer los

principales puntos clave para propiciar la viabilidad en el uso de esta tecnología como instrumento de sostenibilidad en la ciudad de Lima.

Se espera que este trabajo represente un aporte en el desarrollo de proyectos de incorporación de áreas verdes en edificaciones, como instrumento en la creación de ciudades y comunidades sostenibles.

1.2 OBJETIVOS

- Determinar los beneficios más importantes de los techos verdes en las ciudades.
- Establecer los criterios más importantes para el diseño de techos verdes en la ciudad de Lima.
- Identificar los retos y oportunidades de este sector a nivel local.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 SITUACIÓN ACTUAL

Son numerosos los esfuerzos que se realizan globalmente para conseguir la sostenibilidad. Así, las Naciones Unidas, en 2015, adopta la Agenda al 2030 para el Desarrollo Sostenible, producto del acuerdo de los gobiernos de los Estados Miembros de la Organización para garantizar el progreso respecto de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible y 169 metas de carácter integrado e indivisible; buscando favorecer a las personas y al planeta, así como promover la prosperidad, el fortalecimiento de la paz universal y acceso a la justicia (Naciones Unidas, 2015).

Según Romero, Diego y Álvarez (2006), la temperatura a nivel global se ha incrementado debido a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), por acciones tales como la quema de combustibles fósiles, el laboreo del suelo para la agricultura y la deforestación, entre otros, ocasionando alteraciones en el clima del planeta y en la salud de las personas.

Posteriormente, el Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre Cambio Climático, por sus siglas en inglés (IPCC), con fecha 9 de agosto de 2021, presentó el informe Cambio Climático 2021, Bases Físicas; en el cual sostiene que se observan cambios en el clima a nivel mundial. Prevé que la temperatura global promedio durante los próximos 20 años alcanzará o superará un incremento de 1,5 grados Celsius. Del mismo modo, afirma que la reducción sostenida de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y de otros gases de efecto invernadero permitiría limitar este cambio climático. Finalmente concluye que, a menos que estas emisiones se reduzcan de manera inmediata y a gran escala, limitar el calentamiento a cerca de 1,5 o incluso 2 grados Celsius será un objetivo inalcanzable.

El Perú ha actualizado su compromiso de Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (CDN) para el período 2021 – 2030, el mismo que es parte del Acuerdo de París, del cual el Perú es parte. Según el Gobierno del Perú (2020), el Estado se compromete a que sus emisiones netas de gases de efecto invernadero no excedan las 208,8 MtCO₂eq (millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente) en el año 2030. Adicionalmente, el Estado Peruano considera que las emisiones de gases de efecto invernadero podrían alcanzar un

nivel máximo de 179,0 MtCO₂eq en función a la disponibilidad de financiamiento externo internacional y a la existencia de condiciones favorables.

Asimismo, más de la mitad de la población mundial se encuentra concentrada en las ciudades. Para el caso del Perú, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2021), con información del censo del año 1940, la distribución poblacional era de un 64,6% de residencia en el área rural y de un 35,4% de residencia en zonas urbanas; sin embargo, el censo del año 2017 muestra una reversión en los datos, con un 82,4% de población que reside en el ámbito urbano y un 17,6% de residencia en zonas rurales, como se muestra en la figura 1.

Área de residencia	Población censada							Población Proyectada
	1940	1961	1972	1981	1993	2007	2017	2021
Total	6 208,0	9 906,7	13 538,2	17 005,2	22 048,4	27 412,2	29 381,9	33 035,3
Urbana	2 197,1	4 698,2	8 058,5	11 091,9	15 458,6	20 810,3	24 205,9	26 914,8
Rural	4 010,8	5 208,6	5 479,7	5 913,3	6 589,8	6 601,9	5 176,0	6 120,5
Estructura porcentual								
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Urbana	35,4	47,4	59,5	65,2	70,1	75,9	82,4	81,5
Rural	64,6	52,6	40,5	34,8	29,9	24,1	17,6	18,5

Figura 1. Cambios en la distribución de la población por área de residencia

Nota: La figura muestra la evolución de la población según el área de residencia, en miles de habitantes y estructura porcentual, observándose un incremento de la población urbana, la cual supera a la rural.

Fuente: INEI, 2021.

Este acelerado desarrollo urbano genera una serie de problemas sociales, económicos y ambientales, especialmente en las ciudades de los países en vía de desarrollo, en las cuales se evidencia una carencia de infraestructuras adecuadas para reducir los efectos de la desordenada expansión urbana, entre ellos, la contaminación del aire, el efecto isla de calor urbano (ICU) y la contaminación de cuerpos de agua, en muchas ciudades del mundo, por superación de capacidad de los sistemas de alcantarillado – por agua de escorrentía – en las estaciones lluviosas (Zielinski *et al.*, 2012).

Junto al crecimiento urbano, cabe destacarse el dinámico crecimiento vertical de las ciudades. En base a la cantidad de viviendas particulares censadas en los censos nacionales de vivienda del 2007 y del 2017, el número de viviendas ubicadas en edificios de

departamentos se incrementó en 441679, lo que representa un crecimiento de casi 117% en diez años. Contrario a lo anterior, el número de viviendas en casas de vecindad disminuyó en 25913, lo que representa una disminución de 23,2%, como se aprecia en la figura 2; en línea con la tendencia decreciente desde 1993 (INEI, 2021).

Censo Nacional	Año	Casa independiente	Departamento en edificio	Vivienda en quinta	Vivienda en casa de vecindad
I de Vivienda	1961	1 397 972	73 808	29 682	164 865
II de Vivienda	1972	2 089 832	108 113	51 760	237 492
III de Vivienda	1981	3 216 230	149 706	93 057	142 598
IV de Vivienda	1993	4 255 277	212 731	70 720	153 945
V de Vivienda	2005	6 354 461	384 436	87 228	136 622
VI de Vivienda	2007	6 477 401	378 926	135 245	111 693
VII de Vivienda	2017	8 763 360	820 605	126 308	85 780

Figura 2. Viviendas particulares censadas por tipo de vivienda en el Perú

Nota: La figura muestra la evolución del tipo de vivienda en el Perú entre 1961 y 2017, con un importante crecimiento de viviendas en edificios de departamentos y un claro decrecimiento de viviendas en casas de vecindad.

Fuente: INEI, 2021.

El impacto económico, social y medio ambiental de la infraestructura y edificaciones, es sustancial; reconociéndose cada vez más a la infraestructura verde como una oportunidad para mitigar los impactos negativos de la infraestructura y edificios, al mismo tiempo que genera beneficios medio ambientales, económicos y sociales (United States Environmental Protection Agency [EPA], 2014).

2.2 EL MEDIO AMBIENTE Y SUS IMPLICANCIAS EN LA SALUD HUMANA

El desarrollo del ser humano, como especie biológica, ha mantenido una relación directa con las condiciones climáticas y sus alteraciones, afectando y condicionando su evolución; asimismo, los elementos determinantes de la salud poblacional son muy variados e interactúan de forma compleja; sin embargo, las investigaciones evidencian que las alteraciones climáticas y del medio ambiente afectan la salud humana (Patz *et al.*, 2000; Iniasta *et al.*, 2008).

Del mismo modo, el cambio climático conlleva una serie de variaciones, alteraciones y degradación de los ecosistemas naturales y antropogénicos; resultantes de una lenta y

compleja interacción de diversos efectores de cambio, conllevando a ocasionales sinergias como a potenciaciones del impacto de sus efectos sobre la salud del ser humano (Beniston, 2002; Calvo, 2008; Sánchez *et al.*, 2009; Lozano, 2016).

Durante los últimos decenios y ante las evidencias disponibles, el cambio climático y sus efectos sobre determinadas afecciones humanas han sido objeto de diversas discusiones y decisiones para reducirlos (Calvo, 2008; IPCC, 2014). Sin embargo, no todos los posibles efectos que se atribuyen al cambio climático son negativos, pues el calentamiento mundial podría ser causa de una menor mortalidad en invierno por su efecto cardiovascular y un aumento de la producción de alimentos en determinadas zonas (IPCC, 2014), pero, por lo general, las repercusiones sobre la salud humana, serían adversas (OMS, 2016a; Ochoa *et al.*, 2015); por estas razones se sostiene que el progresivo incremento de la temperatura, altera los ciclos de la vida y la actividad económico-social constituye la causa principal del calentamiento global (McMichael, 2003).

Durante los últimos decenios y ante las evidencias disponibles, el cambio climático y sus efectos sobre determinadas afecciones humanas han sido objeto de diversas discusiones y decisiones para reducirlos (Calvo, 2008; IPCC, 2014). Sin embargo, no todos los posibles efectos que se atribuyen al cambio climático son negativos, pues el calentamiento mundial podría ser causa de una menor mortalidad en invierno por su efecto cardiovascular y un aumento de la producción de alimentos en determinadas zonas (IPCC, 2014), pero, por lo general, las repercusiones sobre la salud humana, serían adversas (OMS, 2016a; Ochoa *et al.*, 2015); por estas razones se sostiene que el progresivo incremento de la temperatura, altera los ciclos de la vida y la actividad económico-social constituye la causa principal del calentamiento global (McMichael, 2003).

2.2.1 Islas de Calor

Las islas de calor urbano (ICU) son un fenómeno por el cual la temperatura del aire y la superficie de la urbe son más elevados que sus alrededores rurales (Menacho y Teruya, 2019). Este fenómeno constituye una problemática que se ha venido presentando a nivel global en cada una de las grandes ciudades, percibiéndose una notable diferencia de temperatura entre las áreas urbanas en comparación con las rurales, ocasionando una serie de consecuencias negativas que pueden llegar a ser fatales para los pobladores de las ciudades (Castellanos y Montoya, 2020); de esta manera, las más altas temperaturas se concentran en las áreas más céntricas o de construcciones más densas, descendiendo de

forma progresiva hacia la periferia; este patrón o gradiente térmico está asociado a una progresiva pérdida de las áreas verdes naturales, intra y peri urbanas, las cuales fueron sustituidas por superficies impermeables, como pistas, veredas, edificaciones de concreto, ladrillos y otros materiales de construcción, los cuales han alterado el balance hídrico y radiactivo superficial, incrementando la temperatura de las áreas urbanas (Chen *et al.*, 2006 y Córdova, 2011).

Según Rizwan *et al.* (2008) y EPA (2008), la formación de las ICU se da por la energía contenida en un área urbana proveniente del sol y de fuentes antropogénicas, tales como automóviles, plantas generadoras de energía y aires acondicionados, los cuales elevarán la temperatura del aire ambiental de forma directa; mientras que en lo referido a la energía solar: una parte calentará el aire ambiental y la otra será absorbida por las estructuras urbanas, que posteriormente también calentarán el aire ambiental; por este motivo, durante el día, la energía solar y la antropogénica calientan el medio ambiente, pero la radiación solar cede energía a las estructuras como pistas, veredas, paredes, techos, jardines, parques y otras, que absorben y almacenan el calor de manera diferente, para luego, liberarla a la atmósfera en cuanto el sol se va poniendo, calentando el medio ambiente. Sin embargo, las áreas verdes como parques y jardines afectan negativamente a la ICU ya que reducen la temperatura del aire ambiental por medio de la transpiración de la vegetación y porque poseen un mayor albedo que las estructuras urbanas, absorbiendo menor cantidad de energía; caso contrario a la contaminación atmosférica, y a los gases de efecto invernadero, los cuales mantienen el aire más caliente (EPA, 2008).

Las islas de calor generan malestar en los habitantes de la ciudad, ya que, durante el día, se percibe un agotamiento y estrés térmico por efecto de la insolación, y por las noches un incremento de la sensación térmica y pérdida de confort (Ángel *et al.*, 2010).

2.2.2 Situación medio ambiental en la ciudad de Lima

Los limeños consideran que el problema más grave de gestión ambiental es la contaminación vehicular, seguido de la falta de árboles y mantenimiento de las zonas verdes (Lima Cómo Vamos, 2019).

El parque automotor en Lima, como se muestra en la figura 3, mostró un crecimiento de 90% entre el año 2000 y el año 2019, lo que brinda una visualización aproximada del incremento de la concentración de emisiones contaminantes en el aire, en dicho período,

como producto de emisiones vehiculares (Sistema Nacional de Información Ambiental [SINIA], 2021).

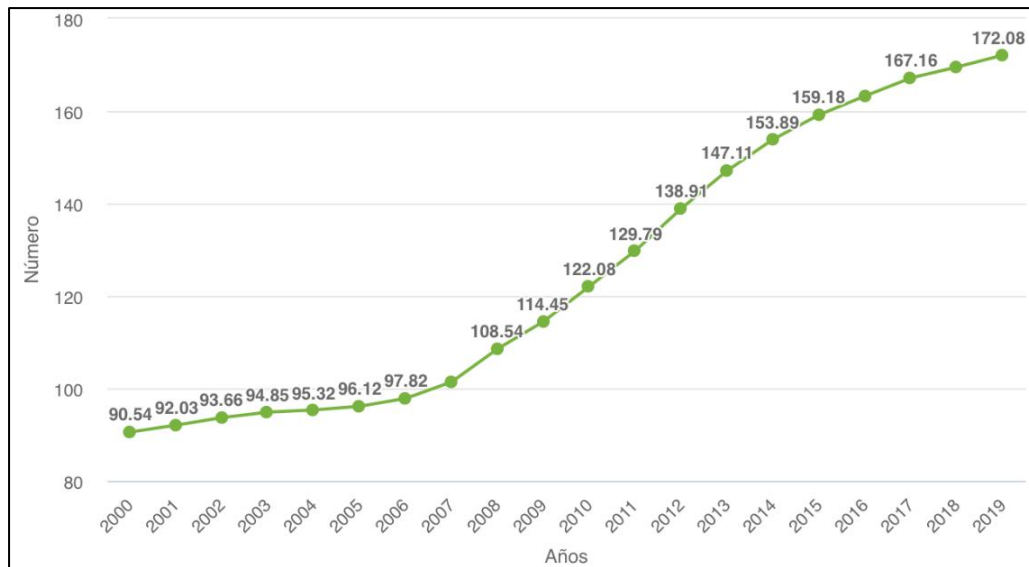


Figura 3. Vehículos por cada mil habitantes en la ciudad de Lima

Fuente: Sistema Nacional de Información Ambiental - SINIA

La superficie de área verde urbana, en metros cuadrados por habitante, en Lima Metropolitana, tiene una distribución desigual. Como se muestra en la Tabla 1, al año 2018, en distritos de la capital como San Borja y San Isidro, los ciudadanos disponen de 11,86 m² y 22,09 m² por habitante respectivamente. Contrario a esto, encontramos distritos como Breña, con 1,01 m² por habitante, o Villa el Salvador, con 1,47 m² por habitante (SINIA, 2016).

Tabla 1: Superficie de área verde urbana por habitante

Distrito	2016	2017	2018
Ancón	3,83	3,74	3,66
Ate	2,66	2,60	2,54
Barranco	4,76	4,84	4,93
Breña	0,94	0,95	1,01
Carabaylo	1,44	1,40	1,84
Chaclacayo	8,11	8,04	7,96
Chorrillos	3,14	3,09	3,04
Cieneguilla	1,07	1,04	1,68
Comas	2,31	2,29	2,81
El Agustino	2,68	2,65	1,37
Independencia	1,18	1,18	2,73
Jesús María	9,01	9,01	9,27
La Molina	7,69	7,52	7,52
La Victoria	2,54	2,58	2,62
Lima	3,21	3,25	3,29
Lince	3,72	3,76	3,81
Los Olivos	3,83	3,77	4,33
Lurigancho	2,24	2,19	2,42
Lurín	1,17	1,14	1,12
Magdalena Del Mar	4,00	3,96	3,98
Miraflores	13,78	13,81	13,84
Pachacamac	0,63	0,61	0,85
Pucusana	0,11	0,11	0,11
Pueblo Libre	3,74	3,74	3,74
Puente Piedra	1,06	1,03	1,00
Punta Hermosa	8,06	7,87	7,69
Punta Negra	1,76	1,72	1,67
Rímac	1,12	1,13	1,13
San Bartolo	11,23	10,97	8,50
San Borja	11,95	11,90	11,86
San Isidro	20,06	20,20	22,09
San Juan De Lurigancho	1,52	1,49	1,59
San Juan De Miraflores	1,69	1,56	1,65
San Luis	5,04	5,00	4,97
San Martín De Porres	1,22	1,19	1,63
San Miguel	4,36	4,33	4,30
Santa Anita	2,38	2,33	2,30
Santa María Del Mar	33,31	32,47	31,54
Santa Rosa	7,69	7,49	7,34
Santiago De Surco	6,71	6,59	6,43
Surquillo	2,70	2,70	2,70
Villa El Salvador	1,53	1,50	1,47

Nota: La tabla presenta los datos de superficie de área verde urbana en metros cuadrados por habitante.

Fuente: Superficie de área verde urbana por habitante, por SINIA, 2016.

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) realizó, durante el año 2010, un conjunto de evaluaciones de los niveles de ruido en puntos estratégicos de Lima Metropolitana y el Callao, registrándose hasta 38 puntos de emisiones de ruidos superiores al nivel permitido de 70 dB, como se muestra en la figura 4. Las fuentes de ruido predominante provinieron del parque automotor, del ruido generado por turbinas y motores de aviones y por edificaciones en construcción (SINIA, 2010). Los limeños consideran que el nivel de ruido es el quinto problema más grave de gestión ambiental de la ciudad (Lima Cómo Vamos, 2019).

Asimismo, entre el año 2000 y el 2019 los residuos sólidos domiciliarios aumentaron un 156%, reportándose un total de 3614000 toneladas en el año 2019 en la Municipalidad Metropolitana de Lima – Gerencia de Servicios a la Ciudad y Gestión Ambiental – División de Gestión de Residuos Sólidos (INEI, 2021).

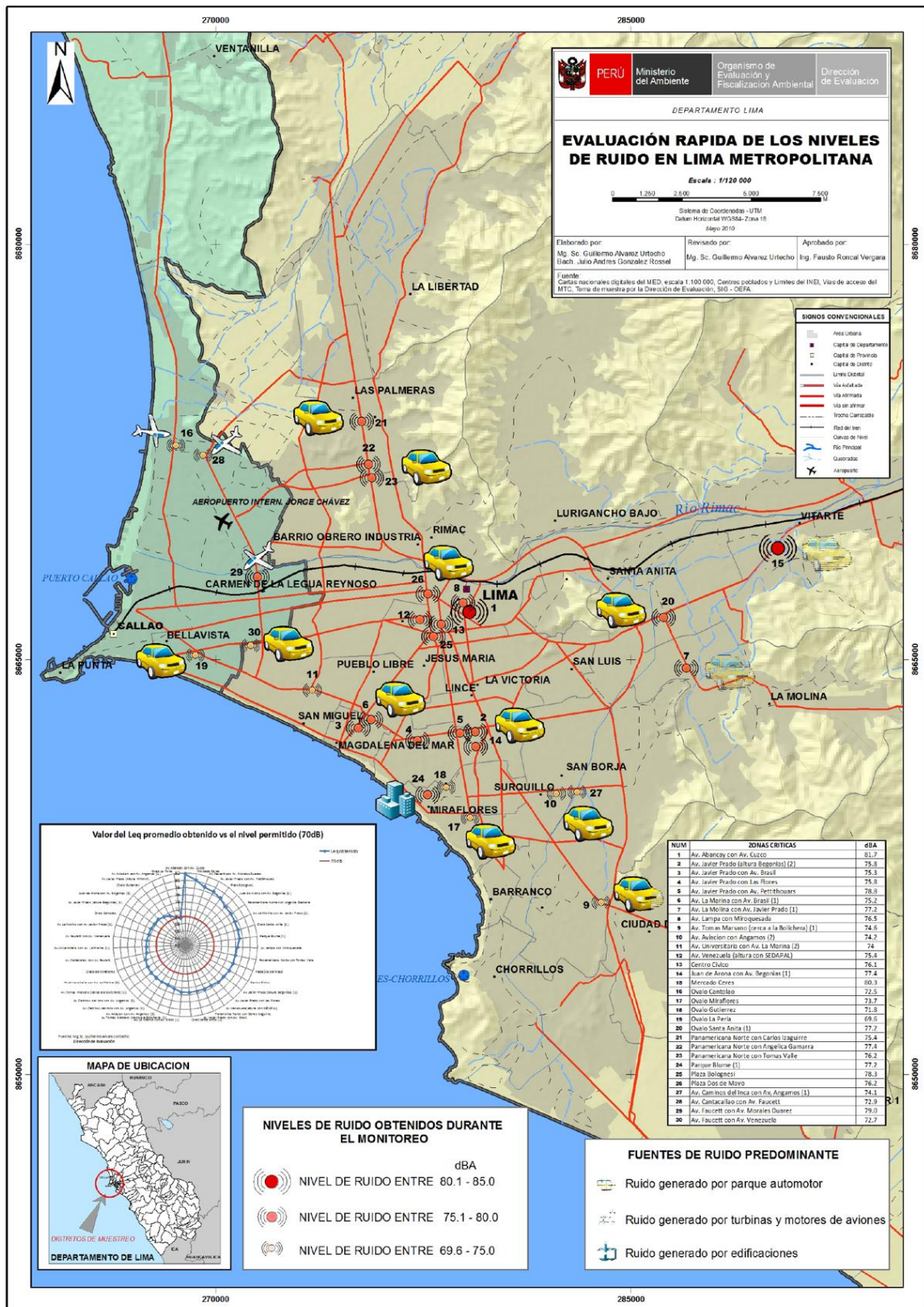


Figura 4. Evaluación rápida de los niveles de ruido en Lima Metropolitana

Nota: El gráfico muestra los niveles de ruido obtenidos mediante monitoreo en diversas partes de Lima durante el año 2010. **Fuente:** Sistema Nacional de Información Ambiental – SINIA.

2.3 SOSTENIBILIDAD DE LIMA METROPOLITANA

Valdivia-Loro (2019) calcula el índice de sostenibilidad urbana de Lima Metropolitana utilizando el método desarrollado por Velásquez Barrero en el 2003, y concluye que la ciudad se encuentra en una etapa de sostenibilidad urbana cuantitativa y cualitativamente baja con tendencia negativa. Los indicadores de sostenibilidad expresan uno de sus valores más bajos en la organización de la participación ciudadana, que se expresa en la auto-organización, autoconstrucción y la informalidad imperante. En la dimensión medioambiental encuentra los indicadores en saneamiento, eficiencia energética y contaminación en niveles deplorables, aseverando que la ciudad es dotada de sostenibilidad medioambiental debido a sus condiciones geográficas, como su cercanía a la infraestructura azul que representa el mar y a la corriente fría de Humboldt, así como a la presencia de los ríos Rímac, Chillón y Lurín, que dotan a la ciudad de un importante suministro de agua para atender las necesidades de la población. En la dimensión económica menciona que los indicadores de sostenibilidad en producción e inversión caen también dentro de niveles bajos.

2.4 TECHOS VERDES

Estos son sistemas constructivos, por los cuales se puede mantener, de forma sostenible, un paisaje vegetal, a manera de cubierta, sobre la parte superior de un inmueble (Secretaría Distrital de Ambiente, 2011). En la actualidad el planeamiento urbano debe considerar la provisión de diversos bienes y servicios para sus habitantes; entre ellos los espacios verdes públicos de libre acceso (Briseño *et al.*, 2010; Echenique *et al.*, 2012); por esta razón, las agencias gubernamentales encargadas de la gestión y planeamiento de las ciudades, consideran y emplean diversos estándares para la medición del éxito y alcance de sus programas gubernamentales y públicos (Fusco *et al.*, 2009; Paskaleva-Shapira, 2009; Webster y Sanderson, 2012; Young *et al.*, 2011; Vojnovic, 2014); siendo los techos verdes una alternativa para recuperar aquellas áreas verdes que se han reducido por diversas razones.

2.4.1 Componentes de los techos verdes

Según García (2010), para un funcionamiento óptimo, se requiere:

- Soporte base para apoyo del sistema.
- Membrana impermeabilizante inhibidora del crecimiento del sistema radicular de las plantas que se instalen.
- Capa drenante que reciba el agua, proveniente de los riegos y las precipitaciones, y que las redirija hacia los desagües de la cubierta. Esta capa también puede cumplir la función de almacenamiento del agua.
- Capa filtrante que evite el paso de las partículas finas, de los sustratos empleados, hacia la capa drenante.
- Capa de sustrato que sirva de soporte físico para la vegetación que se instale, suministrándole nutrientes, agua y oxígeno, necesarios para su adecuado desarrollo.
- Especies vegetales, seleccionadas de acuerdo al sistema elegido.

2.4.2 Tipos de techos verdes

Según Zielinski *et al.*, (2012), existen diferentes sistemas; sin embargo, los más usuales pueden ser clasificados en tres tipos:

Intensivos: Es el sistema que, por su acabado y posibilidades de tránsito y uso, permite realizar la instalación que más se asemeja a los jardines convencionales; su perfil de diseño considera las capas de sustrato de mayor profundidad, lo que les permite alojar una importante variedad de plantas e incluir especies comestibles, arbustivas e incluso arbóreas (Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, 2009). Para su instalación requieren una capa de sustrato mayor a los 30 centímetros, pudiendo superar los 2 metros, lo cual representa un elevado peso del sistema; asimismo, tanto el costo de instalación como de mantenimiento es mayor a los sistemas semi-intensivos y extensivos, ya que requieren de riego, fertilización y poda constantes. Este tipo de sistema tiene un peso que supera los 250 kg/m², pudiendo alcanzar o superar ampliamente los 400 kg/m², requiriéndose por tanto una adecuada capacidad de carga estructural en la edificación, la que deberá ser calculada y construida debidamente por profesionales de la especialidad correspondiente. Su instalación es recomendable en construcciones nuevas (López, 2010).

Semi- intensivos: Es el sistema intermedio, de un espesor de sustrato que oscila entre los 12 y 30 cm, resultando en un peso aproximado de 120 kg/m² hasta 250 kg/m². El menor

contenido de sustrato de este sistema restringe las especies vegetales a seleccionar en comparación con el sistema intensivo. Requieren mantenimiento regular (García, 2010).

Extensivos: Es el sistema de menor demanda de inversión inicial y de mantenimiento; generalmente son instalados en lugares inaccesibles. En ellos se suelen emplear especies rústicas que toleran períodos de sequía, aprovechando muchas veces el agua proveniente de las lluvias; asimismo, la profundidad del sustrato suele ser de 5 cm hasta 15 cm y la vegetación utilizada por lo general es de bajo porte, típicamente representada por especies nativas del sitio de instalación o adaptadas a las condiciones ambientales donde el predio esté ubicado, resultando en requerimientos mínimos de mantenimiento, una vez que se han establecido; tienen un peso aproximado de entre 60 kg/m² y 140 kg/m² (Zielinski *et al.*, 2012 como se citó en Stovin *et al.*, 2007). Por estos motivos y por requerir menor capacidad de carga estructural por parte de la edificación, esta clase de cubierta verde sería la más adecuada para ser instalada en construcciones ya existentes (Zielinski *et al.*, 2012), de manera que no sea necesario realizar ajustes a la estructura de soporte para soportar la carga del techo verde.

2.4.3 Beneficios de los techos verdes

Los techos verdes representan una tendencia de la arquitectura moderna, siendo un componente clave del urbanismo, por lo cual son promovidos en países como Alemania, Suecia, Estados Unidos, Japón y Singapur (Zhang *et al.*, 2015), dados sus beneficios ambientales (Li y Yeung, 2014; Galarza-Molina *et al.*, 2016). Ante la dificultad de expansión de áreas verdes ciudadanas, los techos verdes, también conocidos como techos ecológicos, cubiertas verdes o azoteas verdes, constituyen una alternativa para incrementar las áreas de vegetación urbana (García, 2010). Por razones estéticas y para la mejora de la calidad ambiental del entorno, se ha incrementado el uso de los techos para el cultivo de plantas en los últimos años (Li *et al.*, 2010).

Menacho y Teruya (2019) hallan relación estadísticamente significativa y fuertemente negativa entre el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) – que mide la cantidad, calidad y desarrollo de vegetación – y la intensidad de las Islas de Calor urbano (ICU); y recomiendan la instalación de áreas verdes en zonas donde se ha identificado ICU para disminuir su efecto. Fujii *et al.* (2005) lo confirman, al indicar que las plantas y techos verdes pueden reducir la temperatura por medio de la reflexión de la radiación solar y la

sombra que generan; asimismo, pueden reducir el calor por medio de la transpiración, reduciendo la temperatura tanto en los espacios interiores como en el exterior del edificio.

Los estudios han demostrado que la vegetación puede contribuir a la reducción significativa de los niveles de contaminación del aire en las urbes (Nowak, 2006); reteniendo polvo y partículas contaminantes del aire por medio de la adhesión (Jun Yang *et al.* 2008); además, aparte del filtrado de las partículas del aire, las plantas captan CO₂ y liberan oxígeno (Li *et al.*, 2010).

Asimismo, los techos verdes pueden retener el agua en su sustrato, pudiendo ser aprovechada por las plantas y luego devolverla a la atmósfera, por medio de la evaporación y transpiración (Carter y Keeler, 2008). Una capa de 12 cm puede demorar hasta 12 horas en comenzar la liberación del agua que ha almacenado en un evento de lluvia y continuará liberándola por un tiempo aproximado de 21 horas (Scholz-Barth y Tanner, 2004), contribuyendo a la reducción de la tasa de flujo y el volumen del agua dirigido al alcantarillado de las ciudades (López, 2010), el cual no se saturará, ya que los techos verdes retardan el momento crítico de la descarga, debido a que los sustratos de estos requieren tiempo para su saturación, reduciendo el riesgo de colapso del drenaje de las ciudades (Carter y Jackson, 2007).

Los techos verdes, a través del aislamiento térmico que cumplen la vegetación y la capa de sustrato, evitan el calentamiento de los techos (Gernot, 2004). Mediciones realizadas en Nottingham Trent University evidenciaron los beneficios térmicos de los techos verdes: mientras la temperatura promedio exterior fue de 18,4 grados Celsius, la temperatura promedio bajo la membrana de un techo normal, expuesto, fue de 32,0 grados Celsius. La medición de temperatura promedio bajo la membrana de un techo verde fue de 17,1 grados Celsius (Livingroofs.org y Ecology Consultancy Ltd., 2004). Este efecto repercute en el consumo de electricidad por aire acondicionado (Wong *et al.*, 2003) hasta en un 50% (Akbari, 1995), reduciendo el gasto eléctrico de las ciudades, constituyéndose los techos verdes en un instrumento para la eficiencia energética de las urbes y para una mejoría en la economía de los pobladores.

En lo referido a la dotación de espacios verdes, se han propuesto estándares que conlleven beneficios para los habitantes, considerando que las áreas verdes ciudadanas proporcionan diversos beneficios ecológicos, estéticos, de salud física, psicológica y actividades recreacionales, entre otros (Fan *et al.*, 2011; Young, 2012; Kaźmierczak, 2013; Wolch *et al.*,

2014); sin embargo, las áreas verdes también tienen un efecto en la población sobre la capacidad de atender, procesar la información y el aprendizaje, reduciendo la fatiga mental, irritabilidad e impulsividad, promoviendo un desarrollo psicológico saludable y la mejora de la calidad de vida; de la misma manera que la calidad de una vivienda estaría relacionada con la salud mental y bienestar de sus ocupantes (Sullivan y Chang, 2011). Esto debería ser tomado en cuenta por las instituciones educativas, dado que, en la actualidad, los establecimientos educativos, por factores económicos y la creciente densidad poblacional, gradualmente han sobrepasado la capacidad de estudiantes albergados, inicialmente proyectada, dando lugar a la desaparición de las áreas verdes, las cuales frecuentemente quedan reducidas a macetas o son reemplazadas por veredas (Gareca y Villapardo, 2017).

2.4.4 Análisis Político-Gubernamental

De acuerdo al Decreto Supremo (DS) N°015-2015-VIVIENDA fue aprobada la política de construcción sostenible, buscando la orientación de las zonas urbanas hacia la sostenibilidad, haciendo uso responsable de la energía y agua en las viviendas y los comercios, considerando el cambio climático (DS, 2015). Esto conlleva al ahorro de electricidad y agua, y los espacios verdes en las edificaciones afianzan esta política nacional, ya que reducen el uso de aire acondicionado al actuar como amortiguador térmico. Del mismo modo, diversas municipalidades se han involucrado con el desarrollo de sostenibilidad, emitiendo ordenanzas para promover el desarrollo sostenible en sus jurisdicciones.

2.4.5 Ordenanzas municipales

Según Basilio *et al.*, (2019), varias municipalidades han emitido ordenanzas para la promoción de edificaciones sostenibles por medio de la recuperación de espacios públicos y áreas verdes; por medio de incentivos como la reducción de arbitrios por mantenimiento de parques y jardines y bonos adicionales para edificaciones. Algunas de estas ordenanzas se presentan a continuación:

La Municipalidad de Miraflores (MM) publicó la Ordenanza N°510 para la promoción de edificaciones sostenibles a través de incentivos por área techada, equivalente al área total de los retiros frontales normativos aprobados de 3 metros para calle y 5 metros para avenidas, que se otorga como compensación e incentivo por destinar estas áreas de uso privado para uso público irrestricto de una edificación sostenible; siendo la presente ordenanza aplicable a las edificaciones que cumplan con los requisitos establecidos en ella (MM, 2019).

La Municipalidad de San Borja (MSB) publicó la Ordenanza N° 593-MSB para promoción de edificaciones sostenibles en zonas residenciales, la cual está dirigida a reducir los impactos ambientales de la construcción y edificaciones, al mejorar la calidad del aire e incrementar las áreas verdes. Los beneficios a su acogimiento son: el bono 1, por el cual las edificaciones en zonas residenciales pueden acceder a 1 piso adicional, y el bono 2, por el cual las edificaciones frente a parques o avenidas pueden acceder a 2 pisos adicionales; siempre que cumplan con los requisitos (MSB, 2017).

La Municipalidad de San Miguel “MSM” aprobó la Ordenanza N° 232-MDSM que crea el programa techo verde a fin de sensibilizar, involucrar e incentivar a los pobladores a iniciar las instalaciones de cubiertas de vegetación en la superficie de sus techos y terrazas; siendo el área mínima a sembrar el primer año un 40% del techo, el cual tendrá un crecimiento a razón del 10% de forma anual, hasta cubrir el 80% de la superficie techada. De cumplirse lo anterior, el vecino puede beneficiarse con un descuento del 20% en los arbitrios de mantenimiento para parques y jardines (MDSM, 2012).

La Municipalidad de Ate “MDA” mediante la Ordenanza N° 342-MDA, creó el programa techo verde, incentivando a sus pobladores a la instalación de forma progresiva de cubiertas vegetales en sus terrazas y azoteas de sus viviendas, empresas, centros educativos, y otros. Este programa incentiva una cobertura de hasta un 80% de la superficie de los espacios disponibles en cada hogar, además otorga un premio al mejor techo verde de Ate (MDA, 2014).

En resumen, las municipalidades otorgan una serie de beneficios, pudiendo citarse entre ellas los bonos, descuentos en arbitrios y premios, entre otros.

2.4.6 Oportunidades comerciales

Según el censo llevado a cabo por el INEI (2017), el número de habitantes de Lima y el Callao es de 10 millones 185 mil 170 habitantes, con una tasa de crecimiento inferior al 1,5 %; de esta población, el 26,7% se encuentra en estado de convivencia y un 25,7% en estado de casado o casada, lo cual indicaría que dicha población estaría en busca de opciones de vivienda. Basilio *et al.*, (2019), como se citó en Asociación Peruana de Empresas de Investigación de Mercados [APEIM] (2018) indica que dentro del nivel socioeconómico (NSE) “A” de la población en cada distrito, existe un porcentaje de 35,9% en Miraflores, San Isidro, San Borja, Surco y La Molina; también reconoce un 58,1% de la población dentro

del NSE “B” en los distritos Jesús María, Lince, Pueblo Libre, Magdalena y San Miguel. La información anterior permite inferir que en Lima existen distritos en los que los ciudadanos poseen recursos para invertir en la mejora de sus hogares, instalando techos verdes, entre otras implementaciones. Asimismo, en Lima Metropolitana existen 1773725 viviendas con techos de concreto armado en las jurisdicciones presentadas en el presente párrafo.

2.4.7 Empresas dedicadas a la instalación de techos verdes en Lima

Estas empresas se encuentran en el sector paisajismo urbano y jardinería urbana, y otras vinculadas al sector construcción. En Lima Metropolitana se identificó a Garden Chic Perú, Lirium Design House, Riego y Jardín S.A.C., Rivera Paisajismo, AMSF Diseño & Jardín, Babilónica Jardines y Paisajes, Jiovanna, Mundo Verde Perú, entre otras; cuya producción de plantas se realiza en Lurín, Pachacamac o en las cercanías de Chosica, por las condiciones climáticas de estos distritos; asimismo, otras empresas se ubican en la cercanía de zonas residenciales o con acceso a vías estratégicas como evitamiento o la panamericana sur y norte (Basilio *et al.*, 2019).

III. DESARROLLO DEL TRABAJO

Presentados e identificados en el capítulo anterior algunos de los problemas urbanos coyunturales así como los beneficios más importantes de los techos verdes, el presente capítulo se desarrolla en base a la experiencia profesional adquirida por el postulante en la empresa Jardines Victoria E.I.R.L., enfocándose en describir el proceso constructivo e identificando situaciones reales que se presentaron durante las instalaciones realizadas, las mismas que nos conducen a definir criterios que se deben tener en cuenta para un diseño adecuado de proyectos de techos verdes que aportarán a la funcionalidad del sistema y al éxito de la inversión.

3.1 INFORMACIÓN GENERAL

Jardines Victoria E.I.R.L. inicia sus actividades y es registrada como empresa el año 2014 en respuesta a la identificación de oportunidades para la creación de valor por medio de la aplicación de conocimientos y experiencias adquiridas por el postulante – a través de los estudios de currícula de ciencias, con especialidad en agronomía, en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina – para brindar soluciones en el desarrollo e implementación de proyectos paisajistas, con una distinción muy particular: ser construidos, como sistema, habilitando espacios en edificaciones.

A partir de la necesidad de adquirir conocimientos técnicos especializados que complementarían a los de la currícula de bachillerato universitario y de la investigación personal en el tema, el postulante al título de ingeniero agrónomo cursa el programa Green Roof Professional Training and Accreditation, el año 2016, en la Living Architecture Academy, rama académica de Green Roofs for Healthy Cities. El programa incluye tres cursos: Green Roof Design & Installation, Green Roof Waterproofing & Drainage y Green Roof Plants & Growing Media. El resultado, una vez rendido el examen correspondiente, fue la Acreditación Profesional en Techos Verdes “GRP”, por sus siglas en inglés.

Jardines Victoria, brinda servicios de asesoría, diseño, instalación y mantenimiento de techos verdes, jardines verticales, paisajismo y riego tecnificado; habiendo instalado desde el inicio de sus operaciones, a la fecha, la suma aproximada de cinco mil metros cuadrados de techos verdes, en proyectos de pequeña y mediana envergadura, que tienen como propietarios a personas naturales, en proyectos residenciales privados, como clientes corporativos e instituciones, con dimensiones de techos verdes desde los tres metros cuadrados hasta los setecientos metros cuadrados aproximadamente.

El postulante ocupa el cargo de Titular Gerente en la empresa Jardines Victoria E.I.R.L., siendo fundador de la misma. Las actividades a desarrollar en el cargo abarcan la dirección de las diferentes áreas y actividades de la empresa, incluyendo el establecimiento de la misión y visión, además de la gestión integral de la misma, lo que incluye las actividades operativas de producción y desarrollo, comerciales, administrativas y financieras.

3.2 EXPERIENCIA TÉCNICA

A continuación, se desarrolla el sistema techo verde y cada uno de sus componentes así como otros factores que se consideran incidentes en el rendimiento del mismo. Adicionalmente, se incluye consideraciones técnicas importantes relativas a la instalación de estos sistemas en Lima y Tacna y apreciaciones propias de la experiencia profesional que se consideran de relevancia.

3.2.1 Sistema techo verde – componentes

La concepción y diseño de todo sistema requiere estudio y análisis para la obtención de mejores resultados. En el caso de los techos verdes se trata de un tipo de infraestructura verde construida, como sistema, dentro de un sistema construido mayor: una edificación. Se debe lograr una adecuada habilitación de los inmuebles para la instalación de coberturas vegetales, las cuales deberán establecerse para brindar distintos servicios y perdurar lo más posible en el tiempo, al menor costo y con el mayor rendimiento posible, garantizando a su vez la integridad de la edificación en la que se encuentran instaladas; y en el mejor de los casos, integradas a otros sistemas del edificio, aportando a la eficiencia general de este en su operación.

Los techos verdes incluyen varios componentes para su adecuado funcionamiento. Algunos de estos son parte constructiva del sistema; elementos inertes, cada cual con funciones y características particulares que deberán ser tomadas en cuenta; los demás elementos del

sistema tienen vida o la albergarán, y como tal, son muy dinámicos; en ellos se dará una serie de interacciones y ciclos gobernados por la biología, la física y la química, a los cuales también se debe prestar atención en estas etapas de diseño, instalación y operación, de manera que se pueda lograr el mayor rendimiento del techo verde.

Seguidamente se presentan los componentes del sistema techo verde.

a. Base o soporte estructural

Parte estructural del sistema y base sobre la que se instalan los demás componentes. Debe tener capacidad portante suficiente para soportar con holgura la carga que el techo verde en su conjunto añadirá a la edificación. Puede ser horizontal o tener cierto grado de inclinación. En condiciones de Lima, como se puede apreciar en la figura 5, lo típico son soportes planos, normalmente losas aligeradas o macizas de concreto armado; sin embargo, podrían también construirse en otros materiales como madera, acero u otro. El Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.020 Cargas (2020), establece que la capacidad de sobrecarga, en secciones que incluyan jardín, será de 100 kgf/m^2 , y en el caso que los jardines sean de uso común o público, será de 400 kgf/m^2 . El peso de los materiales del jardín, en términos constructivos es considerado carga viva; la capacidad de carga adicional requerida por la edificación para soportarla se calcula sobre la base de tierra saturada.



Figura 5. Techo plano de concreto armado macizo como soporte estructural

El diseño estructural del soporte del jardín – y los cálculos correspondientes a su capacidad de carga – deberán ser realizados por un profesional competente, en este caso un ingeniero civil con especialidad en estructuras. El resultado será un expediente técnico que incluye planos y detalles constructivos de la estructura, la que debe reflejar su capacidad de sobrecarga (SC). La construcción del soporte deberá ser llevada a cabo por un profesional en la materia siguiendo a cabalidad su diseño, el mismo que se formula en etapas iniciales de proyecto, en las que se establece la arquitectura e ingeniería del edificio. En este momento es oportuna la participación de los profesionales que determinarán las características del techo verde, con la finalidad que el diseño estructural pueda realizarse adecuada y eficientemente, en base a las necesidades reales de capacidad portante en los compartimentos que alojarán techos verdes; evitándose el sobredimensionamiento y excesos de capacidad, como se puede apreciar en la figura 6; o lo opuesto, deficiencias.



Figura 6. Soporte sobredimensionado

Nota: Soporte en losa de concreto macizo, con capacidad para alojar una capa de sustrato de 1,20 m de profundidad, a ser instalada con una cubierta vegetal de césped; la cual solo necesita 20 cm a 30 cm de profundidad para rendir adecuadamente. Se puede apreciar que presenta agua en el fondo de la misma ya que se encontraba en plena prueba de estanqueidad.

En condiciones de Lima Metropolitana, al soporte estructural se le suele adicionar en su parte superior un contrapiso de cemento para generar la pendiente que permita la conducción de agua excedente hacia los sumideros.

b. Límites estructurales

Elementos constructivos que conforman el perímetro y por tanto el compartimento que aloja los demás elementos del sistema, delimitándolo. Su altura determina la profundidad máxima del techo verde. Ver **figura 7**. Pueden ser construidos como parte del proyecto en concreto armado, madera u otro material, en forma de sardineles, muros perimetrales o muros divisorios de secciones para distinto tipo de servicio en la azotea. Existe una oferta de productos en el mercado para este fin, elaborados en distintos materiales (como acero inoxidable, aluminio, acero) y diseños para así brindar las prestaciones técnicas según se requiera.



Figura 7. Límites estructurales

Nota: Límites estructurales del techo verde en muros de ladrillo, que al mismo tiempo son perimetrales a la edificación; y sardineles con bancas que configuran el espacio de una terraza.

En condiciones típicas de construcción de Lima, Perú, estos límites perimetrales estarán conformados por muros y sardineles de ladrillo y concreto armado; las mismas que en muchos casos se utilizarán para albergar tuberías para conducción de agua, parte de las instalaciones sanitarias, y cables de tendido eléctrico, parte de instalaciones eléctricas para

iluminación y suministro de energía. Asimismo, los límites estructurales servirán para instalar puntos de emergencia para evacuación de agua en caso de inundaciones.

c. Impermeabilización

Componente necesario para el funcionamiento del techo verde. En Lima la capa de impermeabilización suele instalarse directamente sobre la superficie expuesta de la base o soporte estructural, normalmente una losa de concreto armado. Debe presentar elasticidad y resistencia mecánica suficientes para un rendimiento adecuado, manteniendo su impermeabilidad, a pesar de las posibles cargas a las que pudiera estar sometida durante su servicio. En el caso del concreto armado, por ejemplo, es típica la fisuración del mismo; lo cual debe ser considerado al elegir el sistema y materiales de impermeabilización.

Existen varios materiales para la impermeabilización de techos, cada uno con sus características propias y distintivas: mantas asfálticas, membranas termoplásticas de cloruro de polivinilo (PVC), membranas de poliolefina termoplástica (TPO), caucho terpolímero de etileno, propileno y dieno (EPDM), membranas de polietileno de alta densidad (HDPE), y otros materiales que se aplican líquidos o semi líquidos, como componentes bituminosos, de poliuretano, poliureas, de origen cementicio, etc. Muchas veces estos materiales cuentan con aditivos, modificadores químicos y refuerzos internos para conferir propiedades de resistencia adicionales a la capa impermeable.

La impermeabilización debe cubrir tanto el fondo – normalmente horizontal o con ligera pendiente – del compartimento que alojará la cobertura vegetal, así como las secciones verticales, en los límites que contendrán el sustrato y la cubierta vegetal, lo que constituye un zócalo impermeabilizado, como se aprecia en la figura 8. Cabe resaltar la importancia del remate y fijación de secciones críticas: perímetro superior de zócalos y elementos que atraviesan el soporte (sumideros, tubos de conducción de agua, de desagüe y de suministro eléctrico).



Figura 8. Impermeabilización horizontal y vertical en geomembrana

La impermeabilización debe ser realizada por instaladores profesionales. Los materiales utilizados deberán contar con certificación de calidad y trazabilidad. Al término de la instalación de impermeabilización se deben realizar las correspondientes pruebas de estanqueidad, para asegurar la impermeabilidad como resultado de la instalación; siguiendo un protocolo establecido con anterioridad. En la figura 9 se aprecia un techo verde en proceso de prueba. En la figura 10 se puede apreciar el proceso de aprobación de la prueba en presencia de la supervisión del proyecto.



Figura 9. Prueba de estanqueidad

Nota: Compartimento lleno de agua y en proceso de prueba de estanqueidad.



Figura 10. Aprobación de prueba de estanqueidad

Nota: Aprobación de prueba de estanqueidad en presencia de la supervisión de proyecto.

Una característica que incidirá en el rendimiento del techo verde, será la durabilidad de la capa de impermeabilización, la misma que es dependiente del tipo de material elegido, de su proceso de instalación y cuidados posteriores, así como de su interacción con el medio ambiente (luz, rayos ultravioletas, etc.). Debido a la importancia de la impermeabilización en el sistema techo verde, esta característica temporal definirá su vida útil y en consecuencia el nivel de rentabilidad y potencial sostenibilidad de la instalación en su conjunto.

d. Capa anti raíces

Los techos verdes deben contar con una capa anti raíz. Algunos materiales de membranas impermeables, como el PVC, HDPE, EPDM y TPO tienen capacidad anti raíz. No es el caso de las membranas asfálticas, a las que debe adicionarse componentes para brindarle esta capacidad, entre ellos compuestos químicos repelentes de raíces como el cobre o materiales que impiden su desarrollo, como el HDPE. Muchas veces se adiciona una capa adicional al sistema con esta finalidad. Es muy importante en este caso que se asegure la compatibilidad física y química de materiales al considerar instalar uno sobre el otro.

e. Capa de drenaje

Este componente, de profundidad o espesor variable, se incluye en los techos verdes para la evacuación adecuada de excedentes de agua por eventos pluviales o por la ocurrencia de fugas de agua o excesos de riego. La capa de drenaje favorece la conducción del agua excedente hacia los sumideros y a la red desagüe del techo verde. Puede ser de origen mineral, de granulometría normalmente gruesa, como gravas; o de diferentes materiales

sintéticos, como el polietileno de alta densidad (HDPE) o como el poliestireno de alta densidad. Normalmente se ubica sobre la impermeabilización, como se aprecia en la figura 11, o sobre la capa anti raíz u otro elemento adicional para la protección de la capa de impermeabilización; y debajo de la capa filtrante. Debe tener capacidad de soportar las diferentes cargas a las que se le puede someter en techos verdes de distinto tipo y profundidad. Se considera parte del sistema de drenaje a las cajas de registro que permiten acceso, inspección y mantenimiento de sumideros (salidas de agua que conectan el techo verde con los montantes que conducirán el agua hacia el desagüe o a una cisterna para reaprovechamiento de estos excedentes por recirculación). En techos planos, es necesario que al componente de soporte estructural se le acondicione un piso con pendiente suficiente (mínimo 2%) hacia los sumideros para un adecuado flujo y velocidad de evacuación.



Figura 11. Capa de drenaje sintética

Muchas veces, como parte del diseño de este componente, se le brinda capacidad de almacenamiento de agua, otorgándole por tanto la función de retención o detención de agua, aportando a uno de los principales objetivos de los techos verdes en el mundo: el manejo de aguas pluviales para evitar o disminuir la escorrentía superficial urbana y consecuente contaminación de cuerpos de agua por esta; así como a contribuir que se evite sobrepasar la capacidad en los sistemas de alcantarillado en muchas ciudades. Esta característica de servicio de los techos verdes es considerada de muy alto valor en el mundo, lo que conduce

a su demanda e incluso al subsidio de su instalación por medio de políticas urbanísticas locales para la gestión de agua de lluvia; justificándose su inversión.

f. Capa filtrante

Componente que se tiende sobre la capa de drenaje y debajo del sustrato, como se puede apreciar en la figura 12. Contiene a este último en su lugar y evita – de forma parcial – el pase de partículas de sustrato hacia las capas inferiores del sistema, protegiendo la capa de drenaje y la red de desagüe. Además, permite la infiltración de excedentes de agua de riego o precipitaciones hacia el sistema de evacuación; para su inmediato desagüe, retención o detención, en capas inferiores instaladas para estos posibles fines. Compuesta normalmente en fibras sintéticas, por lo cual no se descompone; es fabricada en materiales de primer uso o de origen reciclado. Debe tener resistencia suficiente para tolerar las cargas a las que pudiera verse sometido en el techo verde. Tanto el tamaño de abertura como la velocidad de infiltración son sujetos de diseño en el sistema techo verde, en función de las condiciones locales de precipitación y objetivos del proyecto en relación al manejo de agua de lluvia.



Figura 12. Instalación de capa filtrante

g. Sustrato o medio de cultivo

Es el primer componente del techo verde, que, una vez instalados los elementos constructivos, mostrará actividad biológica. El medio de cultivo es producto de la mezcla de materiales minerales, orgánicos y eventualmente productos sintéticos, en diferentes proporciones, según se necesite, para brindar soporte físico a las plantas y volumen tridimensional para el desarrollo de las raíces, constituyendo en los techos verdes, el equivalente a los suelos en la naturaleza. El sustrato debe almacenar agua y nutrientes que

permitan a las diferentes plantas de la cubierta vegetal disponer de ellos en adecuada cantidad, calidad y oportunidad, para que así el techo verde en su conjunto presente el rendimiento esperado. En el sustrato suceden procesos físicos, químicos y biológicos, algunos de ellos son el almacenamiento de agua de riego y precipitaciones así como la infiltración de excedentes, la evapotranspiración – de efecto termorregulador –, el desarrollo del sistema radicular y a nivel aéreo, sobre la superficie del sustrato, el desarrollo y crecimiento de las plantas, su crecimiento foliar y posterior caída de hojas maduras, que procederán a aportar materia orgánica al sistema; el ciclo de descomposición y mineralización de la materia orgánica; procesos de adsorción e intercambio catiónico entre las partículas del medio de crecimiento y el equivalente a la solución suelo del mismo, reacciones químicas entre los elementos del sustrato, los abonos y fertilizantes, el agua y los exudados de las plantas; el desarrollo de comunidades microbianas y sus ciclos, la interacción de plantas y microorganismos; el hospedaje de fauna y flora nativas, que interactuarán con el sistema en su conjunto, se darán en este componente, en el cual se realizarán las labores de mantenimiento, limpieza e introducción de insumos externos, entre otras labores.

Su composición y profundidad, dos parámetros de inmensa variabilidad, serán de importancia para el desarrollo adecuado del techo verde, así como para el potencial éxito en la entrega esperada de los servicios y objetivos del proyecto, o en su defecto, de su fracaso; definiendo, entre otras características: su peso total – el que debe ser medido en condiciones de saturación –, su capacidad de almacenamiento de humedad, y por lo tanto su máxima capacidad retentiva o detentiva; así como su capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Asimismo, la capacidad nutricional del mismo, su condición fitosanitaria al momento de la instalación, sus características químicas, como por ejemplo su pH y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Además, su capacidad de alojar plantas, desde aquellas que demandan mínimo volumen y profundidad de sustrato para su desarrollo, como algunas especies de cubresuelos, hasta plantas de porte mayor, como arbustos o árboles, y ser capaz o no, de brindarles el medio requerido por sus raíces para un desarrollo adecuado y una consistencia suficiente para tolerar cargas debidas al viento, sin cambios de posición. También, su capacidad como amortiguador acústico y como termorregulador.

Una característica importante que deben presentar los sustratos en techos verdes es su estabilidad, lo cual hace referencia al mantenimiento de sus propiedades físicas especialmente; por lo cual los principales estándares en el mundo consideran que estos se

encuentren compuestos por materiales inertes en alto porcentaje. En consecuencia, la proporción de materiales orgánicos en la mezcla debe ser mucho menor, del orden de 4% a 10% en la base de peso seco. Las propiedades químicas suelen ser menos estables, más bien, suelen ser bastante dinámicas, como es natural en paisajes que presentan cobertura vegetal. En relación a estas últimas es de vital importancia para el rendimiento de una cobertura verde que el sustrato tenga la capacidad de brindar los nutrientes necesarios en adecuada cantidad y oportunidad a las diferentes plantas del sistema, en relación a los objetivos del proyecto.

A continuación, se presentan las diferentes características y propiedades que presentan los sustratos:

Características y propiedades físicas de sustratos:

- Máxima capacidad de almacenamiento de agua (en porcentaje)
- Densidad a máxima capacidad de almacenamiento de agua (kg/l)
- Espacio poroso no capilar a máxima capacidad de almacenamiento (en porcentaje)
- Velocidad de infiltración en estado de saturación (cm/minuto)
- Distribución granulométrica de fracción mineral
- Contenido de humedad (porcentaje peso/peso)

Características químicas y nutricionales de sustratos:

- Salinidad (mmhos/cm)
- Alcalinidad en equivalentes de CaCO_3
- Materia orgánica total (porcentaje peso/peso en seco)
- Suplemento orgánico de compost, musgo, etc. (porcentaje peso/peso en seco)
- Capacidad de intercambio catiónico (en miliequivalentes/100 g de suelo seco)
- Nitrógeno total (en partes por millón)
- Fósforo P_2O_5 (en partes por millón)
- Potasio K_2O (en partes por millón)
- Otros macro y microelementos (en partes por millón)

Existe variedad de insumos posibles para utilizar en la composición de sustratos para techo verde: suelo, arenas finas y gruesas, así como gravas de distinto origen. La elección de los mismos dependerá de muchos factores, entre ellos: su disponibilidad, su ubicación relativa al sitio de instalación, su costo, sus características físicas y químicas, dentro de las cuales su densidad suele ser una de las primordiales; asimismo, son muy importantes su condición

sanitaria, las consideraciones relacionadas a su extracción, acondicionamiento, transporte y acarreo, actividades que dependerán mucho de las características de cada proyecto así como del cronograma del mismo; muchas veces se tiene en cuenta también su huella de carbono.

En la figura 13 se aprecia la preparación de sustrato en el sitio de instalación, diseñado con piedra pómez y materias orgánicas para alojar una cobertura de plantas xerófitas. La figura 14 muestra el compartimento que alojará la cubierta vegetal con el sustrato ya instalado, listo para proceder a la instalación del sistema de riego tecnificado y de las plantas. La figura 15 muestra un sustrato de composición con base en suelo y grava, apropiado para las condiciones particulares del proyecto.



Figura 13. Preparación de sustrato en el lugar de instalación



Figura 14. Sustrato ligero para techo verde instalado

Nota: Compartimento para techo verde instalado con sustrato ligero para plantas xerófitas.



Figura 15. Sustrato con base en suelo y grava

Nota: Sustrato con base en suelo y grava, instalado para cumplir los requerimientos del proyecto en condiciones de Lima.

h. Estabilizadores para instalaciones en pendiente

Elementos constructivos de uso en techos verdes con pendiente. Sirven para estabilizar los componentes susceptibles de deslizamiento como el medio de crecimiento y las plantas en techos verdes inclinados. Su capacidad de estabilización y carga deben estar debidamente

calculadas. Normalmente compuestos por materiales sintéticos de larga vida útil. Deben ser sujetos permanentemente a elementos estructurales del techo verde.

i. Elementos de protección ante erosión eólica

Accesorios al sistema que evitan la erosión de los componentes del techo verde por acción del viento. Pueden ser de instalación permanente o removibles, para protección temporal durante el establecimiento del componente vegetal y enraizamiento de las plantas. Se utiliza desde mallas de polipropileno o metálicas hasta pantallas de vidrio.

j. Plantas

El componente vegetal de una cubierta naturada es inmensamente variable. La paleta de plantas a elegir debe hacerse cuidadosamente en función del tipo de techo verde a instalarse, así como de los objetivos y restricciones del mismo. Típicamente se utilizan suculentas como cubresuelos, césped, pastos de distinto tamaño, herbáceas anuales, bianuales o perennes, algunos arbustos y árboles. Se pueden instalar plantas de diferente grado de rusticidad, demandantes en mayor o menor medida de agua, nutrientes, cuidados sanitarios. Por sus usos, ornamentales, forrajeras, alimenticias o medicinales, benéficas para la biodiversidad local, hospederas de insectos benéficos y melíferas, entre otras.

Se sabe por ejemplo que plantas con mayor área foliar y mayor relación entre su área y su volumen foliar transpiran más, por tanto, tienen mayor capacidad de regular la temperatura, en presencia de un adecuado suministro hídrico. Al mismo tiempo, estas plantas suelen requerir mayor profundidad de sustrato y posiblemente mayores insumos y recursos, lo cual incidirá en los costos de otros componentes y en costos operativos y de mantenimiento del techo verde.

Las plantas, como componente vivo del sistema, expresarán a través de su condición y rendimiento relativo – en función de su potencial genético y respuesta a condiciones del sitio –, si acaso, los beneficios que de ellas se esperan, así como sus naturales requerimientos. Estas tendrán continua interacción con su entorno; por lo tanto, un adecuado análisis de las condiciones del mismo, son necesarias para su correcta elección, al diseñar el paisaje y el sistema en su conjunto.

Como material de propagación vegetal para techos verdes se puede usar tanto material de propagación vegetativo (esquejes sin raíz, esquejes enraizados, estacas y acodos) así como plantines, plantas en bolsa y plantas a raíz desnuda; del mismo modo pueden emplearse

semillas botánicas. La elección del material de propagación dependerá de muchos factores: viabilidad, estado sanitario, condiciones medio ambientales de instalación, disponibilidad, costo, así como idoneidad y aporte a la eficiencia en la operación logística (de transporte y acarreo) y de plantación, entre otros.

La experiencia adquirida en los proyectos de Jardines Victoria ha permitido a la empresa establecer una paleta de plantas idóneas para diferentes objetivos en condiciones de la ciudad de Lima. En la figura 16 se aprecia un techo verde extensivo de plantas xerófitas. La figura 17 muestra plantas recién instaladas en techo verde intensivo en condiciones de semi sombra. En la figura 18 se aprecia un techo verde intensivo con cobertura de césped y otras plantas de exteriores. En la figura 19 se muestra un techo en producción de plantas comestibles y medicinales con fines de autoconsumo en La Molina. En la figura 20 se aprecia una planta arbórea, un Guaranguay (*Tecoma stans*), próximo a su plantación en un edificio en proceso de certificación en construcción sostenible, en San Borja.



Figura 16. Plantas xerófitas en techo verde

Nota: Techo verde extensivo de plantas xerófitas (*Lampranthus* sp., *Kalanchoe* sp.) a pleno sol, en la ciudad de Tacna.



Figura 17. Plantas para sombra y semi sombra en techo verde

Nota: entre las especies elegidas se aprecian *Chrysalidocarpus lutescens*, *Asplenium nidus*, *Shefflera arboricola*, *Dracaena marginata*, *Liriope muscari*, *Spathiphyllum* sp.



Figura 18. Plantas para sol directo en techo verde intensivo

Nota: Techo verde intensivo con cobertura de césped (*Paspalum* sp.) y otras plantas perennes de sol directo (*Cycas revoluta*, *Myrtus communis*, *Chrysalidocarpus lutescens*, *Lampranthus* sp.) en departamento residencial. Edificio con certificación Edge, San Borja, 2021.



Figura 19. Huerto urbano en techo de Lima

Nota: Exitosa producción diversa de hortalizas de fruto como tomates (*Solanum lycopersicum*), berenjenas (*Solanum melongena*) y hortalizas de hoja como espinacas (*Spinacia oleracea*) para fines de autoconsumo en techo residencial de La Molina, 2020.



Figura 20. Árbol para techo verde

Nota: Planta mayor, árbol Guaranguay (*Tecoma stans*), a punto de ser plantado en un techo verde colindante con la vía pública peatonal en el distrito de San Borja, 2021.

k. Agua y riego

Para el adecuado rendimiento de los techos verdes debe existir provisión suficiente del recurso hídrico para que las plantas del paisaje puedan mantenerse debidamente hidratadas y cumplir sus procesos fisiológicos básicos con normalidad. Esta dotación hídrica podrá estar dada por procesos de condensación de humedad locales (en condiciones e instalaciones muy particulares solamente), por precipitaciones locales y por riego; o por una combinación de las anteriores.

El riego es opcional en algunos lugares del mundo y dependiendo del tipo de techo verde, de las especies vegetales elegidas, de su forma de instalación y del momento del año de la misma (en época de lluvia o en época seca). Casi en la mayoría de los casos se considera la necesidad de riego en etapas de establecimiento. En caso de tratarse de techos verdes intensivos, requerirán riego a lo largo de toda su vida útil.

En condiciones de Lima es necesario regar los techos verdes debido a la casi nula precipitación que caracteriza a esta ciudad. Los esquemas de construcción sostenible demandan además que se cuente con un sistema de riego tecnificado por goteo o aspersión, que garantice eficiencia en el uso del agua. Varios de estos esquemas de certificación también demandan que el riego se realice con aguas residuales, normalmente grises tratadas.

Un sistema de riego eficiente debe dotar al paisaje de agua en cantidad, calidad, oportunidad y uniformidad suficientes. Para ello es necesario conocer las necesidades hídricas del paisaje. A partir de esto se inicia el diseño del sistema de riego.

- **Cálculo de la demanda hídrica del techo verde.** Para conocer y calcular el requerimiento hídrico del techo verde o su lámina de riego (en milímetros) a lo largo del año es útil la propuesta de University of California Cooperative Extension (UCCE) (2000), que establece la manera de obtener la evapotranspiración del paisaje, que utilizando información del techo verde nos brindará su demanda hídrica por medio de la siguiente fórmula:

$$ET_L = ET_O \times K_L$$

$$ET_L = ET_O \times K_s \times K_d \times K_{mc}$$

Donde:

- ET_L : evapotranspiración del paisaje (mm)
 - ET_O : evapotranspiración potencial (mm)
 - K_L : coeficiente del paisaje, producto de $K_s \times K_d \times K_{mc}$
 - K_s : coeficiente de la especie
 - K_d : coeficiente de densidad del paisaje
 - K_{mc} : coeficiente de micro clima
- **Coeficiente de especie (K_s)**. equivalente al coeficiente del cultivo (K_c). Teniendo en consideración que distintas especies de plantas presentan distinta demanda relativa de agua de riego, el K_s asigna un valor de corrección a la evaporación potencial (ET_O) en función de la demanda relativa de agua por las especies que componen el paisaje, UCCE (2000). Estos valores específicos son determinados y asignados por comités de profesionales del paisaje de diferentes zonas de California, en base a su conocimiento y experiencia en el uso de una gran lista de especies y variedades, asignando los rangos de K_s :

- K_s Muy bajo	< 1
- K_s Bajo	0.1 – 0.3
- K_s Moderado	0.4 – 0.6
- K_s Alto	0.7 – 0.9

Si bien no todas las consideraciones previas que aplican UCCE se cumplen en los techos verdes, el método propuesto para calcular las necesidades hídricas del paisaje, junto a la clasificación de plantas y coeficiente de especie (K_s), ha permitido optimizar el cálculo de la demanda hídrica de los techos verdes en Lima y regar efectivamente los techos verdes instalados por Jardines Victoria, por medio de sistemas de riego tecnificado automatizado.

- **Coeficiente de densidad (K_d)**. segundo valor de corrección del coeficiente del paisaje, que asigna un valor con relación a la densidad de la cobertura vegetal del paisaje. “La densidad de la vegetación es usada aquí para referirse al área foliar colectiva de las plantas del paisaje. Diferencias en la densidad de la vegetación, o área foliar, conllevarán diferencias en las pérdidas de agua (UCCE, 2000)”.

A instalaciones de paisaje inmaduras y plantadas de forma espaciada se les asigna un valor de Kd en el rango bajo. Plantaciones con mezclas de tipos de vegetación (árboles, arbustos y cubresuelos) típicamente tienen mayor área foliar colectiva y se les asigna un valor en el rango alto. Las plantaciones completamente cubiertas, pero con predominio de un solo tipo de vegetación, son asignadas con un valor en el rango medio.

Adicional a los criterios anteriores, se tiene en cuenta el dosel de sombra y cobertura por una o varias especies en el paisaje. Así, se asignan valores en el rango bajo si el dosel de sombra de árboles es menor a 70%. Una cobertura de dosel del 100% del suelo se asigna un valor medio. Para arbustos y cubresuelos, una cobertura de menos de 90% se considera menor a un nivel medio, asignándose un valor menor a 1. Los valores altos son asignados en casos en los cuales existe nivel de cobertura de 100% de una vegetación madura de una especie más una cobertura de árboles y arbustos, consolidando un paisaje de varios niveles de vegetación (UCCE, 2000).

- Kd bajo 0.5 – 0.9
- Kd medio 1.0
- Kd alto 1.1 – 1.3

- **Coefficiente de microclima (Kmc).** El valor de coeficiente de microclima tiene correlación con la incidencia evaporante del entorno. Así, un jardín que recibe el sombreado de un edificio durante medio día recibirá un valor de Kmc bajo. Una cancha de fútbol de grass, sin mayor sombreado durante el día y sin mayor incidencia de vientos, muy similar a las condiciones que tiene un tanque evaporímetro, tendrá un valor medio de Kmc. Un jardín, enclavado en el borde de un acantilado, que recibe intenso viento durante el día y no tiene sombra, recibirá un valor de Kmc alto, al igual que un jardín de berma central, ubicado entre dos grandes avenidas de circulación vehicular, en donde las pistas son de asfalto, generando efecto de isla de calor (UCCE, 2000).

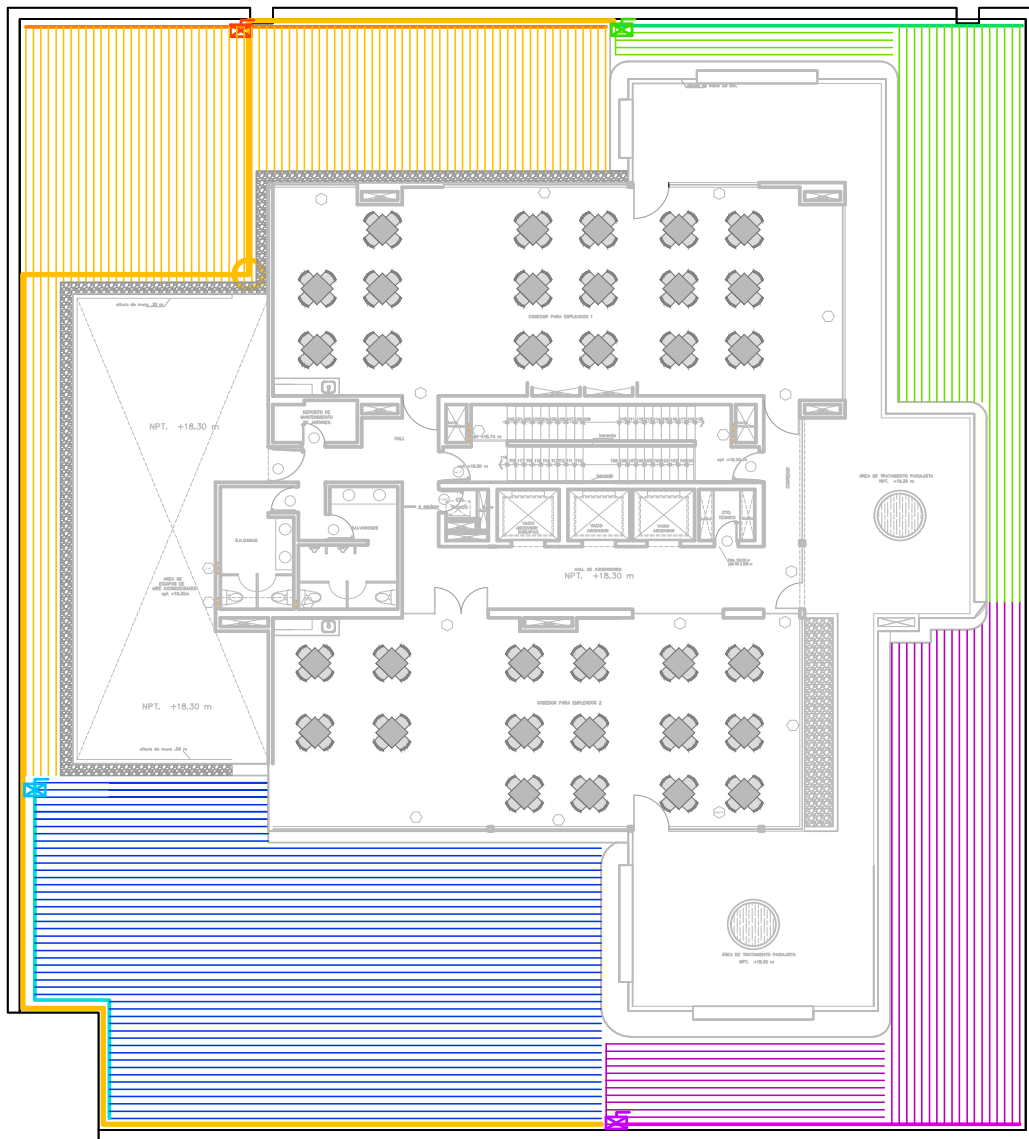
- Kmc bajo 0.5 – 0.9
- Kmc medio 1.0
- Kmc alto 1.1 – 1.4

- **Sistema de riego tecnificado.** El sistema de riego tecnificado está compuesto por un tendido de tuberías y mangueras que conducirán el agua al sitio de riego y a partir de emisores de agua de caudal conocido permitirán una dotación uniforme, eficiente y oportuna, de agua a las plantas. Es clave contar con información de caudal y presión de agua con la que se contará, la misma que suele ser dotada por los sistemas de presión constante del edificio a través de uno o varios puntos de agua en la zona de instalación. Normalmente es suficiente que estos puntos estén instalados en tuberías de media pulgada o tres cuartos de pulgada; aunque proyectos de gran envergadura podrían necesitar más que eso. El sistema de riego debe ser correctamente diseñado e instalado para seguridad de la edificación y bienes del mismo, evitándose roturas o fugas. La figura 21 muestra un plano de sistema de riego por goteo subsuperficial de techo verde, resultado del diseño correspondiente. La figura 22 muestra el tendido de mangueras de goteo del sistema subsuperficial, donde se puede ver la disposición de las mismas para uniformidad en la dotación de agua. La figura 23 muestra un rotor con boquilla de aspersión en funcionamiento para el riego de césped.



DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO
ESQUEMA DE UBICACIÓN DE TUBERÍAS Y VÁLVULAS

DISEÑO: B. R.



	TUBERÍA PVC 1" - TURNO 1		TUBERÍA MATRIZ
	TUBERÍA PVC 1" - TURNO 2		
	TUBERÍA PVC 1" - TURNO 3		
	TUBERÍA PVC 1" - TURNO 4		

Figura 21. Plano de diseño de sistema de riego tecnificado

Nota: Plano de diseño de sistema de riego tecnificado para techo verde. Incluye el tendido de tuberías principales y mangueras de riego, así como la división del área a regar en 4 secciones o turnos de riego.



Figura 22. Tendido de mangueras de riego por goteo

Nota: Tendido de mangueras de goteo para dotación sub-superficial de agua en césped.



Figura 23. Riego por aspersión en funcionamiento

Nota: Riego de césped en curso por medio de rotores y boquillas que permiten regular el alcance de aspersión, así como su ángulo o abertura de entrega, que puede ser menor de 45 grados o cubrir los 360 grados, la circunferencia completa.

Típicamente, los sistemas de riego tecnificado están compuestos por los siguientes equipos y piezas:

- Hidrómetro con caudalímetro (figura 24)
- Tuberías de agua en pvc, clase 10 o clase 7.5
- Accesorios de pvc (codos, tees, tapones)
- Válvulas de apertura y cierre manual
- Filtros de anillos
- Controlador de riego eléctrico
- Válvulas eléctricas con solenoide para automatización del sistema
- Válvula de automatización a pilas o baterías de 9 V con solenoide
- Válvulas reguladoras de presión en línea
- Válvulas ventouri para inyección de fertilizantes y otros insumos
- Válvulas de aire
- Válvulas de acople rápido para riego manual con manguera
- Manguera ciega de polietileno (de diferente espesor)
- Mangueras de goteo
- Mangueras de goteo subsuperficial
- Accesorios para mangueras de goteo
- Abrazaderas
- Cabezales pop up para aspersion
- Rotores con boquillas regulables para aspersion
- Rociadores

El hidrómetro, con caudalímetro incorporado, se considera un equipo de importancia como herramienta de control de riego, el cual puede servir para identificar irregularidades y realizar las correcciones o regulaciones necesarias a través de su lectura, ver figura 24, y llevar el registro de la dotación de agua de riego en libros de mantenimiento.

Hace algunos años se cuenta con la alternativa de tendido de tuberías principales de agua en polipropileno de alto peso molecular, el cual es un material mucho más resistente; lo cual confiere mayor seguridad a la integridad del sistema de riego y por tanto de la edificación donde se instale un techo verde; lo que se considera recomendable.

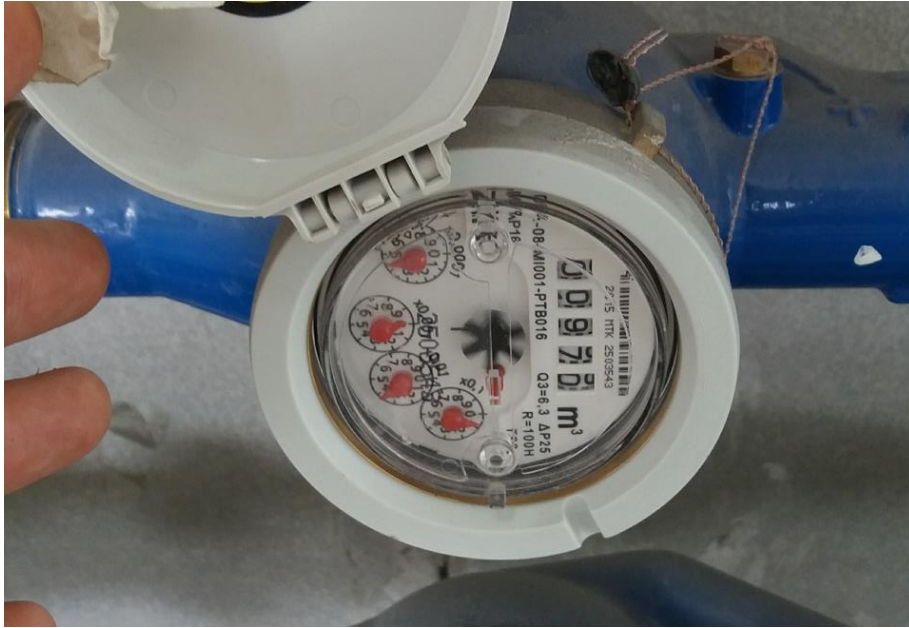


Figura 24. Lectura de hidrómetro

Nota: Lectura de hidrómetro y caudalímetro para controlar la dotación de agua y asegurar el funcionamiento adecuado del sistema de riego automático.

3.2.2 Sistema techo verde – otros factores relacionados

a. Condiciones medio ambientales locales

De incidencia directa en la performance de los techos verdes, las condiciones medio ambientales locales abarcan los elementos abióticos, que tienen gran relevancia sobre el sistema, sobre sus componentes individuales, como sobre el sistema en su conjunto, con especial importancia sobre la cobertura vegetal; deben conocerse en detalle y ser tomados en cuenta al momento de diseñar como durante la operación de los techos verdes. Son los siguientes:

- Temperatura
- Luz (intensidad y cantidad en tiempo)
- Duración del día y de la noche
- Incidencia de radiación solar directa durante el día y con relación a las estaciones del año (en dependencia del recorrido del sol en el día y de la posición relativa del techo verde en la edificación)
- Humedad relativa
- Precipitaciones
- Intensidad de viento

- Sombreamiento por edificaciones adyacentes
- Elementos reflectivos por edificaciones adyacentes
- Fenómenos naturales eventuales (tormentas y precipitaciones de gran magnitud, nevadas, granizadas, tornados, etc.)

La figura 25, muestra un techo verde a nivel del semi sótano de un edificio, cuyo perímetro está conformado por paredes muy altas (18 m de altura), lo que genera importante sombreado y por tanto menor intensidad de luz que incide en la cobertura vegetal. La figura 26, muestra un techo verde en un sexto piso, con menor grado de interferencias a la luz y radiación.

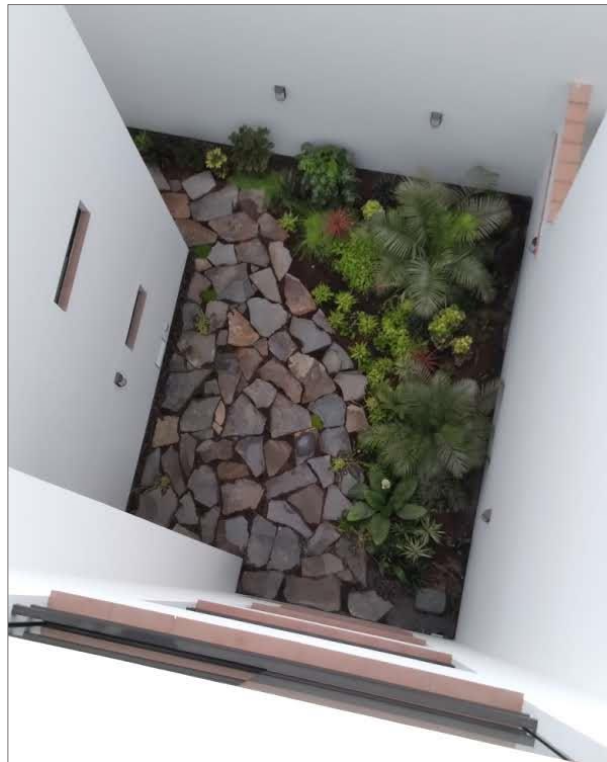


Figura 25. Techo verde en semi sombra

Nota: Techo verde en semi sótano, recibiendo menor intensidad lumínica debido a las altas paredes que lo rodean.



Figura 26. Elementos que generan interferencias a la luz y radiación solar en techo verde

Nota: Techo verde con alguna interferencia de la luz y radiación solar por sus muros y demás elementos adyacentes.

b. Interacciones con flora y fauna local

De gran importancia para las ciudades y entornos urbanos, la flora y fauna locales son parte del paisaje benéfico, resultando de valor primordial en ciudades saludables. Los techos verdes deben asegurar en su diseño no causar perjuicio a la fauna y flora local; al contrario, deben beneficiarla por medio de servicios ecosistémicos a partir de la cobertura vegetal y del sistema techo verde en su conjunto. La fauna local encontrará en los techos verdes recursos importantes: agua, néctar y polen, eventualmente lugar de anidamiento y reproducción. Se debe prestar especial atención en la elección de la paleta de plantas, evitando la introducción de especies invasivas foráneas. En la **figura 27** se muestra un ave local en interacción con las nuevas plantas del techo verde, a ser instaladas pronto en el mismo.



Figura 27. Ave local en techo verde

Nota: Colibrí Común de Lima (*Amazilia amazilia*) en techo verde en San Borja, 2015.

c. Trabajo

Entiéndase por trabajo como factor de rendimiento de los techos verdes a toda actividad humana dirigida a generar un efecto sobre este y sobre sus beneficios.

Durante la instalación del techo verde se podrá ser más o menos eficiente en la aplicación de la fuerza de trabajo hasta su puesta en marcha. Puede considerarse parte del trabajo a toda actividad de gestión, dirección y supervisión durante la instalación y operación. Conviene tener descritos los procesos de instalación y bien establecidos los requerimientos para cada fase, de manera que, se pueda ahorrar en costos de implementación, se eviten interferencias y se logre la instalación al menor costo posible; lo que incidirá en la viabilidad, rentabilidad al contratista, instalador y al propietario del proyecto; así como a la potencial sostenibilidad del proyecto.

Las actividades de manejo hortícola en el techo verde son claves para su buen funcionamiento. Una vez puesto en marcha el sistema es fundamental la evaluación y adecuado mantenimiento de sus componentes. Su frecuencia será variable en base al diseño y tipo de techo verde, a sus materiales, a las condiciones bióticas y abióticas locales.

Asimismo, se considera trabajo a las demás actividades humanas que incidan en el rendimiento del proyecto y generen valor a partir del mismo, por ejemplo:

- Actividades educativas al aire libre para niños.
- Actividades físicas y mentales para adultos mayores.
- Eventos dirigidos a desarrollar cohesión de la comunidad como: conciertos, matrimonios, mercado de hortalizas, voluntariado de distinto tipo en techos verdes.
- Actividades comerciales como servicios de publicidad y marketing desde techos verdes.

d. Agentes externos

Visitantes y terceros que no pueden ser catalogados dentro de otros componentes o factores del sistema y cuyas actividades pueden ser muy variadas y tener incidencias positivas o negativas en los techos verdes.

e. Tiempo

Existe un dicho popular en el campo de la construcción que dicta: “el mejor supervisor es el tiempo”; resultando innegable su veracidad y aplicabilidad en los techos verdes, donde el tiempo es uno de los factores más importantes para determinar la rentabilidad de un proyecto; así como su sostenibilidad. Así, un techo verde será sostenible en la medida que los beneficios de su instalación y la valoración de los mismos sean mayores a los diferentes costos del mismo.

Por ejemplo, un techo verde en el cual falla la impermeabilización cerca del inicio de sus operaciones, verá severamente comprometido su rendimiento proyectado. En el mejor de los casos, su reparación será posible a un costo razonable, de ser posible la localización específica de la falla, y si esta es de magnitud menor. En el caso opuesto, en que la falla sea mayor o general, su reparación podría caer en una condición financiera prohibitiva.

f. Financiero

Las condiciones financieras, el cronograma de pagos e inversión en los proyectos de techo verde, incluidos la instalación y los costos operativos y de mantenimiento, incidirán en el desempeño, resultados y servicios de los techos verdes, en la medida que permitirá cumplir con lo programado; en su defecto podría comprometer su performance, calidad y potencial sostenibilidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La ausencia de una norma técnica local para el diseño, ejecución y mantenimiento de techos verdes deja un espacio para la ocurrencia de proyectos sin una concepción técnica y arquitectónica que coadyuve a la obtención de los beneficios y variados servicios que los techos verdes pueden brindar, motivo por el cual son incentivados e instalados extensivamente en países como Alemania, Canadá, Estados Unidos y Japón, entre otros.

Esta misma carencia de conocimientos establecidos sobre las oportunidades de servicio de los techos verdes aunado a una parcial aproximación urbanística a las diferentes problemáticas particulares de cada uno de los distritos de Lima y a la problemática general de Lima metropolitana – dada su complejidad – representa una oportunidad de mejora urbanística basada en el estado del arte de la infraestructura verde y en particular de los techos verdes y sus diferentes tipos y aplicaciones.

La falta de normas técnicas locales para techos verdes y el incentivo simultáneo de este tipo de proyectos en varios distritos de Lima lleva a los profesionales de distintas especialidades que ejecutan proyectos constructivos a formularlos e implementarlos muchas veces sin una planificación coordinada desde la multidisciplinariedad necesaria.

Lo expuesto en los párrafos anteriores resulta en la instalación de proyectos cuya concepción puede representar deficiencias de distinta índole.

Se considera fundamental la existencia de normas técnicas locales que incluyan directrices de diseño, planificación y coordinación de especialidades, construcción y mantenimiento de techos verdes. Asimismo, disponer de elementos para la evaluación de rendimiento y registro e historia de techos verdes, los cuales permitan generar diagnósticos para así realizar acciones correctivas o mejoras futuras.

En base a la experiencia profesional obtenida se procede a describir aspectos claves en el diseño de techos verdes, en su instalación, mantenimiento y evaluación.

4.1 DISEÑO DE TECHOS VERDES

Se observa una tendencia al diseño integral, desde etapas tempranas en el desarrollo de proyectos, que incluye equipos multidisciplinarios de profesionales. Las principales certificaciones de construcción sostenible, LEED por ejemplo, requiere el trabajo de equipos de especialistas desde la etapa de pre-diseño, en lo que denomina charrettes, reuniones de equipos de profesionales – que son obligatorias y calificadas dentro del proceso de certificación – para abordar las necesidades y particularidades del proyecto, para una adecuada resolución de diseño a partir de la discusión y de un flujo de información y datos completos, encontrando así los retos del proyecto, así como su resolución a partir de la sinergia participativa e inclusión de distintos puntos de vista desde etapas iniciales.

En base a la experiencia comercial de Jardines Victoria en el mercado local, se ha identificado las inquietudes más notorias de los inversionistas al realizar proyectos de techos verdes; lo que representa algunos de sus objetivos más importantes, los que incidirían en las decisiones de diseño:

- El cumplimiento de legislación local en aspectos constructivos para la obtención de licencias de edificación.
- El cumplimiento de requisitos de estándares de construcción sostenible para la obtención de beneficios constructivos a nivel de proyecto.
- La funcionalidad de los sistemas a ser instalados y la garantía de los distintos componentes del techo verde.
- El nivel de inversión, normalmente en busca de la opción más económica.
- El acabado estético y la adición de valor al proyecto como parte de una propuesta comercial inmobiliaria de mayor calidad.

4.2 INSTALACIÓN DE TECHOS VERDES

La instalación de techos verdes requiere cumplir con un proceso constructivo establecido y adecuado, el cual permitirá ejecutar el proyecto según el diseño. Al ser los techos verdes normalmente parte de proyectos mayores, por ejemplo, un edificio en construcción, es necesario planificar con detalle el proceso constructivo. Casi en todos los casos, la ejecución de actividades de instalación depende de la realización de labores previas por equipos de otras especialidades, que irán habilitando los frentes donde se conformarán los techos verdes.

En la figura 28 se aprecia un edificio en construcción; la imagen busca presentar la envergadura y complejidad del proyecto, donde gran cantidad de actividades suceden a la vez, llevadas a cabo por grupos de trabajo de distintas especialidades. Una adecuada y continua coordinación con la gerencia y supervisión de proyecto, así como una eficaz gestión documentaria y operativa son fundamentales para realizar la instalación de forma adecuada y eficiente.



Figura 28. Proyecto en construcción

Nota: Visión alejada de edificio en construcción, donde se puede ver la multitud de operaciones que suceden en la misma de forma simultánea. Al momento de la foto Jardines Victoria recepcionaba materiales de sustrato en sacos para los techos verdes.

A continuación, se listan las actividades principales para instalar un techo verde:

- Construcción de base o soporte estructural
- Instalación de elementos de seguridad como barandas o puntos de sujeción para trabajo seguro
- Habilidad y limpieza de base o soporte estructural para impermeabilización
- Suministro de materiales e insumos para instalación
- Acarreo o elevación de materiales e insumos al sitio de instalación
- Impermeabilización
- Prueba de estanqueidad

- Tendido de capa de drenaje
- Tendido de capa filtrante
- Instalación de sistema de riego
- Instalación de plantas
- Regulación y puesta en marcha del sistema techo verde
- Entrega de proyecto
- Mantenimiento

A menudo, los requerimientos presentados al cliente o al contratista principal de la edificación para poder proceder a la instalación de los diferentes componentes de techos verdes no son atendidas adecuadamente u oportunamente. Adicionalmente, las interferencias por otros equipos de trabajo y operaciones simultáneas también son comunes y dificultan los procesos de instalación, pudiendo comprometer la calidad, el presupuesto y la correcta ejecución de los proyectos. Estas situaciones demandan una cuidadosa y hábil gestión para el logro de los resultados esperados. En la **figura 29** se observa una interferencia por ocupación del frente de trabajo por otros equipos, antes de su instalación.



Figura 29. Interferencia por equipos en frente de instalación

Nota: Interferencia por ocupación de frente de instalación por andamios colgantes.

La figura 30 muestra una interferencia posterior a la instalación de la impermeabilización, que podría comprometer la integridad de la instalación.



Figura 30. Interferencia por otros trabajos sobre impermeabilización

Nota: Interferencia por equipos de trabajo de otras especialidades, poniendo en riesgo la integridad de la impermeabilización, en plena prueba de estanqueidad.

Una de las actividades de gran demanda, en las operaciones de instalación, es el suministro y disposición de los distintos materiales en los techos. Para tal fin, se debe acarrear cantidad importante de insumos y materiales. Es oportuno en etapa de diseño y planificación determinar la forma en que esta actividad se realizará, así como sus costos para una adecuada toma de decisiones en la elección de materiales de sustrato y forma de acarreo.

La imagen 31 muestra el acarreo vertical de sustrato por las escaleras, por medio de mano de obra. La imagen 32 muestra la elevación de sustrato al sitio de instalación con grúa.



Figura 31. Acarreo de sustrato por escaleras

Nota: Acarreo vertical de sustrato por escaleras. El costo de esta partida puede ser importante y se debe tomar en cuenta en etapas iniciales de diseño.



Figura 32. Elevación de sustrato con grúa

Nota: Elevación de materiales de sustrato al sitio de instalación por medio de grúa.

Un adecuado diseño de proyecto, presentación de requerimientos, establecimiento de cronograma de obra, así como disponibilidad de recursos financieros, humanos y de gestión, son de alta relevancia para una instalación exitosa.

- **Ruta crítica en la instalación de techos verdes.** La ruta crítica para instalación establece los requerimientos y condiciones que deben cumplirse o provisionarse para la ejecución del proyecto y cada una de sus etapas. Es muy importante definir la ruta crítica de cada proyecto. Esta describe el orden de los sucesos en la construcción de un techo verde. Permitirá a los involucrados actuar acorde a la misma para una correcta y fluida instalación. Cada proyecto y sus particularidades definirán situaciones propias que suelen demandar ajustes en las actividades planificadas mientras se realiza la instalación.

4.3 MANTENIMIENTO DE TECHOS VERDES

Los techos verdes requieren mantenimiento en el tiempo para adecuado rendimiento y durabilidad del sistema. Tanto los componentes constructivos como los componentes vivos requieren control y evaluación frecuente e intervenciones con distintos fines.

Los componentes constructivos deben ser revisados con cierta frecuencia para corroborar su integridad, limpieza y adecuado funcionamiento.

Los componentes vivos deben recibir evaluaciones sanitarias y de desarrollo frecuentes para manejo adecuado de la cobertura. El mantenimiento de la cobertura vegetal requerirá riego, lavado, podas de formación y limpieza, así como tratamientos fitosanitarios, eliminación de plantas voluntarias, raleo, cortes de césped, abonamiento, fertilización y resiembras, entre otros.

Es importante que se disponga de un manual y cronograma de actividades de evaluación y mantenimiento anual de los techos verdes, con formatos para cada actividad, los mismos que deberán ser llenados por el técnico del mantenimiento y firmados por el encargado de supervisión o por el propietario del proyecto al culminar cada labor. El manual y cronograma con el nivel de detalle necesario deberá ser formulado por el equipo de diseño en conjunto con el equipo de instalación del proyecto, en base a criterios técnicos.

Las personas a cargo del mantenimiento deberán haber recibido capacitación en el manejo de techos verdes.

4.4 EVALUACIÓN Y RENDIMIENTO DE TECHOS VERDES

El rendimiento de todo techo verde será el resultado del desempeño de cada uno de sus componentes y de los demás factores relacionados al sistema en interacción. Podemos considerar entonces que todos los anteriores son factores de su rendimiento. Para una representación cualitativa de lo anterior se plantea la siguiente fórmula.

$$\text{Rendimiento del techo verde} = f (B \times L \times I \times D \times F \times S \times V \times A \times CL \times B \times W \times E \times T \times FI)$$

Donde los siguientes son los factores del rendimiento:

- Base o soporte estructural (*B*)
- Límites estructurales (*L*)
- Impermeabilización (*I*)
- Drenaje (*D*)
- Filtro (*F*)
- Sustrato (*S*)
- Plantas (*V*)
- Agua y riego (*A*)
- Condiciones locales (medio ambientales y del entorno) (*CL*)
- Interacciones biológicas con flora y fauna local (*B*)
- Trabajo (*W*)
- Otros agentes de interacción externos (*E*)
- Tiempo (*T*)
- Financiero (*FI*)

La fórmula presentada puede ser utilizada para la evaluación de techos verdes en relación a momentos específicos de su servicio y a asuntos o preguntas puntuales sobre su rendimiento. De esta manera, se puede generar información de forma ordenada y sistemática, ya sea para control o historial del proyecto. Para esto, se plantea la asignación de un valor numérico, de cero a uno, para cada factor del rendimiento presentado; así, el cero representa un rendimiento nulo y el uno representa el rendimiento máximo. Se considera importante que la asignación del valor numérico de rendimiento a cada factor sea acompañada por una descripción que fundamente la situación particular y complemente la información de forma cualitativa.

La obtención de datos cuantitativos de rendimiento, que permitan realizar las necesarias evaluaciones a techos verdes de su costo-beneficio, a lo largo de su ciclo de vida u obtener valores de indicadores financieros, como el valor actual neto (VAN) o la tasa interna de retorno (TIR) o que permitan estimar el tiempo de recuperación de la inversión, requiere el desarrollo de data e investigación local.

La valoración del rendimiento de techos verdes puede ser difícil, ya que su alcance sucederá en dimensiones distintas; ambientales, sociales y económicas; siendo las dos primeras más difíciles de cuantificar por su naturaleza no monetaria y por existir pocos mecanismos conocidos para su medición o simplemente por falta de atención a las mismas en muchas ciudades, incluyendo a Lima. Es difícil, por ejemplo, medir y valorar económicamente el impacto ambiental de un techo verde sobre la flora y fauna local; o dar un valor al aprendizaje en la naturaleza que logre un grupo de niños o a los beneficios en la salud y el ánimo de un grupo de adultos mayores que realizan actividades de meditación en un techo verde. Se considera importante desarrollar mecanismos para la valoración y registro de servicios y beneficios que brindan los techos verdes.

V. CONCLUSIONES

La incorporación de techos verdes en áreas exteriores – poco utilizadas y de poco valor en los edificios – adiciona valor a los inmuebles y al paisaje urbano, mejorando las condiciones de habitabilidad de las ciudades, propiciando con ello el bienestar de los individuos y de la sociedad. Asimismo, al reducir los niveles de contaminación del aire, al acondicionar de forma térmica espacios habitados en edificaciones y urbes – reduciendo los gastos energéticos – y al propiciar la estabilidad del ecosistema por medio del alojamiento de biodiversidad local principalmente, se constituye en un instrumento de aporte a la sostenibilidad medioambiental de las ciudades.

El criterio más importante para el diseño de techos verdes en la ciudad de Lima es la concepción de los proyectos en favor de las personas y de las comunidades; brindando salud y bienestar, favoreciendo la cohesión social y propiciando la organización y participación ciudadana. El segundo criterio más importante es la optimización en el uso de recursos – técnicos y científicos, así como legales y financieros – para la obtención de los mayores beneficios posibles.

Los principales retos de este sector son:

- Desarrollar investigación local que genere información necesaria para la optimización de techos verdes, de manera que constituyan un instrumento de aporte seguro a la sostenibilidad de las ciudades.
- Conociendo las necesidades específicas de los distintos distritos de la ciudad de Lima, desarrollar políticas públicas de beneficio común que requieran o incentiven la instalación de techos verdes diseñados para atender dichas necesidades.
- Establecer los lineamientos locales de referencia técnica y el desarrollo de la normativa nacional para el diseño, instalación y operación de techos verdes, que garanticen su funcionalidad, rentabilidad y sostenibilidad.
- Difundir y sensibilizar a las personas en las bondades de los techos verdes y otros tipos de infraestructura verde, que propicien el interés de ciudadanos e inversionistas

- en estas tecnologías con el objetivo que se desarrolle consistentemente el sector y sus beneficios.
- Establecer una entidad de supervisión nacional para la correcta aplicación y seguimiento de proyectos de techos verdes.
- Aplicar localmente la tecnología más avanzada en techos verdes.

Las principales oportunidades del sector son:

- Aprovechar recursos subutilizados de la ciudad: el área de techos, la luz natural que incide en ellos, el clima local, el agua, los residuos domésticos orgánicos, la flora local, y otros, para convertir los techos en espacios de servicios multipropósito de alcance social, ambiental y económico.
- Incorporar los residuos domésticos orgánicos en un esquema de economía circular integrada al desarrollo de los techos verdes.
- Establecer una industria competitiva y formal en techos verdes y cubiertas vegetales, con productos especializados y normados, que brinde trabajo seguro, equitativo y bien remunerado, desarrollando la sostenibilidad de la urbe.
- Formar un gremio para el desarrollo de la infraestructura verde en el Perú, que promueva su desarrollo para el logro de mayores beneficios individuales y colectivos a partir de estas tecnologías.

VI. RECOMENDACIONES

Aprovechar todo el potencial de servicios que brindan los techos verdes, en la ciudad de Lima y sus distritos, partiendo de sus necesidades imperantes dando prioridad a aquellas que tengan relación con el bienestar de sus ciudadanos. Se considera de alto valor la repercusión que tienen los techos verdes a nivel ambiental local, como mejora de la calidad del aire, efecto termoregulador y como hospedero de biodiversidad local, y con oportunidades adicionales en el potencial desarrollo social y económico, a partir de proyectos con una concepción que comprenda estas áreas. Esta tarea abarca en la generación de políticas públicas e incentivos en el ámbito social y medio ambiental, en su mayor jerarquía, a los Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento así como al Ministerio del Ambiente, en segundo lugar a los gobiernos regionales y municipales en sus instancias de Desarrollo Urbano y Medio Ambiente; lo cual no supone la exclusión de otras instancias que puedan complementar a las anteriores. De igual manera, se considera relevante la participación y compromiso del sector privado en el desarrollo de tecnología e inversión en proyectos constructivos que incluyan en su propuesta de valor aspectos de relevancia para suplir a las necesidades actuales de sostenibilidad y resiliencia en las ciudades.

Realizar investigación local basada en el estado del arte en sistemas de techos verdes y políticas relacionadas a los mismos así como investigación local urbanística que genere información actualizada sobre las problemáticas particulares que se afrontan en cada distrito de Lima Metropolitana, llevándose las mismas a espacios más reducidos inclusive, o fragmentados, dentro de la ciudad, con características propias, llámese barrios, y proponga oportunidades de intervención basadas en sus particularidades. Dicha tarea compete a las universidades que impartan carreras en las especialidades de horticultura, arquitectura y urbanismo, ingeniería de sistemas, ingeniería civil, ingeniería sanitaria, ciencia y tecnología, en las especialidades relacionadas a la infraestructura verde.

Establecer los lineamientos y normas técnicas locales que sean necesarias así como los aspectos legales que regulen el adecuado desarrollo, comercio e implementación de esta tecnología en el mercado local, con el objetivo que existan parámetros de cumplimiento

específicos para proyectos integrales y para los diferentes componentes del sistema, garantizando la calidad necesaria y la posibilidad de realizar supervisión y control de instalaciones. Compete el desarrollo de reglamentación a los Ministerios de Vivienda, Construcción y Saneamiento o al gremio local de proveedores de infraestructura verde o en su defecto a los gobiernos locales que impulsen la construcción sostenible en sus jurisdicciones.

Designar a la entidad de control y supervisión de proyectos de techos verdes en el Perú así como sus mecanismos de fiscalización. Compete esta tarea al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento así como al Ministerio del Ambiente.

Desarrollar la tecnología de techos verdes a su máxima capacidad en Lima, para el logro de su mayor aporte potencial en esta ciudad, lo que representa la máxima obtención de servicios al menor costo posible o la mitigación de los principales problemas urbanos de Lima de forma eficiente. Se consideran medios para lograrlo la digitalización y recojo de información de techos verdes instalados para su automatización. Asimismo, el ordenamiento de información también a partir de la digitalización y mediante sistemas de información geográfica para análisis de múltiples variables donde se identifiquen oportunidades de mejora urbanística e intervención mediante techos verdes. Dada la complejidad de información con la que se puede disponer así como de las múltiples variables que la componen, el avance de la inteligencia artificial hace posible considerar que esta tecnología servirá para el análisis de datos y planteamiento de soluciones viables en techos verdes de forma rápida. Compete esta tarea a la universidades, a las empresas de desarrollo de tecnología en sistemas de información, a las empresas que se dedican a brindar soluciones en tecnología de techos verdes, inteligencia artificial y automatización.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Protección Ambiental del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires, (2009). *Construcción Sustentable: Del gris al verde. Promoción de cubiertas verdes en la Ciudad de Buenos Aires*. Agencia de Protección Ambiental. Buenos Aires. 18 p.
- Akbari, H., (1995). *Cooling our communities: An overview of heat island project activities*. Annual Report, Heat Island Group. Lawrence Berkeley National Laboratory. Berkeley.
- Ángel, L., Ramírez, A., & Domínguez, E. (2010). Islas de calor y cambios espacio-temporales de la temperatura en la ciudad de Bogotá. *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. 34 (131), p., 173 -184
- Basilio, A., Gregorio, A., Hinostroza, J. y Salva, J. (2019). Estudio de pre-factibilidad para el establecimiento de un servicio de instalación de techos verdes y jardines verticales. Trabajo de Investigación para optar el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental. Universidad San Ignacio de Loyola.
- Beniston. M. (2002). Climatic change: possible impacts on human health. *Swiss Medical Weekly*, (132), 332-337. <https://smw.ch/article/doi/smw.2002.10041>
- Briseño, Morella, Beatriz Gil, Luz Gómez, Wilver Contreras y Mary Owen (2010), “La ecología urbana y el conocimiento científico”, *Ecodiseño & Sostenibilidad*, 2 (1), Universidad Politécnica de Valencia-Universidad de Los Andes, España-Venezuela, pp. 373-395
- Calvo, E. (2008). Cambio climático y salud humana: un mensaje reiterado desde 1995. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25(4), 410-412.
- Castellanos, J., y Montoya E. (2020). Revisión y caracterización del fenómeno de las islas de calor urbanas (ICU) con énfasis en el caso colombiano (monografía) Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.

- <http://hdl.handle.net/11349/2569> Carter, T., y Keeler, A., (2008). Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, 87 (3), 350- 363.
- Carter, T., y Jackson, C., (2007). Vegetated roofs for storm water management at multiple spatial scales. *Landscape and Urban Planning*, 80 (1/2), 84- 94.
- Chen, X. L., Zhao, M. Z., Li, P. X., Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*. 104, 133-146.
- Córdova, K. (2011). Spatial Geotechnology applied to urban climate studies: Thermal analysis of urban surface and urban land use in the city of Caracas, *Urban Climate News*, ISSUE N° 39 March 2011, pp. 15-21.
- Decreto Supremo N° 015-2015 (Ministerio de Vivienda). Por la cual se aprueba el Código Técnico de Construcción Sostenible. Decreto supremo 28 de agosto de 2015 http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/DS%20015-2015-VIVIENDA.pdf
- Echenique, Marcial, Anthony Hargreaves, Gordon Mitchell y Anil Namdeo (2012), “Growing cities sustainably. Does urban form really matter?”, *Journal of the American Planning Association*, 78 (2), pp. 121-137.
- Fujii, S., Cha, H., Kagi, N., Miyamura, H., y Kim, Y. S., (2005). Effects on air pollutant removal by plant absorption and adsorption. *Building and Environment*, 40 (1), 105- 112.
- Fusco, Luigi, Maria Cerreta, Pasquale de Toro y Fabiana Forte (2009), “The human sustainable city: values, approaches and evaluative tools”, en Mark Deakin, Gordon Mitchell, Peter Nijkamp y Ron Vreeker (eds.), *Sustainable Urban Development*. Volume 2: pp. 65-93.
- Fan, Yingling, Kirti Das y Qian Chen (2011). “Neighborhood green, social support, physical activity, and stress: assessing the cumulative impact”, *Health & Place*, 17 (6), pp. 1202-1211.

- Galarza-Molina, S., Torres, A., Rengifo, P., Puentes A., Cárcamo-Hernández, E., Mendez-Fajardo, S. y Devia, C. (2016) “The benefits of an eco-productive green roof in Bogota, Colombia,” *Indoor and Built Environment*, 2016. Vol (26) DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X16665896>
- García, I., (2010). Beneficios de los sistemas de naturación en las edificaciones. SNES-ABC, 22.
http://www.paginaspersonales.unam.mx/files/251/BENEFICIOS_SISTEMAS_NATURACION_ILSE.pdf
- Gareca, M. y Villapardo, H. (2017). Impacto de las áreas verdes en el proceso de enseñanza aprendizaje. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, Vol 14 (15), p., 877-892
- Gernot, M., (2004). Techos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Fin de Siglo. Montevideo. 85 p.
- Githeko, J. D. Scheraga *et al.*, *Climate change and human health: risks and responses* (pp. 1-17). Ginebra: World Health Organization.
<http://www.who.int/globalchange/publications/climchange.pdf>
- Gobierno del Perú. (2020). Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional del Perú. Reporte de Actualización Período 2021-2030. Comisión de Alto Nivel de Cambio Climático.
<https://www4.unfccc.int/sites/ndcstaging/PublishedDocuments/Peru%20First/Reporte%20de%20Actualización%20de%20las%20NDC%20del%20Perú.pdf>
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (IPCC, 2014). *Cambio climático 2014: Impacto, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación (GTII IE5) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.*
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. (2021, 9 de agosto). El Cambio Climático es Generalizado, Rápido y se está Intensificando [Comunicado de Prensa]. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2021/08/IPCC_WGI-AR6-Press-Release-Final_es.pdf

- Iniesta, N., Ríos, J., Fernández, M. y Barbado, F. (2009). Cambio climático: ¿nuevas enfermedades para un nuevo clima? *Revista Clínica Española*, 209(5), 234-240.
<https://www.revclinesp.es/es-cambio-climatico-nuevas-enfermedades-un-articulo-S0014256509712408>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). Características de las viviendas particulares censadas.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1538/parte01.pdf
- Instituto Nacional de Estadística e Informática (2021). *Estadísticas del Bicentenario*. Autoedición.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1806/libro.pdf
- Jun Yang, J., Yu, Q., y Gong, P., (2008). Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42 (31), 7266- 7273.
- Kaźmierczak, A. (2013), “The contribution of local parks to neighbourhood social ties”, *Landscape and Urban Planning*, 109 (1), pp. 31-44.
- Li, J., Wai, O. W. H., Li, Y. S., Zhan, J., Ho, A., Li, J., y Lam, E., (2010). Effect of green roof on ambient CO₂ concentration. *Building and Environment*, 45 (12), 2644-2651.
- Li W. y Yeung, K. (2014). “A comprehensive study of green roof performance from environmental perspective,” *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 127-134, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2014.05.001>
- Lima Cómo Vamos. (2019). Lima y Callao Según sus Ciudadanos. Décimo Informe Urbano de Percepción sobre Calidad de Vida en la Ciudad. Lima Cómo Vamos.
http://www.limacomovamos.org/wp-content/uploads/2019/11/Encuesta-2019_web.pdf
- Livingroofs.org y Ecology Consultancy Ltd., 2004. Green Roofs – Benefits and cost implications. Birmingham City Council. Birmingham. 83 p.

- López, M. (2010). Un acercamiento a las Cubiertas Verdes. F.B.P S.A. Medellín.
- Lozano, J. (2016). La actuación femenina en la adaptación al cambio climático en el espacio urbano. Un estudio de caso en la Amazonia peruana. *Encrucijadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales*, 11(1), 1-26.
- McMichael, A. (2003). Global climate change and health: an old story writ large. Chapter one. En A. J. McMichael, D. H. Campbell-Lendrum, C. F. Corvalan, K. L. Ebi, A.
- Menacho, E. y Teruya, S. (2019). Análisis de la relación de la isla de calor urbano con factores demográficos, espaciales y ambientales de Lima metropolitana usando sensores remotos. *Anales científicos*. 80(1): 60-75.
- Naciones Unidas. (25 de setiembre de 2015). *La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Ochoa, M., Castellanos, R., Ochoa, Z. y Oliveros, J. (2015). Variabilidad y cambio climáticos: su repercusión en la salud. *Medisan*, 19(7), 873-885.
- Ordenanza N° 510-MM de 2019 (Municipalidad de Miraflores). Por la cual se establece, regula y promueve condiciones para edificaciones sostenibles en el Distrito de Miraflores. 8 de abril de 2019.
<https://elperuano.pe/NormasElperuano/2019/04/08/1757875-1/1757875-1.htm>
- Ordenanza N° 593-MSB de 2017 (Municipalidad de San Borja). Por la cual se aprueban la promoción de edificaciones sostenibles en zonas residenciales. 22 de setiembre de 2017. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/aprueban-ordenanza-de-promocion-de-edificaciones-sostenibles-ordenanza-no-593-msb-1571488-1>
- Ordenanza N° 342-MDA de 2014 (Municipalidad de Ate). Por la cual se crea el Programa Techo Verde. 29 de mayo de 2014. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/crean-programa-techo-verde-districto-ate>
- Ordenanza N° 232-MDSM de 2012 (Municipalidad de San Miguel). Por la cual se crea el Programa Techo Verde en el Distrito de San Miguel. 12 de abril de 2012.

<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/crean-el-programa-techo-verde-en-el-distrito-de-san-miguel-ordenanza-n-232-mdsm-780239-1/>

Organización Mundial de la Salud. (OMS, 2016a). *Cambio climático y salud*. Ginebra: OMS. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs266/es/>

Paskaleva-Shapira, K. (2009), "Governing the sustainability of urban development", en Ron Vreeker, Mark Deakin y Stephen Curwell (eds.), *Sustainable Urban Development*. Volumen 3: pp. 248-273.

Patz, J., Mcgeehin, M., Bernard, S., Ebi, K., Epstein, P., Grambsch, A., Gubler, D., Reiter, P., Romieu, I., Rose, J., Samet, J., Trtanj, J. (2000). The potential health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment. *Environmental Health Perspectives*, 108(4), 367-376. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/ehp.00108367>

Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.020 Cargas (2020). *Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO*. Diciembre de 2020. <https://drive.google.com/file/d/15atg-9w0OEXjR5C1m6IXUFihwYeUh1aN/view>

Rizwan, A.M.; Dennis, Y.C.; Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*: 120-128.

Romero, M., Olite, D., y Álvarez, M. (2006). La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, Vol 44(2), p.,14 - 25.

Sanchez, L., Mattar, S. y Gonzalez, M. (2009). Cambios climáticos y enfermedades infecciosas: nuevos retos epidemiológicos. *Revista MVZ Córdoba*, 14(3), 1876-1885. <https://doi.org/10.21897/rmvz.348>

Scholz-Barth, K., y Tanner, S., 2004. Federal Technology Alert: Green Roofs. DOE Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE). U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy. Washington.

- Secretaría Distrital de Ambiente. (2011). *Guía de techos verdes en Bogotá*. Bogotá, Colombia: Secretaría Distrital de Ambiente.
- Sistema Nacional de Información Ambiental (2010). *Mapa de evaluación rápida de los niveles de ruido en Lima metropolitana*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-evaluacion-rapida-niveles-ruido-lima-metropolitana>
- Sistema Nacional de Información Ambiental (2016). *Indicador: Superficie de área verde urbana por habitante*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1617>
- Sistema Nacional de Información Ambiental (2021). *Lima: Vehículos por cada mil Habitantes*. Ministerio del Ambiente. <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/estadisticas>
- Stovin, V. y Swan, A. 2007. Retrofit SuDS—cost estimates and decision-support tools. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. Pages 207–214
- Sullivan, W., & Chang, C.-Y., (2011). Mental Health and the Built Environment. *Making Healthy Places* (págs. 106-116).
- United States Environmental Protection Agency (2014). Buildings and Infrastructure from a Sustainability Perspective: Sustainable and Healthy Communities Program – Theme 4.1.1. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/buildingsandinfrastructurefromasustainabilityperspective.pdf>
- United States Environmental Protection Agency (2008). Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies-Urban Heat Island Basics. https://www.epa.gov/sites/default/files/201705/documents/reducing_urban_heat_islands_ch_1.pdf
- University of California Cooperative Extension. (2000). A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California. The Landscape Coefficient Method and WUCOLS III. California Department of Water Resources.

- Valdivia-Loro, A. (2019). Evaluación del índice de sostenibilidad urbana. Aplicación para Lima Metropolitana. *Bitácora Urbano Territorial*, 29 (3): 135-144. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v29n3.66568>
- Vojnovic, Igor (2014), “Urban sustainability: research, politics, policy and practice”, *Cities*, 41 (1), pp. 30-44.
- Webster, P. & Sanderson, D., (2012), “Healthy cities indicators a suitable instrument to measure health?”, *Urban Health*: 90 (1), pp. 52-61.
- Wolch J., Byrne J. y Newell J. (2014), “Urban green space, public health, and environmental justice: the challenge of making cities just green enough”, *Landscape and Urban Planning*, (125), pp. 234-244.
- Wong, N. H., Cheong, D. K .W., Yan, H., Soh, J., Ong, C. L., y Sia, A., (2003). The effect of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings*, 35 (4), 353- 364.
- Young, P., Hortis, V., Chambi, M., y Finn, B., (2011). “Florence Nightingale (1820-1910), a 101 años de su fallecimiento”, *Revista Médica de Chile*, 139 (6), Sociedad Médica de Santiago, Santiago, Chile, pp. 807-813.
- Zhang, Q., Miao, L., Wang, X., Liu D. et al., (2015) The capacity of greening roof to reduce stormwater runoff and pollution,” *Landscape and Urban Planning*, vol. 144, pp. 142-150
- Zielinski, S., García, M., & Vega, J. (2012). Techos verdes: ¿Una herramienta viable para la gestión ambiental en el sector hotelero del Rodadero, Santa Marta?. *Gestión y Ambiente*. Vol 15 (1), p.1 91-p.,104.