



Universidad César Vallejo

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Revisión Sistemática Aportes de las Cubiertas Vegetadas
(techos verdes) como Alternativas de Solución para las Épocas
de Calor**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Ccoyllo Rojas, Talía Edith (ORCID: 0000-0003-2992-1359)

ASESOR:

Mg. Herrera Díaz Marco (ORCID: 0000-0002-8578-4259)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgo y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Pará quienes después de Dios, ocupan el lugar preferido: Mis padres, hermanos y demás familiares, la universidad y profesores.

Agradecimiento

La finalidad de esta tesis en mi carrera de Ingeniería Ambiental, es primero dar gracias a Dios, que siempre cuida de sus hijos, además nos está instruyendo, nos está moldeando y educando, para proteger al Medio Ambiente del mundo entero, ejercitando acciones de protección de nuestra madre Tierra (pachamanca) en los diferentes reinos naturales.

Pará qué las diferentes áreas ambientales de las instituciones, hagan el uso racional, disciplinas orden y justicia protegiendo la contaminación de los recursos naturales.

ÍNDICE

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN	10
II. MARCO TEÓRICO	12
III. METODOLOGÍA	33
3.1. Tipo y diseño de investigación	33
3.2. Categorías, Sub categorías y matriz de categorización	33
3.2. Escenario de estudio	35
3.3. Participantes	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	35
3.5. Procedimiento	35
3.5. Rigor científico	36
3.6. Método de análisis de datos	36
3.7. Aspectos éticos	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES	50
REFERENCIAS	51
ANEXOS	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición, propósito y materiales del techo verde	13
Tabla 2. Tipologías de cubiertas verdes y principales características.	15
Tabla 3. Antecedentes del uso de techos verdes	21
Tabla 4. Matriz de categorización apriorista	34
Tabla 5. Tipo de plantas para techos verdes	39
Tabla 6. Regulación térmica en los techos verdes	44
Tabla 7. Aportes del uso de techos verdes	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición esquemática de la capa del techo verde	13
Figura 2: Representación esquemática de una cubierta vegetal multicapa	15
Figura 3: Diagrama del balance de calor para techo verde y techo frío	17
Figura 4: Esquema del procedimiento metodológico	36

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Cantidad de tipos de techos verdes según estudios	38
Gráfico 2. Investigaciones de materiales de las capas de los techos verdes	41

Resumen

El presente trabajo de investigación sostuvo un enfoque cualitativo cuyo objetivo fue identificar el aporte y aplicaciones de los techos verdes que podría proporcionar en las épocas de calor de la ciudad de Ica, la técnica de recolección de datos se basó en un instrumento descrito en el anexo 1. Se realizó la revisión sistemática de 43 artículos científicos de datos teniendo en cuenta los criterios descritos en el anexo 1. Los resultados mostraron a los techos verdes como alternativa sostenible para épocas de calor ya que contribuyen al ahorro de consumo de energía, reducción de CO₂ y generan un ambiente ecológico en las zonas urbanizadas. Se estudió tres tipos de techos verdes: extensivo, semi intensivo e intensivo, sus características y composición; además de las plantaciones ideales para este tipo de cubiertas vegetadas, considerando su resistencia a condiciones hídricas deficientes o estrés por sequía. También se analizó las condiciones climáticas a las que operaron, teniendo como factor el tipo de clima, la humedad relativa, las temperaturas en diferentes estaciones del año y las precipitaciones medias. Por consiguiente, se estudió los techos verdes como una tecnología viable, ecológica y sustentable para combatir las épocas de calor en la ciudad de Ica.

Palabras clave: techos verdes, condiciones climáticas, regulación térmica, extensivo, intensivo.

Abstract

The present research work supported a qualitative approach whose objective was to identify the contribution and applications of green roofs that could provide in the hot seasons of the city of Ica, the data collection technique was based on an instrument described in the annex. 1. A systematic review of 43 scientific data articles was carried out, taking into account the criteria described in Annex 1. The results showed green roofs as a sustainable alternative for hot times, since they contribute to saving energy consumption, reducing CO₂ and generate an ecological environment in urbanized areas. Three types of green roofs were studied: extensive, semi-intensive and intensive, their characteristics and composition; in addition to the ideal plantations for this type of vegetated roof, considering its resistance to poor water conditions or drought stress. The climatic conditions under which they operated were also analyzed, taking as a factor the type of climate, relative humidity, temperatures in different seasons of the year and average rainfall. Therefore, green roofs were studied as a viable, ecological and sustainable technology to combat the hot seasons in the city of Ica.

Keywords: green roofs, climatic conditions, thermal regulation, extensive, intensive.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población y el aumento de la urbanización han caracterizado las últimas décadas alterando el equilibrio natural y modificando las interacciones entre el agua, la energía, los alimentos y el ecosistema (Matlock & Rowe, 2016). El reemplazo de hábitats naturales por superficies artificiales ha aumentado la absorción y el almacenamiento de la radiación solar por parte del tejido urbano, reduciendo la infiltración para aumentar la escorrentía de aguas pluviales y el riesgo de inundaciones. (Arbid et al., 2021; Takakura et al., 2000).

Tyndall Center de Inglaterra realizó un estudio donde señala al Perú como el tercer país más endeble al cambio climático ya que posee 27 de los 32 climas a nivel mundial, lo que lo hace muy débil al calentamiento global (Montalvo, 2021).

Los países que aportan menos emisiones de GEI son los más vulnerables al inminente cambio climático y el Perú posee 7 de las 9 condiciones de vulnerabilidad: zonas semiáridas y áridas, desertificación y sequías, zonas propensas a inundaciones, zonas costeras bajas, zonas expuestas a desastres, zonas urbanas con gran contaminación atmosférica, ecosistemas montañosos frágiles (sin nombrar los pasivos ambientales de la minería) (Raez, 2019).

Una gran porción del territorio peruano está expuesto al cambio climático, incluso a fenómenos que impactan fuertemente al país como es el fenómeno del Niño. Los recursos naturales cada vez son más limitados y esto afecta el crecimiento económico y la infraestructura. La costa del Perú es totalmente seca, particularmente desde Ica hasta la influencia del desierto de Atacama, , notando una consecuencias abrupta del cambio climático (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

Debido a las consecuencias negativas del cambio climático en las regiones de la costa surge la idea de emplear techos verdes en la ciudad de Ica como una respuesta favorable hacia las olas de calor tan intensas, por lo cual se plantea como **problema general** ¿Cuál será el efecto del uso de techos verdes en épocas de calor en la ciudad de Ica? y como **problemas específicos**

- **PE1:** ¿Cuáles son los tipos de techos verdes para su uso en épocas de calor en la ciudad de Ica?
- **PE2:** ¿Qué materiales componen las capas de los techos verdes para

su uso en épocas de calor en la ciudad de Ica?

- **PE3:** ¿Cuáles son las condiciones operativas de aplicación de los techos verdes para su uso en épocas de calor en la ciudad de Ica?
- **PE4:** ¿Cuál es el método para disminuir la temperatura interior de las construcciones que usan techos verdes?

La justificación social de la investigación se basa en los beneficios que puede otorgar los techos verdes. La ecología urbana emplea un marco de sistemas socio-ecológicos y tecnológicos (Keeler et al., 2019) donde comprende que las soluciones como los techos verdes dependen de aspectos del entorno urbano como: la integridad estructural de los techos de los edificios, los aspectos de mantenimiento y administración, los aspectos locales y regionales, el tipo de ecosistema de techos verdes, los marcos legales para su instalación entre otros.

La investigación se justifica ambientalmente porque los techos verdes proporcionan servicios ambientales tanto públicos como privados en áreas urbanas, brindando una mejor gestión de las aguas pluviales, una mejor regulación de las temperaturas de los edificios y la reducción de las emisiones de CO₂, la reducción de los efectos de isla de calor urbano, el aumento del hábitat de la vida silvestre urbana, la reducción de la contaminación acústica debido a la absorción de ondas de sonido a través del suelo y las plantas, mejora la seguridad y la calidad de vida de la comunidad, proporciona áreas de recreación y oportunidades para disfrutar de los espacios de vida al aire libre y contribuye a la producción local de alimentos. (Bugliarello, 2006).

De los problemas de investigación planteados, se extrae como **objetivo general** determinar el efecto del uso de techos verdes en épocas de calor en la ciudad de Ica y como **objetivos específicos:**

- **OE1:** Analizar los tipos de techos verdes para su uso en épocas de calor en la ciudad de Ica.
- **OE2:** Analizar los materiales que componen las capas de los techos verdes para su uso en épocas de calor en la ciudad de Ica.
- **OE3:** Analizar las condiciones operativas de aplicación de los techos verdes para su uso en épocas de calor en la ciudad de Ica.
- **OE4:** Analizar el método para disminuir la temperatura interior de las construcciones que usan techos verdes.

II. MARCO TEÓRICO

Las cubiertas vegetadas o infraestructura verde se están expandiendo rápidamente en ciudades de todo el mundo como una solución basada en la naturaleza para cumplir con múltiples objetivos de sostenibilidad y resiliencia (Andersson et al., 2019; Keeler et al., 2019). La infraestructura verde se ha descrito como una forma de infraestructura ecológica urbana que puede proporcionar múltiples servicios ecosistémicos o beneficios para la salud y el bienestar humano (Gómez-Baggethun y Barton, 2013).

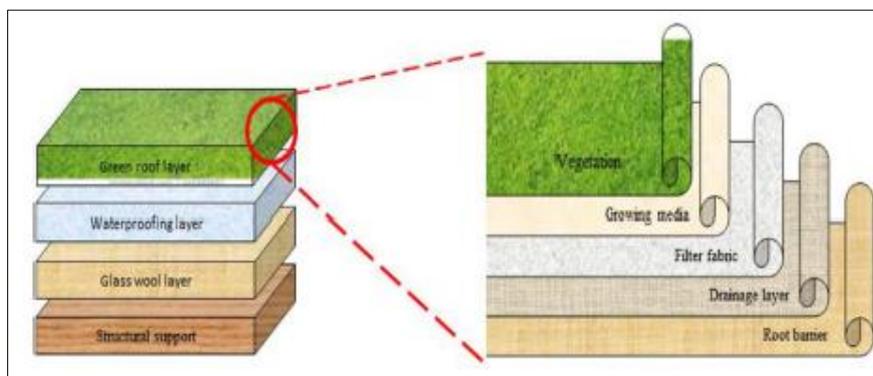
La infraestructura verde, precisamente debido a los múltiples beneficios que puede brindar desde el enfriamiento hasta la absorción de aguas pluviales en los sitios para la agricultura urbana y la recreación, ha comenzado a generalizarse en las políticas, planes y estrategias de gestión para mejorar la habitabilidad urbana (Andersson et al., 2019). La infraestructura verde puede tener muchos componentes, incluidos parques, jardines de lluvia, jardines comunitarios y de parcelas y techos verdes (Huang et al., 2020; L. Liu et al., 2021).

Los techos verdes, al igual que otras formas de infraestructura verde, a menudo son una infraestructura híbrida verde-gris que integra componentes del ecosistema urbano en la forma construida de la ciudad (Ma'bdeh et al., 2022; Venter et al., 2021).

Los techos verdes se pueden clasificar según el espesor de la capa de suelo. Las estructuras extensivas se caracterizan por una profundidad del suelo <15-20 cm, en cambio, las soluciones con una capa más gruesa se denominan intensivas. Por lo general, se prefieren los techos verdes extensos, ya que generalmente son menos costosos, más fáciles de instalar y presentan un sustrato de suelo más liviano (Skjeldrum y Kvande, 2017). El espesor del suelo limita la longitud de la raíz y, en consecuencia, el tipo de vegetación que se puede instalar (Hartog, 1967). En comparación con los techos verdes tradicionales, los de múltiples capas pueden recrear el hábitat para una gama más amplia de vegetación, gracias al agua que se almacena en el tanque y que se puede usar fácilmente para el riego (Meetam et al., 2020; Sultana et al., 2021). Los techos verdes multicapa presentan beneficios en diferentes campos (es decir, retención de aguas pluviales, mejora de la calidad del agua, ahorro de energía, producción

de alimentos) y su desempeño ha sido investigado en varias áreas con diferentes condiciones climatológicas, mostrando una alta flexibilidad (Andenæs et al., 2018; Shafique y Kim, 2017).

Figura 1. Composición esquemática de la capa del techo verde



Fuente: (Seyedabadi et al., 2021)

La figura 1 muestra las partes que compone el techo verde, se puede apreciar en la imagen izquierda cuatro capas, la capa inferior es el soporte estructural que puede ser cartón o yeso, la capa siguiente corresponde a la capa de lana de vidrio, la capa celeste es la capa impermeabilizante que soporta el techo verde que es la capa superior (De-Ville et al., 2018; Zhang et al., 2021). La parte derecha de la imagen muestra las partes que compone el techo verde, describiendo de abajo hacia arriba, primero se tiene la barrera contra las raíces, luego el sistema de drenaje seguido de la tela de filtro, encima la parte de sustratos de cultivo y la vegetación que se siembra (Abuseif et al., 2021; Xie et al., 2018).

La tabla 1 detalla la composición que posee el techo verde, las capas que lo componen su propósito y los materiales que se puede incluir en cada capa de los techos verdes.

Tabla 1: Composición, propósito y materiales del techo verde

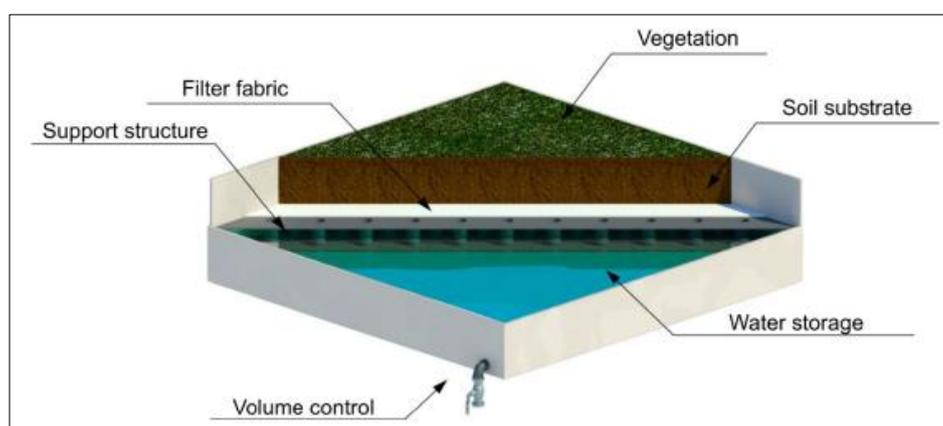
Composición	Propósito	Materiales
Barrera de Raíces	Evitar daños por plantas en la superficie del techo, y una membrana totalmente impermeable proporciona un sello hermético al edificio que se encuentra debajo.	Betún modificado; una mezcla de asfalto y polímero; láminas de plástico de una sola capa; PVC (cloruro de polivinilo); caucho o poliolefina termoplástica; varios productos de aplicación fluida

Capa de drenaje	Retener el agua cuando llueve y mantener un buen drenaje y aireación del sustrato y las raíces.	Paneles modulares; polietileno o poliestireno. Agregados de drenaje de piedra; materiales de piedra porosa como arcilla expandida, pizarra expandida, piedra pómez y puzolana natural
Capa de filtro	Evitar la infiltración de material fino a las capas inferiores durante el proceso de drenaje y mantener la integridad del sustrato y la vegetación.	Fibras poliméricas o poliolefinas
Sustrato	Mantener la humedad adecuada para el crecimiento de las plantas, facilite la eliminación rápida del exceso de agua, brinde soporte y anclaje a las plantas, proporcione nutrientes y posea un pH y conductividad eléctrica (CE) apropiados para el crecimiento de las plantas	Por lo general, son sustratos livianos, mezcla de materia inorgánica (arcilla, arena, rocas volcánicas vesiculares; minerales artificiales o modificados como perlita, vermiculita, lana de roca, arcilla expandida, pizarra, lutita) y materia orgánica (compost, turba, fibra de coco). , aserrín o corteza descompuesta.

Fuente: (Nagase, 2020)

Los techos verdes se pueden clasificar según el espesor de la capa de suelo. Las estructuras extensivas se caracterizan por una profundidad del suelo <15-20 cm, en cambio, las soluciones con una capa más gruesa se denominan intensivas. Por lo general, se prefieren los techos verdes extensos, ya que generalmente son menos costosos, más fáciles de instalar y presentan un sustrato de suelo más liviano (Skjeldrum y Kvande, 2017). El espesor del suelo limita la longitud de la raíz y, en consecuencia, el tipo de vegetación que se puede instalar. En comparación con los techos verdes tradicionales, los de múltiples capas pueden recrear el hábitat para una gama más amplia de vegetación, gracias al agua que se almacena en el tanque y que se puede usar fácilmente para el riego (Koroxenidis & Theodosiou, 2021). Los techos verdes multicapa presentan beneficios en diferentes campos (es decir, retención de aguas pluviales, mejora de la calidad del agua, ahorro de energía, producción de alimentos) y su desempeño ha sido investigado en varias áreas con diferentes condiciones climatológicas, mostrando una alta flexibilidad (Andenæs et al., 2018; Shafique y Kim, 2017).

Figura 2: Representación esquemática de una cubierta vegetal multicapa



Fuente: (Cristiano et al., 2021)

Hay dos enfoques establecidos hacia los techos verdes, los sistemas extensivos e intensivos, aunque también se pueden encontrar soluciones intermedias. Esta clasificación general deriva de su estructura multicapa que comprende, de arriba a abajo, las siguientes capas: vegetación, sustrato, filtro, drenaje-almacenamiento de agua, protección y retención de agua, y finalmente la barrera radicular y capa impermeabilizante (Shao et al., 2021). A partir de esta estructura general multicapa, se distinguen además las diferentes tipologías de cubiertas verdes para lograr los objetivos paisajísticos y ambientales deseados y los requisitos de las plantas seleccionadas. La Tabla 2 muestra las principales tipologías y características de cubiertas verdes.

Tabla 2. *Tipologías de cubiertas verdes y principales características.*

Parámetro	Extensivo	Semi- intensivo	Intensivo
Peso a máxima capacidad de agua	50 kg/m ² - 150 kg/m ²	120 kg/m ² - 350 kg/m ²	> 350 kg/m ²
Espesor de la capa de sustrato	6 cm - 20 cm	10 cm - 25 cm	> 25 cm
Tipologías de plantas	Suculentas, herbáceas y gramíneas	Herbáceas, gramíneas y arbustos	Hierbas, arbustos y árboles
Pendiente	<100%	<20%	<5%
Riego	Nunca o periódicamente	Periódicamente	Regularmente
Costos de mantenimiento	Bajo	Moderado	Alto
Costos de implementación	Bajo	Medio	Alto

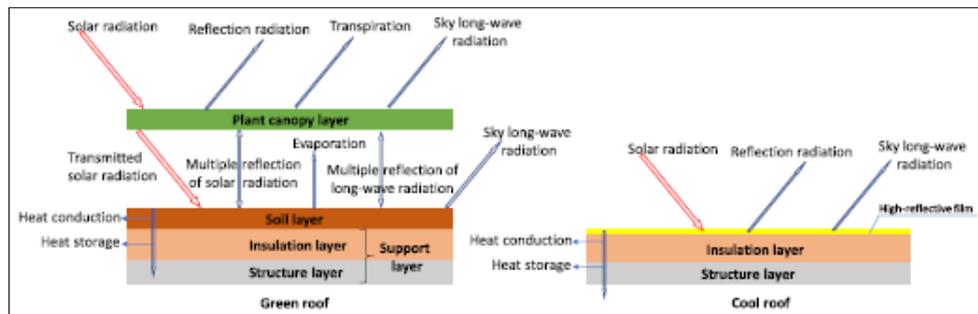
Propósito	Proporcionar servicios ecosistémicos minimizando los impactos ambientales y los costos adicionales.	Finalidades intermedias.	Priorizar el paisajismo, la estética y usos recreativos
-----------	---	--------------------------	---

Fuente: (Pérez et al., 2020)

El mecanismo de mitigación de la temperatura mediante cubierta vegetal es muy complejo, ya que involucra evapotranspiración, sombreado, aislamiento térmico y masa térmica (He et al., 2017). Según estudios previos, los techos verdes exhibieron diversos comportamientos térmicos y energéticos en diferentes climas, características de construcción y disponibilidad de agua (Cascone et al., 2019). Por lo tanto, el impacto de las cubiertas verdes en el consumo de energía de los edificios también sería diferente. Según un experimento realizado en el clima mediterráneo templado, (Bevilacqua et al., 2016) encontraron que el techo verde fue capaz de reducir la temperatura en la interfaz con el techo estructural en un promedio de 12°C en comparación con un techo bituminoso negro en verano, así como mantener un valor 4°C más alto en invierno. Además, el techo verde pudo reducir el 100% de la energía térmica que ingresa al ambiente interior en verano y reducir el 30% - 37% de la energía térmica saliente en invierno. El estudio realizado por (Coma et al., 2016) también indicaron que el techo verde podría beneficiar el desempeño del edificio en temporadas cálidas al reducir el consumo de energía en aproximadamente un 16,7%. Sin embargo, durante la estación fría se produjo un mayor consumo de energía de alrededor del 11,1%. En climas fríos, como el de Toronto o el centro de Pensilvania, el techo verde mostró un mejor rendimiento térmico durante todo el año. Por ejemplo, (He et al., 2020) encontraron que el flujo de calor diario promedio a través de un techo verde se redujo entre un 70% y un 90% en verano y entre un 10% y un 30% en invierno en relación con un techo tradicional. En general, se puede ver a partir de estos estudios que los techos verdes son beneficiosos tanto en climas cálidos como fríos, así como en verano de climas templados, aunque sus beneficios son inciertos en los períodos invernales de clima templado (Hoeben & Posch, 2021). Además, los efectos de diferentes parámetros sobre el rendimiento térmico de la cubierta vegetal también varían significativamente. Por ejemplo, en el clima de

(Feng et al., 2010) encontraron que un mayor contenido de agua contribuía a mejorar el rendimiento térmico de los techos verdes. Sin embargo, (Nardini et al., 2012) argumentó que un mayor contenido de agua tuvo un efecto negativo en el rendimiento térmico de los techos verdes en el noreste de Italia. Para el espesor del suelo, (Jim y Tsang, 2011) sugirieron que un suelo más grueso no contribuyó a un efecto térmico significativamente mejor en el clima de Hong Kong. Sin embargo, (Nardini et al., 2012) encontraron que un suelo más espeso era ventajoso. Por lo tanto, es necesario comprender los efectos de los diferentes parámetros del techo verde sobre el rendimiento térmico en el clima local, de modo que se pueda proporcionar una guía razonable para el diseño del techo verde (Fachinello Krebs & Johansson, 2021).

Figura 3: Diagrama del balance de calor para techo verde y techo frío



Fuente: (He et al., 2020)

Como se muestra en la Fig. 3, existe una diferencia significativa en el balance de calor entre los techos verdes y el techo frío. Además de la conducción de calor, los techos verdes también experimentan efectos de evapotranspiración y sombra. Para describir el proceso de transferencia de calor de un techo verde, generalmente se utilizan los siguientes supuestos: (1) El techo verde se simplifica en tres capas principales: capa vegetal, capa de suelo y capa de soporte. (2) La transferencia de calor y humedad son procesos unidimensionales, que solo ocurren a lo largo de la dirección vertical. (3) La transferencia de radiación en la capa del dosel de la planta se basa en la Ley de Beer. (4) Las plantas están sanas y la variación del contenido de agua de la capa del suelo equivale a la pérdida de agua a través de la evapotranspiración de las hojas y la capa del suelo. (5) La superficie exterior de la capa de estructura es impermeable y no se considera la transferencia de humedad a través de esta superficie. (6) No se

tienen en cuenta la fotosíntesis y otros procesos bioquímicos, junto con la transferencia de calor a través de los tallos de las plantas (Fantozzi et al., 2021).

Los efectos del cambio climático son muy relevantes en los núcleos urbanos por el efecto del elevado calor, un fenómeno que sucede como consecuencia del aumento del calor sensible desde el área terrestre a la atmósfera cerca de las comunidades, se refiere al sobrecalentamiento de la ciudad que se ve reforzado por el aumento de edificios y superficies duras (Kato y Yamaguchi, 2007). Las temperaturas urbanas más elevadas presentan un impacto muy relevante no solo en las comodidades humanas, sino también, presenta un impacto energético por la demanda eléctrica que generaría el aire acondicionado (Santamouris, 2014). El efecto isla de calor reduce drásticamente la capacidad de regulación del microclima de las superficies duras urbanas que absorben el calor durante el día e irradian el calor durante la noche en forma de radiación infrarroja. En este contexto, se plantea como estrategia el uso de elementos vegetados en los espacios urbanos como una tendencia a la conservación del medio ambiente que genera interés a nivel político urbano y nivel académico. Esto se debe principalmente a su potencial de mitigar las olas de calor, capacidad de restauración y la manera en que mejora la estética de las ciudades (Oberndorfer et al., 2007). Una de las áreas con potencial a explotar los beneficios que otorga los techos verdes son los edificios, porque cumplen un rol trascendental en la regulación térmica (Alcazar et al., 2016).

La adición de vegetación y suelo permeable en áreas urbanas estaría lejos de reducir los efectos dañinos de la urbanización en los ambientes locales y mostrar cómo incluso el espacio "no funcional" puede volverse funcional (Davis, 2005). Los sistemas de techos verdes son muy diversos, dependiendo del medio y la profundidad del suelo. El tipo de techo verde y la profundidad del suelo influirán profundamente en los beneficios proporcionados por esta solución natural, siendo las soluciones de follaje más denso y profundo las que reportan mayores beneficios (Cavadini & Cook, 2021). Sin embargo, estos beneficios deben equilibrarse con los requisitos estructurales y el costo impuesto por la carga adicional agregada al techo. Ante esto, las cubiertas verdes más comunes son las "cubiertas extensivas", que son aquellos sistemas con medios de suelo entre 5 cm y 20 cm de profundidad de suelo, que agregan entre 80 kg/m² a 225 kg/m²

a la cubierta (saturados), permiten una amplia gama de arbustos y tipos de vegetación herbácea y tienen pocos o ningún requisito de mantenimiento (Alcazar et al., 2016).

Los techos verdes reducen la proporción de radiación infrarroja devuelta al aire, por lo que la temperatura del aire no se sobrecalienta y ayuda a generar un microclima apropiado capaz de brindar comodidades a los humanos (Lee & Jim, 2020). Los estudios han informado que las disminuciones en la temperatura media del aire fueron hasta 1,06°C más bajas a 300 mm por encima de un techo verde con relación a un techo de hormigón con un pico de reducción de 1,58°C, cuando las islas de calor urbano son más comunes (Speak et al., 2013). También pueden reducir la energía requerida para el mantenimiento de los climas interiores ya que la vegetación y los medios de cultivo disipan la radiación solar (Bass y Saiz, 2016). Más allá de la regulación del microclima y la reducción del consumo de energía, los techos verdes también pueden regular los flujos de aguas pluviales durante las tormentas dada la capacidad de retención de los medios de cultivo que ayudan a regular los caudales máximos durante las tormentas (Lee & Jim, 2018). Además, se ha demostrado que los techos con vegetación mejoran la atenuación del ruido ambiental, la resistencia al fuego y aumentan la impermeabilidad de la membrana durante el ciclo de vida del techo (Alcazar et al., 2016).

Se ha demostrado que las configuraciones de techos sostenibles, como los techos verdes o reflectantes, reducen la temperatura de la superficie de los techos con respecto a los techos convencionales (por ejemplo, membrana negra o balasto de roca) (Santamouris, 2014). Las investigaciones han demostrado que, en comparación con los techos más oscuros, las temperaturas máximas diarias de la superficie son entre 10°C y 20°C más bajas en los techos verdes con vegetación y de 15°C a 25°C más bajas en los techos reflectantes y fríos (Zingre et al., 2015). Esto se debe a sus características superficiales modificadas, como el albedo y emisividad, que reduce la radiación solar absorbida y modifica la tasa de emisión de radiación de onda larga a la atmósfera (He et al., 2021). En cubiertas verdes, donde hay vegetación y sustrato, las reducciones de temperatura también se deben al calor latente liberado como evapotranspiración (ET), conocido como enfriamiento evaporativo, que reduce el

calor sensible. Debido a la reducción de la temperatura de la superficie, estos techos sostenibles tienen el potencial de aumentar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos (FV) en los tejados, cuya eficiencia de conversión depende de la temperatura. Para los módulos de silicio multicristalino, la eficiencia de conversión se reduce en aproximadamente un 0,45% a medida que la temperatura de la celda aumenta 1°C por encima de la temperatura de referencia (normalmente 25°C) (Manso et al., 2021). Por lo tanto, la configuración del techo, que influye en los flujos de calor y energía intercambiados entre el techo y los paneles fotovoltaicos, podría desempeñar un papel importante en la eficiencia de conversión del panel y, en última instancia, en el rendimiento energético obtenido de las instalaciones fotovoltaicas (Pérez et al., 2020) .

Tabla 3. Antecedentes del uso de techos verdes

N°	Tipo de techos verdes	Composición	Condiciones operativas	Tipo de vegetación	Autor (es)
1	Extensivo	El techo verde consistió en: - 5 cm de material de grava volcánica (puzolana) para la capa de drenaje. - Tela geotextil para la capa de filtro - 10 cm de espesor para la capa de sustrato. - El espesor de todo el sistema fue de 15 cm.	- Clima mediterráneo continental - Exposición a la radiación solar directa. - Sin riego	-Suculentas (Sedums)	(Pérez et al., 2020)
2	Intensivo	- 1 m de espesor de la capa de sustrato (granito descompuesto y enriquecido con compost).	- Clima subtropical en invierno - Al aire libre - Sin riego	- Hierbas, arbustos y árboles	(Lee y Jim, 2020)
3	Extensivo	- 6 cm de espesor de la capa de sustrato (ladrillos triturados y piedra pómez, enriquecidos con materia orgánica, incluido abono con fibras y materiales arcillosos).	- Periodos climáticos secos - Exposición a la radiación solar directa. - Sin riego	- Suculentas (Sedums)	(Berretta et al., 2014)
4	Extensivo	Se colocaron seis capas en secuencia sobre el techo plano de hormigón, de abajo hacia arriba: a) 4 mm de membrana de barrera de raíz de PVC impermeable b) 3 mm de tejido de protección c) 25 mm de drenaje d) 0,5 mm de tela filtrante e) 100 mm de sustrato para apoyar el crecimiento de las plantas f) vegetación	- Clima subcontinental templado húmedo con veranos calurosos y bochornosos, inviernos fríos, sin estación seca - Precipitación media de 700 mm/año a 800 mm/año.	- Suculentas (Sedums)	(Simona et al., 2016)

5	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Material vegetal y sustrato de cultivo de 32 mm de espesor, apoyado por dos vellones de retención de agua de 6 mm de espesor. - Capa de drenaje de polímero no tejido de 19 mm y una barrera de polietileno para raíces de 0,5 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima lluvioso - Exposición a la radiación solar directa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suculentas (Sedums) 	(Hakimdavar et al., 2014)
6	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa filtrante de 25 mm con una hoja de poliestireno. - Tela geotextil no tejida a la superficie superior del compuesto de drenaje como capa de filtro. - El sustrato de crecimiento y las plantas se colocaron encima del geotextil no tejido A 15 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Zona climática semiárida (veranos: cálidos-húmedos e inviernos: fríos-secos) - Exposición a la radiación solar directa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ophiopogon japonicas - <u>Sedum Spectabile</u> - <u>Iris (Iris tectorum Maxim)</u> 	(W. Liu et al., 2019)
7	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Consta de una barrera contra las raíces, una capa de sustrato de 13 cm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima oceánico con un invierno fresco. - Exposición a la radiación solar directa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Suculentas (Sedums) 20% 	(Stella y Personne, 2021)
8	Semi-intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Consta de una barrera contra las raíces, una capa de sustrato de 27 cm 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima oceánico con un invierno fresco. - Exposición a la radiación solar directa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gramíneas (Pasto) 100% 	(Stella y Personne, 2021)
9	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Placa de drenaje de plástico rugoso de 2 cm 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura media anual de 12 ° C. - Precipitación media anual de 626 mm. - Clima de monzón continental. - 1% de pendiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Suculenta (Sedums lineare) 	(Gong et al., 2020)

10	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa de almacenamiento de agua - Tela filtrante - Capa de sustrato en crecimiento - Capa de vegetación 	<ul style="list-style-type: none"> - Zona climática semiárida con veranos cálidos y húmedos e inviernos fríos y secos. - Precipitación media anual de 421 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Suculenta (<u><i>Sedum Spectabile</i></u>) 	(W. Liu et al., 2021)
11	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa de filtro (grava, árido de piedra gruesa reciclado o árido cerámico grueso reciclado y triturado) - Capa de sustrato (turba, tierra vegetal, compost) 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima mediterráneo 	<ul style="list-style-type: none"> - Suculentas 	(Carrera et al., 2021)
12	Semi-intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - 2% de pendiente para el drenaje de agua - 7 cm de espesor de capa de drenaje (corcho). - 0,6 mm de capa de filtro (lámina de polipropileno) - Capa de sustrato compuesto por humus de corteza de pino fermentado, turba rubia, arcilla expandida, roca volcánica y 74,42% de materia orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima mediterráneo de verano cálido - 2% de pendiente para el drenaje de agua 	<ul style="list-style-type: none"> - <u><i>Allium schoenoprasum</i></u> - <u><i>Armeria maritima</i></u> - <u><i>Delosperma cooperi</i></u> - <u><i>Hypericum calycinum</i></u> - <u><i>Iberis sempervirens</i></u> - <u><i>Sedum album</i></u> - <u><i>Sedum floriferum</i></u> - <u><i>Thymus vulgaris</i></u> 	(Almeida et al., 2020)
13	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Consta de cubierta plana convencional (vigas de hormigón prefabricado y arco de piso cerámico de 25 cm). 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima continental mediterráneo - Relieve pendiente del 2% 	<ul style="list-style-type: none"> - Sedums y musgo 	(Simões et al., 2020)

		<ul style="list-style-type: none"> - Hormigón con doble membrana impermeabilizante y 4 cm de migajas de caucho reciclado - Capa de sustrato de 5 cm de espesor 			
14	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Consta de cubierta plana convencional (vigas de hormigón prefabricado y arco de piso cerámico de 25 cm). - Hormigón con doble membrana impermeabilizante y 4 cm de grava volcánica puzolana como capa de drenaje. 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima continental mediterráneo - Relieve pendiente del 2% 	- Sedums y musgo	(Simões et al., 2020)
15	Extensivo	<p>Consta de cubierta plana convencional (vigas de hormigón prefabricado y arco de piso cerámico de 25 cm).</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 cm de capa aislante de poliuretano en la parte superior, hormigón aliviado doble membrana impermeabilizante. - Capa única de grava de 7 cm de espesor 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima continental mediterráneo - Pendiente al 2% 	- Sedums y musgo	(Simões et al., 2020)
16	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Barrera de raíces - 140 mm de capa de drenaje con bambú Moso, material de desecho de polietileno tereftalato (PET) de alta densidad, tapa y fondo de botella - Capa filtrante - 130 mm de sustrato con fibra de coco y comercial 	<ul style="list-style-type: none"> - Luz solar directa y sin obstrucciones. - Temperatura media en la ciudad de 15,7 ° C - Precipitación media de 1387,3 mm 	- Césped, <u>Zoysia japonica</u>	(Nagase, 2020)

17	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa de drenaje de 5 cm - Capa de sustrato de 15 cm (materiales reciclados gruesos, agregados grueso) 	<ul style="list-style-type: none"> - La temperatura entre el sustrato y la capa de drenaje oscila entre 21,2°C y 21,82°C. - Conductividad térmica insaturada, (0,034 W/m.K) 	- Suculentas	(Kazemi y Courard, 2021)
18	Intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de planta (plantas locales, secas, tolerantes) - Un sustrato de plantación diseñado - Una hoja de filtro de geotextil de polipropileno reforzado térmicamente - Un sistema de drenaje de polietileno reciclado termoformado - Un sustrato de retención de humedad de fibra reciclada de poliéster / polipropileno. - Una membrana impermeabilizante - barrera contra las raíces - Una membrana de betún elastomérico - Una membrana bituminosa impermeabilizante - Concreto ligero - Aislante de polietileno - Aislamiento de poliestireno extruido - Una barrera de vapor (elastomérica, impermeabilizante, emulsión asfáltica) - Hormigón armado pesado 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de riego por goteo - Clima mediterráneo seco 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Origanum dictamus</u> - <u>Lavandula stoeches.</u> - <u>Helichrysum italicum</u> - <u>Artemisia absinthium.</u> 	(Karachaliou et al., 2016)
19	Semi-Intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa de sustrato con membrana de hoyuelos. 	<ul style="list-style-type: none"> - El peso máximo de este conjunto en estado húmedo es de 290kg·m⁻². 	- Césped, arbustos y matorrales	(Vacek et al., 2017)

20	Semi-Intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa filtrante con un panel de aislamiento térmico de poliestireno extruido. - Capa de sustrato de lana mineral hidrofílica - La capa de drenaje es una membrana de drenaje con hoyuelos hacia arriba y menor altura (8 mm frente a 40 mm o 25 mm) 	- El peso máximo de este conjunto en estado húmedo es de 280kg·m ⁻² .	- Césped, arbustos y matorrales	(Vacek et al., 2017)
21	Semi-Intensivo	- Capa de sustrato de lana mineral hidrofílica de 50 mm	- El peso máximo de este conjunto en estado húmedo es de 237kg·m ⁻² .	- Césped, arbustos y matorrales	(Vacek et al., 2017)
22	Intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Consta de losas de hormigón, adyacentes a un gran techo verde intensivo (408 m²) - Tiene una profundidad media de 170 mm. - Capas de sustrato divididas del plástico de diseño de "caja de huevos" 	<ul style="list-style-type: none"> - Veranos cómodos y parcialmente nublados - Inviernos largos, muy frío, ventosos y mayormente nublados. 	<ul style="list-style-type: none"> - <u>Buddleja davidii</u> - <u>Rubus fruticosus</u> - <u>Agrostis stolonifera</u> - <u>Festuca rubra</u> - <u>Plantago lanceolata</u> 	(Speak et al., 2014)
23	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> -Capa de sustrato delgada (menos de 15 cm) - Sustratos comerciales (piedra pómez, zeolita, escoria, vermiculita, perlita, turba, ladrillo triturado) 	- Climas Cálidos y secos	<ul style="list-style-type: none"> - Sedum - Pastos - Musgos - Suculentas 	(Vijayaraghavan, 2016)
24	Intensivo	-Capa de sustrato gruesa (20–200 cm)	- Climas tropicales húmedos y secos	<ul style="list-style-type: none"> - Arbustos - Árboles pequeños 	(Vijayaraghavan, 2016)

		- Sustratos comerciales (piedra pómez, zeolita, escoria, vermiculita, perlita, turba, ladrillo triturado)			
25	Semi-Intensivo	-Capa de sustrato moderadamente gruesa - Sustratos comerciales (piedra pómez, zeolita, escoria, vermiculita, perlita, turba, ladrillo triturado)	- Climas tropicales húmedos y secos	- Plantas herbáceas. - Pastos - Pequeños arbustos	(Vijayaraghavan, 2016)
26	Extensivo	- El sustrato está compuesto por una mezcla de ladrillo triturado y finos de 80 mm - Una membrana de filtro de partículas finas separa el sustrato de la capa de drenaje.	- Clima mediterráneo	- Sedum	(De-Ville et al., 2018)
27	Extensivo	- Capa de sustrato de 130 mm de profundidad (escoria negra aerolita, escoria roja y bonote de calidad hortícola) - Capa de filtro con filtro geotextil. - Los módulos eran bandejas de plástico negro de 222 L (longitud: 1160 mm; ancho: 750 mm; altura: 255 mm)	- Estación de otoño de un clima seco, mésico y húmedo - Retención de agua del sustrato 46% - Densidad aparente del sustrato 1,23 g.cm ⁻³	Tipos de arbustos: - <u>Correa glabra</u> - <u>Calytrix tetragona</u> - <u>Indigofera australis</u> - <u>Prostanthera aspalathoides</u>	(Du et al., 2019)
28	Extensivo	- Superficie de 2,5 m ² - Consta de una membrana impermeable/resistente a las raíces, una capa de retención de humedad, una capa de drenaje, una membrana de filtro y sustrato de 13 cm	- Clima sub mediterráneo, con inviernos suaves y veranos relativamente cálidos y secos. - Las temperaturas medias anuales promedian 15,7°C.	- <u>C. salviifolius</u> - <u>C. coggygria</u> - <u>E. majus</u> - <u>L. vulgare</u> - <u>P. spina-christi</u> - <u>P. angustifolia</u>	(Savi et al., 2016)

			<ul style="list-style-type: none"> - Las temperaturas máximas diarias superan con frecuencia los 30 ° C en verano, mientras que en invierno los valores mínimos descienden por debajo de los 0 ° C solo ocasionalmente. 	<ul style="list-style-type: none"> - <u><i>P. lentiscus</i></u> - <u><i>P. mahaleb</i></u> - <u><i>P. pyraister</i></u> - <u><i>S. officinalis</i></u> - <u><i>S. junceum</i></u> 	
29	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Macetas de plástico (diámetro de la base 11 cm; diámetro superior 13 cm; altura 11 cm) - El espesor total de las capas barrera contra las raíces, capas de drenaje y filtro fue de 3,3 cm. - La capa de sustrato fue de 6,5 cm (6% perlita, 50% arena, 10% vermiculita, 16% ceramisita, 12% piedra caliza triturada y 6% turba) 	<ul style="list-style-type: none"> - Conductividad eléctrica 347,7 μS/cm, - pH 6,96, - Densidad aparente del sustrato 0,71 g/cm³, al momento de la siembra. - Las macetas se colocaron en un invernadero a 20°C-27°C y humedad relativa de 60%-80% 	<ul style="list-style-type: none"> - <u><i>Sedum Lineare</i></u> 	(Lu et al., 2014)
30	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Cimientos de loza con hormigón armado - 3 cm de capa aislante de poliuretano en la parte superior, - Doble membrana asfáltica y una sola capa de grava de 7 cm de espesor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hormigón aliviado pendiente de formación al 2% - Condiciones climáticas cálidas y secas durante el período de verano. - Sistema de riego por goteo preventivo, que proporciona 24 L / día en 10 min, durante el período estival en clima mediterráneo continental seco. 	<ul style="list-style-type: none"> - <u><i>Deslosperma</i></u> <u><i>sp</i></u> - <u><i>Sedum sp</i></u> 	(Coma et al., 2016)
31	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Cimientos de loza con hormigón armado - Doble membrana asfáltica, 4 cm de puzolana como capa de drenaje, 	<ul style="list-style-type: none"> - Hormigón aliviado pendiente de formación al 2% - Condiciones climáticas cálidas y secas 	<ul style="list-style-type: none"> - <u><i>Deslosperma</i></u> <u><i>sp</i></u> - <u><i>Sedum sp</i></u> 	(Coma et al., 2016)

		- Capa de sustrato de 5 cm de espesor y capa de vegetación	durante el período de verano. - Sistema de riego por goteo preventivo, que proporciona 24 L / día en 10 min, durante el período estival en clima mediterráneo continental seco.		
32	Extensivo	- Cimientos de loza con hormigón armado - Doble membrana asfáltica, 4 cm de migajas de caucho como capa de drenaje, - Capa de sustrato de 5 cm de espesor y capa de vegetación.	- Hormigón aliviado pendiente de formación al 2% - Condiciones climáticas cálidas y secas durante el período de verano. - Sistema de riego por goteo preventivo, que proporciona 24 L / día en 10 min, durante el período estival en clima mediterráneo continental seco.	- <u><i>Deslosperma</i></u> <u><i>sp</i></u> - <u><i>Sedum sp</i></u>	(Coma et al., 2016)
33	Extensivo	- Capa de drenaje de PVC - Sustrato orgánico	- 10% - 15% reducciones anuales de escorrentía. - Clima tropical	- Suculentas	(Barnhart et al., 2021)
34	Intensivo	- Red de drenaje compuesto por tuberías municipales. - Sustrato orgánico	- 20% - 25% reducciones anuales de escorrentía - Clima tropical	- Árboles y grass	(Barnhart et al., 2021)
35	Intensivo	- Capa de sustrato de 1 m - Techo verde de 451 m ²	- Clima subtropical - Enfriamiento máximo de la superficie y del aire, respectivamente a 19,80°C y 6,21°C	- Vegetación arbolada	(Lee y Jim, 2018)
36	Intensivo	- Capa de drenaje con material PET - Capa de sustrato de 38 cm - Capa vegetal de 50 cm	- Calor extremo de Berlín - Diferencia de temperatura de 9°C	- Arbustos	(Knaus y Haase, 2020)

37	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa de sustrato 50 mm - Capa filtrante de material geotextil de 2 mm - Capa de drenaje de 40 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Veranos cálidos, áridos y despejados - Sin riego - Barrera de vapor de nailon - Poliestireno con aislamiento térmico de 0,05 m - Hormigón ligero (1,5 kN m⁻³ - 0,05 m) - Mortero de cemento y arena (0,025 m) - Aislamiento de humedad prefabricado 	- Arbustos de cedro	(Banirazi Motlagh et al., 2021)
38	Semi-intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa de sustrato 250 mm - Capa filtrante de material geotextil de 2 mm - Capa de drenaje de 40 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Veranos cálidos, áridos y despejados - Sin riego - Barrera de vapor de nailon - Poliestireno con aislamiento térmico de 0,05 m - Hormigón ligero (1,5 kN m⁻³ - 0,05 m) - Mortero de cemento y arena (0,025 m) - Aislamiento de humedad prefabricado 	- Arbustos de cedro	(Banirazi Motlagh et al., 2021)
39	Intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Capa de sustrato 450 mm - Capa filtrante de material geotextil de 2 mm - Capa de drenaje de 40 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Veranos cálidos, áridos y despejados - Sin riego - Barrera de vapor de nailon - Poliestireno con aislamiento térmico de 0,05 m - Hormigón ligero (1,5 kN m⁻³ - 0,05 m) 	- Arbustos de cedro	(Banirazi Motlagh et al., 2021)

			<ul style="list-style-type: none"> - Mortero de cemento y arena (0,025 m) - Aislamiento de humedad prefabricado 		
40	Intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Techos verdes que comprenden una extensión entre 280 m² – 930 m² - Sustrato profundo para enraizar mejor la vegetación. - Red de drenaje con partículas menores a 0,06 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - pH entre 6,5 – 8 - Fertilización constante del techo verde 	<ul style="list-style-type: none"> - Sedum - Césped 	(Droz et al., 2021)
41	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - Techo verde de tipo extensivo (alrededor de 5 cm - 20 cm) que estaba compuesto por varias capas colocadas en secuencia: barrera de raíces, capa de drenaje y almacenamiento, capa de filtro, suelo (sustrato) y vegetación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima tropical, con tres estaciones diferentes: un verano húmedo y caluroso; una estación fría y lluviosa de monzones; y un invierno fresco y seco. - Variación de temperatura de 3°C 	<ul style="list-style-type: none"> - Árboles verdes de 0,2 m – 0,25 m 	(Chowdhury et al., 2017)
42	Extensivo	<ul style="list-style-type: none"> - El techo verde consta de cinco componentes principales de abajo hacia arriba, incluida la membrana impermeable, la lámina anti-raíces, una capa de drenaje, una capa de filtro, sustrato y vegetación en la parte superior de la estructura. - Capa de sustrato con una profundidad de más de 125 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima tropical - Pendiente inferior a 10° - Reduce la escorrentía en 23,2% 	<ul style="list-style-type: none"> - Sedum, pastos y hierbas perennes 	(Azis y Zulkifli, 2021)
43	Intensivo	<ul style="list-style-type: none"> - El techo verde consta de cinco componentes principales de abajo hacia arriba, incluida la membrana impermeable, la lámina anti-raíces, 	<ul style="list-style-type: none"> - Clima tropical - Pendiente inferior a 10° - Reduce la escorrentía en 32,9%. 	<ul style="list-style-type: none"> - Árboles, arbustos, pastos y hierbas perennes 	(Azis y Zulkifli, 2021)

		una capa de drenaje, una capa de filtro, sustrato y vegetación en la parte superior de la estructura. - Capa de sustrato con una profundidad de más de 125 mm			
--	--	--	--	--	--

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es cualitativo porque se basó en un proceso inductivo que se fundamenta en la exploración, descripción y generación de perspectivas teóricas, apoyándose en la recolección de datos no estandarizados (Hernandez et al., 2014). La compilación de información y resultados de anteriores investigaciones fue acerca del uso de techos verdes en diferentes condiciones climáticas que nos ayudó a determinar si estas cubiertas vegetadas ayudarán a la población de Ica en épocas de intenso calor. Esta recopilación de investigaciones anteriores también nos brindó información acerca de los factores que influyen en la elección de las plantas para un techo verde en diferentes condiciones climáticas, los aportes de las cubiertas verdes en la regulación térmica y que factores pueden hacer prosperar el uso de techos verdes a diferentes condiciones climáticas.

El diseño de investigación que se aplicó fue el narrativo porque se basó en la compilación de datos obtenidos en investigaciones anteriores que fueron posteriormente descritos, analizados y enfocados hacia nuestro tema de investigación, además el diseño es narrativo – tópico porque se enfocó en una temática en específico según (Salgado, 2007)

3.2. Categorías, Sub categorías y matriz de categorización

En la **Tabla 4** se desarrolló la matriz de categorización apriorista, indicando los problemas y objetivos específicos, además, de categorías y sub categorías.

Tabla 4. Matriz de categorización apriorista

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	UNIDAD DE ANÁLISIS
¿Cuáles son los tipos de techos verdes para su uso en épocas de calor ciudad de Ica?	Analizar los tipos de techos verdes para su uso en épocas de calor ciudad de Ica.	Tipos de techos verdes	Extensivo Semi-Intensivo Intensivo	(Coma et al., 2016), (Lu et al., 2014), (Du et al., 2019), (Vijayaraghavan, 2016)
¿Qué materiales componen a los techos verdes para su uso en épocas de calor en la ciudad de Ica?	Analizar los materiales que componen a los techos verdes para su uso en épocas de calor ciudad de Ica.	Tipos de materiales de las capas de los techos verdes	Tipos de materiales en la capa de drenaje Tipos de materiales en la capa de filtrado Tipos de materiales en la capa de sustrato	(Nagase, 2020), (Pérez et al., 2020), (Coma et al., 2016)
¿Cuáles son las condiciones operativas de aplicación de los techos verdes para su uso en épocas de calor ciudad de Ica?	Analizar las condiciones operativas de aplicación de los techos verdes para su uso en épocas de calor ciudad de Ica.	Condiciones operativas	Tipo de clima Riego de plantas Pendiente Temperatura media Precipitación media	(Simona et al., 2016), (Gong et al., 2020), (Vacek et al., 2017)
¿Cuál es el método para disminuir la temperatura interior de las construcciones que usan los techos verdes?	Analizar el método para disminuir la temperatura interior de las construcciones que usan techos verdes.	Disminución de temperatura	Efecto térmico	(He et al., 2020), (Alcazar et al., 2016), (Speak et al., 2013)

3.2. Escenario de estudio

Se desarrolló un tipo de investigación cualitativa exploratoria basado en investigaciones científicas sobre el efecto del uso de techos verdes en épocas de calor en la ciudad de Ica.

3.3. Participantes

La revisión bibliográfica se seleccionó de la base de datos de Google académico, Elsevier y revistas internacionales como: Environmental Challenge, Science of the Total Environment, Building and Environment, entre otros.

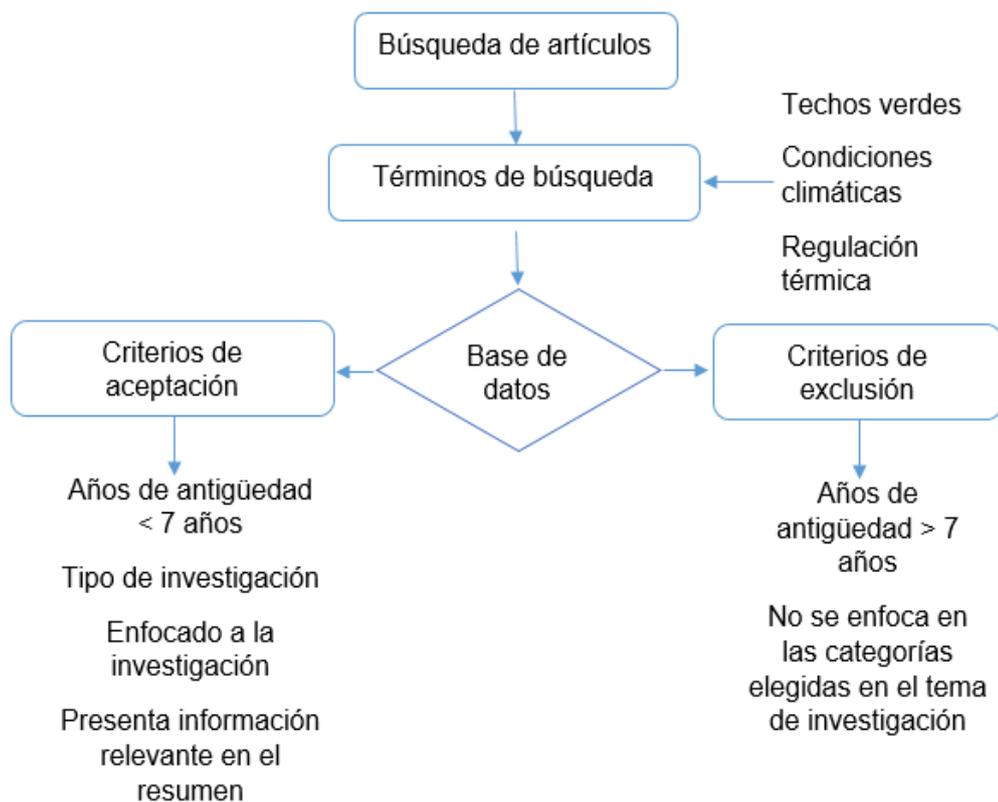
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La principal técnica de recolección de datos fue la revisión bibliográfica de fuentes confiables, que fueron clasificados y evaluados minuciosamente de acuerdo al tema de investigación que se desarrolló (Hernández y Avila, 2020). De acuerdo a (Hernández y Avila, 2020) los instrumentos de la recolección de datos fueron las matrices de análisis (agrupa información de investigaciones analíticas), matrices de registros y categorías (organiza y clasifica datos respectivamente).

3.5. Procedimiento

Se revisó artículos científicos tomando en cuenta en primer lugar el año de antigüedad (no menos a 7 años), el tipo de investigación y la perspectiva de la investigación. Se analizó el resumen de los artículos científicos para ver si la investigación brinda datos relevantes de las categorías elegidas para nuestro tema de investigación. Ver **Figura 4**

Figura 4: Esquema del procedimiento metodológico



Fuente: Elaboración propia

3.5. Rigor científico

El rigor científico se basa en dar veracidad que la investigación cualitativa tenga validez, por lo cual se evalúa la credibilidad, transferibilidad y auditabilidad de la investigación, enfocándose en el diseño, recolección y análisis de datos y presentación de resultados según (Salgado, 2007).

La fiabilidad se evaluará mediante la recopilación de revistas indexadas, la viabilidad interna será revisada mediante el uso de techos verdes en diferentes condiciones climáticas y la validez externa será verificada a través de la aplicación de la investigación por otros investigadores.

3.6. Método de análisis de datos

La información recopilada fue clasificada, analizada y se explicó los resultados a través de tablas y esquemas.

3.7. Aspectos éticos

El proyecto de investigación respetará la autoría intelectual, citando a los autores y la ética en investigación de la universidad, RCU N° 0126-2017/UCV. Además,

se ajusta a la Resolución Rectoral N° 0089 -2019/UCV, Reglamento de investigación de la Universidad César Vallejo y mediante Disposición N° 7.4 de la Resolución de Vicerrectorado de Investigación N° 008-2017-VI/UCV: la cual se comprobará con el turnitin, la evidencia de no copia del proyecto de investigación.

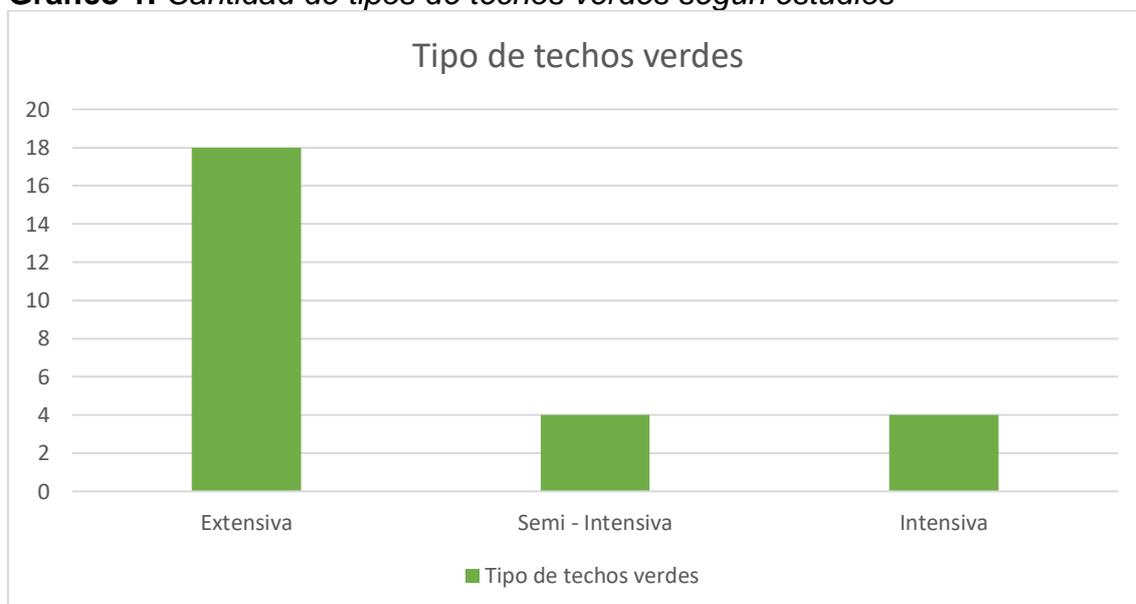
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el objetivo general, se analizó primero los objetivos específicos en base a los resultados obtenidos de la recopilación de información de los 30 antecedentes estudiados en el marco teórico en función al tipo de techos verdes, su composición, las condiciones operativas y el tipo de vegetación que emplean que nos permitieron obtener los siguientes resultados y discusiones.

Para el objetivo específico 1, se investigaron 3 tipos de techos verdes: extensivo por (Pérez et al., 2020), (Berretta et al., 2014), (Hakimdavar et al., 2014), (Simona et al., 2016), (W. Liu et al., 2019), (Stella y Personne, 2021), (Gong et al., 2020), (W. Liu et al., 2021), (Carrera et al., 2021), (Simões et al., 2020), (Nagase, 2020), (Kazemi y Courard, 2021), (Vijayaraghavan, 2016), (De-Ville et al., 2018), (Du et al., 2019), (Savi et al., 2016), (Lu et al., 2014), (Coma et al., 2016); semi-intensivo por (Stella y Personne, 2021), (Almeida et al., 2020), (Vacek et al., 2017), (Vijayaraghavan, 2016) e intensivo por (Lee y Jim, 2020), (Kazemi y Courard, 2021), (Speak et al., 2014), (Vijayaraghavan, 2016).

En el gráfico 1 se evidencia que la cantidad de tipos de techos verdes extensivos son estudiados con mayor frecuencia; debido a que, este tipo de techos verdes son de magnitudes pequeñas, de fácil implementación y mejor estudio.

Gráfico 1. Cantidad de tipos de techos verdes según estudios



Fuente: Elaboración propia

Los diferentes tipos de techos verdes emplean distintos tipos de vegetación, la tabla 5 muestra un resumen del tipo de plantas que suelen usarse con más frecuencia en los techos verdes.

Tabla 5. Tipo de plantas para techos verdes

INVESTIGADORES	TIPO DE PLANTAS	CARACTERÍSTICAS	TIPO DE CLIMA
(Vahdati et al., 2017)	a) <u>Carpobrotus edulis</u> (uña de gato) b) <u>Frankenia thymifolia</u> c) <u>Potentilla sp.</u> (hierba) y <u>Vinca minor</u> d) <u>Sedum spurinum</u>	a) Suculenta que soporta estaciones frías y cálidas. b) Hierba que soporta estaciones frías. c) Hierbas que soporta estaciones frías. d) Suculenta que soporta estaciones cálidas	Árido
(Pérez et al., 2020)	<u>Sedum album</u> , <u>Sedum sediforme</u> , <u>Sedum sexangulare</u> , <u>Sedum spurium cf. 'Coccineum'</u> y <u>Sedum spurium cf. 'Summer Glory'</u>	Las suculentas: <u>Sedum album</u> , <u>Sedum sediforme</u> y <u>Sedum sexangulare</u> son plantaciones recomendadas para el clima mediterráneo continental (templado cálido, verano seco y verano caluroso). Las suculentas <u>Sedum spurium cf. 'Coccineum'</u> y <u>Sedum spurium cf. 'Summer Glory'</u> no se recomiendan en techos verdes por requerir de un sistema de riego para sobrevivir	Mediterráneo continental
(Schweitzer y Erell, 2014)	<u>Aptenia cordifolia</u>	Suculenta que requiere de 3 L/m ² a 6 L/m ² de agua por día, sobrevive a periodos prolongados de estaciones secas	Mediterráneo oriental
(Du et al., 2019)	<u>Correa glabra</u> <u>Calytrix tetragona</u>	Especies de arbustos que soportan climas cálidos y secos; además, toleran déficit de agua en sustratos secos	Seco, mésico y húmedo
(Szota et al., 2017)	Sedums	Suculentas que sobreviven con tasas bajas de agua en sequías prolongadas sin experimentar estrés por sequía	Cálido y seco
(Seyedabadi et al., 2021)	a) <u>Sedum acre</u> , b) <u>Frankenia thymifolia</u> c) <u>Vinca major</u>	a) Suculenta que soporta climas fríos y secos b) Hierba que soporta climas fríos	Frío y seco

Fuente: Elaboración propia

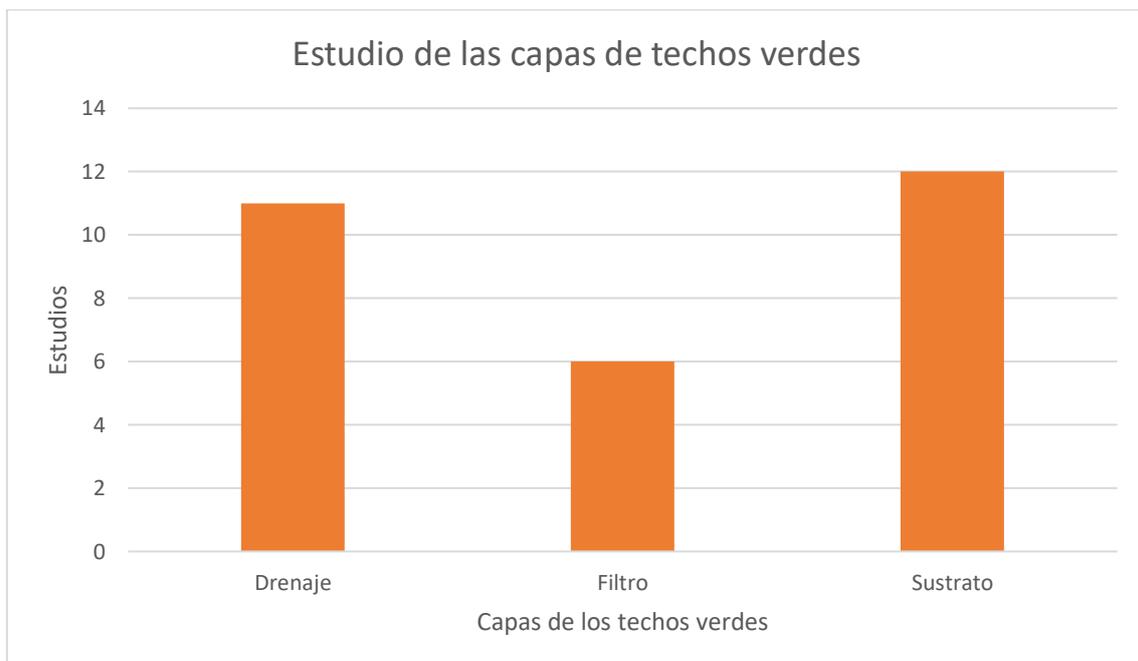
En la tabla 5 podemos observar varios estudios realizados con diferentes tipos de plantas para el uso en los distintos tipos de techos verdes. Se puede observar que diferentes investigadores han coincidido en el empleo de las mismas plantas describiendo las características que le permite la supervivencia en los techos verdes. Se puede apreciar que (Seyedabadi et al., 2021; Vahdati et al., 2017) trabajaron con la flor Frankenia thymifolia, Vinca minor y Vinca major concordando ambos investigadores que son hierbas que soportan climas fríos, pero si se desea aumentar la conservación de energía de los edificios las suculentas son una mejor opción en los techos verdes. (Schweitzer y Erell, 2014; Szota et al., 2017) investigaron algunas suculentas en los techos verdes y concluyeron que este tipo de plantas soporta tiempo prolongados de sequía con déficit bajo de agua sin experimentar estrés por sequía y son óptimos para ser usados en los techos verdes en condiciones climáticas extremas; (Pérez et al., 2020) realizó un estudio 5 tipos de suculentas específicas concluyendo que de acuerdo al tipo de sedum, estos pueden prosperar en los techos verdes a ciertas condiciones de riego y clima. (Ávila-Hernández et al., 2020; Du et al., 2019) estudiaron la factibilidad de colocar pequeños arbustos en los techos verdes de acuerdo al índice de calor y humedad (HMI) demostrando que si bien los arbustos son tolerantes a la sequía pueden sobrevivir a las condiciones de los techos verdes en climas cálidos y secos, se recomienda el riego de verano en casos de sequía extrema para promover la supervivencia y la vitalidad y, por lo tanto, lograr mayores beneficios de los techos verdes.

(Lu et al., 2014) afirma que, la presencia de vegetación tolerante a la sequía es esencial para la longevidad de un techo verde extenso cuando no se instala riego. Estudios anteriores han examinado el rendimiento de las plantas de techo verde en regímenes de riego contrastantes y han encontrado que una mayor frecuencia de riego proporciona mejores tasas de crecimiento y supervivencia.

Para el objetivo específico 2, se investigó la composición de tres capas: drenaje, filtro y sustrato de los techos verdes; y los materiales que la componen (anexo 2), los tipos de materiales de la capa de drenaje estudiados fueron: migajas de

caucho, puzolana, poliuretano, plástico de alta resistencia (polietileno o poliestierno), arcilla expandida, ladrillo triturado, virutas de piedra y grava gruesa, PVC, bambú Moso, material de desecho de polietileno tereftalato (PET) de alta densidad, tapa y fondo de botella, entre otros por (Pérez et al., 2020), (Simona et al., 2016), (Hakimdavar et al., 2014), (Gong et al., 2020), (Almeida et al., 2020), (Simões et al., 2020), (Nagase, 2020), (Karachaliou et al., 2016), (De-Ville et al., 2018), (Savi et al., 2016), (Coma et al., 2016). Los materiales de la capa de filtro estudiados fueron: fibra geotextil de polipropileno y fibra de textiles no tejidos con características de alta resistencia para poder soportar la capa de sustrato y con pequeños poros para la buena permeabilidad al agua (Pérez et al., 2020), (W. Liu et al., 2019), (Carrera et al., 2021), (Karachaliou et al., 2016), (De-Ville et al., 2018), (Du et al., 2019). Los materiales para la capa de sustrato estudiados fueron: arena, ceramisita, piedra caliza, biocarbón, escoria, ladrillo triturado, fibra de coco y turba (Pérez et al., 2020), (Berretta et al., 2014), (Hakimdavar et al., 2014), (W. Liu et al., 2019), (Stella y Personne, 2021), (Carrera et al., 2021), (Almeida et al., 2020), (Kazemi y Courard, 2021), (Vacek et al., 2017), (Vijayaraghavan, 2016), (Du et al., 2019), (Lu et al., 2014).

Gráfico 2. *Investigaciones de materiales de las capas de los techos verdes*



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 2 muestra que se realiza mayores investigaciones de las capas de drenaje y sustrato, de los materiales que estos pueden contener y puedan contribuir a la prosperidad de los techos verdes.

Para el objetivo específico 3, se investigó varias condiciones operativas de los techos verdes (anexo 3). Todos los estudios sistematizados en los antecedentes especifican las distintas condiciones climáticas en las que operaron los techos verdes con una radiación solar directa, (Pérez et al., 2020), (Lee y Jim, 2020), (Berretta et al., 2014), (Karachaliou et al., 2016), (Coma et al., 2016) estudiaron un sistema de riego por goteo y otro sin riego; logrando en ambos casos la supervivencia de las plantas usadas en los techos verdes. (Gong et al., 2020), (Almeida et al., 2020), (Simões et al., 2020), (Coma et al., 2016) colocaron los techos verdes en una pendiente del 1% y 2 %. Algunos investigadores especificaron la temperatura media de las diferentes ciudades donde realizaron el estudio de los techos verdes, (Gong et al., 2020) trabajó con una temperatura media de 12°C en un clima de monzón continental, (Nagase, 2020) trabajó con una temperatura media de 15,7°C en un clima subtropical húmedo y sin estación seca , (Karachaliou et al., 2016) trabajó con una temperatura media de 26,4°C en un clima mediterráneo en las estaciones de verano e invierno y (Kazemi y Courard, 2021) trabajó con una temperatura media entre 21,2°C – 21,82°C a nivel laboratorio. Las precipitaciones medias anuales que se estudiaron estuvieron en un rango de 154,2 mm/año – 1387,3 mm/año, la densidad aparente de los sustratos fluctuaron entre 0,71 g.cm⁻³ y 2,5 g.cm⁻³. (Lu et al., 2014) evaluó la conductividad eléctrica del sustrato 347,7 μS/cm y (Kazemi y Courard, 2021) trabajó con una conductividad térmica de sustrato de 0,034 W/m.K. Finalmente la humedad relativa con la que operaron los techos verdes fluctuó entre 46% y 86%.

Para el objetivo específico 4, se analizó la información de (He et al., 2020) quien explica que la regulación térmica está determinada por:

- 1) El índice de área foliar de las hojas ya que tiene un efecto mayor en verano que en invierno. A medida que aumenta el índice de área foliar, el efecto sobre la carga de aire acondicionado se vuelve pequeño.

2) El efecto de la humedad del suelo sobre el enfriamiento pasivo es más significativo que su efecto sobre la conductividad térmica de la capa del suelo en verano. Por lo tanto, se preferiría un techo verde con una capa de suelo que tenga una mayor capacidad de almacenamiento de agua.

3) El efecto de la profundidad del suelo sobre la carga de aire acondicionado es mayor en invierno que en verano. Cuando el espesor de la capa de suelo es superior a 10 cm, su efecto sobre la carga de enfriamiento se vuelve insignificante.

4) El efecto de la resistencia térmica de la capa de soporte en techos verdes y frescos no es lineal. Una mayor resistencia térmica de la capa de soporte conduce a una mayor carga de enfriamiento y menor carga de calefacción para ambos tipos de techo, y su impacto en la carga de aire acondicionado disminuye a medida que aumenta su valor.

5) El efecto de la reflectividad y la emisividad del techo frío sobre la carga de refrigeración y calefacción son lineales.

En general se podrían proporcionar una referencia para la selección de parámetros durante el diseño del techo, como el índice de área foliar de las especies o la profundidad del suelo. Por lo tanto, se podrían lograr soluciones de techo más eficientes en agua, energía y económicamente viables. Sin embargo, también existen algunas limitaciones. Por ejemplo, el rendimiento del techo verde y el techo frío enfrentan el problema de la degradación con el tiempo. En comparación con el techo frío, la degradación del techo verde no se ha estudiado de manera exhaustiva. Se ha descubierto que la capa de suelo puede degradarse y perderse después de unos años, y disminuirá el rendimiento de aislamiento correspondiente e impactará el crecimiento de las plantas. Además, debe tenerse en cuenta que las hojas desprendidas por las plantas en invierno formaron una capa orgánica en la parte superior de la capa del suelo, lo que resultó en un mejor aislamiento térmico de la capa del suelo hasta cierto punto. Por lo tanto, el monitoreo del desempeño térmico a largo plazo es necesario, de modo que se pueda capturar la variación dinámica de los parámetros para el suelo y la capa de la planta y se puedan derivar las guías de mantenimiento correspondientes.

Se realizaron muchos estudios de la influencia en la regulación térmica de los techos verdes. Como se muestra en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Regulación térmica en los techos verdes

FUENTES	VARIACIÓN DE TEMPERATURA	CARACTERÍSTICAS	ESTACIÓN
(Schweitzer y Erell, 2014)	Por las noches (0,2 K – 0,5 K) y por el día (3,1 K – 4,4 K)	Las plantas más efectivos fueron <u>P. clandestinum</u> y <u>S. verrucosum</u> .	Verano cálidos y húmedos (23,7°C–30,2°C)
(He et al., 2020)	En verano (3,3°C) En invierno (2,9°C)	Se trabajó con 3 tipos de Sedums (<u>S. Sarmentosum</u> , <u>S. Lineare</u> y <u>S. Makinoi</u>)	Verano (25°C -31°C) Invierno (4°C -10°C)
(Azeñas et al., 2018)	En primavera (3°C) En verano (8°C) En otoño e invierno (2°C)	La planta que logró mejor resultado fue <u>Sedum sediforme</u>	Primavera (8,9°C – 23,7°C) Verano (16,3°C-35,9°C) Otoño (8,7°C - 24°C) Invierno (1°C – 18,3°C)
(Fachinello Krebs y Johansson, 2021)	En verano (4,3°C), para techos verdes que fueron sombreados parcialmente con árboles. En verano (2,8°C) para techos verdes sin sombra de árboles	Comparación entre un techo de tejas de cerámica y un techo verde	La temperatura media en verano es 30,5°C
(Zheng et al., 2021)	Verano (0,28°C)	La evaluación térmica se realizó en un clima subtropical a 60 cm del techo verde	Verano (28,2°C–39,9°C)

Fuente: Elaboración propia

De los resultados que obtuvieron diferentes investigadores se puede deducir que, durante los períodos cálidos con radiación solar significativa, el efecto de sombra de la vegetación (Índice de área foliar y albedo), la transpiración de las plantas y el efecto de enfriamiento evaporativo del sustrato contribuye a reducir las temperaturas superficiales externas, por lo que, los resultados de la tabla 6, muestran una mayor variación de temperatura en épocas de verano. (Schweitzer y Erell, 2014) realizó una comparación entre un techo verde y un techo sin vegetación, por la noche encontró una variación de temperatura oscilante entre

(0,2 K y 0,5 K) y por el día (3,1 K y 4,4 K) en la estación de verano por lo que, concluyó que un techo plantado afecta el rendimiento térmico de un edificio, y este efecto debe evaluarse al considerar la contribución general (anual) del techo verde al confort térmico o a la conservación de energía. (Azeñas et al., 2018; He et al., 2020; Zheng et al., 2021) obtuvieron mayor variación de temperatura entre los techos verdes y los techos sin vegetación en estaciones de verano pero los valores son diferentes porque esta variación depende de varios factores como las condiciones climáticas donde se realizó la investigación, la estructura del techo verde, las plantas que se emplean, la humedad del lugar, entre otros.(Fachinello Krebs y Johansson, 2021) estudió los techos verdes con árboles que le generaban sombra y otros no, en un clima subtropical, obteniendo que hay una mayor variación de temperatura en un techo verde con sombra otorgando un confort térmico interno.

Algunos investigadores ahondaron en los aportes que otorgan los techos verdes en los edificios, casas u otras construcciones donde se empleen. La **Tabla 7** presenta tres aportes que generan el empleo de techos verdes como reducción de CO₂, ahorro de energía y retención de agua.

Tabla 7. Aportes del uso de techos verdes

FUENTE	REDUCCIÓN DE CO ₂	AHORRO DE ENERGÍA	RETENCIÓN DE AGUA	TIPO DE CLIMA
(Vanuytrecht et al., 2014)	-	-	61%–75% en verano (GH) 6%–18% en invierno (SM)	Marítimo templado
(Du et al., 2019)	-	-	46%	Seco, mésico y húmedo
(Szota et al., 2017)	-	-	66-81%	Cálido y seco
(Seyedabadi et al., 2021)	28,16 kg/m ² con <u>Sedum acre</u> , 26,48 kg/m ² con <u>Frankenia thymifolia</u> y 23,44 kg/m ² con <u>Vinca major</u>	8,5% con <u>Sedum acre</u> , 8,0% con <u>Frankenia thymifolia</u> y 7,1% con <u>Vinca major</u>	-	Frío y seco
(Coma et al., 2016)	-	16,7% (sistema de drenaje de puzolana) y un 2,2% (sistema de drenaje de caucho) en épocas de calor donde se requiere refrigeración.	-	Mediterráneo continental

6,1% (sistema de drenaje de puzolana) y un 11,1% (sistema de drenaje de caucho) en épocas de frío donde se requiere calefacción.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 7 muestra algunos aportes que otorgan los techos verdes como por ejemplo la retención de agua, esto se refiere a la cantidad de agua que pueden contener los techos verdes de las descargas pluviales que pueden ocurrir, (Vanuytrecht et al., 2014) en su estudio determinó que logró retener 61% – 75% de las lluvias empleando un techo verde con plantaciones de hierbas y grass, y 6% – 18% en invierno empleando un techo verde con plantaciones de suculentas y musgos para un clima marítimo templado, (Du et al., 2019) logró calcular un porcentaje de 46% de retención hidráulica para un clima de seco, mésico y húmedo con plantaciones de arbustos en los techos verdes y (Szota et al., 2017) determinó un 66% - 81% de retención de precipitaciones para un clima cálido y seco con plantaciones de suculentas. El aporte de ahorro de energía se refiere al ahorro que generan los techos verdes en el empleo de calefactores y refrigeradores en tiempos de invierno y verano respectivamente, ya que los techos verdes logran disminuir la temperatura y los artefactos tienen menos potencia que emplear, (Seyedabadi et al., 2021) logró determinar un ahorro de energía para diferentes plantaciones de techos verdes que empleó 8,5% con *Sedum acre*, 8,0% con *Frankenia thymifolia* y 7,1% con *Vinca major* y (Coma et al., 2016) logró un 16,7% de ahorro de energía en épocas de calor donde se requería refrigeración empleando un sistema de drenaje de puzolana en los techos verdes y un 2,2% de ahorro de energía en épocas de calor donde se requería refrigeración empleando un sistema de drenaje de caucho en los techos verdes, para la épocas de frío donde se requiere refrigeración logró un 6,1% de ahorro de energía empleando un sistema de drenaje de puzolana en los techos verdes y 11,1% de ahorro de energía empleando un sistema de drenaje de caucho en los techos verdes. Finalmente (Coma et al., 2016) también determinó la reducción de CO₂ que logra el uso de estos techos verdes gracias a la vegetación, logrando determinar una reducción de CO₂ de 28,16 kg/m² con

Sedum acre, 26,48 kg/m² con Frankenia thymifolia y 23,44 kg/m² con Vinca major.

La ciudad de Ica se caracteriza por poseer un clima caluroso y cálido donde la temperatura media de verano es 27°C. Bajo estas condiciones podemos evaluar el uso de techos verdes en los edificios o casas de la ciudad de Ica, aportaría a la regulación térmica de las construcciones en las épocas de calor intenso, ahorraría la energía de construcciones donde se requiere de refrigeración por el intenso calor, promovería la ecologización de las zonas urbanas y contribuiría al medio ambiente con la reducción de CO₂ que genera el área automotor.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó que el empleo de techos verdes en época de calor contribuye significativamente a la regulación térmica en épocas de calor, por lo que sería una buena alternativa para las épocas de calor que afronta la ciudad de Ica, además de ser una alternativa sostenible.
- Se analizó tres tipos de techos verdes: extensivo, semi intensivo e intensivo; estos tipos de techos verdes se diferencian por el peso que soportan a máxima capacidad de agua, por el espesor del sustrato, por el tipo de plantas que emplean y los propósitos que brindan ya sea por servicios ecológicos o para priorizar el paisajismo, la estética y los usos recreativos que pueden ser empleados en épocas de calor en la ciudad de Ica.
- Se analizó los materiales que componen las capas de los techos verdes; la composición de los techos verdes son 4: barrera de raíces donde se puede emplear betún modificado; una mezcla de asfalto y polímero; láminas de plástico de una sola capa; PVC (cloruro de polivinilo); caucho o poliolefina; capa de drenaje que puede emplear los siguientes materiales: paneles modulares; polietileno o poliestireno , la capa de filtro donde se emplean generalmente fibras poliméricas o poliolefinas y la capa de sustrato donde se puede emplear mezcla de materia inorgánica (arcilla, arena, rocas volcánicas vesiculares; minerales artificiales o modificados como perlita, vermiculita, lana de roca, arcilla expandida, pizarra, lutita) y materia orgánica (compost, turba, fibra de coco). , aserrín o corteza descompuesta.
- Se analizó distintas condiciones operativas a las que operaron los techos verdes, para las épocas de calor en la ciudad de Ica se tomaría en cuenta la condición climática, la temperatura media que alcanza en las estaciones de verano, el sistema de riego, el tipo de plantas a usar en los techos verdes, las condiciones operativas de la capa de sustrato como su densidad aparente, conductividad térmica, entre otros.
- Se analizó el método para disminuir la temperatura interior de las

construcciones que emplean los techos verdes, concluyendo que, las plantaciones al recibir la radiación solar transpiran realizando un intercambio de calor, el sustrato por su parte genera un efecto de enfriamiento evaporativo que contribuye a la reducción de temperatura de la superficie externa, la capas de los techos verdes conducen el calor y lo almacenan logrando así realizar intercambios de calor que regulan la temperatura de las construcciones que los emplean. En general los techos verdes reciben la radiación solar y realizan un balance energético que contribuyen a la regulación térmica.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda estudiar el efecto de los techos verdes con diferentes materiales en el sistema de drenaje en la ciudad de Ica.
- Se recomienda estudiar el efecto de los techos verdes con diferentes materiales en el sistema de filtrado en la ciudad de Ica.
- Se recomienda estudiar el efecto de los techos verdes con diferentes materiales en el sistema de sustrato en la ciudad de Ica.
- Se recomienda realizar un techo verde extensivo con plantaciones de suculentas en un edificio de la ciudad de Ica.
- Se recomienda aplicar el techo verde en un edificio de la ciudad de Ica y evaluar la regulación térmica en las cuatro estaciones de esta ciudad.
- Se recomienda estudiar la reducción de CO₂ al emplear los techos verdes en la ciudad de Ica.
- Se recomienda realizar un estudio de costo-beneficio de la implementación de un techo verde en la ciudad de Ica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abuseif, M., Dupre, K., & Michael, R. (2021). The effect of green roof configurations including trees in a subtropical climate: A co-simulation parametric study. *Journal of Cleaner Production*, 317(July), 128458. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128458>
2. Alcazar, S. S., Olivieri, F., & Neila, J. (2016). Green roofs: Experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean–continental climates. *Urban Climate*, 17, 304–317. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.02.004>
3. Almeida, L., Felzenszwalb, I., Marques, M., & Cruz, C. (2020). Nanotechnology activities: environmental protection regulatory issues data. *Heliyon*, 6(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05303>
4. Andenæs, E., Kvande, T., Muthanna, T. M., & Lohne, J. (2018). Performance of blue-green roofs in cold climates: A scoping review. *Buildings*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/buildings8040055>
5. Andersson, E., Langemeyer, J., Borgström, S., McPhearson, T., Haase, D., Kronenberg, J., Barton, D. N., Davis, M., Naumann, S., Röschel, L., & Baró, F. (2019). Enabling Green and Blue Infrastructure to Improve Contributions to Human Well-Being and Equity in Urban Systems. *BioScience*, 69(7), 566–574. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz058>
6. Arbid, Y., Richard, C., & Sleiman, M. (2021). Towards an experimental approach for measuring the removal of urban air pollutants by green roofs. *Building and Environment*, 205(August), 108286. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108286>
7. Ávila-Hernández, A., Simá, E., Xamán, J., Hernández-Pérez, I., Téllez-Velázquez, E., & Chagolla-Aranda, M. A. (2020). Test box experiment and simulations of a green-roof: Thermal and energy performance of a residential building standard for Mexico. *Energy and Buildings*, 209. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109709>
8. Azeñas, V., Cuxart, J., Picos, R., Medrano, H., Simó, G., López-Grifol, A., & Gulías, J. (2018). Thermal regulation capacity of a green roof system in the mediterranean region: The effects of vegetation and irrigation level. *Energy and Buildings*, 164, 226–238. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.010>
9. Azis, S. S. A., & Zulkifli, N. A. A. (2021). Green roof for sustainable urban flash flood control via cost benefit approach for local authority. *Urban Forestry and Urban Greening*, 57(November 2020), 126876. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126876>
10. Banirazi Motlagh, S. H., Pons, O., & Hosseini, S. M. A. (2021). Sustainability model to assess the suitability of green roof alternatives for urban air pollution reduction applied in Tehran. *Building and Environment*, 194(February), 107683. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107683>

11. Barnhart, B., Pettus, P., Halama, J., McKane, R., Mayer, P., Djang, K., Brookes, A., & Moskal, L. M. (2021). Modeling the hydrologic effects of watershed-scale green roof implementation in the Pacific Northwest, United States. *Journal of Environmental Management*, 277(September 2020), 111418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111418>
12. Bass, B., & Saiz, S. (2016). *Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs of Standard and Green Roofs*. 40(January), 4312–4316.
13. Berretta, C., Poë, S., & Stovin, V. (2014). Moisture content behaviour in extensive green roofs during dry periods: The influence of vegetation and substrate characteristics. *Journal of Hydrology*, 511, 374–386. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.036>
14. Bevilacqua, P., Mazzeo, D., Bruno, R., & Arcuri, N. (2016). Experimental investigation of the thermal performances of an extensive green roof in the Mediterranean area. *Energy & Buildings*, 122, 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.062>
15. Broekhuizen, I., Sandoval, S., Gao, H., Mendez-Rios, F., Leonhardt, G., Bertrand-Krajewski, J. L., & Viklander, M. (2021). Performance comparison of green roof hydrological models for full-scale field sites. *Journal of Hydrology X*, 12(February), 100093. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2021.100093>
16. Bugliarello, G. (2006). Urban sustainability: Dilemmas, challenges and paradigms. *Technology in Society*, 28(1–2), 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.018>
17. Carrera, D., Lombillo, I., Carpio-garcía, J., & Blanco, H. (2021). Assessment of different combinations of substrate-filter membrane in green roofs. *Journal of Building Engineering*, 45(October 2021), 103455. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103455>
18. Cascone, S., Coma, J., Gagliano, A., & Pérez, G. (2019). The evapotranspiration process in green roofs: A review. *Building and Environment*, 147, 337–355. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.024>
19. Cavadini, G. B., & Cook, L. M. (2021). Green and cool roof choices integrated into rooftop solar energy modelling. *Applied Energy*, 296(February), 117082. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117082>
20. Chowdhury, S., Hamada, Y., & Shabbir Ahmed, K. (2017). Indoor heat stress and cooling energy comparison between green roof (GR) and non-green roof (n-GR) by simulations for labor intensive factories in the tropics. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 449–462. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.09.001>
21. Cirrincione, L., Marvuglia, A., & Scaccianoce, G. (2021). Assessing the effectiveness of green roofs in enhancing the energy and indoor comfort

- resilience of urban buildings to climate change: Methodology proposal and application. *Building and Environment*, 205(July), 108198. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108198>
22. Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., & Cabeza, L. F. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable Energy*, 85, 1106–1115. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.074>
 23. Cristiano, E., Deidda, R., & Viola, F. (2021). The role of green roofs in urban Water-Energy-Food-Ecosystem nexus: A review. *Science of the Total Environment*, 756, 143876. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143876>
 24. Davis, A. P. (2005). Green engineering principles promote low-impact development. *Environmental Science and Technology*, 39(16). <https://doi.org/10.1021/es053327e>
 25. De-Ville, S., Menon, M., & Stovin, V. (2018). Temporal variations in the potential hydrological performance of extensive green roof systems. *Journal of Hydrology*, 558, 564–578. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.01.055>
 26. Droz, A. G., Coffman, R. R., & Blackwood, C. B. (2021). Plant diversity on green roofs in the wild: Testing practitioner and ecological predictions in three midwestern (USA) cities. *Urban Forestry and Urban Greening*, 60(February). <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127079>
 27. Du, P., Arndt, S. K., & Farrell, C. (2019). Is plant survival on green roofs related to their drought response, water use or climate of origin? *Science of the Total Environment*, 667, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.349>
 28. Fachinello Krebs, L., & Johansson, E. (2021). Influence of microclimate on the effect of green roofs in Southern Brazil – A study coupling outdoor and indoor thermal simulations. *Energy and Buildings*, 241, 110963. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110963>
 29. Fantozzi, F., Bibbiani, C., Gargari, C., Rugani, R., & Salvadori, G. (2021). Do green roofs really provide significant energy saving in a Mediterranean climate? Critical evaluation based on different case studies. *Frontiers of Architectural Research*, 10(2), 447–465. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.01.006>
 30. Feng, C., Meng, Q., & Zhang, Y. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and Buildings*, 42(6), 959–965. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.014>
 31. Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235–245. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>

32. Gong, Y., Zhang, X., Li, J., Fang, X., Yin, D., Xie, P., & Nie, L. (2020). Factors affecting the ability of extensive green roofs to reduce nutrient pollutants in rainfall runoff. *Science of the Total Environment*, 732, 139248. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139248>
33. Hakimdavar, R., Culligan, P. J., Finazzi, M., Barontini, S., & Ranzi, R. (2014). Scale dynamics of extensive green roofs : Quantifying the effect of drainage area and rainfall characteristics on observed and modeled green roof hydrologic performance. *Ecological Engineering*, 73, 494–508. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.080>
34. Hartog, F. (1967). Paving Paradise. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 5–24.
35. He, Y., Lin, E. S., Tan, C. L., Yu, Z., Tan, P. Y., & Wong, N. H. (2021). Model development of Roof Thermal Transfer Value (RTTV) for green roof in tropical area: A case study in Singapore. *Building and Environment*, 203(February), 108101. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108101>
36. He, Y., Yu, H., Ozaki, A., & Dong, N. (2020). Thermal and energy performance of green roof and cool roof: A comparison study in Shanghai area. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122205. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122205>
37. He, Y., Yu, H., Ozaki, A., Dong, N., & Zheng, S. (2017). Influence of plant and soil layer on energy balance and thermal performance of green roof system. In *Energy* (Vol. 141). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.064>
38. Hernandez, R. S., Fernández, C. C., & Baptista, P. L. (2014). *Metodología de la investigación* (Vol. 148).
39. Hernández, S. L. M., & Avila, D. D. (2020). Técnicas e instrumentos de recolección de datos Data collection techniques and instruments. *Boletín Científico de Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, 9(17), 51–53. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icea/article/view/6019/7678%0A%0A>
40. Hoeben, A. D., & Posch, A. (2021). Green roof ecosystem services in various urban development types: A case study in Graz, Austria. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62, 127167. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127167>
41. Huang, Y. Y., Ma, T. J., Wang, Y. S., & Wang, C. K. (2020). The application of non-Crassulacean acid metabolism edible plant and lightweight expanded clay aggregate to achieve joint benefits of thermal insulation mitigation and passive cooling strengthening of extensive green roofs in subtropical regions. *Solar Energy*, 201(1727), 944–964. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.03.029>
42. Jamei, E., Chau, H. W., Seyedmahmoudian, M., & Stojcevski, A. (2021).

- Review on the cooling potential of green roofs in different climates. *Science of the Total Environment*, 791, 148407. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148407>
43. Jim, C. Y., & Tsang, S. W. (2011). Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. *Building and Environment*, 46(6), 1263–1274. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.013>
44. Jin, C., Bai, X., Luo, T., & Zou, M. (2018). Effects of green roofs' variations on the regional thermal environment using measurements and simulations in Chongqing, China. *Urban Forestry and Urban Greening*, 29(June 2017), 223–237. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.12.002>
45. Karachaliou, P., Santamouris, M., & Pangelou, H. (2016). Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. *Energy and Buildings*, 114, 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.04.055>
46. Kato, S., & Yamaguchi, Y. (2007). Estimation of storage heat flux in an urban area using ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 110(1), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.02.011>
47. Kazemi, M., & Courard, L. (2021). Modelling hygrothermal conditions of unsaturated substrate and drainage layers for the thermal resistance assessment of green roof: Effect of coarse recycled materials. *Energy and Buildings*, 250, 111315. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111315>
48. Keeler, B. L., Hamel, P., McPhearson, T., Hamann, M. H., Donahue, M. L., Meza Prado, K. A., Arkema, K. K., Bratman, G. N., Brauman, K. A., Finlay, J. C., Guerry, A. D., Hobbie, S. E., Johnson, J. A., MacDonald, G. K., McDonald, R. I., Neverisky, N., & Wood, S. A. (2019). Social-ecological and technological factors moderate the value of urban nature. *Nature Sustainability*, 2(1), 29–38. <https://doi.org/10.1038/s41893-018-0202-1>
49. Khabaz, A. (2018). Construction and design requirements of green buildings' roofs in Saudi Arabia depending on thermal conductivity principle. *Construction and Building Materials*, 186, 1119–1131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.234>
50. Knaus, M., & Haase, D. (2020). Green roof effects on daytime heat in a prefabricated residential neighbourhood in Berlin, Germany. *Urban Forestry and Urban Greening*, 53(May), 126738. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126738>
51. Koroxenidis, E., & Theodosiou, T. (2021). Comparative environmental and economic evaluation of green roofs under Mediterranean climate conditions – Extensive green roofs a potentially preferable solution. *Journal of Cleaner Production*, 311(May). <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127563>
52. Langemeyer, J., Wedgwood, D., McPhearson, T., Baró, F., Madsen, A. L.,

- & Barton, D. N. (2020). Creating urban green infrastructure where it is needed – A spatial ecosystem service-based decision analysis of green roofs in Barcelona. *Science of the Total Environment*, 707, 135487. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135487>
53. Lee, L. S. H., & Jim, C. Y. (2018). Thermal-cooling performance of subtropical green roof with deep substrate and woodland vegetation. *Ecological Engineering*, 119(May), 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.014>
54. Lee, L. S. H., & Jim, C. Y. (2020). Thermal-irradiance behaviours of subtropical intensive green roof in winter and landscape-soil design implications. *Energy and Buildings*, 209, 109692. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109692>
55. Liu, L., Cao, J., Ali, M., Zhang, J., & Wang, Z. (2021). Impact of green roof plant species on domestic wastewater treatment. *Environmental Advances*, 4(April), 100059. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100059>
56. Liu, W., Engel, B. A., & Feng, Q. (2021). Modelling the hydrological responses of green roofs under different substrate designs and rainfall characteristics using a simple water balance model. In *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126786>
57. Liu, W., Feng, Q., Chen, W., Wei, W., & Deo, R. C. (2019). The influence of structural factors on stormwater runoff retention of extensive green roofs: new evidence from scale-based models and real experiments. In *Journal of Hydrology* (Vol. 569). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.066>
58. Lu, J., Yuan, J. gang, Yang, J. zhi, & Yang, Z. yi. (2014). Responses of morphology and drought tolerance of *Sedum lineare* to watering regime in green roof system: A root perspective. *Urban Forestry and Urban Greening*, 13(4), 682–688. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.08.003>
59. Ma'bdeh, S. N., Ali, H. H., & Rabab'ah, I. O. (2022). Sustainable assessment of using green roofs in hot-arid areas – Residential buildings in Jordan. *Journal of Building Engineering*, 45(November 2021), 103559. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103559>
60. Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135(July 2020). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111>
61. Matlock, J. M., & Rowe, D. B. (2016). The suitability of crushed porcelain and foamed glass as alternatives to heat-expanded shale in green roof substrates: An assessment of plant growth, substrate moisture, and thermal regulation. *Ecological Engineering*, 94, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.05.044>

62. Meetam, M., Sripintusorn, N., Songnuan, W., Siriwattanakul, U., & Pichakum, A. (2020). Assessment of physiological parameters to determine drought tolerance of plants for extensive green roof architecture in tropical areas. *Urban Forestry and Urban Greening*, 56(October), 126874. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126874>
63. Montalvo, J. A. (2021). *Perú es uno de los países más vulnerables, pero también más atrasado frente al cambio climático*. San Pablo Informa. <https://ucsp.edu.pe/peru-es-uno-de-los-paises-mas-vulnerable-pero-tambien-mas-atrasado-frente-al-cambio-climatico/>
64. Nagase, A. (2020). Novel application and reused materials for extensive green roof substrates and drainage layers in Japan – Plant growth and moisture uptake implementation -. *Ecological Engineering*, 153(May), 105898. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105898>
65. Nardini, A., Andri, S., & Crasso, M. (2012). Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: Shrubs versus herbaceous plants. *Urban Ecosystems*, 15(3), 697–708. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0220-5>
66. Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R. R., Doshi, H., Dunnett, N., Gaffin, S., Köhler, M., Liu, K. K. Y., & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57(10), 823–833. <https://doi.org/10.1641/B571005>
67. ONU. (2018). *United Nations Final Report on World Urbanization Prospects 2018*.
68. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2016). Bosques y el cambio climático en el Perú. *Fao*, 142. <http://www.fao.org/3/i5184s/i5184s.pdf>
69. Peng, L. L. H., Yang, X., He, Y., Hu, Z., Xu, T., Jiang, Z., & Yao, L. (2019). Thermal and energy performance of two distinct green roofs: Temporal pattern and underlying factors in a subtropical climate. *Energy and Buildings*, 185, 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.040>
70. Pérez, G., Chocarro, C., Juárez, A., & Coma, J. (2020). Evaluation of the development of five Sedum species on extensive green roofs in a continental Mediterranean climate. *Urban Forestry and Urban Greening*, 48(December 2019), 126566. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126566>
71. Raez, E. (2019). Cambio climático en el Perú. *Movimiento Ciudadano Frente Al Cambio Climático*, 144. <https://www.mocicc.org/wp-content/uploads/2019/05/1-MOCCIC-INFORME-RAEZ-V1-ARTE.pdf>
72. Salgado, A. (2007). Evaluación Del Rigor Metodológico Y Retos. *Liberabit*, 13(1729–4827), 71–78.
73. Santamouris, M. (2014). Cooling the cities - A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort

- in urban environments. *Solar Energy*, 103, 682–703. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.07.003>
74. Savi, T., Dal Borgo, A., Love, V. L., Andri, S., Tretiach, M., & Nardini, A. (2016). Drought versus heat: What's the major constraint on Mediterranean green roof plants? *Science of the Total Environment*, 566–567, 753–760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.100>
75. Schade, J., Lidelöw, S., & Lönnqvist, J. (2021). The thermal performance of a green roof on a highly insulated building in a sub-arctic climate. *Energy and Buildings*, 241, 110961. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110961>
76. Schweitzer, O., & Erell, E. (2014). Evaluation of the energy performance and irrigation requirements of extensive green roofs in a water-scarce Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, 68(PARTA), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.012>
77. Seyedabadi, M. R., Eicker, U., & Karimi, S. (2021). Plant selection for green roofs and their impact on carbon sequestration and the building carbon footprint. *Environmental Challenges*, 4(November 2020), 100119. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100119>
78. Shafique, M., & Kim, R. (2017). Application of green blue roof to mitigate heat island phenomena and resilient to climate change in urban areas: A case study from Seoul, Korea. *Journal of Water and Land Development*, 33(1), 165–170. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0032>
79. Shao, H., Song, P., Mu, B., Tian, G., Chen, Q., He, R., & Kim, G. (2021). Assessing city-scale green roof development potential using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) imagery. *Urban Forestry and Urban Greening*, 57(November 2020), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126954>
80. Simões, N., Almeida, R., Tadeu, A., Brett, M., & Almeida, J. (2020). Comparison between cork-based and conventional green roof solutions. *Building and Environment*, 175(February). <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106812>
81. Simona, S., Maglionico, M., & Stojkov, I. (2016). A long-term hydrological modelling of an extensive green roof by means of SWMM. *Ecological Engineering*, 95, 876–887. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.009>
82. Skjeldrum, P. M., & Kvande, T. (2017). Moisture-resilient upgrading to blue-green roofs. *Energy Procedia*, 132, 417–422. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.649>
83. Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2013). Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate*, 3, 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2013.01.001>
84. Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2014). Metal

- and nutrient dynamics on an aged intensive green roof. *Environmental Pollution*, 184(3), 33–43. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.08.017>
85. Stella, P., & Personne, E. (2021). Effects of conventional, extensive and semi-intensive green roofs on building conductive heat fluxes and surface temperatures in winter in Paris. *Building and Environment*, 205(April), 108202. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108202>
 86. Sultana, R., Ahmed, Z., Hossain, M. A., & Begum, B. A. (2021). Impact of green roof on human comfort level and carbon sequestration: A microclimatic and comparative assessment in Dhaka City, Bangladesh. *Urban Climate*, 38(June), 100878. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100878>
 87. Szota, C., Farrell, C., Williams, N. S. G., Arndt, S. K., & Fletcher, T. D. (2017). Drought-avoiding plants with low water use can achieve high rainfall retention without jeopardising survival on green roofs. *Science of the Total Environment*, 603–604, 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.061>
 88. Takakura, T., Kitade, S., & Goto, E. (2000). Cooling effect of greenery cover over a building. *Energy and Buildings*, 31(1), 1–6. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(98\)00063-2](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00063-2)
 89. Vacek, P., Struhala, K., & Matějka, L. (2017). Life-cycle study on semi intensive green roofs. *Journal of Cleaner Production*, 154, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.188>
 90. Vahdati, N., Tehranifar, A., & Kazemi, F. (2017). Assessing chilling and drought tolerance of different plant genera on extensive green roofs in an arid climate region in Iran. *Journal of Environmental Management*, 192, 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.027>
 91. Vanuytrecht, E., Van Mechelen, C., Van Meerbeek, K., Willems, P., Hermy, M., & Raes, D. (2014). Runoff and vegetation stress of green roofs under different climate change scenarios. *Landscape and Urban Planning*, 122, 68–77. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.11.001>
 92. Venter, Z. S., Barton, D. N., Martinez-Izquierdo, L., Langemeyer, J., Baró, F., & McPhearson, T. (2021). Interactive spatial planning of urban green infrastructure – Retrofitting green roofs where ecosystem services are most needed in Oslo. *Ecosystem Services*, 50(May). <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101314>
 93. Vijayaraghavan, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 740–752. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.119>
 94. Williams, N. S. G., Bathgate, R. S., Farrell, C., Lee, K. E., Szota, C., Bush, J., Johnson, K. A., Miller, R. E., Pianella, A., Sargent, L. D., Schiller, J., Williams, K. J. H., & Rayner, J. P. (2021). Ten years of greening a wide brown land: A synthesis of Australian green roof research and roadmap

- forward. *Urban Forestry and Urban Greening*, 62(March), 127179. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127179>
95. Xie, G., Lundholm, J. T., & Scott MacIvor, J. (2018). Phylogenetic diversity and plant trait composition predict multiple ecosystem functions in green roofs. *Science of the Total Environment*, 628–629, 1017–1026. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.093>
 96. Yin, H., Kong, F., Dronova, I., Middel, A., & James, P. (2019). Investigation of extensive green roof outdoor spatio-temporal thermal performance during summer in a subtropical monsoon climate. *Science of the Total Environment*, 696, 133976. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133976>
 97. Zambrano-Prado, P., Pons-Gumí, D., Toboso-Chavero, S., Parada, F., Josa, A., Gabarrell, X., & Rieradevall, J. (2021). Perceptions on barriers and opportunities for integrating urban agri-green roofs: A European Mediterranean compact city case. *Cities*, 114, 103196. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103196>
 98. Zhang, W. C., Luo, X. Y., Peng, X. R., Liu, R. Z., Jing, Y., & Zhao, F. Y. (2021). Green roof on the ventilation and pollutant dispersion in urban street canyons under unstable thermal stratification: Aiding and opposing effects. *Sustainable Cities and Society*, 75(August), 103315. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103315>
 99. Zheng, X., Kong, F., Yin, H., Middel, A., Liu, H., Wang, D., Sun, T., & Lensky, I. (2021). Outdoor thermal performance of green roofs across multiple time scales: A case study in subtropical China. *Sustainable Cities and Society*, 70(April), 102909. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102909>
 100. Zingre, K. T., Wan, M. P., Tong, S., Li, H., Chang, V. W. C., Wong, S. K., Thian Toh, W. B., & Leng Lee, I. Y. (2015). Modeling of cool roof heat transfer in tropical climate. *Renewable Energy*, 75, 210–223. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.09.045>

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de recolección de datos

TÍTULO	Aportes de las Cubiertas Vegetadas (techos verdes) como Alternativas de Solución para las Épocas de Calor. Revisión Sistemática 2021
ESTUDIANTE	Talía Edith Ccoyllo Rojas
UNIVERSIDAD	Cesar Vallejo
Título de artículo	
Autor (es)	
Palabra clave	
Tipo de techos verdes	
Composición de techos verdes	
Condiciones operativas	
Regulación térmica	

Anexo 2. Matriz de tipo de materiales de las capas de los techos verdes

Categoría	Subcategoría	Caracterización de los tipos de materiales de las capas de los techos verdes			Unidad de análisis
		Material	Diámetro	Características	
Tipo de materiales de las capas de los techos verdes	Tipo de materiales de la capa de drenaje	Migajas de caucho	4 cm	Conductividad térmica 0,13 W/m.K Densidad 610 kg/m ³ Calor específico 1000 J/kg.K	(Coma et al., 2016), (Nagase, 2020) (Vijayaraghavan, 2016), (Lu et al., 2014), (Savi et al., 2016), (Du et al., 2019), (Kazemi y Courard, 2021), (Pérez et al., 2020), (Lee y Jim, 2020), (Berretta et al., 2014) (Simona et al., 2016), (Hakim davar et al., 2014), (W. Liu et al., 2019) (Stella y Personne, 2021), (Gong et al., 2020), (W. Liu et al., 2021) (Carrera et al., 2021), (Almei
		Puzolana	4 cm	Conductividad térmica 0,55 W/m.K Densidad 830 kg/m ³ Calor específico 1000 J/kg.K	
		Poliuretano	3 cm	Conductividad térmica 0,037 W/m.K Densidad 30 kg/m ³ Calor específico 1000 J/kg.K	
		Plástico de alta resistencia (polietileno o poliestireno)		Grandes espacios porosos para retener el agua. Membrana impermeable y mejora las propiedades térmicas del techo verde	
		Arcilla expandida, ladrillo triturado, virutas de piedra y grava gruesa.		Proporciona un equilibrio óptimo entre el aire y el agua en el sistema de techo verde. Asegura el estado del sustrato aeróbico.	
		PVC	5 cm	Buen rendimiento térmico Mejor resistencia al sustrato	
	Bambú Moso, material de desecho de polietileno tereftalato (PET) de alta densidad, tapa y fondo de botella	140 mm =14 cm	Alta retención hidráulica Bambú con diámetros exterior e interior de 120 mm y 100 mm, respectivamente. Bambú de 320 mm de longitud. Botellas PET de 500 mL; los PBC (28 mm de diámetro y 14 mm de altura) y los PBB (65 mm de diámetro y 50 mm de altura)		
	Tipo de materiales de la capa de filtro	Fibra geotextil Fibra de textiles no tejidos Filtro geotextil de polipropileno reforzado térmicamente		Resistencia más alta para soportar la carga anterior. Pequeños poros para permitir buena permeabilidad al agua. absorbe aproximadamente 1,5 L de agua/m ²	
Tipo de material de la capa de sustrato	Sustrato de plantación: 6% de perlita (tamaño de partícula de 1 mm a 2 mm) 50% de arena (tamaño de partícula de 0,3 mm a 1 mm) 10% de vermiculita (tamaño de partícula de 1 mm a 2 mm)	6,5 cm	Conductividad eléctrica del sustrato 347,7 μ S/cm pH del sustrato 6,96 Densidad aparente del sustrato 0,71 g/cm ³		

		16% de ceramisita (tamaño de partícula de 3 mm a 6 mm) 12% de piedra caliza triturada (tamaño de partícula de 4 mm a 7 mm) 6% de turba (tamaño de partícula de 5 mm a 20 mm).			da et al., 2020),(Simões et al., 2020), (Broekhuizen et al., 2021), (Schade et al., 2021),(Venter et al., 2021), (Langemeyer et al., 2020), (Khabaz, 2018), (Cristiano et al., 2021), (Peng et al., 2019), (Williams et al., 2021), (Jamei et al., 2021), (Cirrincione et al., 2021)
		Hidrogel, turba y biocarbón	10 cm -13 cm	Densidad aparente seca 848 kg.m ⁻³ Materia orgánica 2,9% pH 6,8 Contenido de agua en saturación = 0,44 g.g ⁻¹	
		Escoria negra aerolita (7 mm) Escoria roja (7 mm) Bonote de calidad hortícola (volumen 3:1:1)	130 mm = 13 cm	Capacidad de retención de agua del sustrato 46% Densidad aparente seca 1,26 g cm ⁻³	
		30% de perlita 20% de vermiculita 20% de ladrillo triturado 10% de arena 20% de coco-turba en volumen.	15 cm 20 cm – 200cm	Densidad aparente (431 kg/m ³) Alta capacidad de retención de agua (39,4%) Porosidad llena de aire (19,5%) Conductividad hidráulica (4570 mm/h) apoyo máximo de plantas (380% de incremento total de biomasa)	
		Sustrato con materiales reciclados grueso	15 cm	Densidad aparente 1000,95 kg/m ³ Capacidad calorífica específica, seca 0,4862 J/kg.K) Conductividad térmica 0,17 W/m.K) Humedad incorporada típica 87,35 kg/m ³	
		Fibra de coco y comercial	140 mm=14 cm	Sustrato de alta calidad No se descompone fácilmente, muy estable Húmedo, ligero y poroso con 10 % de materia orgánica	

Anexo 3. Matriz de condiciones operativas

Categoría	Sub categoría	Tipo de techos verdes			Unidad de análisis
		Extensivo	Semi - intensivo	Intensivo	
Condiciones operativas	Tipo de clima	<ul style="list-style-type: none"> - Mediterráneo continental - Secos - Subcontinental templado húmedo - Lluvioso - Semiárida - Oceánico con invierno fresco - Cálidos y secos 	<ul style="list-style-type: none"> - Oceánico con invierno fresco - Mediterráneo de verano cálido - Tropicales húmedos y secos 	<ul style="list-style-type: none"> - Subtropical - Mediterráneo seco - Veranos cómodos y parcialmente nublados - Inviernos largos, muy frío, ventosos y mayormente nublados. - Tropicales húmedos y secos 	(Pérez et al., 2020), (Lee y Jim, 2020), (Berretta et al., 2014), (Simona et al., 2016), (Hakimdavar et al., 2014), (W. Liu et al., 2019), (Stella y Personne, 2021), (Gong et al., 2020), (W. Liu et al., 2021), (Carrera et al., 2021), (Almeida et al., 2020), (Simões et al., 2020), (Nagase, 2020), (Kazemi y Courard, 2021), (Karachaliou et al., 2016), (Vacek et al., 2017), (Speak et al., 2014), (Vijayaraghavan, 2016), (De-Ville et al., 2018), (Du et al., 2019), (Savi et al., 2016), (Lu et al., 2014), (Coma et al., 2016), (Zambrano-Prado et al., 2021), (Yin et al., 2019)
	Exposición solar	- Directa	- Directa	- Directa	
	Riego	- Sin riego	-	- Sin riego - Por goteo	
	Pendiente	1% 2%	2%	-	
	Temperatura media	12°C 15,7°C 21,2°C – 21,82°C	-	26,4°C	
	Precipitación media (mm/año)	700-800 626 421 1387,3	700 154,2	-	
	Densidad aparente	1,23 g.cm ⁻³ 0,71 g.cm ⁻³	25 kg.m ⁻³	2,47 g.cm ⁻³	
	Conductividad Térmica/eléctrica	347,7 μS/cm	0,034 W/m.K	-	
	Humedad relativa	46% 60% - 80%	84% - 86%	52%	

Anexo 4. Matriz de Operacionalización de Categorías

Categoría de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Sub Categoría	Indicadores	Escala de medición
Tipo de techos verdes	Los techos verdes son infraestructuras verdes híbrida verde-gris que integra componentes del ecosistema urbano en la forma construida de la ciudad (Venter et al., 2021)	Los tipos de techos verdes son: extensivo, semi intensivo e intensivo y estos varían de acuerdo a sus características	Extensivo Semi-Intensivo Intensivo	(Coma et al., 2016), (Lu et al., 2014), (Du et al., 2019), (Vijayaraghavan, 2016)	Ordinal
Tipo de materiales de las capas de los techos verdes	Los techos verdes están conformados por 4 capas que son: barrera de raíces, capa de drenaje, capa de filtro y capa de sustrato. (Skjeldrum y Kvande, 2017)	Poseen diferentes tipo de materiales de acuerdo a la capa de techo verde	Tipos de materiales en la capa de drenaje Tipos de materiales en la capa de filtrado Tipos de materiales en la capa de sustrato	(Nagase, 2020), (Pérez et al., 2020), (Coma et al., 2016)	Ordinal
Condiciones operativas	Los techos verdes exhibieron diversas condiciones operativas térmicas y energéticas en	Características principales a las que operan los techos verdes	Tipo de clima Riego de plantas Pendiente Temperatura media	(Simona et al., 2016), (Gong et al., 2020), (Vacek et al., 2017)	Ordinal

	diferentes climas, características de construcción y disponibilidad de agua (Cascone et al., 2019).		Precipitación media		
Disminución de temperatura	El mecanismo de mitigación de la temperatura mediante cubierta vegetal es muy complejo, ya que involucra evapotranspiración, sombreado, aislamiento térmico y masa térmica (He et al., 2017)	Es el intercambio energético que otorga el techo verde que regula la temperatura de las edificaciones que lo emplean	Efecto térmico	(He et al., 2020), (Alcazar et al., 2016), (Speak et al., 2013)	Ordinal