

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERIA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**MEJORAMIENTO URBANO SUSTENTABLE:
TECHOS VERDES EN HERMOSILLO, SONORA**

TRABAJO ESCRITO

**Que para obtener el DIPLOMA de
Especialización En Desarrollo Sustentable**

Presenta:

Genesis Anahi Cuevas Acuña

Director de Tesina:

M.S. David Slim Zepeda Quintana

Codirector:

Dr. Luis Arturo Vargas Robles

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

CARTA DE APROBACIÓN DE LOS MIEMBROS DEL JURADO

RESUMEN

Los techos verdes han sido implementados e investigados alrededor del mundo, son considerados como una estrategia accesible en la creación de áreas verdes urbanas; este trabajo tiene el propósito de caracterizar los elementos del techo verde para un desarrollo óptimo en zonas urbanas con clima árido seco y evaluar el impacto potencial sustentable de las ciudades con la implementación de techos verdes a una escala urbana. El diseño de la metodología de investigación está basado en la guía de Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), la cual busca la implementación de proyectos para el aumento de la sustentabilidad urbana, mediante el análisis de la situación actual, la determinación de las áreas críticas y el desarrollo de propuestas que den respuesta a los desafíos urbanos actuales. Los resultados mostraron el estado actual de la ciudad de Hermosillo, Sonora en cada área de la sustentabilidad, concluyendo que tiene la capacidad de generar un incremento en el área verde urbana por medio de los techos verdes. La percepción social de la ciudad no pudo ser generada presencialmente, debido a la situación de la actual pandemia; por lo que se recurrió a la consulta de una encuesta realizada por una organización externa. La aplicación de la propuesta urbana paisajística generaría una serie de beneficios en la sustentabilidad urbana, incrementando la calidad de vida de los habitantes. La investigación realizada puede ser considerada como base para la investigación e implementación de nuevos proyectos de infraestructura verde en la ciudad de Hermosillo.

ABSTRACT

The green roofs have been researched and implemented around the world; they are considered as one of the most accessible strategies in the creation of urban green areas; this work aims to distinguish the elements of the green roof for optimal development in cities with a dry arid climate and evaluate the potential sustainable impact in the urban areas with the implementation of green roofs on an urban scale. The design of the research is based on Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) guide, which seeks the implementation of projects to increase urban sustainability, through the analysis of the actual situation, the determination of the critical areas, and the development of a proposal that respond to the current urban challenges. The results showed the current state of the city Hermosillo, Sonora in each area of sustainability, concluding that the city has the capacity to generate an increase in the urban green area through green roofs. The social perception of the city could not be generated in person, due to the current pandemic situation; therefore, a survey carried out by an external organization was consulted. The application of the urban landscape proposal would generate a series of benefits in urban sustainability, increasing the quality of life of the inhabitants. This research can be considered as the base for the investigation and development of new green infrastructure projects in the city of Hermosillo.

ÍNDICE

Índice de Contenido.

I.	INTRODUCCIÓN.....	11
II.	OBJETIVO ESTRATÉGICO.....	12
III.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
IV.	ANÁLISIS LITERARIO	13
4.1	La urbanización y su impacto en la salud	13
4.2	Áreas verdes urbanas.....	15
4.3	Techos verdes	18
V.	METODOLOGÍA.....	22
5.1	Tipo de estudio	22
5.2	Diseño metodológico	22
VI.	RESULTADOS.....	25
6.1	Fase 1 Análisis y diagnóstico.....	25
6.1.1	Objetivo de estudio.....	25
6.1.1.1	Datos demográficos.....	26
6.1.1.2	Información Geofísica.....	27
6.1.1.2.1	Clima.....	27
6.1.1.2.2	Hidrología.....	31
6.1.1.2.3	Topografía.....	32
6.1.1.2.4	Vegetación	33
6.1.1.3	Huella Urbana.....	36
6.1.1.3.1	Uso del Suelo.....	36
6.1.1.3.2	Asentamientos irregulares.....	38
6.1.1.3.3	Hogar y Vivienda	38
6.1.1.4	Socioeconómicos	39
6.1.1.4.1	Actividades económicas	39
6.1.1.4.2	PIB	39
6.1.1.4.3	Desigualdad social	40
6.1.1.4.4	Salud.....	40
6.1.1.4.5	Educación	41
6.1.1.5	Políticos e Institucionales	41
6.1.1.6	Infraestructura	44
6.1.2	Indicadores de sustentabilidad urbana.....	48

6.2	Fase 2. Priorización	53
6.2.1	Filtro de percepción social	53
6.2.2	Áreas críticas para la sustentabilidad urbana.....	59
6.3	Fase 3. Plan de acción	60
6.3.1	Formulación de estrategias de acción	60
6.3.1.1	Techos verdes extensivos	60
6.3.1.2	Techos verdes semi-intensivos.....	61
6.3.1.3	Techos verdes intensivos	62
6.3.1.4	Caracterización de los techos verdes en clima árido seco	63
6.3.2	Propuesta Urbana	65
6.3.2.1	Análisis contextual.....	65
6.3.2.2	Propuesta proyectual.....	68
6.3.3	Evaluación del impacto potencial.....	72
6.3.3.1	Temperatura.....	72
6.3.3.2	Insolación	73
6.3.3.3	Eficiencia energética.....	74
6.3.3.4	Gestión de aguas pluviales.....	75
6.3.3.5	Calidad del aire.....	76
6.3.3.6	Reducción del ruido.....	77
6.3.3.7	Valor de la propiedad.....	77
6.3.3.8	Resumen del impacto potencial de la propuesta urbana-paisajística ...	78
6.3.4	Costos	80
VII.	DISCUSIÓN.....	81
7.1	Desafíos urbanos	81
7.2	Sustentabilidad de las ciudades.....	82
7.3	Áreas verdes urbanas.....	82
VIII.	CONCLUSIONES	84
IX.	RECOMENDACIONES	85
X.	REFERENCIAS	86
XI.	ANEXOS	92

Índice de Tablas

Tabla 1. Ventajas de las áreas verdes urbanas.....	15
Tabla 2. Desventajas de las áreas verdes urbanas	17
Tabla 3 Tipos de techos verdes	20
Tabla 4. Beneficios de los Techos Verdes	20
Tabla 5 Población actual	26
Tabla 6 Datos mensuales promedios de temperatura en °C	28
Tabla 7 Porcentaje de humedad relativa promedio mensual.....	29
Tabla 8 Promedio de radiación global en W/m ²	30
Tabla 9 Principales elevaciones dentro de la mancha urbana	32
Tabla 10 Tipos de vegetación	34
Tabla 11 Características generales de especies nativas.....	34
Tabla 12 Hogar y Vivienda de la ciudad de Hermosillo	38
Tabla 13 Indicadores de pobreza para Hermosillo en el 2015	40
Tabla 14 Salud y seguridad social	40
Tabla 15 Resumen de equipamiento educativo.....	41
Tabla 16 Equipamiento de los Espacios Públicos	47
Tabla 17 Indicadores de sustentabilidad urbana aplicables al proyecto	48
Tabla 18 Clasificación del sistema de semáforo.....	48
Tabla 19 Indicadores calidad del aire	49
Tabla 20 Indicadores mitigación al cambio climático	49
Tabla 21 Indicadores uso del suelo.....	50
Tabla 22 Recomendaciones de área verde calificada por habitante	50
Tabla 23 Comparación de ciudades del indicador áreas verdes calificadas por habitante	51
Tabla 24 Preguntas seleccionadas para la percepción social	53
Tabla 25 ¿Qué tan orgulloso está de ser hermosillense o vivir en Hermosillo?	54
Tabla 26 ¿Qué tan satisfecho se siente con la calidad de los siguientes servicios públicos?	55
Tabla 27 ¿Que tan satisfecho se siente con la disponibilidad de áreas verdes cerca de su casa?. ..	55
Tabla 28 ¿Considera usted que vivir en esta ciudad es seguro o inseguro?	56
Tabla 29 ¿Que tan seguro se siente en los siguientes espacios cuando no está acompañado?	56
Tabla 30 ¿Que tan insatisfecho o satisfecho está usted en cuanto a los resultados de gestión ambiental de los siguientes temas?	57
Tabla 31¿Que tan insatisfecho o satisfecho está usted en cuanto a los resultados de gestión ambiental de la cantidad de árboles en la ciudad?	57
Tabla 32 ¿Cual es la principal razón de no haber participado en alguna actividad para el beneficio de su colonia o municipio?	58
Tabla 33 Áreas críticas para la sustentabilidad de Hermosillo	59
Tabla 34 Caracterización de los techos verdes en clima árido-seco.....	64
Tabla 35 Análisis del sitio de la zona de estudio	66
Tabla 36 Estimados a macro escala	72
Tabla 37 Disminución de temperatura al interior de los espacios	73
Tabla 38 Diferencia de temperaturas en superficie de techo verde y azotea convencional	73
Tabla 39 Eficiencia energética de techos verdes.....	74
Tabla 40 Ahorro económico energético	74
Tabla 41 Reducción de escurrimiento de aguas pluviales.....	75
Tabla 42 Absorción de los techos verdes	76
Tabla 43 Absorción de elementos y compuestos contaminantes.....	76
Tabla 44 Reducción del ruido.....	77
Tabla 45 Aumento estimado del valor de la propiedad.....	77
Tabla 46 Estimado de resultados cuantitativos del impacto potencial de la propuesta.....	78
Tabla 47 Estimado del ahorro económico anual.....	78

Tabla 48 Estimado de absorción de contaminantes atmosféricos.....	79
Tabla 49 Costos instalación y mantenimiento del techo verde extensivo.....	80
Tabla 50 Costos de instalación	80

Índice de Figuras

Figura 1. Desafíos y estrategias para el Desarrollo Urbano	14
Figura 2 Componentes del techo verde	19
Figura 3. Descripción de fases.....	22
Figura 4 Ubicación de la ciudad de Hermosillo, Sonora, Mx	25
Figura 5 Nacimientos y defunciones	27
Figura 6 Temperaturas promedio mensuales en °C	28
Figura 7 Porcentaje de temperaturas promedio mensuales	29
Figura 8 Promedio de radiación global	30
Figura 9 Hidrología de la Ciudad de Hermosillo	31
Figura 10 Fotografía de elevaciones topográficas	32
Figura 11 Fotografía de área verde en la zona centro de la ciudad	33
Figura 12 Perspectiva de la Ciudad de Hermosillo	36
Figura 13 Intensidad de uso de suelo	36
Figura 14 Diagrama del crecimiento de la mancha urbana de la ciudad	37
Figura 15 PIB per cápita en Hermosillo	39
Figura 16 Condiciones del entorno vial de Hermosillo	45
Figura 17 Fotografía infraestructura ciclista existente	46
Figura 18 Estado actual de infraestructura banquetas para movilidad peatonal	46
Figura 19 Ubicación de la zona de estudio x	65
Figura 20 Terreno zona de estudio x	66
Figura 21 Uso de suelo	66
Figura 22 Imagen urbana	66
Figura 23 Equipamiento	66
Figura 24 Vialidades.....	67
Figura 25 Transporte público	67
Figura 26 Áreas verdes	67
Figura 27 Planta de conjunto del área de estudio.....	68
Figura 28 Composición conceptual del prototipo de Techo Verde	69
Figura 29 Propuesta techos verdes en área de estudio	70
Figura 30 Propuesta techos verdes en área de estudio	71
Figura 31 Beneficios cualitativos de la propuesta	79

Índice de Anexos

Anexo 1 Resultados a detalle de percepción social.....	92
Anexo 2 Zonas prioritarias de reforestación verde en Hermosillo en base a estudio de Ortega et. al., (2020)	94

I. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es buscar el papel que juegan los techos verdes dentro de la sustentabilidad urbana y la adaptación de éstos en ciudades con clima árido seco. El proyecto se desarrolla en distintas fases que dan respuesta a analizar el estado actual de la ciudad de Hermosillo, Sonora para establecer las áreas críticas dentro de la sustentabilidad urbana y proceder a desarrollar una propuesta urbana paisajística adaptada a las condiciones económicas, sociales y ambientales, específicas de la ciudad.

Los resultados obtenidos bajo la estructura de la metodología de Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES), mostraron que los principales desafíos que presenta la ciudad de Hermosillo son (1) el clima y la escasez de recursos hídricos, (2) el estado de los indicadores de calidad del aire, mitigación al cambio climático, y uso de suelo, (3) la gestión urbana en servicios públicos y la distribución inequitativa de áreas verdes alrededor de la zona urbana; a los cuales se dieron respuesta bajo la implementación de la estrategia de techos verdes a nivel urbano.

Para la implementación de los techos verdes en un clima árido seco, se requiere un rediseño en los componentes generales del sistema convencional, por lo cual se determina las características físicas, económicas, naturales y sociales del techo verde extensivo para que tenga un desarrollo óptimo en ciudades con un clima desértico y pueda generar beneficios en cada sector de la sustentabilidad, aumentando así la calidad de vida de los habitantes.

Se concluyó que la ciudad de Hermosillo, Sonora tiene la capacidad de albergar el sistema de techos verdes alrededor de la zona urbana de una manera equitativamente distribuida, generando una serie de beneficios a la calidad de vida urbana; sin embargo, es necesaria una difusión clara de las ventajas y desafíos que conlleva dicha implementación, para poder aumentar la conciencia ambiental en los habitantes y la aceptación del elemento. Se recomienda ampliamente el análisis de la percepción social en la ciudad de Hermosillo sobre los temas de áreas y techos verdes, para conocer el grado de aceptación por parte de los habitantes.

II. OBJETIVO ESTRATÉGICO

Contribuir, potencialmente, a la sustentabilidad urbana de la ciudad de Hermosillo, Sonora mediante la implementación de techos verdes.

III. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un análisis literario del estado del arte acerca de techos verdes, mejoramiento urbano, calidad de vida y tópicos relacionados
2. Caracterizar los aspectos económicos, ambientales, sociales y físicos del techo verde, dentro del sector urbano en clima cálido seco
3. Generar una propuesta urbana paisajista de techos verdes para la ciudad de Hermosillo, Sonora
4. Evaluar el impacto potencial de la propuesta generada en la sustentabilidad urbana

IV. ANÁLISIS LITERARIO

4.1 La urbanización y su impacto en la salud

El rápido crecimiento urbano es una problemática global (Fernández, 2005). El Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (2019) estima que actualmente el 55% de la población mundial habita en zonas urbanas y se estima que para el 2050 aumentará al 68%. En consecuencia, dicha urbanización acelerada ha generado una ausencia de planeación, lo que conlleva a una disminución de calidad ambiental en áreas urbanas por contaminación, pérdida de áreas naturales, servicios públicos ineficientes, infraestructura inadecuada y un mal consumo de recursos, generando así ciudades vulnerables (World Health Organization, 2016; Graizbord, 2007). Por lo cual, una de las prioridades globales de los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) es la búsqueda del desarrollo urbano mediante la creación de ciudades inclusivas, seguras y sustentables como lo establece el objetivo número 11 y al mismo tiempo, acorde al objetivo 3 garantizar una vida sana promoviendo el bienestar de todas las personas (PNUD, 2020).

El desarrollo urbano influye directamente en la salud y el bienestar de sus habitantes (Galea et al., 2005). Algunos autores vinculan las ciudades con elementos que incrementan la calidad de vida al tener acceso directo a servicios, infraestructura y mejores condiciones de educación, cultura, salud y trabajo (Lecic-Tosevski, 2019; Rugel et al., 2019; Kjellstrom et al., 2007). Sin embargo, ciertos autores argumentan que, con un manejo inadecuado, las ciudades también tienen el potencial de incrementar problemas actuales, afectando de manera directa la salud urbana y el desarrollo sustentable de las ciudades (Shen et al., 2017; Naciones Unidas, 2020; Acioly, Vignol y Jonsson, 2020). Por esta razón, existe la urgencia de replantear y transformar el manejo de las ciudades, las cuales sean capaces de afrontar cualquier tipo de crisis, tal como la actual pandemia COVID-19 (Naciones Unidas, 2020b).

La actual crisis sanitaria por la Covid-19 ha afectado drásticamente todos los aspectos de la vida humana, hoy una gran cantidad de la población mundial está en confinamiento con el fin de prevenir la propagación del virus que la causa (Cordera y Provencio, 2020; Pinazo, 2020). La Organización de las Naciones Unidas (2020d) expresa que tal acción ha expuesto y agravado las desigualdades dentro de las ciudades, dejando al descubierto importantes deficiencias en el diseño, accesibilidad, flexibilidad y gestión de los espacios públicos. Aunado a esto, varios autores concuerdan que uno de los problemas más serios que

presenta el confinamiento dentro de los hogares, es la manifestación de varios problemas de salud, particularmente el deterioro de la salud mental (Dubey et al., 2020; Santini et al., 2020; Yanguas et al., 2018; Serafini et al., 2020; Losada et al., 2020); afirmando así, la necesidad de reforzar la infraestructura en respuesta a emergencias sanitarias y la degradación ambiental, a través de elementos urbanos (Rugel et al., 2019; Acioly et al., 2020; Naciones Unidas, 2020b).

Las ciudades en la actualidad presentan una variedad de desafíos como consecuencia de la implementación de estrategias insustentables, tal es el caso de la escasez de servicios públicos, inequidad, pobreza, desempleo, desigualdades sociales, sobrepoblación, violencia, deterioro ambiental, contaminación, agotamiento de recursos naturales, vulnerabilidad frente a desastres naturales y desaparición de áreas verdes (Gudynas, 2009; Winchester, 2006; Vlahov et al., 2007). Afirmando así, que uno de los mayores desafíos que enfrentan las áreas urbanas es establecer un desarrollo sustentable (Felappi et al., 2020). De manera sintetizada, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2019) describe en el siguiente gráfico los principales desafíos del desarrollo urbano y estrategias para la creación de ciudades sustentables.

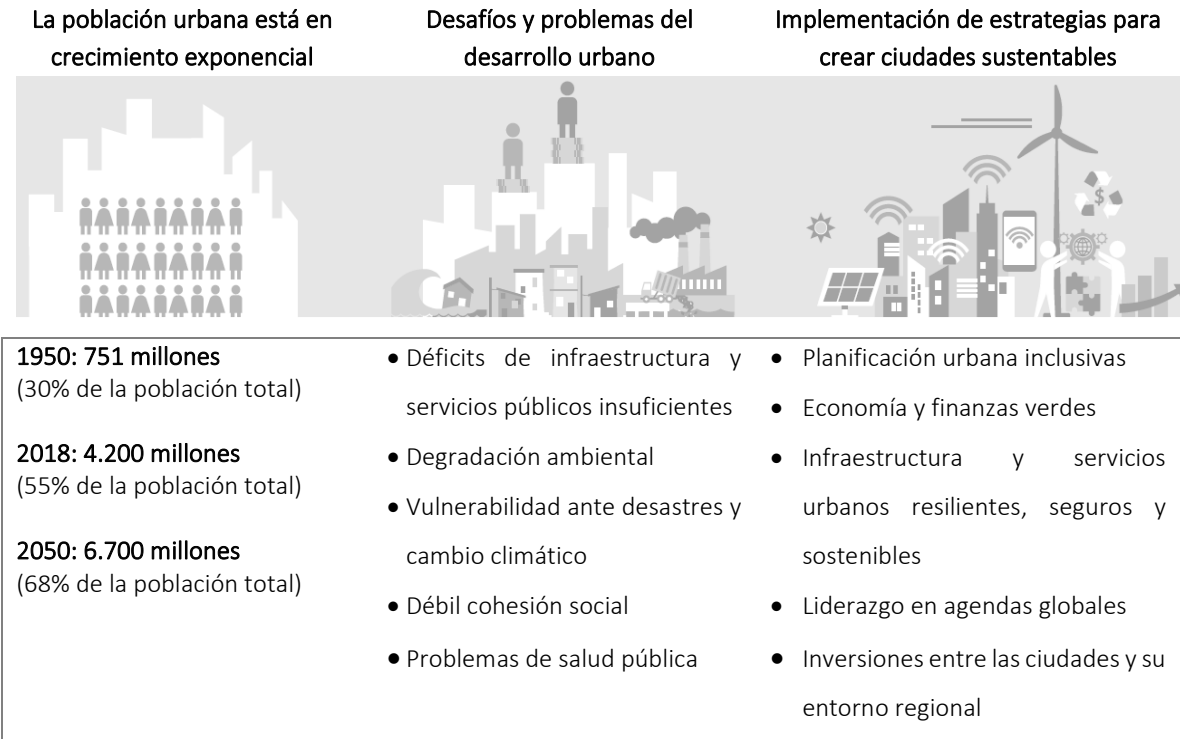


Figura 1. Desafíos y estrategias para el Desarrollo Urbano

Fuente: BID (2019).

Con las proposiciones presentadas de los distintos autores se puede inferir la necesidad de buscar soluciones y estrategias de acción que generen ciudades sustentables, tales soluciones necesitan estar adaptadas a las características económicas, sociales, culturales, educativas y condiciones climáticas de cada región, ciudad y país, para así, obtener resultados óptimos (Navarrete-Peñuela, 2017). Con base en la literatura, una de las estrategias urbanas más accesibles de implementar puede constituirlo la creación de áreas verdes urbanas, las cuales son consideradas como una de las herramientas con mayor influencia positiva en la salud física y mental de sus habitantes (Martínez-Soto, Montero-López y Córdova, 2014).

4.2 Áreas verdes urbanas

Las áreas verdes y espacios abiertos en las ciudades desempeñan un rol esencial en el bienestar de las personas y en la calidad de vida urbana (Martínez-Soto, Montero-López y de la Roca, 2016). Una amplia literatura respalda las ventajas que estas áreas generan, tal y como se resume en la tabla 1; donde los principales beneficios en la salud pública son la mitigación de problemas psicológicos como el estrés y la ansiedad, junto con la disminución de problemas como la obesidad, cardiovasculares y mortalidad; aunado a esto, varias investigaciones agregan que al brindar un espacio natural de recreación y relajación también se logra obtener beneficios espirituales, sociales, económicos y ambientales (Kühn et al., 2017; Kim and Miller, 2019; Nowak et al., 1998; James et al., 2015; Cole et al., 2019; Romagosa, 2018).

Tabla 1. Ventajas de las áreas verdes urbanas

FACTOR ECONÓMICO	REFERENCIA
Los beneficios materiales (leña, alimento) se pueden utilizar como medios de ingresos en la producción de comida local	(Nowak et al., 1998)
Incrementa la concentración y la productividad laboral	(Martínez-Soto et al., 2016)
La inversión trae beneficios económicos a largo plazo	(Green et al., 2016)
A una larga escala, pueden contribuir a la generación de ciudades sustentables y autosuficientes	(Dadvand y Nieuwenhuijsen, 2019)
Incremento del valor de la propiedad	(Chiabai et al., 2020)

FACTOR SOCIAL

Espacios para caminar con amigos o familia	(Kim y Miller, 2019)
Mejora la cohesión social	(Martínez-Soto et al., 2016)
Provee un sentido de pertenencia comunitaria	(Rugel et al., 2019)
Aumenta sensación de seguridad, disminuyendo las tasas de criminalidad, reduciendo la violencia y conflictos intrafamiliares	(Moyano y Priego, 2009)

FACTOR AMBIENTAL

Filtración de la contaminación del aire	(James et al., 2015)
Modificación del microclima, realce del paisaje, control de la erosión y proporcionan un hábitat para la fauna	(Nowak et al., 1998)
Representan un amplio campo de biodiversidad, creando conciencia ecológica	(Benvenuti, 2014)
Aplicación de estrategias para captación de agua pluvial e incremento de cobertura vegetal	(IMPLAN, 2020a)
Mitigación de las consecuencias del incremento de temperaturas generadas por el cambio climático	(Bowler et al., 2010)
Provee sombras en calles y sobre edificaciones, incrementa la ventilación natural en los espacios reduciendo las temperaturas internas	(Givoni, 1991)

FACTOR SALUD

Pacientes en hospitales con vistas a áreas verdes querían menos medicina para el dolor y tenían una rápida recuperación	(Kim y Miller, 2019)
Reducción del estrés, depresión y ansiedad	(Beyer et al., 2014)
Menor mortalidad y una mejor salud general y mental percibida	(Cole et al., 2019)
Disminuye la obesidad, riesgo de hipertensión, enfermedades cardiovasculares, fatiga mental y niveles de colesterol.	(Martínez-Soto et al., 2016)
Impacto positivo en el humor de las personas, introduciendo armonía en los espacios, reduciendo el caos visual	(Sendzimir Foundation, 2011)

Fuente: Elaboración propia.

A pesar de la gran cantidad de beneficios generados por la implementación de las áreas verdes urbanas, Wolch, Byrne y Newell (2014) mencionan que las ventajas no son generadas de manera equitativa, ya que el acceso y el uso de dichas áreas verdes son condicionadas por una serie de determinantes como lo son la clase social, raza, etnia, la edad, el género y distintas discapacidades. Por otro lado, Cole et al. (2019) agrega que no se basa sólo en características étnico-raciales de la población, sino también dependerá de factores socioeconómicos como la gentrificación del vecindario, los ingresos económicos y el nivel de educación; generando así ciertas desventajas y factores negativos, descritos en la tabla 2; las cuales pueden afectar de manera directa la salud de los usuarios, enfatizando el requerimiento de un mayor trabajo para reducir estas barreras y sus consecuencias negativas (Chiabai et al., 2020; Beyer et al., 2014).

Tabla 2. Desventajas de las áreas verdes urbanas

FACTOR AMBIENTAL	REFERENCIA
Las temperaturas extremas pueden dificultar o impedir el uso de los espacios públicos	(Gehl, 2014)
La falta de agua en ciudades con climas desérticos presenta una problemática para el mantenimiento de las áreas verdes	(Khalifa y Abdelall, 2019)
La plantación inadecuada de lugar y especies puede afectar la calidad del aire mediante la dispersión de la contaminación o emisiones de polen	(Kumar et al., 2019)
FACTOR ECONÓMICO	
La elevada inversión económica de instalación y mantenimiento	(Sendzimir Foundation, 2010)
FACTOR SOCIAL	
Las áreas verdes con poca visibilidad o problemas de mantenimiento incrementan los niveles de inseguridad pública	(Martínez-Soto, Montero-López y de la Roca, 2016)
FACTOR SALUD	
Incrementar episodios de asma por contacto con cierta flora y fauna	(Martínez-Soto, Montero-López y de la Roca, 2016)
La vegetación puede tener efectos sobre la incidencia de enfermedades inflamatorias como las alergias	(Chiabai et al., 2020)
La exposición con pesticidas, herbicidas y heces de animales en los espacios abiertos puede resultar en enfermedades infecciosas. Los usuarios, especialmente los niños pueden experimentar lesiones accidentales mientras usan el espacio	(Dadvand y Nieuwenhuijsen, 2019)

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar estas ventajas y desventajas, se concluye que los ambientes pueden ser por una parte limitantes, estresantes y poseer ciertas desventajas, y por otra, tener las cualidades de generar beneficios, incrementando la calidad de vida urbana (Martínez-Soto, Montero-López y de la Roca, 2016). Partiendo de esto, se enfatiza la necesidad de un mejor entendimiento de la influencia de las áreas verdes sobre la salud y el comportamiento humano para poder construir y transformar los ambientes urbanos y crear ciudades más saludables y amigables con la biodiversidad (Felappi et al., 2020; Kumar et al., 2019).

Actualmente, existen casos exitosos de planificación e implementación de áreas verdes en países como Holanda, Austria, Singapur e Inglaterra (Kumar et al., 2019). Similares resultados se han obtenido en Estados Unidos y Canadá, donde se ha demostrado significantes asociaciones entre las áreas verdes y el incremento en la salud pública, principalmente en la salud mental (Beyer et al., 2014). Sin embargo, en la región de América Latina, a pesar de que existe una amplia cantidad de trabajos de investigación, no es muy común la implementación de proyectos de infraestructura verde (BID, 2020), enfatizando así la amplia necesidad de aplicar la investigación científica en ejecuciones prácticas.

Lo anteriormente expuesto sugiere que, aunque hay varios casos exitosos de implementación de infraestructura verde, en la actualidad hay una gran cantidad de ciudades que no han podido ejecutar de manera óptima este tipo de estrategias; una de las principales causas según BID (2019) es la falta de adaptación al rápido crecimiento urbano, lo que ocasiona que las ciudades estén densamente urbanizadas por estructuras de concreto y pavimento, dejando así, pocos espacios libres para áreas verdes. Una solución a esta problemática es la reutilización de espacios ya construidos tal como la transformación de los techos convencionales en techos verdes (Susca, Gaffin y Dell'Oso, 2011).

4.3 Techos verdes

Existen diferentes evidencias que respaldan la transformación de los techos tradicionales a techos verdes como una estrategia adecuada para afrontar la escasez de áreas verdes urbanas (Valenzuela et al., 2017). Debido al constante desarrollo de infraestructura, las azoteas representan entre el 21-26% del área total de la mayoría de las ciudades actuales, además, las azoteas son los elementos de las edificaciones con mayor ganancia térmica y mayor transferencia de calor hacia el interior de los espacios a causa de su horizontalidad y la exposición directa a la radiación solar (Zahir et al., 2014). Es por lo que, muchas edificaciones alrededor del mundo han usado los techos verdes como una solución efectiva

para reducir la transferencia de temperaturas de un modo natural y combatir la escasez de áreas verdes resultantes de la urbanización, concluyendo así que los techos verdes son usados para mitigar distintos desafíos urbanos (Haksever y Markoc, 2020).

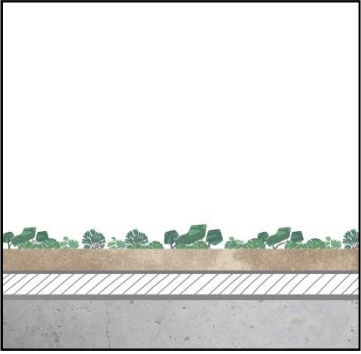


En la arquitectura actual los techos verdes son aplicados como una estrategia sustentable que toma en cuenta las condiciones del entorno para su diseño y ejecución (Díaz y Rodríguez, 2007). Los techos verdes son definidos como sistemas instalados sobre la techumbre de una edificación, la cual está parcial o completamente cubierta con vegetación; y estos se pueden dividir en extensivos, semi-intensivos e intensivos, y aunque existen diferentes categorías, la mayoría contienen los mismos componentes incluyendo membrana impermeabilizante, mecanismo de drenado, capa filtrante, sustrato de suelo y cobertura vegetal; tal como se muestra en la figura 2 (Sendzimir Foundation, 2011; IMPLAN, 2020a; Zahir et al., 2014; Nawaz, McDonald y Postoyko, 2015; Khotbehsara, Daemei y Malekjahan, 2019). Las características de los techos verdes hacen que sea una técnica constructiva atractiva dentro de la arquitectura bioclimática, logrando un confort térmico al interior de las edificaciones (Alpuche et al., 2010).



Figura 2 Componentes del techo verde

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3 Tipos de techos verdes

		
EXTENSIVO	SEMI - INTENSIVO	INTENSIVO
Sustrato 10-15 cms 40-160 kg/m ² Especies rastreras	Sustrato 15-35 cms 120-250 kg/m ² Arbustos y rastreras	Sustrato 40-100 cms 400 kg/m ² Arboles y arbustos

Fuente: Elaboración propia.

La implementación de los techos verdes genera una serie de beneficios tales como la creación de microclimas y espacios confortables, reducción del ruido, mitigación de la contaminación del aire mejorando la calidad de éste y produce un incremento de las áreas verdes urbanas; ayudando a la salud física y mental de las personas y elevando la calidad de vida urbana (Delgado, 2018; Allen et al., 2018). Así, Sahagun (2019) añade que los techos verdes también tienen efectos terapéuticos en las personas, incluyendo la reducción del estrés y mejoras en la salud mental. Aunado a esto, la literatura añade que la instalación de los techos verdes también genera beneficios ambientales, económicos y una variedad de factores técnicos, como el aumento de la eficiencia energética y el confort térmico en las edificaciones; los cuales se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Beneficios de los Techos Verdes

BENEFICIOS	REFERENCIA
Aumenta el valor de la propiedad	(Green et al., 2016)
Provisión de hábitat para la biodiversidad	(Brenneisen, 2006)
Gestión de aguas pluviales urbanas	(Sahagun, 2019)
Mejoran el confort térmico interno	(Khotbehsara, Daemei y Malekjahan, 2019)

Mejoran la insolación del edificio	(Sailor, 2008)
Mejora la eficiencia energética del edificio	(Alpuche et al., 2010)
Reducen la contaminación del aire	(Hashemi, Mahmud y Ashraf, 2015)
Reducen las islas de calor	(Di Giuseppe y D'Orazio, 2015)
Disminución del ruido	(Van Renterghem y Botteldooren, 2009)
Los techos verdes extensivos, por su ligereza, no se requiere un refuerzo en la estructura actual	(Susca, Gaffin y Dell'Oso, 2011)
Mejora la cuestión estética del paisajismo urbano	(Nawaz, McDonald y Postoyko, 2015)

Fuente: Elaboración propia.

Con base en lo descrito, se vincula de manera directa los techos verdes con el concepto de desarrollo sustentable, mediante los beneficios ambientales, sociales y económicos que éstos generan (Haksever y Markoc, 2020). Aunado a esto, Sendzimir Foundation (2010) menciona que, con una planeación, aplicación y mantenimiento adecuado, los techos verdes pueden mantenerse por décadas, aumentando así su sustentabilidad; sin embargo, enfatiza que, si se aplica un sistema incorrectamente, ésta puede ser fuente de muchos riesgos y desafíos; por lo cual es necesaria una difusión clara del funcionamiento de los techos verdes, sus componentes, beneficios y principales desafíos que éstos presentan a lo largo de su vida útil, enfatizando que el diseño se tendrá que adaptar a las necesidades específicas de cada proyecto para obtener aplicaciones sustentables (Kuper, 2009).

Es de gran importancia que el diseño, construcción y gestión de las áreas verdes respondan a los desafíos urbanos actuales y generen mayor inclusión y seguridad (Jordán y Segovia, 2005). Por lo que los techos verdes deberían ser una estrategia urbana apoyada por los sectores de gobierno y educación, aumentando la conciencia social sobre los beneficios que éstos ofrecen (Sendzimir Foundation, 2011). Las Naciones Unidas (2020a) enfatiza que al optar sistemas urbanos sustentables se alcanzan ciudades estables, prósperas, amigables con el medio ambiente y con una mejor calidad de vida; reconociendo que, si los techos verdes se implementaran de manera general en las edificaciones de una ciudad, se aumentaría la cantidad de áreas verdes a nivel urbano y se obtendrían beneficios ambientales, económicos y sociales a gran escala (IMPLAN, 2020a).

V. METODOLOGÍA

5.1 Tipo de estudio

El presente estudio tendrá un enfoque cualitativo, donde se evaluará el impacto potencial de los techos verdes a nivel urbano

5.2 Diseño metodológico

El diseño metodológico de esta investigación está basado en la Guía Metodológica de Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES) de la División de Vivienda y Desarrollo Urbano del Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2016), la cual provee un programa para el desarrollo y ejecución de proyectos y acciones de sustentabilidad urbana. Dicha guía comprende seis fases agrupadas en dos etapas, las cuales se muestran en la figura 3; la primera etapa se centra en la metodología y el desarrollo de plan de acción y la segunda etapa se enfoca en la ejecución del plan. Para efectos de este estudio se utilizará desde la fase uno de Análisis-Diagnóstico hasta la fase tres denominada Plan de Acción. A continuación, se describirán las fases a utilizar con base a la Guía Metodológica ICES, las cuales se adaptaron a las condiciones específicas del proyecto

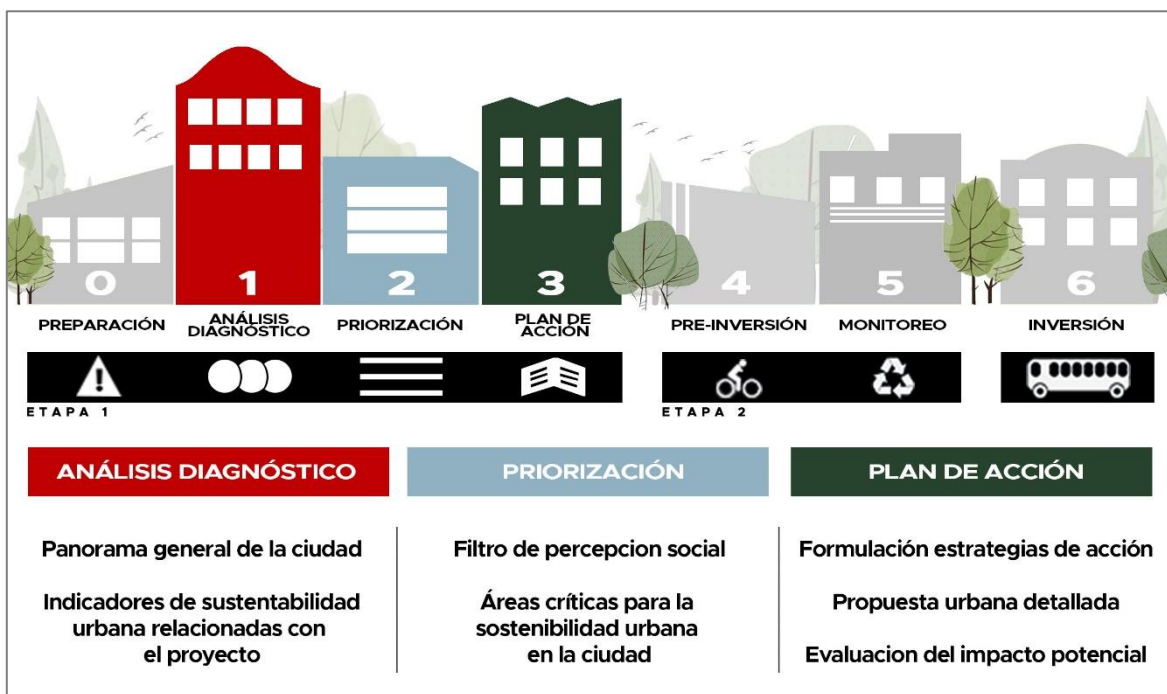


Figura 3. Descripción de fases

Fuente: Elaboración propia, en base a Banco Interamericano de Desarrollo (2016).

FASE 1. Análisis y diagnóstico

Consiste en un diagnóstico detallado de la ciudad mediante datos obtenidos de fuentes secundarias, organizaciones oficiales y autoridades correspondientes, para conocer los aspectos urbanos, sociales, económicos y ambientales que componen el objeto de estudio. Procediendo a estudiar los indicadores de sustentabilidad urbana aplicables al proyecto

FASE 2. Priorización

Con base a la información obtenida en la fase 1, se procede a realizar un filtro de percepción social para conocer la opinión pública de los indicadores prioritarios para el proyecto y poder identificar las áreas críticas urbanas para la sustentabilidad

FASE 3. Plan de acción

En el plan de acción se desglosan las características técnicas, requerimientos, implementación en tiempo, y los resultados e impactos que se esperan alcanzar en mediano y largo plazo. Basada en la formulación de estrategias de acción para la creación y evaluación del impacto potencial de la propuesta

Alcance

El alcance de la propuesta urbana paisajística y la evaluación de su impacto se limita a construcciones comerciales y residenciales de un nivel en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. El tiempo empleado en el estudio abarca desde agosto 2020 a septiembre del 2021.

Pregunta de investigación

¿Cómo y en que condiciones los techos verdes pueden incrementar la sustentabilidad urbana en ciudades con clima árido seco?

Objeto de estudio

El objeto de estudio de esta investigación es el potencial de implementación de los techos verdes a una escala urbana.

Selección del lugar que ubica al objeto de estudio

El objeto de estudio se elegirá por conveniencia debido a la facilidad de acceso a la información que compone el área de investigación donde se planteará la propuesta.

Selección y tamaño de muestra

Como parte de la fase dos se requiere analizar la percepción social de los ciudadanos que habitan la ciudad de estudio bajo la implementación de encuestas.

Instrumentos de recolección y manejo de datos

Los instrumentos necesarios para llevar a cabo la recolección y el procesamiento de información y el desarrollo de la propuesta son Excel, Word, AutoCAD para el desarrollo del proyecto en dos dimensiones, Sketchup para el diseño en una tercera dimensión, Twinmotion en cuestiones de renderizado y Photoshop para la post edición.

VI. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos en base al seguimiento de la Guía Metodológica de Iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES). El cual contiene: Análisis y diagnóstico (Fase 1), Priorización (Fase 2), y Plan de acción (Fase 3).

6.1 Fase 1 Análisis y diagnóstico

Se investigó en fuentes oficiales como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Instituto Municipal de Planeación Urbana (IMPLAN), Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), Banco Interamericano del Desarrollo (BID), Ayuntamiento de Hermosillo; los aspectos demográficos, geofísicos, socioeconómicos, fiscales, e infraestructura que componen la zona urbana para tener un panorama general de la ciudad.

6.1.1 Objetivo de estudio

El estudio se llevará a cabo en la ciudad de Hermosillo capital del estado de Sonora, limitando al norte con Estados Unidos, al sur con Sinaloa, al este con Chihuahua y al oeste con Baja California. El municipio de Hermosillo cuenta con una superficie de 16,927 km², de ellos, 191 km² corresponden a la mancha urbana (ciudad de Hermosillo) ubicada en el paralelo 29°05' de latitud norte y el meridiano 110°57' de longitud oeste de Greenwich.



Figura 4 Ubicación de la ciudad de Hermosillo, Sonora, Mx

Fuente: Elaboración propia, en base a Google Maps, 2021.

6.1.1.1 Datos demográficos

El municipio de Hermosillo es el mayor en tamaño poblacional, representando una tercera parte de la población total de la entidad. Para el año 2020, se registró un total de 936,263 de personas, concentrando el 91% de su población total en la zona urbana, la cual es predominantemente joven con una edad mediana de 27.9 años, aproximadamente el 70% de los habitantes tiene 39 años o menos. En los siguientes gráficos se desglosan los datos estadísticos de la población que conforma Hermosillo.

Tabla 5 Población actual

CONCEPTO	DATO
Población total	936,263 personas
Porcentaje total de hombres	49.90 %
Porcentaje hombres de 0-14 años	12.10%
Porcentaje hombres de 15-24 años	09.00%
Porcentaje hombres de 25-44 años	15.40%
Porcentaje hombres de 45-59 años	08.20%
Porcentaje hombres de 60+ años	05.20%
Porcentaje total de mujeres	50.10%
Porcentaje mujeres de 0-14 años	11.50%
Porcentaje mujeres de 15-24 años	08.60%
Porcentaje mujeres de 25-44 años	15.20%
Porcentaje mujeres de 45-59 años	08.70%
Porcentaje mujeres de 60+ años	06.10%

Fuente INEGI Censo de Población y Vivienda, 2020.

Acorde a datos proporcionados por INEGI, se puede observar en la figura 5, una disminución general en la cantidad de nacimientos registrados del 2015 al 2019 en el municipio de Hermosillo, por otro lado, se registró un aumento en la tasa de mortalidad, pasando de 4,435 a 5,024 en los cuatro años registrados

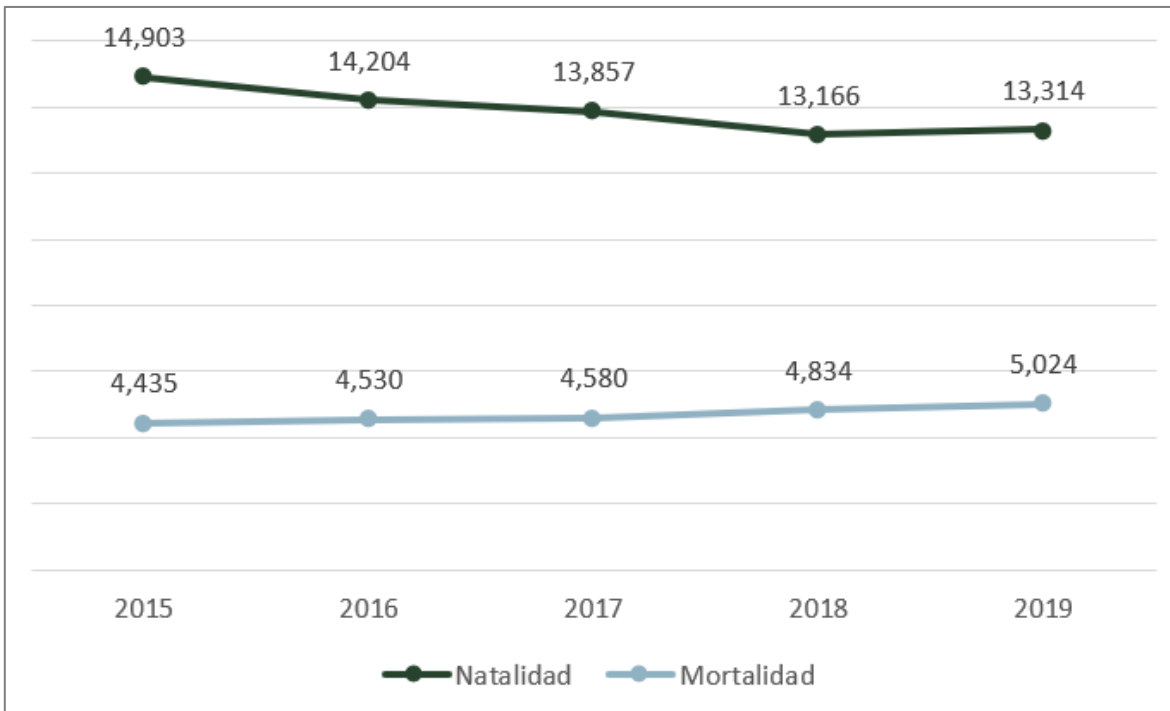


Figura 5 Nacimientos y defunciones

Fuente: Elaboración propia, en base a INEGI Censo de Población y Vivienda, 2020.

6.1.1.2 Información Geofísica

En este apartado se busca definir y analizar la estructura del medio físico y todo aquello relacionado con el territorio, su geografía y recursos naturales que componen la ciudad de Hermosillo, Sonora. Para una mejor comprensión se divide en: Clima, Hidrología, Topografía, y Vegetación.

6.1.1.2.1 Clima

La ciudad de Hermosillo, Sonora tiene un clima desértico, semicálido o árido-seco. Por lo cual es importante considerar el comportamiento climatológico para el desarrollo del proyecto; en los siguientes puntos se describen de manera textual y mediante tablas y gráficas el clima de la ciudad. Los datos presentados en este apartado fueron medidos y provistos por los doctores Marincic y Ochoa (2021), en la Base de datos de la Estación Meteorológica Automática del Laboratorio de Energía, Medioambiente y Arquitectura (LEMA) de la Universidad de Sonora, donde se midió la temperatura, la humedad relativa y la radiación solar durante todo el 2016 cada 10 minutos, siendo este año el último registrado de manera completa en dicha instalación.

- *Temperatura*

Hermosillo presenta veranos largos y parcialmente nublados con una duración aproximada de cuatro meses, del 23 de mayo al 21 de septiembre; la temperatura máxima promedio diaria es más de 38°C. Los inviernos son cortos, frescos, secos y mayormente despejados, con una duración de 2.8 meses, desde el 25 de noviembre al 20 de febrero, con una temperatura mínima promedio de 13°C. Los datos presentados a continuación, muestran los promedios máximos, medios y mínimos registrados durante el 2016 en el LEMA.

Tabla 6 Datos mensuales promedios de temperatura en °C

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Promedio máximo	29.86	35.31	35.88	36.1	40.01	47.03	44.43	42.51	41.54	39.78	36.13	33.05	38.47°C
Promedio medio	16.49	21.44	22.67	24.35	26.52	32.73	32.79	31.73	29.98	29.11	22.80	16.94	25.63°C
Promedio mínimo	5.10	4.36	9.67	9.43	15.34	19.42	21.84	21.99	20.25	16.05	8.03	4.86	13.03°C

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por LEMA, 2021.

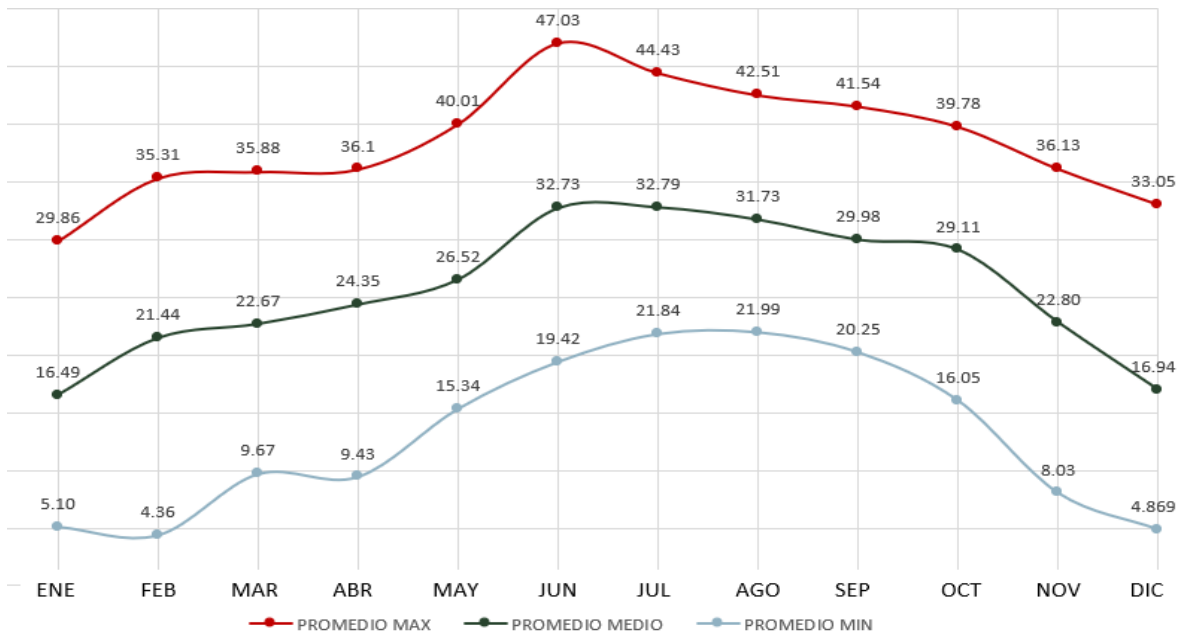


Figura 6 Temperaturas promedio mensuales en °C

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por LEMA, 2021.

Observando temperaturas máximas elevadas características del clima desértico, las cuales afectan de manera directa cada aspecto del desarrollo urbano; por lo que se requiere la implementación de estrategias pasivas para reducir la temperatura al interior de las edificaciones que componen la zona urbana.

- *Humedad relativa*

La humedad relativa es la relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener. En los siguientes gráficos se observa que el periodo más húmedo del año dura aproximadamente 3 meses, el cual abarca desde finales de junio a mediados de septiembre; en los meses de diciembre y enero también se presenta un elevado nivel de humedad. Los meses que presentan el menor promedio medio mensual son febrero y mayo con 24.57% y 31.04% respectivamente.

Tabla 7 Porcentaje de humedad relativa promedio mensual

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
HR máx	97.2	81.7	86.1	94.9	76.5	92.2	97.8	95	98.5	81.7	82.7	99.6
HR media	42.87	24.57	32.62	31.46	31.04	33.84	50.11	55.69	52.72	39.7	37.49	55.06
HR min	7.77	4.55	7.03	7.02	6.82	5.42	17.94	15.05	12.9	10.37	10.92	12.71

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por LEMA, 2021.

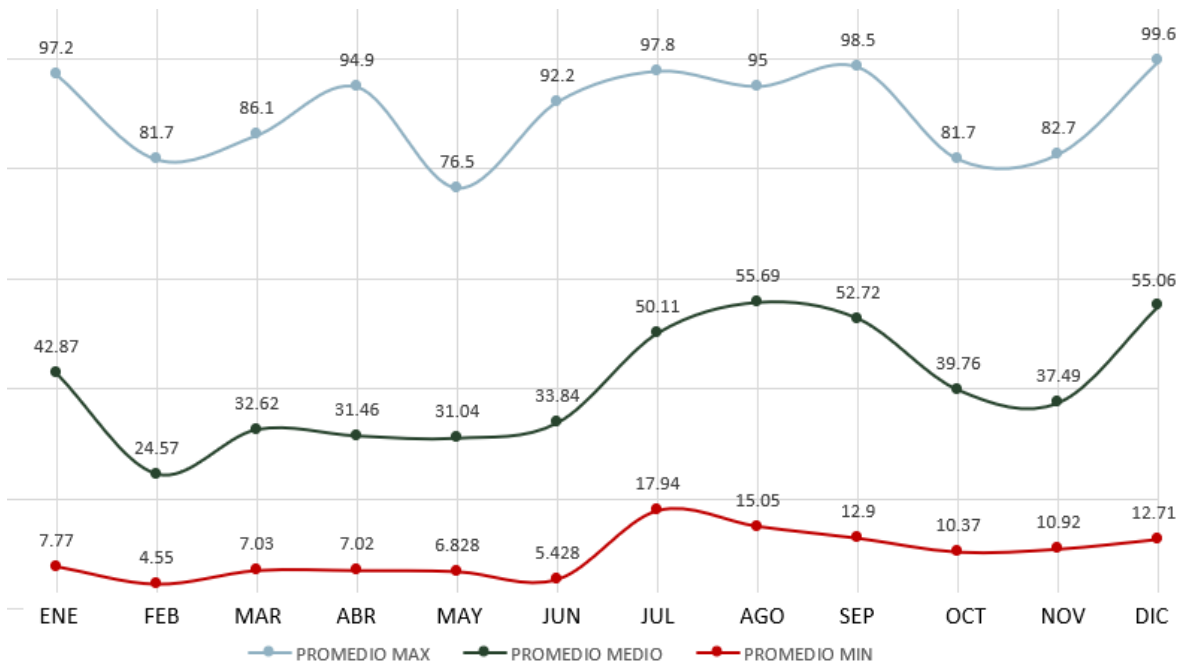


Figura 7 Porcentaje de temperaturas promedio mensuales

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por LEMA, 2021.

Se considera un estado de confort cuando la humedad relativa oscila entre el 40-60%, donde solo cinco meses se encuentran dentro de este rango. La implementación de techos verdes puede ayudar a aumentar los valores de humedad relativa mediante el proceso de evapotranspiración del sustrato y las plantas.

- *Radiación solar*

La radiación global es la suma de la radiación directa y la radiación difusa, la cual es expresada generalmente en irradiancia, siendo esta una medida de flujo de energía recibida por unidad de área y cuya unidad es vatio por metro cuadrado W/m^2 . Los datos recibidos por el LEMA se clasificaron para obtener el promedio mensual máximo y medio del intervalo del día entre las 9:00 y 16:00 horas.

Tabla 8 Promedio de radiación global en W/m^2

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Promedio máximo	802	877	964	1131	1189	1176	1147	1064	979	911	781	977.08
Promedio medio	517.09	606.2	738.5	804	867.96	820.69	776.52	754.47	659.8	622.8	505	401

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por LEMA, 2021.

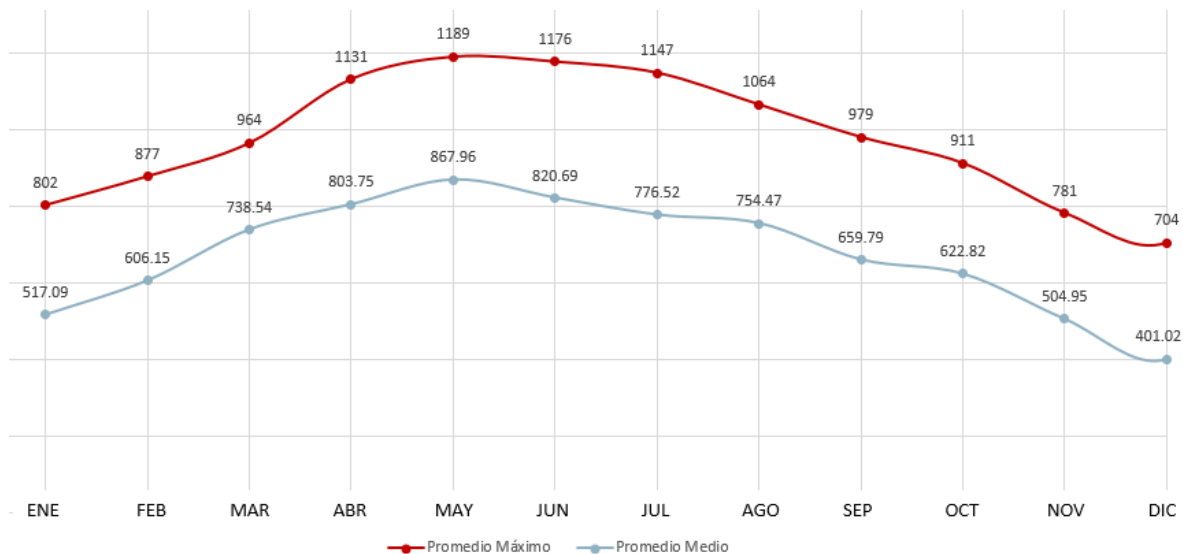


Figura 8 Promedio de radiación global

Fuente: Elaboración propia en base a datos proporcionados por LEMA, 2021.

En la figura 8 se puede observar que durante todo el año se recibe una cantidad alta de radiación global característica del desierto, donde la temporada de primavera-verano se tiene niveles de promedio máximo arriba de los $1000 W/m^2$; la cual gran parte es captada por las azoteas y transmitida al interior de las edificaciones. Investigaciones han demostrado que la infraestructura de techos verdes tiene la capacidad de influir de manera positiva en los aspectos climatológicos donde se encuentran, creando zonas de confort al interior de las construcciones y mitigando las islas de calor dentro de la zona urbana.

6.1.1.2.2 Hidrología

Dentro de la hidrología principal de la ciudad, se encuentran los ríos Sonora y San Miguel que desembocan en la Presa Abelardo Rodríguez Luján, la cual acorde al Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, 2021) tiene una capacidad de 284.470 hm³ y se encuentra a una elevación de 214.000 msnm; en el día actual 04 junio 2021 tiene un porcentaje de llenado del 0%.

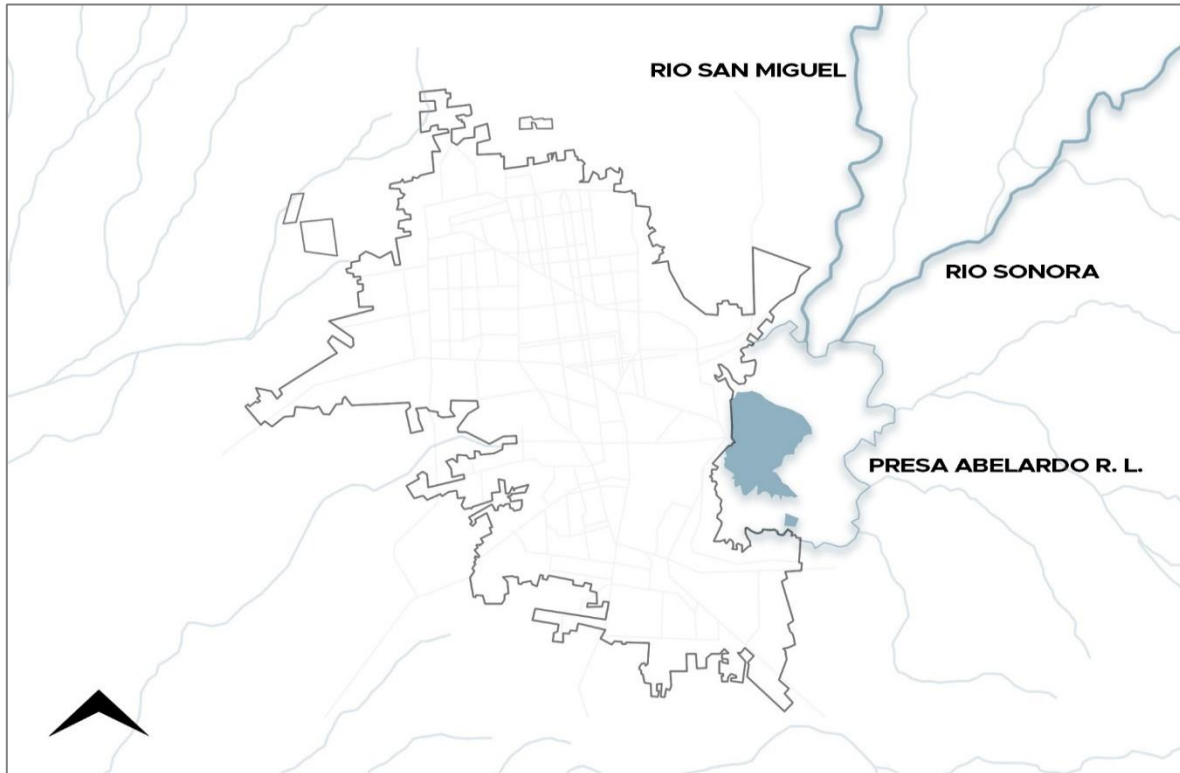


Figura 9 Hidrología de la Ciudad de Hermosillo

Fuente: Elaboración propia en base a Google Maps, 2021.

Para la implementación de infraestructura verde a un nivel urbano, es necesario conocer los recursos disponibles en la zona; la ciudad de Hermosillo presenta una carencia visible en su recurso hidrológico, por lo cual se requiere que el proyecto se adapte a estas condiciones. Una característica es la utilización de vegetación nativa que requiere un riego muy bajo para mantenerse en condiciones óptimas; aunado a esto, es indispensable proponer un sistema de riego de ahorro para maximizar el uso del agua y de ser posible la captación del agua pluvial y la reutilización de aguas grises.

6.1.1.2.3 Topografía

El municipio de Hermosillo se encuentra localizado sobre la llanura sonorense, identificando zonas de bajadas, llanuras, mesetas y lomeríos. La elevación de la Zona Metropolitana de Hermosillo va desde los 199 msnm en su parte poniente hasta los 250 msnm en el oriente. La mancha urbana, acorde a INAFED (2021), se compone aproximadamente en un 90% de terrenos regularmente planos. Las principales elevaciones existentes son las siguientes:

Tabla 9 Principales elevaciones dentro de la mancha urbana

Nombre de la elevación	Ubicación	Longitud (km)	Elevación (msnm)
Cerro de La Campana	Centro	0.5	300
Cerro La Cementera	Oriente	3	400
Cerro El Bachoco	Norte	Más de 18	650
Cerro Colorado	Noroeste	1.5	500
Cerro de La Virgen	Sur	1	370
Cerro Johnson	Norte	1	460
Cerro El Mariachi	Oriente	0.35	300
Cerro Bola	Noroeste	2.75	450
Cerro El Picacho	Norte	1	840
Sierra Agualurca	Sur	5	635
Sierra La Flojera	Oriente	3.5	400

Fuente: Elaboración propia, adaptada en base a IMPLAN, 2016.



Figura 10 Fotografía de elevaciones topográficas

Fuente: Córdova 2021.

6.1.1.2.4 Vegetación

Con base al Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo, el desierto de Sonora a pesar de que contiene una amplia variedad vegetal con 3,413 especies reportadas; cuenta con uno de los ecosistemas más frágiles a nivel mundial, lo cual se agrava por las lluvias escasas, la creciente sobreexplotación de los recursos naturales, las condiciones climatológicas, la degradación del suelo y la actividad humana. El principal factor limitante de la distribución natural de la vegetación en Hermosillo es la escasez del agua; ya que cada especie vegetal está adaptada a ciertas condiciones específicas y cuando éstas son favorables, la vegetación suele expandirse cubriendo mayores extensiones. En la historia de la ciudad, se ha dado una reforestación urbana bajo una gama de especies exóticas las cuales han sido introducidas por estética, disponibilidad o desconocimiento, dando paso a la insustentabilidad urbana; reportando que los árboles exóticos componen alrededor del 70.8% de los parques en la ciudad (IMPLAN, 2020b).



Figura 11 Fotografía de área verde en la zona centro de la ciudad

Fuente: Archivo propio.

La zona urbana de Hermosillo registra distintas categorías de vegetación, entre las cuales, se encuentra el mezquital, riego, matorral sarcocaulé, zona urbana, matorral desértico micrófilo, cuerpo de agua, pastizal inducido, riego suspendido, bosque y pastizal cultivados.


Tabla 10 Tipos de vegetación

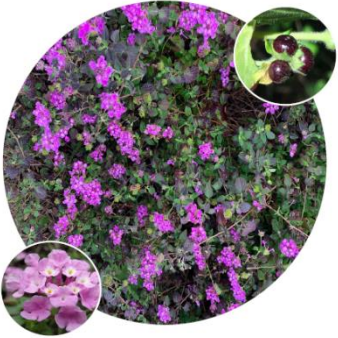
Tipo de vegetación	Descripción	%
Mezquital	Vegetación arbórea formada principalmente por mezquites	58.24
Riego	Cultivos que reciben agua mediante algún sistema de riego durante todo el ciclo agrícola	12.56
Matorral sarcocaula	Vegetación arbustiva mixta con abundancia de plantas de tallos carnosos (sarcocaulas)	9.86
Zona urbana	Lugar ocupado por más de 2500 habitantes	8.7
Matorral desértico micrófilo	Vegetación con predominancia de arbustos con hojas o folíolos pequeños	4.7
Cuerpo de agua	Diferentes formas de agua encontradas en la naturaleza	2.5
Pastizal inducido	Se desarrolla al eliminarse la vegetación original	1.07
Riego suspendido	Áreas que tuvieron irrigación y han sido abandonadas	0.86
Bosque cultivado	Plantaciones de árboles establecidos con diferentes fines: uso forestal, control de erosión, recreación, etc.	0.77
Pastizal cultivado	Se introduce por medio de labores de cultivo	0.74


Fuente: IMPLAN, 2016.


En el 2020, IMPLAN desarrolló la Paleta Vegetal del Municipio de Hermosillo con el fin de establecer un catálogo con las características principales de la flora representativa del municipio para consulta general que permita a través de fichas técnicas conocer la apariencia física, requerimientos, usos tradicionales y paisajísticos de los árboles, arbustos, suculentas y herbáceas que componen la paleta vegetal de la región. A continuación, se presentan ejemplos de especies que alcanzan una altura máxima de 1 metro de altura, con una exposición a pleno sol, que requieren riego bajo y bajo mantenimiento.

Tabla 11 Características generales de especies nativas

	BAILEYA MULTIRADIATA - Margarita del desierto		
	0.30-0.45m altura	0.30 m copa	0.003 m tallo
	Forma arbustiva		Mantenimiento bajo
	Riego muy bajo		Asoleamiento pleno sol
	Notas: Se adapta a suelos perturbados y prefiere suelos gravosos. Se ha promovido como una planta de gran atractivo para el paisajismo desértico. Atrae abejas, mariposas e insectos		

	LANTANA MONTEVIDENSIS - Lantana		
	0.20-0.50 m altura	1.5-2.5 m copa	0.01 m tallo
	Forma arbustiva	Mantenimiento moderado	
	Riego bajo	Asoleamiento pleno sol	
	Notas: Planta sin espinas. No tóxica. Atrae aves y mariposas. Es polinizada por insectos.		

	RUELLIA BRITONIANA – Ruelia Katty		
	0.30-0.50 m altura	0.3-0.6 m copa	0.005 m tallo
	Forma arbustiva	Mantenimiento moderado	
	Riego moderado	Asoleamiento pleno sol	
	Notas: Sus flores son visitadas por colibríes y mariposas. Se adapta bien a las condiciones locales.		

	TRADESCANTIA PALLIDA – Amor de hombre		
	0.40 m altura	0.40 m copa	0.007 m tallo
	Forma trepadora	Mantenimiento bajo	
	Riego bajo	Asoleamiento pleno sol	
	Notas: Atrae polinizadores y es hospedera de fauna silvestre		

Fuente: Elaboración propia adaptada en base a IMPLAN, 2020b.

También existe una gran variedad de zacates y cactáceas adaptados a las condiciones climatológicas de la región. Las condiciones generales de la vegetación nativa del desierto de Sonora son que requieren poca agua, soportan temperaturas elevadas, radiación solar intensa y requieren poco mantenimiento para tener un desarrollo óptimo; concluyendo que hay gran variedad de colores, formas, alturas, y texturas que se pueden implementar en el diseño urbano paisajístico.

6.1.1.3 Huella Urbana

Hermosillo presenta una tasa de crecimiento anual de la huella urbana de 3,1% y el indicador de densidad (neta) de la población urbana es de 56.2 hab/km².



Figura 12 Perspectiva de la Ciudad de Hermosillo

Fuente: Córdova 2021.

6.1.1.3.1 Uso del Suelo

Acorde a IMPLAN (2016), el límite de crecimiento de la mancha urbana de Hermosillo está constituido por 39,100 has. de las cuales el 36.35% son lotes construidos, el 37.66% son lotes baldíos, el 6.67% son destinadas a conservación ecológica, y el 19.31% corresponden a las vías públicas al interior de la zona urbana. La superficie baldía constituye alrededor de 17,335.66 has. dentro de la zona urbana, de las cuales el 80% se considera para uso habitacional.

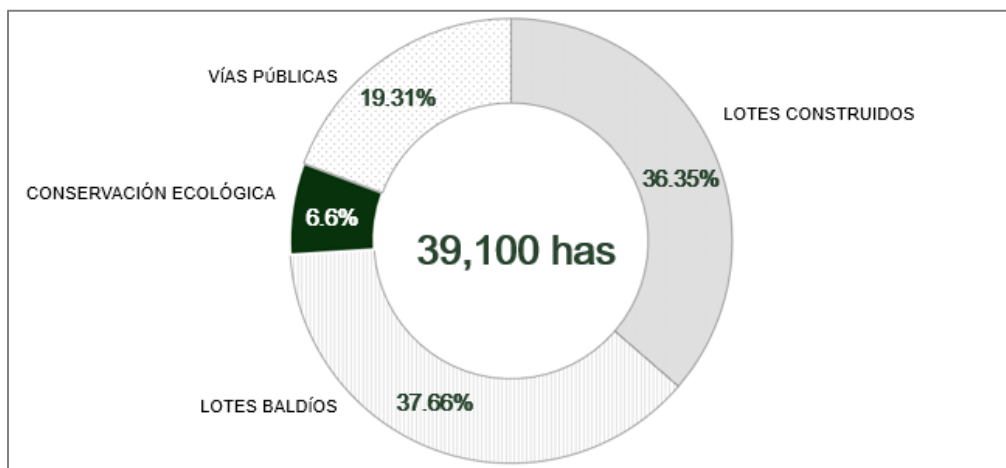


Figura 13 Intensidad de uso de suelo

Fuente: Elaboración propia en base a IMPLAN, 2016.

El crecimiento urbano que se ha dado en la ciudad de Hermosillo está relacionado a ventos sociales y económicos de la población, aunado a esto, la infraestructura se ha desarrollado conforme a las necesidades del suelo urbanizado como se muestra en el mapa

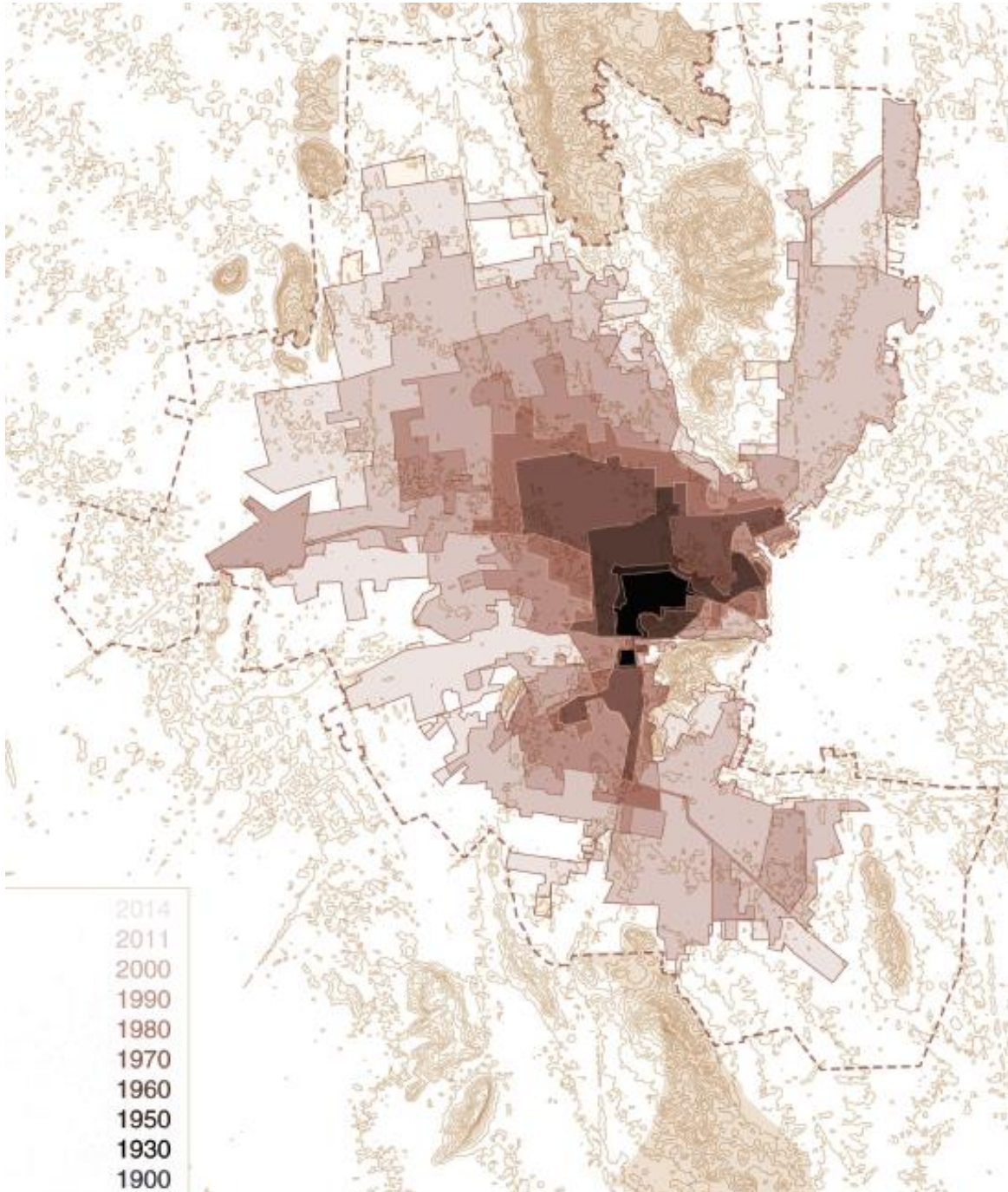


Figura 14 Diagrama del crecimiento de la mancha urbana de la ciudad

Fuente: Harvard Graduate School of Design y Banco Interamericano de Desarrollo, 2017.

6.1.1.3.2 Asentamientos irregulares

La ocupación ilegal de terrenos urbanos se ha dado durante la historia de Hermosillo, causando un desorden en el desarrollo y expansión urbana. Los terrenos invadidos han sido regulados con el tiempo por las autoridades correspondientes, de tal manera que las zonas que empezaron como invasión ahora son consideradas colonias consolidadas que cuentan con los servicios urbanos correspondientes.

6.1.1.3.3 Hogar y Vivienda

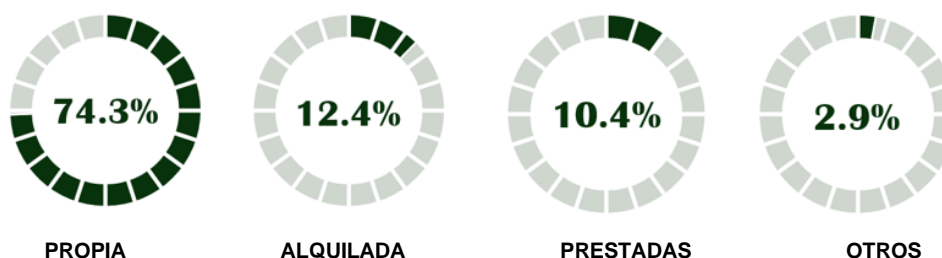
El rezago habitacional durante el 2017 declara que el porcentaje de viviendas que no cumplen con los estándares de habitabilidad para la ciudad es del 2,68%. Según estadísticas de INEGI, en 2018 el 32.3% de los hogares hermosillenses son encabezados por una jefa de familia y el 67.7% por un jefe de familia. En la siguiente tabla se presenta el total de viviendas habitadas en el 2020 y los porcentajes de infraestructura.

Tabla 12 Hogar y Vivienda de la ciudad de Hermosillo

CONCEPTO	DATO
Total de viviendas particulares habitadas	278,550
Porcentaje viviendas con agua entubada	98.1%
Porcentaje viviendas con electricidad	99.3%
Porcentaje viviendas con drenaje	97.0%
Porcentaje viviendas con calentador solar de agua	0.50%
Porcentaje viviendas con paneles solares	0.30%
Promedio de ocupantes en viviendas particulares	3.30

Fuente: INEGI Censo de Población y Vivienda, 2020.

Durante el 2015, el 74.3% de la tenencia de las viviendas en Hermosillo son propias, 12.4% rentadas, 10.4% son prestadas o de un familiar y el 2.9% de otra índole



6.1.1.4 Socioeconómicos

La ciudad de Hermosillo cuenta con una ubicación geográfica estratégica por su cercanía a la frontera y se especializa en cuatro actividades principales: agricultura, industria, comercio y servicios. Hermosillo se encuentra dentro del 5% de los municipios más prósperos de México, ya que sus ingresos per cápita es casi cinco veces superior al de los municipios más pobres del país, ubicándose en el octavo municipio con mayor valor de producción a nivel nacional

6.1.1.4.1 Actividades económicas

Las principales actividades industriales que se tienen en la ciudad provienen de los sectores automotriz, cementera, telecomunicaciones y maquilas. El Programa de la Industria Manufacturera, Maquiladora y de Servicios de Exportación (IMMEX) registró en el 2019, 50 establecimientos, dando lugar a 28,892 trabajadores. En 2019, IMSS registró 14,066 empresas formales en Hermosillo, las cuales emplearon a 195,581 trabajadores permanentes y 40,805 trabajadores eventuales. La Secretaría de Economía Federal reportó una Inversión Extranjera Directa al estado de Sonora de \$417 millones de dólares en 2019.

6.1.1.4.2 PIB

El Producto Interno Bruto de Hermosillo en el año 2018 era de \$192,881.4, el cual como se observa en el gráfico, hubo una disminución en comparación al 2017. Sin embargo, acorde a IMPLAN (2016), la ciudad de Hermosillo tiene un PIB per cápita comparable con países como Grecia, Estonia y República Checa.

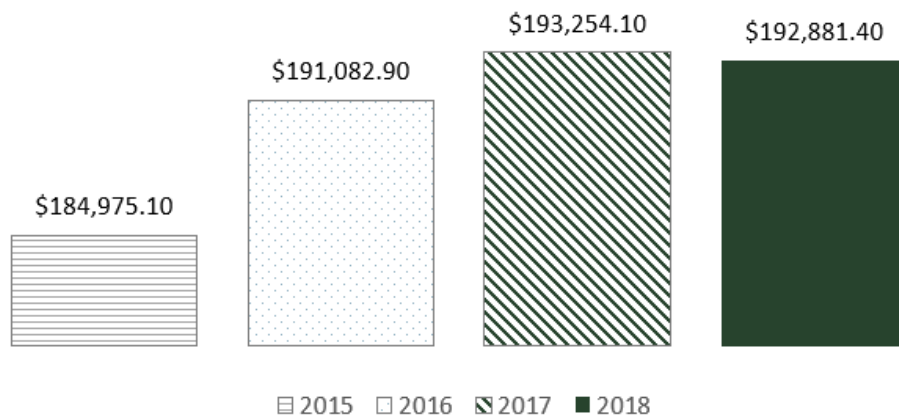


Figura 15 PIB per cápita en Hermosillo

Fuente: Elaboración propia en base a IMPLAN, 2016.

6.1.1.4.3 Desigualdad social

Según datos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2020), en el 2018, México destinó al gasto social el 7.5% de su PIB, mientras que el promedio en otros países de la OCDE es del 20.1% del PIB. De acuerdo con el Consejo Nacional para la Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), en 2015, el 25.9% de los sonorenses vivía en condiciones de pobreza moderada y el 2.9% en pobreza extrema. Los datos de situación de desigualdad social dentro de la ciudad de Hermosillo muestran que se redujeron 4.1% en pobreza moderada y 1.9% en pobreza extrema, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 13 Indicadores de pobreza para Hermosillo en el 2015

	Porcentaje		No. personas	
	2010	2015	2010	2015
Población en situación de pobreza	25.4	19.4	205,006	179,475
Población en situación de pobreza extrema	3.3	1.4	26,227	12,677
Población en situación de pobreza moderada	22.2	18.1	178,779	166,797
Población vulnerable por carencias sociales	29.1	31.1	234,960	287,709
Población vulnerable por ingresos	7.6	6.2	60,966	57,305
Población no pobre y no vulnerable	37.9	43.2	305,131	399,142

Fuente: Elaboración propia en base a IMPLAN, 2016.

6.1.1.4.4 Salud

La atención médica con la que cuenta la ciudad se brinda través de instituciones como IMSS, ISSSTE, Seguro Popular y una serie de instituciones privadas, las cuales cuentan con hospitales y clínicas para brindar el servicio al derechohabiente.

Tabla 14 Salud y seguridad social

CONCEPTO	DATO
Porcentaje de la población derechohabiente en el IMSS	67.9%
Porcentaje de la población derechohabiente en ISSSTE	16.2%
Porcentaje de la población derechohabiente en Seguro Popular	12.3%
Porcentaje de la población derechohabiente en PEMEX, SDN o SM	0.60%
Porcentaje de la población derechohabiente en instituciones privadas	5.80%

Fuente: INEGI Censo de Población y Vivienda, 2020.

6.1.1.4.5 Educación

El índice de analfabetismo en Hermosillo es del 2,2%, un tercio total nacional y el promedio de escolaridad es 2 años superior a los 9 años de escolaridad en el resto del país. Acorde al año 2020, el 26.50% de la población de 15 años y más cuenta con instrucción media superior (INEGI, 2020). La ciudad de Hermosillo cuenta con una oferta considerable del equipamiento educativo, tanto del sector privado como público. De acuerdo con los lineamientos del Sistema Normativo de Equipamientos Urbanos emitidos por SEDESOL, Hermosillo cuenta con una oferta educativa suficiente, representada en la siguiente tabla.

Tabla 15 Resumen de equipamiento educativo

Nivel Educativo	Escuelas	Aulas	Alumnos	Escuelas requeridas	Déficit/ Superávit
Preescolar	348	1,330	30,062	133	215+
Primaria	388	3,499	93,943	225	163+
Secundaria	134	1,466	49,063	60	74+
Capacitación para el trabajo	43	--	20,011	16	27+
Educación especial	85	116	7,878	4	81+
Media Superior	91	730	34,112	12	79+
Superior	126	2,306	49,926	20	106+
Total	1,215	9,447	284,995	470	745

Fuente: Elaboración propia en base a IMPLAN, 2016.

6.1.1.5 Políticos e Institucionales

Existen diversos instrumentos jurídicos, planes y programas a nivel internacional, federal, estatal y municipal que regulan las características legales sobre la planeación urbana y el establecimiento de áreas verdes, entre las más destacadas están:

Programas Internacionales

Objetivos y metas de Desarrollo Sostenible 2030. Establece diecisiete objetivos para enfrentar los desafíos globales, mejorar la vida de las personas y trabajar para un futuro sustentable; entre las que se encuentra acciones por el clima y la implementación de ciudades sustentables e incluyentes.

ONU-Habitat Nueva Agenda Urbana (NAU). Tiene como objetivo contribuir al desarrollo sustentable de las ciudades, y tiene la visión de ver a las ciudades como parte de la solución.

Fundamentación Jurídica Federal

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. Establece artículos que fundamentan la actividad de planeación urbana en el país (26, 27, 73 y 115)

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Determina los usos y destinos del suelo urbano para infraestructura, equipamiento y vivienda

Ley General de Cambio Climático. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano, mediante la adaptación al cambio climático y la mitigación de gases de efecto invernadero

Programa Regional de Desarrollo del Norte. Instrumento para el desarrollo de infraestructura, equipamiento y servicios que eleven la calidad de vida, inclusión social, productividad y sustentabilidad

Fundamentación Jurídica Estatal

En el estado de Sonora están vigentes ciertas leyes y planes que regulan el diseño, actividad y el desarrollo del equipamiento relacionado con áreas verdes urbanas, entre las cuales se pueden encontrar

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente del Estado de Sonora. Mejorar la calidad de vida de la población mediante el impulso a un desarrollo urbano sustentable. Orientación de los procesos de urbanización para generar una relación eficiente entre las zonas de producción y trabajo con las de vivienda y equipamiento

Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del Estado de Sonora. Regular el desarrollo urbano, asegurar la dotación suficiente de infraestructura y equipamiento para el desarrollo urbano

Plan Estatal de Desarrollo 2015-2021. Gobierno generador de infraestructura para la calidad de vida y la competitividad sustentable mediante la promoción de proyectos estratégicos sustentables con participación de capital público y privado

Fundamentación Jurídica Municipal

De la misma manera, el municipio de Hermosillo cuenta con su reglamento de construcción, protección civil y Plan de Desarrollo, para generar un incremento en la calidad de vida de sus habitantes; junto con manuales de lineamientos de Infraestructura Verde

Reglamento de construcción para el municipio de Hermosillo. Establecer los requerimientos para regular las características en las edificaciones, normando el uso de la vía pública, habitabilidad, higiene, funcionamiento, seguridad estructural y prevención.

Reglamento de protección civil para el municipio de Hermosillo. Regular las acciones de prevención, mitigación, auxilio, reconstrucción, y salvaguarda de las personas, sus bienes, la propiedad pública y el medio ambiente. Inspección, control, vigilancia de las instalaciones, equipos y aparatos relacionados con la protección de las personas y de los bienes muebles, inmuebles o establecimientos.

Reglamento de Participación Ciudadana. Garantizar la solidaridad y equilibrio entre las distintas colonias y barrios del territorio municipal.

Plan Municipal de Desarrollo, 2016-2018. Hermosillo con calidad de vida y sustentabilidad

- Ordenar y regular el crecimiento sustentable presente y futuro de los asentamientos humanos en el territorio municipal.
- Fortalecer la planeación urbana, con visión metropolitana y sustentable, para el desarrollo ordenado del municipio.
- Impulsar la visión de un municipio ecológico, mediante una agenda verde que contemple políticas de sustentabilidad para la mitigación y reducción de impactos ambientales negativos basadas en la protección y conservación de recursos naturales

Manual de Lineamientos de Diseño de Infraestructura Verde (IV). Guiar el diseño para incorporar infraestructura verde con lineamientos técnicos a microescala y aplicación a macro escala para el marco jurídico y de planeación de los municipios

Norma Técnica de Infraestructura Verde en el Municipio de Hermosillo. Regular el uso y manejo de la vegetación nativa y no nativa presente en el Municipio.

6.1.1.6 Infraestructura

El municipio de Hermosillo, siendo la capital del estado cuenta con una oferta de infraestructura y equipamiento suficiente para satisfacer las necesidades de la población regional y en algunos casos a nivel estatal (IMPLAN, 2016).

Agua Potable

El sistema de agua potable de la ciudad cuenta con una infraestructura de extracción de agua, potabilización, regulación y distribución para una cobertura estimada del 98% de la zona urbana. De acuerdo con el indicador de CONAGUA, Hermosillo se localiza en una zona con un alto nivel de presión sobre el recurso hídrico con un 75.9%. Acorde a IMPLAN (2016), en Hermosillo existen problemas de pérdida de presión que ocasionan fugas de agua, entre las principales causas está la existencia de tomas clandestinas en asentamientos urbanos irregulares, el desgaste de los elementos, la construcción de viviendas alejadas a gran distancia de los tanques de abastecimiento, y el crecimiento desordenado de la red de agua potable que se ha dado debido a que la expansión de la mancha urbana no ha sido a la par de la infraestructura existente.

Energía eléctrica

El sistema de energía eléctrico da una cobertura del 100% en asentamientos urbanos regulares, sin embargo, existen asentamientos irregulares que no cuentan con este servicio. Para el 2014, el municipio de Hermosillo contaba con 6,288 km de líneas de media tensión y 1,554 km de líneas de baja tensión para la distribución de la energía eléctrica. La zona urbana de Hermosillo cuenta con dos plantas generadoras de energía eléctrica.

- Planta Central de Ciclo Combinado Unión Fenosa, la cual tiene una capacidad de 250 MW y con utilización de gas natural como combustible
- Planta Fuerza y Energía de Hermosillo con una capacidad de 243.5 MW

Drenaje

El sistema de alcantarillado sanitario de Hermosillo, lo constituye una extensa red de tuberías que reciben las descargas de aguas residuales urbanas, las cuales son conducidas por la zona urbana y descargadas en canales de riego, así como en la planta de tratamiento de aguas residuales municipal.

Entorno Urbano Vial

Las condiciones del entorno urbano vial en la ciudad de Hermosillo, en base al estudio Informe de Indicadores 2020, se observa que del total de manzanas que componen la zona urbana, cerca del 50% no cuentan con pavimento, banqueteta, guarnición; el 76% carece de árboles y más del 80% no tiene rampas para silla de ruedas, como se muestra en el siguiente gráfico. Hermosillo está conformada por 2,711.15 km de vialidades, de las cuales solo 2,068.8 kilómetros están pavimentados. Acorde a IMPLAN (2016), la red de pavimento ha cumplido su vida útil, sumando el exceso de tránsito vehicular, poca infraestructura de red pluvial y el insuficiente trabajo de mantenimiento ha ocasionado baches, grietas y hundimientos, disminuyendo la calidad de vida de los hermosillenses.

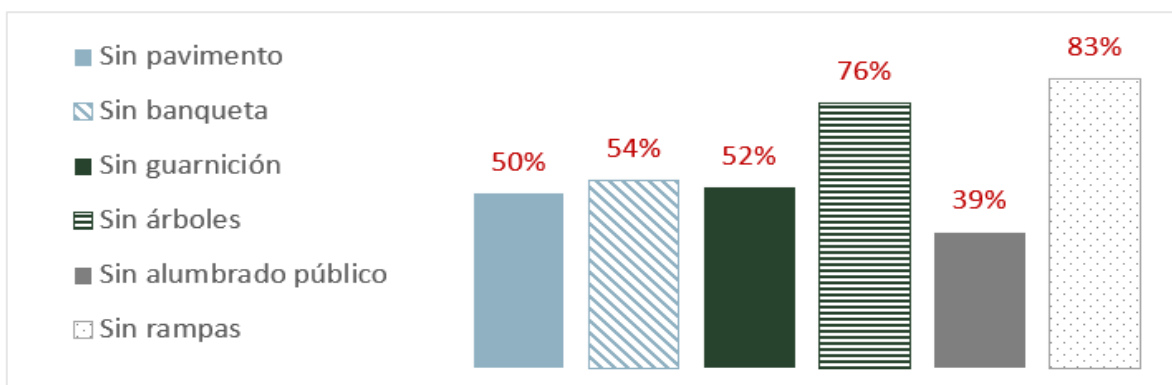


Figura 16 Condiciones del entorno vial de Hermosillo

Fuente: Elaboración propia en base a Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

La ciudad se conforma por una serie de vialidades primarias, secundarias y colectoras que conducen el flujo vehicular internos hacia los de mayor jerarquía para integrarse a la estructura vial de la zona urbana. Según datos de IMPLAN, cerca del 48% de los viajes se realizan en automóvil particular, seguido por un 42% en transporte público, el 5% de las personas se desplazan a pie y solo el 3% lo hacen en bicicleta; otros medios que se utilizan en la ciudad para transportarse son los taxis, motocicletas y sistemas de transporte privado.

Transporte público

El sistema de transporte público está conformado por 19 líneas y 350 unidades de transporte que dan servicio a la zona urbana por medio de sectores, concentrándose en la zona centro. En la ciudad no existen carriles exclusivos para el transporte público, por lo cual tienen que transitar por las vialidades junto con los automóviles, camiones de carga y bicicletas, lo que ocasiona una reducción en la eficiencia de movilidad urbana.

Ciclista

De los 2,711.15 km de vialidades con las que se cuenta, solo 125 km tienen espacio para circulación de bicicletas, localizadas en los principales corredores. Los principales usuarios que utilizan este medio de transporte son empleados de la construcción, estudiantes y algunos grupos que practican el ciclismo recreativo.



Figura 17 Fotografía infraestructura ciclista existente

Fuente: archivo propio.

Red peatonal

Hermosillo no cuenta con una red peatonal establecida; en ciertas zonas de la ciudad como el centro histórico, se les ha dado prioridad a las banquetas, sin embargo, según IMPLAN estas no son adecuadas para el tránsito de personas con discapacidad, ya que dicha infraestructura presenta en algunos casos, obstáculos para los peatones por cuestiones de mobiliario urbano, equipamiento de las edificaciones o daños físicos.



Figura 18 Estado actual de infraestructura banquetas para movilidad peatonal

Fuente: archivo propio.

Espacios públicos

Con base a INEGI, cerca del 61% de la superficie total de espacios públicos abiertos se localizan en los sectores poniente y oriente de la ciudad, dichos espacios se clasifican en plazas, bulevares y arbolado. En base al estudio Informe de Indicadores 2020 (Hermosillo ¿Cómo vamos?, 2020), se registraron los siguientes equipamientos durante el 2019 en la ciudad de Hermosillo

Tabla 16 Equipamiento de los Espacios Públicos

Tipo de equipamiento	Unidades
Parques	767
Áreas deportivas	527
Áreas verdes	4.4 km ²

Fuente: Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Con el estudio presentado de la ciudad de Hermosillo se concluye que la red de infraestructura urbana existente tiene la capacidad de satisfacer las necesidades actuales de la población; sin embargo, el desarrollo de dicha infraestructura carece de una planificación urbana por lo que se ha tenido que adaptar a las condiciones generadas por el rápido crecimiento poblacional que se ha dado en la ciudad con el paso del tiempo. En el tema del entorno urbano vial y movilidad se presentan carencias notables en la gestión de esta infraestructura, la cual influye de manera directa en el desarrollo sustentable de la ciudad y en la calidad de vida de los usuarios que la habitan.

Con esto se concluye que la ciudad de Hermosillo posee las cualidades para un desarrollo sustentable, el cual se puede alcanzar por medio de proyectos y estrategias que mejoren las carencias actuales e impulsen el crecimiento urbano en los sectores ambientales, económicos, físicos y sociales, con el fin de crear una ciudad mas inclusiva, segura y sustentable, como lo establece el objetivo 11 de los Objetivos del Desarrollo Sustentable.

6.1.2 Indicadores de sustentabilidad urbana

El desarrollo de esta fase está basado en la recolección de información para el diagnóstico de un conjunto de 127 indicadores, agrupados en 30 temas y clasificados en las tres dimensiones de la metodología ICES: 1) Cambio climático y medio ambiente, 2) Desarrollo urbano, y 3) Fiscal y gobernabilidad; los cuales constituyen una herramienta para identificar las áreas críticas de las ciudades y definir el estado actual de cada uno de los temas en base a la comparación con índices de referencia internacionales.

Para el progreso de este apartado, se consultó el estudio realizado por el Ayuntamiento de Hermosillo junto con el Banco Interamericano de Desarrollo: *Hermosillo a escala humana, ciudad diversificada, innovadora y sostenible* (2018), el cual desarrolló cada indicador establecido por la metodología correspondiente a la ciudad de Hermosillo, Sonora; de los 127 indicadores, se seleccionaron los 5 principales indicadores relacionados con el presente proyecto de investigación, enlistados a continuación.

Tabla 17 Indicadores de sustentabilidad urbana aplicables al proyecto

Calidad del aire	Existencia, monitoreo y cumplimiento de normas sobre la calidad del aire
	Concentración de PM10
Mitigación al Cambio Climático	Existencia y monitoreo de inventario gases de efecto invernadero (GEI)
	Emisiones de GEI/PIB
Uso del suelo	Áreas verdes cualificadas por habitante

Fuente: Elaboración propia en base a BID y Ayuntamiento de Hermosillo, 2018.

Estos indicadores se clasificaron conforme a la metodología ICES, con el sistema de semaforización representada de la siguiente manera:

Tabla 18 Clasificación del sistema de semáforo

Rojo	Estado crítico y presenta una gestión deficiente
Amarillo	Existe regazo en su servicio o gestión y hay oportunidad de mejora
Verde	Dentro del rango de equilibrio, con una gestión adecuada o buena

Fuente: Elaboración propia, en base a Banco Interamericano de Desarrollo (2016).

Tabla 19 Indicadores calidad del aire

CALIDAD DEL AIRE	DATOS	ESTADO
Existencia, monitoreo y cumplimiento de normas sobre la calidad del aire	Si hay	Amarillo
Concentración de PM10	50 µG/M ²	Amarillo

Fuente: Elaboración propia en base a BID y Ayuntamiento de Hermosillo, 2018.

La calidad del aire se basa en la medición de los cinco contaminantes regulados por la Ley de aire limpio de la Agencia de Protección Ambiental (EPA): ozono troposférico, materia particulada, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno. De los cuales el programa de medición existente en Hermosillo solo monitorea la concentración de partículas suspendidas PM10 y no cuenta con medición de los otros cuatro contaminantes, por lo cual no puede regular los límites máximos de la normatividad mexicana.

El Instituto de Ecología Municipal mantiene un constante monitoreo y ha demostrado que se mantiene en un rango promedio de 50 microgramos de concentración de PM10; sin embargo, se han realizado estudios que demuestran que no siempre se cumple con la normatividad nacional, ya que se han superado los 600 microgramos en la zona industrial donde también se han encontrado sustancias tóxicas en el aire, lo cual es una problemática ambiental y social, ya que puede llegar a afectar la salud pública de los habitantes.

La infraestructura verde tiene la capacidad natural de absorber dióxido de carbono y transformarla en oxígeno; la literatura ha estudiado la capacidad de los techos verdes de absorber elementos y compuestos contaminantes atmosféricos, aumentando la calidad del aire y por consecuente la calidad de vida urbana.

Tabla 20 Indicadores mitigación al cambio climático

MITIGACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	DATOS	ESTADO
Existencia y monitoreo de un inventario de gases de efecto invernadero (GEI)	Si hay	Amarillo
Emisiones de GEI/PIB	8.6 tCO ₂ e/hab	Amarillo

Fuente: Elaboración propia en base a BID y Ayuntamiento de Hermosillo, 2018.

Existe el instrumento para estimar el volumen y fuentes de emisiones GEI, sin embargo, no existe el sistema para una actualización periódica, por lo cual se coloca en color amarillo. Los niveles estimados colocan a Hermosillo con un alto nivel de emisiones de gases GEI per cápita, de los cuales provienen principalmente del sector transporte (35%), seguido por el sector empresarial (24%) y de los procesos industriales y uso de productos (16%).

Acks (2005) menciona en su estudio que los techos verdes tienen la capacidad de reducir entre un 10% hasta un 30% de los gases del efecto invernadero presentes en la atmósfera; lo que representaría un beneficio ambiental y económico a gran escala si se implementaran los techos verdes a un nivel urbano.

Tabla 21 Indicadores uso del suelo

USO DEL SUELO	DATOS	ESTADO
Áreas verdes cualificadas por habitante	2,14 m ² /hab	Rojo

Fuente: Elaboración propia en base a BID y Ayuntamiento de Hermosillo, 2018.

En el tema de ordenamiento de territorio, la ciudad cuenta con el Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Hermosillo el cual regula el uso de suelo y cuenta con un sistema de planificación urbana. En el indicador de áreas verdes cualificadas por habitante se tiene un resultado de 2.14 m²/hab, el cual según la literatura se recomienda un rango entre 9 y 12 m²/hab; dicho dato es referido por instituciones gubernamentales, organizaciones sociales y distintos autores hacia la Organización de las Naciones Unidas como fuente base; sin embargo, no se cuenta con la publicación oficial de dicho elemento, por lo que se establece como un rango recomendado sin ser un número obligatorio.

Tabla 22 Recomendaciones de área verde cualificada por habitante

Estudio	m² / hab
Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo (2014)	10
Secretaría del Medio Ambiente (2015)	9-11
Harvard Graduate School of Design y Banco Interamericano de Desarrollo (2017)	10
Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2018)	16

Fuente: Elaboración propia.

Para un mejor entendimiento de la situación de la ciudad de Hermosillo en este indicador, se desarrolló una tabla comparativa entre ciudades de México y también de Latinoamérica, en el cual se puede observar una amplia variedad de resultados dependiendo del clima de la ciudad y el Índice de Desarrollo Humano, el cual es un indicador establecido por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo (ONUD), con la finalidad de conocer si se cuenta con las condiciones de vida favorable para sus ciudadanos, el cual se basa en (1) Esperanza de vida al nacer, (2) Grado académico de la población, y (3) Producto Interno Bruto Per Cápita; donde 0 es la calificación más baja y 1 la más alta.

Tabla 23 Comparación de ciudades del indicador áreas verdes cualificadas por habitante

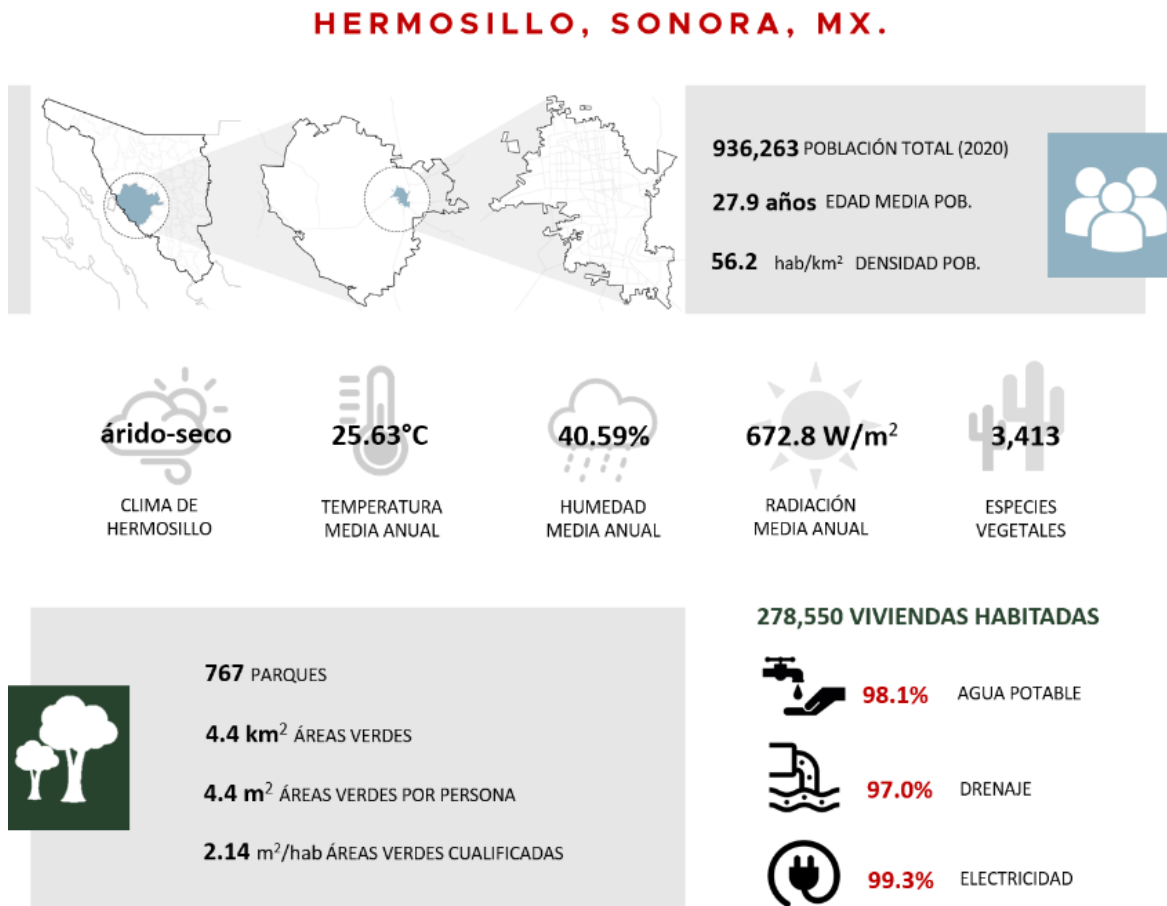
	m² / hab	clima	IDH
Hermosillo, Sonora	2.14	árido - seco	.802
CIUDADES EN MÉXICO			
León, Guanajuato	1.7	templado	0.756
Naucalpan, Estado de México	3.1	subhúmedo	0.784
Monterrey, Nuevo León	3.9	semi árido - cálido	0.807
Querétaro, Querétaro	4.6	templado - semi árido	0.787
Ciudad Juárez, Chihuahua	4.8	desértico	0.784
Saltillo, Coahuila	6.5	templado - semi seco	0.796
CIUDADES EN LATINOAMÉRICA			
Tegucigalpa, Honduras	1	tropical - seco	0.634
Pasto, Colombia	1	cálido – templado	0.767
Cumaná, Venezuela	2.0	árido – seco	0.711
Huancayo, Perú	2.4	cálido	0.771
Paraná, Argentina	10	subtropical húmedo	0.825
Panamá, Panamá	12	tropical	0.815

Fuente: Elaboración propia.

De los cinco indicadores seleccionados, se concluye que cuatro se muestran en color amarillo y uno en rojo, demostrando que existen puntos críticos que requieren el estudio e implementación de proyectos que mejoren la situación de dichos indicadores. Como se ha mencionado en el análisis literario, la creación de áreas verdes y específicamente los techos verdes, generan una serie de beneficios que impactan de manera positiva cada una de las ramas de la sustentabilidad y en este caso aumentarían los valores de calidad del aire, mitigación al cambio climático y la cantidad de áreas verdes cualificadas a nivel urbano.

Resumen fase 1

En la primera fase denominada Análisis y Diagnóstico se realizó una investigación detallada en distintas fuentes sobre el panorama general de la ciudad de Hermosillo, Sonora; donde se describió su localización geográfica, elementos geofísicos como el clima, la temperatura, humedad, radiación y también se describieron los componentes demográficos y socioeconómicos generales como se muestra en el siguiente gráfico:



Aunado a esto, se analizaron los indicadores de la sustentabilidad urbana relacionadas con el proyecto de investigación, resaltando la existencia de puntos críticos que requieren mejoras y proyectos que ayuden a aumentar el nivel actual de dichos indicadores.

INDICADORES SOSTENIBILIDAD URBANA HERMOSILLO



6.2 Fase 2. Priorización

En esta segunda fase se lleva a cabo la priorización de las áreas críticas para la sustentabilidad urbana a partir de la información obtenida en la fase anterior; aunado a esto, el filtro de percepción social es una herramienta fundamental dentro del desarrollo de esta etapa, para una mejor comprensión de la opinión de los ciudadanos con respecto a los problemas identificados anteriormente.

6.2.1 Filtro de percepción social

La organización ciudadana Hermosillo ¿Cómo Vamos? realizó de manera presencial entre el 18 de noviembre y el 10 de diciembre del 2020, una encuesta de percepción ciudadana sobre los principales servicios públicos y aspectos vinculados con la calidad de vida urbana en la ciudad de Hermosillo; la cual se aplicó a 1,609 personas mayores de 18 años residentes del municipio, en hogares seleccionados de manera aleatoria y siendo clasificados por zonas (norte, centro, sur, y rural), obteniendo resultados con un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 2.8%. El cuestionario se compone de 61 preguntas, abarcando 15 temas con el objetivo de conocer la percepción y el sentir de los ciudadanos respecto a los principales problemas que afectan Hermosillo.

Cabe mencionar, que el diseño, aplicación y recopilación de los resultados es obra intelectual de la organización Hermosillo ¿Cómo Vamos?; por otra parte, el análisis, contraste y gráficos que se presentan en esta sección, son los hallazgos correspondientes a este proyecto. De las 61 preguntas correspondientes a la encuesta original, se seleccionaron nueve preguntas vinculadas con el proyecto de investigación, las cuales se analizaron de manera detallada.

Tabla 24 Preguntas seleccionadas para la percepción social

Humor social	<i>¿Qué tan orgulloso está de ser hermosillense o vivir en Hermosillo?</i>
Servicios públicos	<i>¿Qué tan satisfecho se siente con la calidad de los servicios públicos?</i>
	<i>¿Que tan satisfecho se siente con las áreas verdes cerca de su casa?</i>
Seguridad	<i>¿Considera usted que vivir en esta ciudad es seguro o inseguro?</i>
	<i>¿Que tan seguro se siente en los espacios cuando no está acompañado?</i>

Gestión ambiental	<i>¿Que tan insatisfecho o satisfecho está usted en cuanto a los resultados de gestión ambiental de los siguientes temas?</i>
	<i>¿Que tan satisfecho o insatisfecho está usted en cuanto a los resultados de gestión ambiental sobre la cantidad de árboles en la ciudad?</i>
Participación ciudadana	<i>¿Durante el 2020 participó en alguna actividad para el beneficio de su colonia o municipio?</i>
	<i>Si la respuesta fue negativa ¿Cual es la principal razón de no haber participado en alguna actividad para el beneficio de su colonia o municipio?</i>

Fuente: Elaboración propia en base a Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Humor social

Para la pregunta *¿Qué tan orgulloso está de ser hermosillense o vivir en Hermosillo?*, se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla, la cual demuestra que el 90.74% de los participantes se encuentran orgullosos de vivir en Hermosillo. Representando esta respuesta un 91.41% del total de mujeres encuestadas y el 90.06% de los hombres.

Tabla 25 ¿Qué tan orgulloso está de ser hermosillense o vivir en Hermosillo?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	HOMBRES	MUJERES
	H	M	H	M	H	M	H	M				
Mucho	96	112	90	64	85	127	45	76	695	43.19%	316	379
Algo	105	93	164	102	95	106	45	55	765	47.55%	409	356
Poco	21	18	21	14	19	17	11	12	133	8.27%	72	61
Nada	4	4	0	0	0	2	4	2	16	0.99%	8	8
TOTAL ENCUESTADOS									1609	100%	805	804

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Servicios públicos

Para el tema de servicios públicos, se les pidió a los participantes catalogar los servicios de *agua potable, recolección de basura, alumbrado público, calles y pavimentación, semaforización y señales viales, y áreas verdes*; en un rango de muy insatisfecho a muy satisfecho, conforme a su experiencia personal en el año 2020. Obteniendo el porcentaje mayor del 43.70% el cual se encuentra satisfecho, siguiendo muy satisfecho con un 19.72%, siendo el 7.01% el valor menor que se tuvo con un nivel de muy insatisfecho correspondiente a los distintos servicios.

Tabla 26 ¿Qué tan satisfecho se siente con la calidad de los siguientes servicios públicos?

	Muy insatisfecho	Poco satisfecho	Algo satisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho
Agua potable	64	179	190	807	369
Recolección de basura	71	177	207	647	507
Alumbrado público	61	166	225	760	397
Calles y pavimentación	255	270	385	509	190
Semaforización y señales	99	217	293	764	236
Áreas verdes	127	219	326	732	205
% TOTAL	7.01%	12.72%	16.84%	43.70%	19.72%

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

El servicio público con el que la mayoría de la población se encuentra en un estado de muy satisfecho conforme a su calidad es el de recolección de basura con un 32.51%; por el contrario, el servicio con mayor insatisfacción es el correspondiente a calles y pavimentación con un 15.84%, siguiendo la calidad de áreas verdes con un 7.89% de las respuestas. Concluyendo que las mujeres están más satisfechas con los servicios públicos establecidos en la encuesta que los hombres, excepto en el tema de áreas verdes.

Tabla 27 ¿Que tan satisfecho se siente con la disponibilidad de áreas verdes cerca de su casa?

	Muy insatisfecho	Poco satisfecho	Algo satisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho
Norte	50	70	83	201	49
Centro	30	48	86	226	65
Sur	35	47	93	208	68
Rural	12	54	64	97	23
% TOTAL	7.89%	13.61%	20.26%	45.49%	12.74%
% HOMBRES	9.32	12.05	21.61	44.47	12.55
% MUJERES	6.47	15.17	18.91	46.52	12.94

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Con respecto a las áreas verdes, los habitantes de la zona sur y centro de la ciudad son los que se encuentran con una mayor satisfacción con la disponibilidad de los espacios existentes cerca de su vivienda; por otra parte, la zona norte es la que se encuentra con un mayor número de insatisfacción hacia este servicio. Se puede observar en la tabla que, de los resultados obtenidos en los distintos niveles de la escala, se presenta un alto nivel de equilibrio entre los porcentajes de respuesta entre hombres y mujeres.

Seguridad

Se obtuvo que el 36.36% de los ciudadanos considera que es inseguro vivir en Hermosillo, 36.30% percibe que no es seguro ni inseguro y el 27.34% opina que es seguro. En la siguiente tabla se indican los resultados obtenidos por género y zona, concluyendo que las mujeres se sienten más inseguras que los hombres, principalmente en la zona norte y rural

Tabla 28 ¿Considera usted que vivir en esta ciudad es seguro o inseguro?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%
	H	M	H	M	H	M	H	M		
Muy inseguro	13	22	10	6	15	16	10	25	117	7.27%
Algo inseguro	61	48	92	62	60	65	29	51	468	29.09%
Ni inseguro ni seguro	87	91	91	69	75	97	36	38	584	36.30%
Algo seguro	61	58	80	39	46	68	28	30	410	25.48%
Muy seguro	4	8	2	4	3	6	2	1	30	1.86%
TOTAL ENCUESTADOS									1609	100%

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Dentro del tema de seguridad, se les pidió que clasificaran que tan seguros se sentían en su casa, la calle, el parque, y en el transporte público, cuando no se encuentran acompañados; siendo la casa el espacio donde se sienten más seguros; sin embargo, los espacios donde se perciben mayor inseguridad es la calle, seguido por el parque; concluyendo que las mujeres se sienten menos seguras que los hombres en los espacios públicos de la ciudad cuando no están acompañadas; el desglose de las distintas áreas a detalle está en el apartado de anexos del presente documento.

Tabla 29 ¿Que tan seguro se siente en los siguientes espacios cuando no está acompañado?

	Muy inseguro	Poco inseguro	Algo seguro	Poco seguro	Muy seguro	NS/NC
Casa	18	32	158	763	625	13
Calle	126	182	534	532	216	19
Parque	91	103	309	477	199	430
Transporte público	81	87	371	559	202	309
% TOTAL	4.91%	6.28%	21.32%	36.22%	19.30%	11.98%
% HOMBRES	5.00%	6.30%	20.93%	36.40%	19.66%	11.71%
% MUJERES	4.82%	6.25%	21.70%	36.04%	18.94%	12.25%

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Gestión ambiental

Dentro de la escala de muy insatisfecho a muy satisfecho, se les pidió que clasificaran su perspectiva respecto a los resultados de la gestión ambiental en los temas de *contaminación del aire, cantidad de árboles en la ciudad, basura en las calles, y sobre la calidad del agua*. Se puede observar en la tabla que el tema con mayor insatisfacción es la basura en las calles, y por el contrario, el tema con mayor satisfacción es la calidad del agua de la ciudad.

Tabla 30 ¿Que tan insatisfecho o satisfecho está usted en cuanto a los resultados de gestión ambiental de los siguientes temas?

	Muy insatisfecho	Poco satisfecho	Algo satisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho
Contaminación del aire	146	266	349	734	114
Cantidad de árboles	106	285	322	752	144
Basura en las calles	196	311	384	623	95
Calidad del agua	100	258	334	755	162
% TOTAL	8.51%	17.40%	21.58%	44.50%	8.00%

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Respondiendo a la pregunta ¿Que tan satisfecho o insatisfecho está usted en cuanto a los resultados de gestión ambiental sobre la cantidad de árboles en la ciudad?, se obtuvo que el mayor porcentaje se obtuvo en satisfactoria con un 46.74%, seguido por algo satisfecho con un 20.01%. La zona que presentó mayor insatisfacción sobre el tema fue la zona norte de la ciudad; aunado a esto las mujeres son las que presentaron un mayor porcentaje de estar satisfechas con la cantidad de árboles en la ciudad, en comparativa de los hombres.

Tabla 31 ¿Que tan insatisfecho o satisfecho está usted en cuanto a los resultados de gestión ambiental de la cantidad de árboles en la ciudad?

	Muy insatisfecho	Poco satisfecho	Algo satisfecho	Satisfecho	Muy satisfecho
Norte	38	92	98	187	38
Centro	33	65	103	223	31
Sur	27	77	82	223	42
Rural	8	51	39	119	33
% TOTAL	6.59%	17.71%	20.01%	46.74%	8.95%
# HOMBRES	67	152	154	364	68
# MUJERES	39	133	168	388	76

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Participación ciudadana

A los participantes se les preguntó si durante el 2020, habían participado en acciones para el beneficio de su colonia o municipio, distribuidos en actividades de limpieza de calles y/o parques, siembra de árboles, y vigilancia de la cuadra, colonia, parque o escuela. De los cuales solo el 8.39% respondió que si, siendo las mujeres la que presentaron un mayor nivel de actividad a comparación de los hombres. La mayor cantidad de respuestas afirmativas fueron del sector norte. Aunado a esto, si la respuesta fue negativa se les preguntó la principal razón por la que no han participado en este tipo de actividades, siendo la principal que no tienen tiempo con un 33.04%, seguido por el hecho de nunca han sido convocados con un 26.87%.

Tabla 32 ¿Cual es la principal razón de no haber participado en alguna actividad para el beneficio de su colonia o municipio?

	Nadie participa	No me interesa	No tengo tiempo	Nunca me han convocado	Otro
Norte	107	61	124	113	2
Centro	113	44	169	95	2
Sur	89	70	125	127	2
Rural	62	35	69	61	4
% TOTAL	25.17%	14.25%	33.04%	26.87%	0.68%
# HOMBRES	205	90	278	174	5
# MUJERES	166	120	209	222	6

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

La percepción social de los habitantes de la ciudad de Hermosillo es importante de conocer ya que es el vínculo que conecta la identidad de una ciudad con las personas que la habitan. Los resultados declaran que, aunque un 90% se siente orgulloso de ser hermosillense, consideran la ciudad poco segura; por otro lado, en la mayoría de las encuestas de escala de satisfacción, el mayor porcentaje se localiza en un nivel satisfecho con las gestiones ambientales y de servicios públicos ofrecidos por las autoridades correspondientes.

Los resultados de participación ciudadana muestran un estado inactivo de los ciudadanos hacia actividades en pro a su ciudad y el ambiente; lo que demuestra la importancia de crear una conciencia social sobre estrategias de acción hacia la construcción de una ciudad y estilo de vida más sustentable. Concluyendo que al implementar una propuesta a nivel ciudad es necesaria la difusión clara de las ventajas ambientales, sociales y económicas que los techos verdes generarían a un nivel urbano.

6.2.2 Áreas críticas para la sustentabilidad urbana

Para el proceso de definición de programas y proyectos del Plan de Acción, se consultó los resultados obtenidos anteriormente en el estudio de indicadores, ejercicio de semaforización, filtro de opinión pública y análisis detallado de la ciudad de estudio; permitiendo identificar de tres a cinco temas prioritarios clasificados como las áreas críticas que presenta la ciudad en base a su sustentabilidad.

Tabla 33 Áreas críticas para la sustentabilidad de Hermosillo

CARACTERÍSTICAS GEOFÍSICAS	AREAS DE ACCIÓN DE LA PROPUESTA URBANA PAISAJÍSTICA
<p>La ciudad al tener un clima árido seco presenta temperaturas elevadas y una alta radiación solar durante todo el año; aunado a esto, el crecimiento urbano, la explotación del suelo y la significativa escasez del recurso hidrológico, han dificultado el desarrollo óptimo de los espacios naturales y áreas verdes dentro de la ciudad</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Disminución de la ganancia térmica al exterior e interior de las edificaciones · Gestión del recurso hídrico pluvial · Reducción de las islas de calor · Mitigación de la contaminación del aire y mejora en la calidad de este
INDICADORES SUSTENTABILIDAD URBANA	
<p>Dentro del subtema uso de suelo se localiza el indicador áreas verdes cualificadas por habitante, el cual la ciudad de Hermosillo se encuentra en estado crítico con un resultado de 2.14 metros cuadrados por habitante, siendo 10m²/hab la cantidad recomendada. Esto reafirma la necesidad de rehabilitar las áreas verdes deshabitadas y en mal estado y crear nuevas áreas verdes cualificadas</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Incremento de las áreas verdes urbanas · Aumento de hábitat natural para la biodiversidad · Reutilización de espacios ya construidos y sin uso
PERCEPCIÓN SOCIAL	
<p>Con respecto al tema de áreas verdes y la disponibilidad de éstas, se observa una mayor insatisfacción ciudadana en la zona norte de la ciudad, en comparación de la zona centro, sur, y rural; el cual concuerda con la perspectiva de satisfacción sobre la cantidad de árboles; sin embargo, esta insatisfacción ha llevado a los ciudadanos de dicha zona a querer hacer algo al respecto, ya que la mayoría de la participación ciudadana durante el 2020 se presentó en la zona norte de la ciudad de Hermosillo</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Creación de microclimas y de espacios confortables · Mejora del paisaje urbano · Mejora en la salud física y mental de los habitantes · Creación de áreas verdes privadas y seguras para los habitantes

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Fase 3. Plan de acción

El plan de acción se deriva del análisis técnico de la situación ambiental, urbana, fiscal, y del consenso de la perspectiva de sus habitantes, con el fin de mejorar de la calidad de vida y la sustentabilidad urbana. Se procede a formular estrategias de acción para el desarrollo óptimo de la propuesta urbana paisajística de techos verdes y la evaluación potencial de su implementación en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

6.3.1 Formulación de estrategias de acción

Como ya se mencionó con anterioridad, la implementación correcta de los techos verdes trae consigo una serie de beneficios ambientales, técnicos, económicos, sociales y psicológicos que promueven un aumento en la calidad de vida urbana; recordando que existen diferentes tipos de techos verdes que se han implementado alrededor del mundo; a continuación, se describe cada uno de ellos, enlistando sus características principales y se presentan ejemplos internacionales de cada tipo.

6.3.1.1 Techos verdes extensivos

Los techos verdes extensivos son los sistemas más livianos los cuales en la mayoría de los casos no se requiere un refuerzo en la estructura de la edificación, estos alcanzan una altura máxima de 15 centímetros y albergan una limitada cantidad de especies vegetales, en comparación con los semi-intensivos e intensivos; poseen expectativas estéticas bajas y requieren poco mantenimiento en su vida útil (Suarez, 2020).

- *Uso.* Funcional como cubierta verde, actividad humana limitada
- *Peso.* Bajo, suele ser el más ligero 40-160 kg/m²
- *Profundidad del sustrato.* Entre los 10 y 15 centímetros
- *Accesibilidad.* Generalmente inaccesible
- *Mantenimiento.* Muy bajo
- *Paleta vegetal.* Diversidad baja, generalmente se compone de distintos tipos de césped o especies rastreras
- *Costo.* Con el paso del tiempo el diseño estructural de los techos verdes extensivos ha sido optimizados con el fin de tener un costo mínimo en su implementación



Casa cubierta verde

Lugar Montevideo, Uruguay 2008

El diseño de la cubierta verde se adapta a las condiciones topográficas y pendientes naturales del terreno con el fin de cubrir el 100% con áreas verdes la cual se conforma por pasto en su mayoría y especies rastreras en ciertas partes.

Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/M7ZqFhbAYO/cubierta-verde-cardoso-zuniga>



Casa LLP

Lugar Barcelona, España 2015

La cubierta vegetal extensivo es un diseño que facilita la ventilación cruzada, aumenta la resistencia térmica y añade un gran valor paisajístico, el cual al mismo tiempo a reducido la demanda de calefacción.

Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/774089/casa-llp-alventosa-morell-arquitectes>

6.3.1.2 Techos verdes semi-intensivos

Los sistemas semi-intensivos tienen características intermedias, incluyendo un grosor del sustrato mayor al techo verde extensivo, junto con una variedad mayor de especies por lo que aumenta su precio en construcción, peso y mantenimiento, pero requieren menos riego y mantenimiento que los techos verdes intensivos (Manso et al., 2021).

- *Uso.* Techo verde con diseño para el uso del usuario
- *Peso.* Se encuentra entre 120-250 kg/m²
- *Profundidad del sustrato.* Entre los 15 y 35 centímetros
- *Accesibilidad.* Parcialmente accesible
- *Mantenimiento.* Intermedio
- *Paleta vegetal.* Diversidad media, abarcando especies rastreras, herbáceas y ciertas plantas con forma arbustivas
- *Costo.* Al incrementar las dimensiones, el costo suele elevarse



Rio de Janeiro Residence

Lugar Rio de Janeiro, Brasil, 2008

El uso del techo verde elimina el uso de aire acondicionado al interior de la edificación, disminuyendo los efectos térmicos de la radiación solar. Aunado a esto, provee la oportunidad de instalar un huerto vegetal y un área de composta.

Fuente: <https://www.archdaily.com/10199/rio-de-janeiro-residence-tamabi>



Espacio sun rain

Lugar Barcelona, España 2015

Restauración de una casa georgiana, el techo verde se encuentra sobre una losa curva la cual ayuda a la recolección del agua pluvial y contiene una serie de tragaluces circulares los cuales permiten el acceso de iluminación natural al interior de la construcción.

Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/888953/espacio-sun-rain-tonkin-liu-architects>

6.3.1.3 Techos verdes intensivos

Los techos verdes intensivos son los sistemas con mayor peso en su construcción, tienen la capacidad de albergar especies de una amplia diversidad y de gran tamaño como arbustos y árboles; por lo que requiere un mayor mantenimiento, ya que tienen la característica de tener una funcionalidad activa por parte de los usuarios y ofrecen mayores posibilidades de diseño (Hassan y Muhammad, 2017; Mule, 2018).

- *Uso.* Techo verde utilizado como parques o jardines para la recreación
- *Peso.* Es el sistema con mayor peso, el cual varía entre los 290-970 kg/m²
- *Profundidad del sustrato.* Entre los 40 y 100 centímetros
- *Accesibilidad.* Usualmente accesible
- *Mantenimiento.* Alto
- *Paleta vegetal.* Diversidad muy alta, albergando una amplia variedad de vegetación como herbáceas, arbustos y árboles
- *Costo.* Alto, en la construcción y mantenimiento



Edificio el Gulungo

Lugar Medellín, Colombia 2019

Edificio multifamiliar compuesto por ocho niveles de apartamentos y uno de estacionamiento. Alrededor de un kilómetro de jardines componen la fachada y azotea del edificio, albergando alrededor de 100 especies vegetales, alimentadas por un sistema de riego por goteo

Fuente: <https://www.archdaily.mx/mx/966122/edificio-el-gulungo-alh-taller-de-arquitectura>



City Hall

Lugar Chicago, Estados Unidos 2001

El techo verde alberga alrededor de 20 mil plantas distribuidas en bloques rectangulares, conteniendo plantas nativas, pasto, herbáceas, arbustos de flor y 2 árboles, generando un ecosistema con diferentes formas, colores y textura

Fuente: <https://tclf.org/landscapes/city-chicago-city-hall-green-roof>

De los tres diferentes tipos de techos verdes presentados, se sugiere como lo más apropiado para un entorno con clima árido seco, un sistema extensivo, el cual requiere ser adaptado a las condiciones específicas de la región donde se localiza la zona de estudio.

6.3.1.4 Caracterización de los techos verdes en clima árido seco

Al hablar de la ejecución de techos verdes en clima árido seco, distintas investigaciones se han realizado alrededor del mundo, concluyendo que, para una implementación óptima de esta estrategia en este tipo de región, los componentes del techo verde convencional deben ser rediseñados para su adaptación a las condiciones hidrológicas y térmicas específicas de la zona, bajo el entendimiento completo de su funcionamiento y una perspectiva holística de sus beneficios (Simmons, 2015). En la siguiente tabla se presenta la caracterización de los techos verdes para una implementación óptima en las zonas urbanas con un clima árido seco; en base a los sectores económicos, sociales, naturales y físicos.

Tabla 34 Caracterización de los techos verdes en clima árido-seco

NATURAL

- Utilización de plantas nativas que sobrevivan al espacio urbano, tolerantes a las temperaturas extremas, suelos pobres, corrientes de aire, intensa exposición solar y tolerantes a situaciones ocasionales de inundación que afecte a las zonas de las raíces
- Las plantas nativas deberán ser cultivadas en viveros y no extraídas del medio natural y deberá ser una paleta vegetal variada para la creación de biodiversidad en la microfauna asociada y el entorno natural inmediato
- Los elementos por utilizar deben tener baja huella ecológica, es decir, el costo ambiental de cada componente sea el mínimo posible

ECONÓMICO

- El diseño del techo verde debe estar basado en un sistema de bajo mantenimiento (energía, insumos, mano de obra) para que sea autosustentable a largo plazo
- El sustrato base, debe estar compuesto por materiales del lugar y preferentemente utilizar elementos del cierre del ciclo de materiales de otras actividades productivas

FISICO

- Se sugiere una profundidad del techo verde entre 10 y 25 centímetros
- El sistema de irrigación por goteo subsuperficial es una estrategia utilizada para el uso eficiente del recurso hídrico, teniendo un rango medio de consumo de 217 y 229 l/año/m²
- Se recomienda la utilización de tanques de agua que permitan recuperar y almacenar el agua pluvial y las aguas grises
- Proyectar los espacios según las necesidades específicas para facilitar el mantenimiento, riego y el desarrollo de las especies vegetales

SOCIAL

- Esta estrategia debe ser implementada como una herramienta para mejorar la calidad de vida urbana y no ajena a las necesidades de la sociedad
 - Cada proyecto que se implemente en el espacio urbano deberá responder a la gestión de políticas públicas de la zona donde se desarrolle
-

Fuente: Elaboración propia en base a Flores (2019); Suarez (2020); Flores et al. (2016); Mule (2018).

6.3.2 Propuesta Urbana

La implementación de los techos verdes se propone a una escala urbana para la ciudad de Hermosillo; sin embargo, para efectos del presente estudio, se desarrollará un diseño conceptual en una zona específica de la ciudad, denominada *Zona Estudio x*; la selección del lugar está basada en los resultados provenientes de la percepción ciudadana, donde se demostró una inconformidad elevada en la zona norte de la mancha urbana, la cual concuerda con las conclusiones del estudio *Urban vegetation cover correlates with environmental variables in a desert city: insights of mitigation measures to climate change* (Ortega et al., 2020), ver anexos, donde establecen esta zona, como una de las prioridades de reforestación de infraestructura verde a nivel municipal.

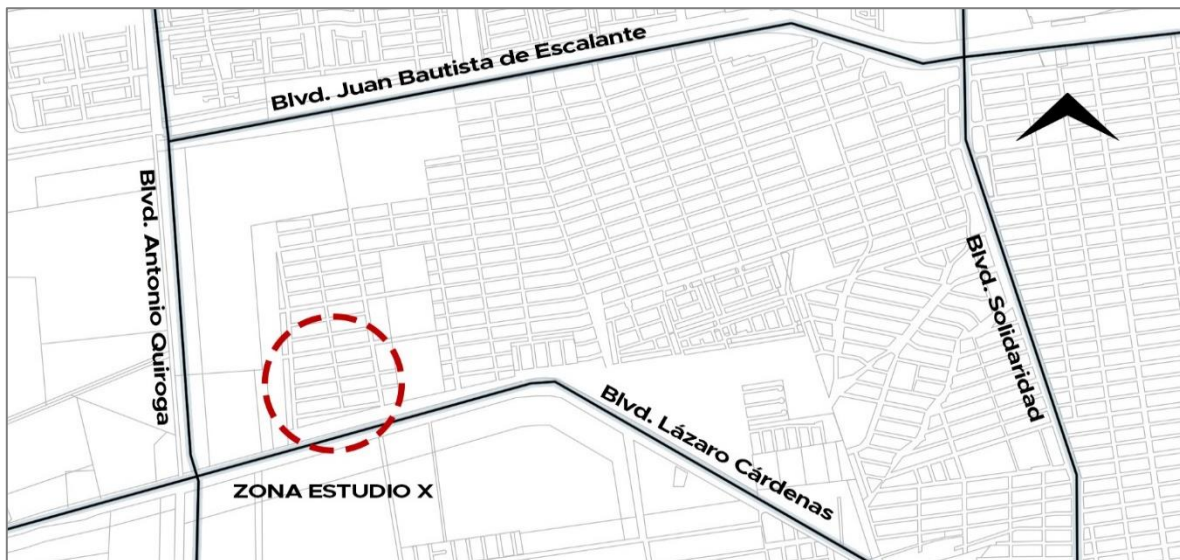


Figura 19 Ubicación de la zona de estudio x

Fuente: Elaboración propia en base a Google Earth, 2021.

La estructura metodológica del desarrollo de la propuesta está basada en la guía escrita por Duarte (2014), donde se desarrolla un análisis contextual del sitio para establecer una propuesta proyectual adaptable a las condiciones específicas de la zona.

6.3.2.1 Análisis contextual

A continuación, se describe el análisis de sitio con las características generales del conjunto las cuales contiene ubicación, dimensiones, uso de suelo, imagen urbana, equipamiento, vialidades, transporte público y áreas verdes que componen la zona de estudio.

Tabla 35 Análisis del sitio de la zona de estudio

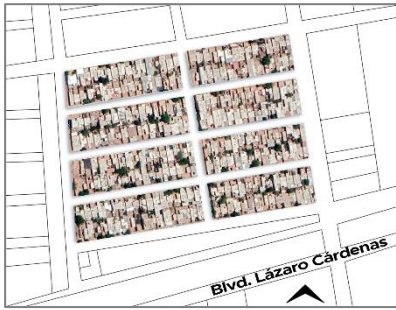


Figura 20 Terreno zona de estudio x
Fuente: Elaboración propia



Figura 21 Uso de suelo
Fuente: Elaboración propia en base a SIGEM, 2018



Figura 22 Imagen urbana
Fuente: Google Earth, 2021

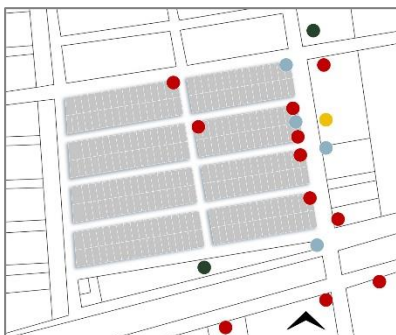


Figura 23 Equipamiento
Fuente: Elaboración propia

UBICACIÓN

El terreno que compone el área de estudio se localiza al norte de la ciudad cerca del cruce del Boulevard Lázaro Cárdenas y el Boulevard Antonio Quiroga; con una superficie de 59,527 m² equivalente a casi 6 hectáreas, el cual abarca ocho manzanas con un total de 255 edificaciones.

USO DE SUELO

■ Habitacional ■ Equipamiento ■ Área verde ■ Mixto

Los 256 lotes que componen las ocho manzanas tienen un uso de suelo tipo habitacional; sin embargo, dentro de esta zona existen edificaciones de uso comercial como abarrotes y comercios de comida. En la periferia de la zona se encuentra uso de suelo de áreas verdes y equipamiento.

IMAGEN URBANA

Las edificaciones que componen la zona carecen de una identidad arquitectónica; sin embargo, hay ciertos elementos utilizados como el uso de colores vívidos en las fachadas, materiales predominantes como el block, ladrillo y concreto para muros; acero para puertas y ventanas exteriores; uso ocasional de teja y lámina en azoteas. El 75% de las edificaciones presenta una construcción inconclusa o en proceso.

EQUIPAMIENTO

● Comercios ● Restaurantes ● Parques ● Iglesia

El equipamiento de la zona se compone por una serie de comercios de comida, ferreterías, abarrotes, y una iglesia, que se ubican principalmente por la calle Lázaro Mercado y el Boulevard Lázaro Cárdenas al oriente y sur del conjunto, respectivamente.



Figura 24 Vialidades

Fuente: Elaboración propia

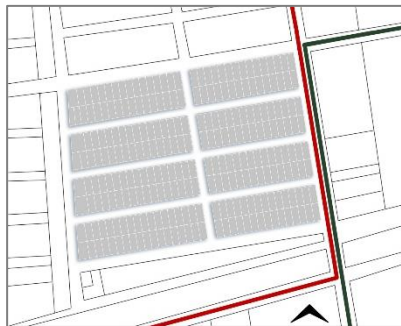


Figura 25 Transporte público

Fuente: Elaboración propia, en base a SIGEM, 2018



Figura 26 Áreas verdes

Fuente: Elaboración propia

VIALIDADES

■ Primaria ■ Secundaria ■ Colectora

La zona está delimitada por una vialidad colectora al norte, vialidades secundarias al oriente y poniente, y al sur se encuentra el Blvd. Lázaro Cárdenas.

Las vialidades señaladas de color amarillo no cuentan en la actualidad con pavimentación y el terreno se encuentra en su estado natural.

TRANSPORTE PÚBLICO

■ Línea 10 ■ Línea 2

El servicio de transporte público que da servicio a la zona se compone por las líneas 10 y 2, las cuales transitan por la calle Lázaro Mercado localizada a la periferia oriente de la zona delimitada.

AREAS VERDES

Al sur de la zona de estudio se localiza el Parque Gómez Morín con una superficie de 5,000 m² el cual contiene una cancha de baloncesto, juegos infantiles y aparatos para ejercicio físico; al noroeste del conjunto se encuentra el Parque Solidaridad con una superficie de 8,150 m², y albergando tres canchas deportivas, juegos infantiles y cerca de 20 árboles nativos.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante para el desarrollo de los proyectos el conocer las características específicas y generales de la zona donde se implementarán las distintas estrategias de diseño, con el fin de crear ciudades más incluyentes, seguras y sustentables. Después de realizar el análisis contextual, se concluye que la zona de estudio tiene las capacidades de albergar la implementación de techos verdes en sus edificaciones; por lo que se procede al desarrollo de la propuesta proyectual.

6.3.2.2 Propuesta proyectual

Con el conocimiento de tales características, se realizó un levantamiento digital de lotes, edificaciones existentes, vialidades, vegetación y los elementos que componen el área de estudio, con el propósito de analizar y cuantificar el área individual y total de las azoteas que aplicarían a la propuesta de la implementación de techos verdes.



Figura 27 Planta de conjunto del área de estudio

Fuente: Elaboración propia.

Como ya se mencionó anteriormente, el área de estudio se compone de 255 edificaciones, de las cuales se buscaron aquellas azoteas que cumplieran con las características adecuadas para la implementación de la propuesta, bajo los siguientes criterios:

- Losa de un material resistente (concreto, losa prefabricada, vigueta y casetón)
- Localizadas en un primer nivel
- Pendiente mínima del 2%
- Área libre de elementos físicos (aparatos de aire acondicionado, antenas, tinacos)

El diseño de los techos verdes a implementar es en base al estudio realizado por Yáñez (2016), donde desarrolló un prototipo de techo verde extensivo elaborado con materiales reciclados y fácil acceso en una región de clima árido seco con las siguientes características

- **Vegetación.** Utilización de Ipomea Purpurea, especie nativa
- **Sustrato.** 10 cms. de espesor conformado por yermosol, humus de lombriz y zeolita
- **Tela geotextil.** Membrana de polietileno de alta densidad (HDPL)
- **Elemento drenaje.** Migajas de caucho de ¾ pulgada (producto triturado de llantas)
- **Capa impermeable.** Base de caucho de 10 años de vida, marca comercial, considerado un material ecológico

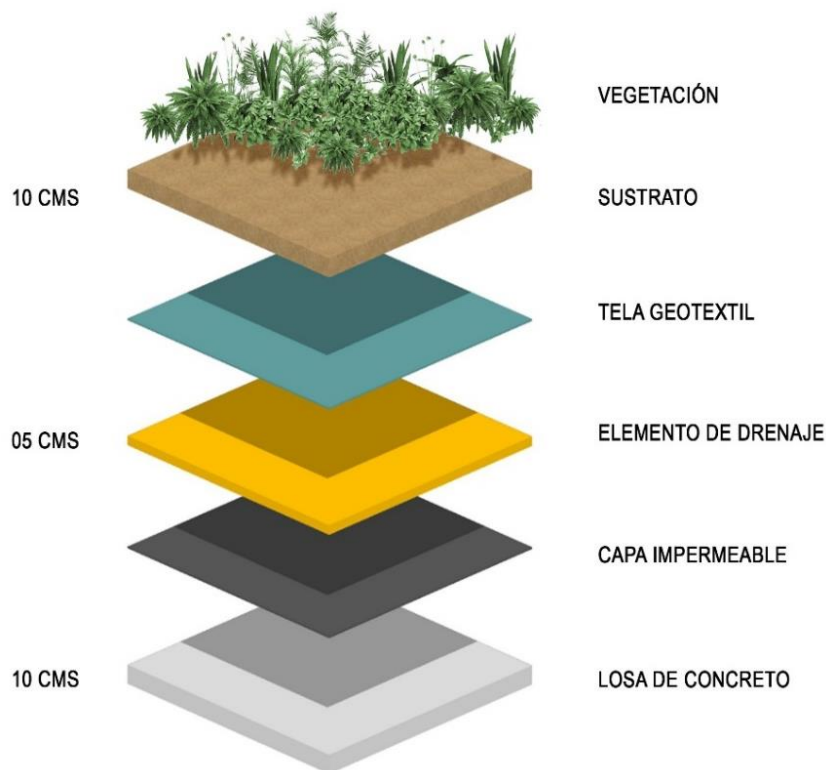


Figura 28 Composición conceptual del prototipo de Techo Verde

Fuente: Elaboración propia en base a Yáñez (2016).

El prototipo fue estudiado en un módulo de prueba piloto de 2.00 x 2.40 m en la ciudad de Hermosillo, Sonora; donde se concluyó que cada capa que compone el prototipo del techo verde cumplió de manera cualitativa los resultados esperados. Para el desarrollo del presente trabajo, se propone el diseño modular de techo verde bajo las siguientes características:

- Dimensiones de 1.0 x 1.0 m para facilitar la adaptabilidad en azoteas ya construidas
- Composición de sustrato, tela geotextil, drenado e impermeabilizante del prototipo de techo verde establecido por Yánez (2016)
- Uso de especies nativas variadas (rastreras, cactáceas, suculentas) para el aumento de la biodiversidad
- Diseño modular para una interacción óptima de instalación y mantenimiento
- Adaptabilidad de diseño para transformar el diseño de techo verde extensivo en semi intensivo, con el objetivo de implementar huertos para consumo privado

El prototipo se fue implementando en las edificaciones que componen la zona de estudio, según las características específicas de cada construcción; cabe mencionar, que la propuesta presentada es a nivel conceptual y fue realizada con las herramientas disponibles; para la implementación real se requiere un análisis más detallado de la estructura, dimensiones, y del usuario.

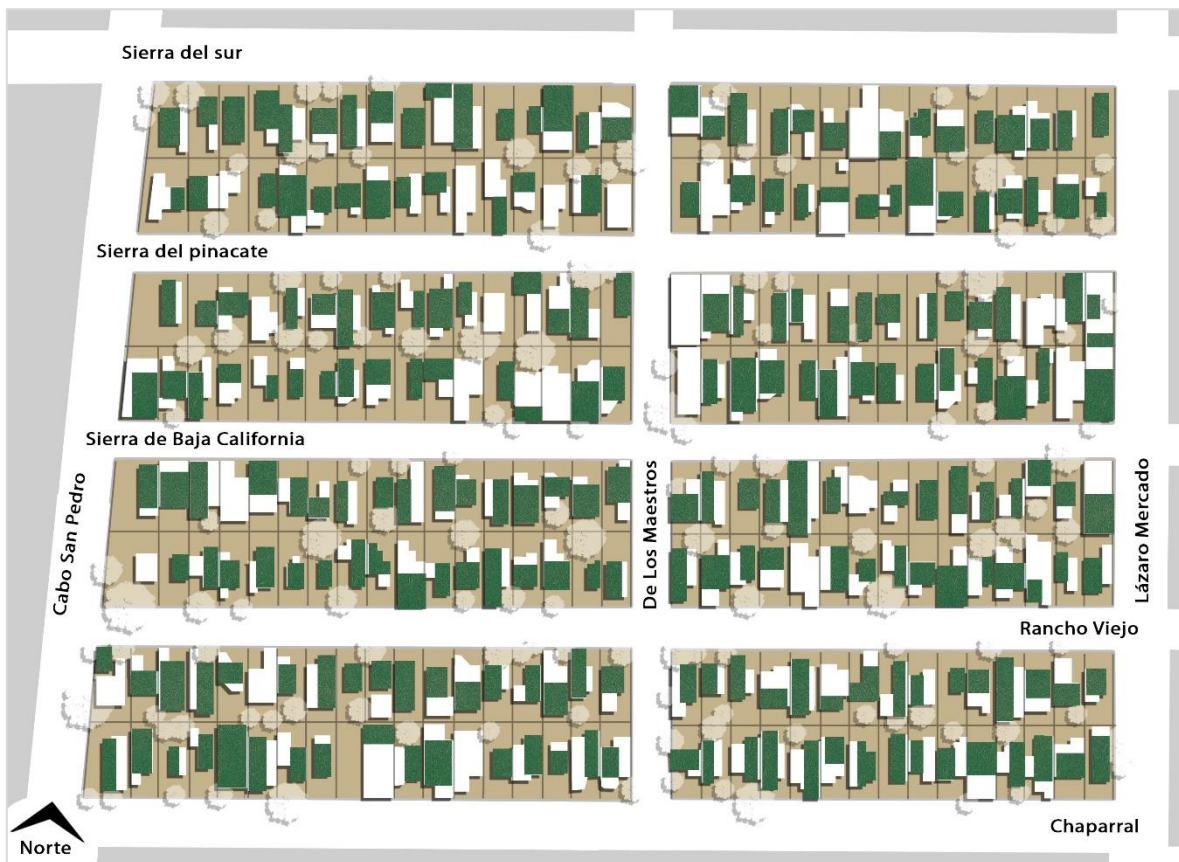


Figura 29 Propuesta techos verdes en área de estudio

Fuente: Elaboración propia.

En las ocho manzanas de la zona de estudio, hay aproximadamente 19,200 m² de azoteas, las cuales son un elemento sin uso, que durante el día captan la radiación directa del sol y transfieren el calor hacia el interior de las edificaciones. De los 255 lotes que componen la zona, 234 cumplen con las características para la implementación de techos verdes, las cuales se cubrieron con infraestructura verde cerca del 45-65% debido a los elementos físicos que se encuentran en las azoteas actualmente, aún con esta especificación, se obtuvo que es posible implementar 8,640 módulos de techo verde de 1.00 x 1.00 m.



Figura 30 Propuesta techos verdes en área de estudio

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3 Evaluación del impacto potencial

La evaluación del impacto potencial se generará en base a distintos indicadores ya establecidos, que valoran de manera cualitativa o cuantitativa los beneficios económicos, ambientales y sociales, potenciales de la propuesta generada; para el cual se hace un estimado de los resultados obtenidos en la zona de estudio y se crea un escenario probable a un nivel urbano en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Tabla 36 Estimados a macro escala

	Zona de estudio x	Ciudad Hermosillo
	Microescala	Macro escala
Cantidad aproximada de construcciones	255	278 550
Cantidad de construcciones que cumplen con las condiciones para la implementación de la propuesta (91.75%, según resultados de la zona de estudio)	234	255 569
Área total aproximada de azoteas (según resultados de la zona de estudio)	19 200 m ²	20 969 764 m ²
Cobertura de techos verdes (45% del área total de azoteas, según resultados de la zona de estudio)	8 640 m ²	9 436 393 m ²
Módulos requeridos del prototipo de techo verde de 1.00 x 1.00 m	8 640	9 436 393

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3.1 Temperatura

Estudios han concluido que los techos verdes tienen la capacidad de reducir la temperatura ambiental y al interior de las edificaciones, Ortega et. al., (2020) establecen que, si el 50% de las azoteas fueran cubiertas por techos verdes, se generaría una reducción de 0.5 °C de las temperaturas a nivel urbano; en comparación con Banting et al. (2005), el cual mencionan que sería del 1.0°C. Por otro lado, Flores et al. (2017) concluyen que los techos verdes pueden disminuir hasta 1,6°C de la temperatura ambiental, mientras que Manso et al. (2021) establecen un rango entre 1°C y 2,3°C.

La temperatura al interior de los espacios que tienen techos verdes ha sido medida, resultando un promedio que oscila entre 3°C y 5°C la diferencia entre las temperaturas al exterior e interior, como se muestra a continuación.

Tabla 37 Disminución de temperatura al interior de los espacios

Estudio	Resultados
Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes (Alpuche et al., 2010)	Diferencia de 5°C
Ahorro energético residencial en ciudades de zonas áridas. Incorporación de cubiertas vegetadas como estrategias ambientalmente eficientes (Flores et al., 2017)	Rango entre 0.8°C y 3°C
Cubiertas verdes en zonas áridas. Su eficiencia como estrategia de ahorro energético en verano e invierno (Flores et al., 2016)	Temperatura media 1,5°C Temperatura máx. 5°C

Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados muestran que los techos verdes son una estrategia de diseño pasiva para disminuir de manera eficaz la temperatura al interior de los espacios, lo cual es de gran relevancia para la búsqueda de espacios de confort en las ciudades con temperaturas tan elevadas como lo es Hermosillo, Sonora.

6.3.3.2 Insolación

Banting et al. (2005) demostró que del total de radiación solar recibido por el techo verde, el 27% es reflejado, mientras que un 60% es absorbido por las plantas y un 13% es transmitido hacia el sustrato. Los datos presentados en la siguiente tabla se obtuvieron de estudios que midieron las diferencias de temperaturas de la superficie de los techos verdes en comparación con la superficie de las azoteas convencionales; concluyendo que hay una diferencia promedio entre 30-60°C.

Tabla 38 Diferencia de temperaturas en superficie de techo verde y azotea convencional

Referencia	Resultados
Hashemi, Mahmud y Ashraf (2015)	30 - 60°C
Teemusk and Mander (2010)	20°C
Simmons (2015)	38 – 60 °C

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3.3 Eficiencia energética

Las diferencias de temperatura que se generan en el interior de los espacios contribuyen la disminución del consumo de energía; acorde a Flores et al. (2016) las diferencias de 1,6°C generan ahorros de energía en el aire acondicionado entre el 30 y 35%.

Tabla 39 Eficiencia energética de techos verdes

Resultados	Referencias
Disminución del 6% de la demanda de a.c.	Sahagun (2019)
Por la disminución de cada 0.5°C en la temperatura interna, hay una reducción de energía del 8% usada por el a.c.	Simmons (2015)
Disminuye hasta 350 kWh/mes del consumo del a.c., lo que representa un ahorro energético del 16% del consumo total	Alpuche et al. (2010)
Disminución de energía del 20-25% de una casa con árboles en comparación de una casa sin áreas verdes	Nowak et al. (1998)
Reducción energía del 50% por 150 m ² de techos verdes	Sonne (2006)
Reducción de energía del 75%	Liu y Baskaran (2003)
Techos verdes extensivos con un ahorro energético del 73%	Manso et al. (2021)

Fuente: Elaboración propia.

Estos ahorros energéticos en el uso de aire acondicionado y la reducción de energía se pueden convertir de manera directa en ahorros económicos. En la literatura se ha calculado el ahorro estimado por año, como se presenta a continuación, donde se observa que los techos verdes generan beneficios económicos directos a corto y largo plazo.

Tabla 40 Ahorro económico energético

Estudio	Ahorro estimado por año
Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore (Hien et al., 2003)	5,000-29,000 kWh \$94,990 MXN
An evaluation of vegetated roofing technology: Application at Air Force Plant Four, Building 15 (Morgan, 2004)	\$49,750 - \$248,750 MXN
Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto (Banting et al., 2005)	4.15 kWh/m ² \$3.60 MXN/ m ²

Fuente: Elaboración propia.

Un estudio en Toronto, Canadá, se calculó un ahorro energético de 21 millones de dólares canadienses (aproximadamente 330 millones MXN) por año, con la implementación de 5,000 hectáreas de techos verdes alrededor de la ciudad (Banting et al., 2005).

6.3.3.4 Gestión de aguas pluviales

Los techos verdes pueden gestionar el flujo de agua pluvial al reducir la cantidad descargada a la ciudad. Distintos estudios han investigado el rendimiento hidrológico de los techos verdes, reportando un rango de valores en la retención y reducción de escurrimientos pluviales en comparación con las azoteas convencionales. La capacidad de retención del agua pluvial de los techos verdes dependerá de las características y dimensiones del sustrato y las especies vegetales; conforme a los resultados obtenidos en los estudios presentados en la siguiente tabla, se estima que los techos verdes extensivos tienen un rango aproximado de reducción del escurrimiento pluvial entre el 45% - 77%.

Tabla 41 Reducción de escurrimiento de aguas pluviales

Referencia	Resultados
Hassan and Muhammad (2017)	40%
Volder y Dvorak (2014)	78%
Sahagun (2019)	50-75%
Hashemi, Mahmud y Ashraf (2015)	88% (precipitaciones 25.4mm) y 48% (precipitaciones 76.2 mm)
VanWoert et al. (2005)	60%
Versini et al. (2016)	4,500m ³ /ha/año
Nawaz, McDonald y Postoyko (2015)	66%
Banting et al. (2005)	60% - 100%
Manso et al. (2021)	49% - 90%

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados presentados demuestran el gran beneficio que generan los techos verdes en cuestiones de la gestión de aguas pluviales, especialmente en las áreas urbanas. En la área económica Banting et al. (2005), calculó un ahorro estimado en los beneficios de la gestión de aguas pluviales resultantes de la implementación de techos verdes, obteniendo un ahorro de \$1.12 MXN/m² en las prácticas de gestión (Best Management Practice), \$5.60 MXN/m² en la reducción de contaminantes y \$10.00 MXN/m² medidas de control de la erosión del agua pluvial, resultando un total de \$16.72 MXN/m²; también concluye que los techos verdes tienen la capacidad de remover el 16% del zinc y hasta el 95% de cadmio, cobre y plomo de las aguas pluviales.

6.3.3.5 Calidad del aire

La vegetación tiene la capacidad de convertir el dióxido de carbono, agua y radiación solar en oxígeno y glucosa, cuya cantidad generada va a depender de la superficie de hoja de las plantas; Sahagun (2019) hace referencia que aproximadamente 1.5 m² de techo verde es capaz de proveer oxígeno que necesita una persona al año. La literatura ha estudiado la calidad del aire en la implementación de techos verdes, en la siguiente tabla se muestra resultados obtenidos en la absorción de contaminantes y dióxido de carbono.

Tabla 42 Absorción de los techos verdes

Referencia	Resultados
Sahagun (2019)	58.32 kg CO ₂ /m ² /año
Vanuytrecht, et. al. (2014)	72 – 85 kg CO ₂ /m ² /año
Ortega et. al. (2020)	651,000 contaminantes/año
Yang, Yu y Gong (2008)	80-85 kg toxinas/ha/año
Acks (2005)	195.29 gramos PM/m ²

Fuente: Elaboración propia.

Hashemi, Mahmud y Ashraf (2015) midieron la absorción que tienen los techos verdes de distintos elementos y compuestos contaminantes específicos que se encuentran en la atmósfera, obteniendo un alto porcentaje, lo que demuestra la importancia de los techos verdes conforme a la calidad del aire y la salud pública.

Tabla 43 Absorción de elementos y compuestos contaminantes

Cobre (Cu)	Zinc (Zn)	Cadmio (Cd)	Plomo (Pb)	Nitrato (NO ₃)
97%	96%	92%	99%	80%
Ozono (O ₃)	PM10	Dióxido de nitrógeno	Dióxido de azufre	Monóxido de carbono
1,96 g/m ² /año	1,47 g/m ² /año	1,03 g/m ² /año	0,41 g/m ² /año	0,41 g/m ² /año

Fuente: Elaboración propia en base a Hashemi, Mahmud y Ashraf (2015)

Banting et al. (2005), estimaron los beneficios económicos que generan los techos verdes al reducir las cantidades de contaminantes, obteniendo un ahorro de \$7.84 MXN/m². Por otra parte, Clark, Adriaens y Talbot (2008) obtuvieron un resultado semejante, concluyendo que anualmente se obtiene un ahorro de \$8.90 MXN/m² en la reducción de contaminantes atmosféricos.

6.3.3.6 Reducción del ruido

Estudios demuestran que los techos verdes extensivos pueden tener un gran impacto en disminuir la transmisión del ruido al interior de las edificaciones, el rango oscila entre los 5 y 20 dB dependiendo de la frecuencia del ruido; es importante aclarar que el resultado va a depender del tipo y dimensión de la losa, el sustrato y la vegetación (Manso et al. 2021).

Tabla 44 Reducción del ruido

Estudio	Resultados
In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs (Van Renterghem y Botteldooren, 2011)	10 dB
Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs (Connelly and Hodgson, 2013)	5-20 dB
¿Do extensive green roofs reduce noise? (Lagstrom, 2004)	5 dB

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3.7 Valor de la propiedad

Este dato no está establecido de manera sistematizada, ya que depende de las características generales de la zona donde se encuentra; sin embargo, varios autores han realizado estimaciones del aumento del valor de la propiedad por la implementación de techos verdes, el cual se encuentra en un promedio del 5.86%. Sendzimir Foundation (2011) en un estudio realizado alrededor de 50 ciudades en Alemania demostró que residencias con techo verde han aumentado arriba de 82 €/m² (\$1,933.81 MXN/m²).

Tabla 45 Aumento estimado del valor de la propiedad

Estudio	Resultados
Impact of green roof and orientation on the energy performance of buildings: A case study from Saudi Arabia (Hassan and Muhammad, 2017)	7.1%
<i>Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe</i> (Nowak et al., 1998)	3.5% - 4.5%
Valoración Económica de Techos Verdes en Bogotá (Díaz, 2015)	4,12%
Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence (Manso et al., 2021)	8,24%

Fuente: Elaboración propia.

6.3.3.8 Resumen del impacto potencial de la propuesta urbana-paisajística

Como se mencionó en el apartado de análisis literario, los techos verdes generan una serie de beneficios tanto cuantitativos como cualitativos en cada ámbito de la sustentabilidad, calidad de vida urbana y la salud de las personas; en base a la variedad de resultados en la literatura se establece el impacto potencial que, a generarse en la propuesta de la zona de estudio y la propuesta a nivel urbano.

Tabla 46 Estimado de resultados cuantitativos del impacto potencial de la propuesta

Descripción	Resultado
Reducción de la temperatura ambiental	1,6°C
Reducción de temperatura al interior de las edificaciones	3 – 5 °C
Reducción del ruido al interior de la edificación	10 dB
Aumento del valor de las propiedades	\$1,933.81 MXN/m ²

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se presenta el ahorro económico anual que se generarían en los sectores de energía, gestión de aguas pluviales y reducción de contaminantes atmosféricos en la zona de estudio y en la propuesta a nivel urbano en la ciudad de Hermosillo.

Tabla 47 Estimado del ahorro económico anual

Descripción	Zona de estudio 8 640 m ²	Hermosillo 9 436 393 m ²
Ahorro energético del 35%	\$57,024 MXN/año	\$62,283,797 MXN/año
Ahorro en la gestión de aguas pluviales 45% - 77%	\$144,460.8 MXN/año	\$157,776,490.96 MXN/año
Ahorro en la reducción de contaminantes atmosféricos	\$72,316.80 MXN/año	\$78,982,609.41 MXN/año

Fuente: Elaboración propia.

El estimado de la absorción de contaminantes atmosféricos que se tendría con la implementación de la propuesta se describe a continuación, tanto en el área de estudio, como en la zona urbana.

Tabla 48 Estimado de absorción de contaminantes atmosféricos

Descripción	Zona de estudio	Hermosillo
	8 640 m ²	9 436 393 m ²
Absorción de dióxido de carbono	591.06 ton/año	645 543.64 ton/año
Absorción de toxinas	712.80 ton/año	778 502.42 ton/año
Absorción de ozono (O ₃)	16.93 kg/año	18 495.33 kg/año
Absorción de partículas PM10	12.70 kg/año	13 871.49 kg/año
Absorción de dióxido de nitrógeno	8.89 kg/año	9 719.48 kg/año
Absorción de dióxido de azufre	3.54 kg/año	3 868.92 kg/año
Absorción de monóxido de carbono	3.54 kg/año	3 868.92 kg/año

Fuente: Elaboración propia.

Los techos verdes no generan solo beneficios económicos y ambientales, sino también traen consigo una serie de beneficios hacia la calidad de vida y la salud de las personas. La literatura establece una variedad de aspectos cualitativos que son generados con la implementación de los techos verdes alrededor del mundo; entre lo que está: el aumento de áreas verdes, junto al valor paisajístico de la ciudad, la creación de hábitat para la biodiversidad, creación de microclimas.

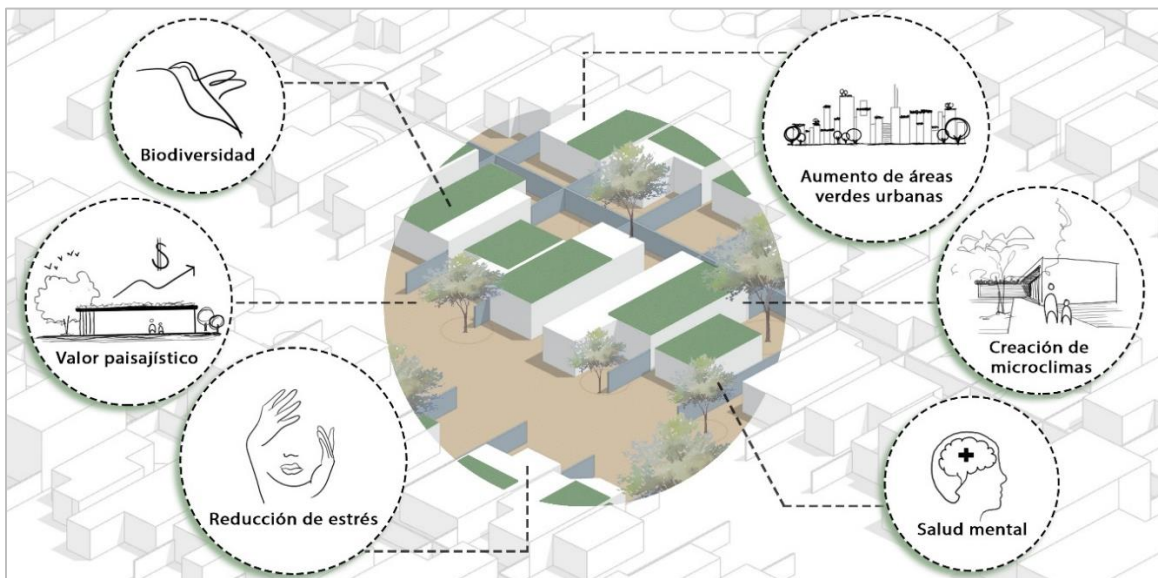


Figura 31 Beneficios cualitativos de la propuesta

Fuente: Elaboración propia.

6.3.4 Costos

Clark, Adriaens y Talbot (2008) al comparar varios escenarios en un rango de 40 años, concluyeron que los techos verdes tienen un costo menor a lo largo de su ciclo de vida en comparación con las azoteas convencionales, lo que determina un beneficio económico a largo plazo. Los resultados obtenidos del costo de la instalación y el mantenimiento de los techos verdes extensivos, como se muestra a continuación, demuestran que pueden variar significativamente dependiendo del país donde se encuentren.

Tabla 49 Costos instalación y mantenimiento del techo verde extensivo

Estimaciones de Instalación	Costos en MXN	Lugar
Hashemi, Mahmud y Ashraf (2015)	\$214.30/m ²	Hong Kong, China
Hassan and Muhammad (2017)	\$2,140/m ²	Dhahran, Arabia Saudita
Díaz (2015)	\$839.83/m ²	Bogotá, Colombia
Hien et al. (2003)	\$1,788.21/m ²	Singapur
Cortés (2019)	\$489.93/m ²	Veracruz, México
Mantenimiento		
Díaz (2015)	\$166.14/m ² /año	Bogotá, Colombia
Acks (2005)	\$128.52/m ² /año	New York, USA
Manso et al. (2021)	\$100.89/m ² /año	Lisboa, Portugal

Fuente: Elaboración propia.

En base a los estudios analizados, se presentan los siguientes resultados económicos de la propuesta de investigación; en el cual se presenta un costo elevado de instalación; sin embargo, se estima un ahorro significativo a nivel urbano, como se presentó anteriormente.

Tabla 50 Costos de instalación

	Costo en MXN
Instalación de 8 640 módulos de techo verde en la zona de estudio	\$4,232,995.20 MXN
Instalación de 9 436 393 módulos de techo verde en Hermosillo	\$4,623,172,022.49 MXN

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar un análisis comparativo del costo total de vida de los techos verdes con las azoteas convencionales, es necesario considerar todos los beneficios generados tanto en las edificaciones individuales, como en la ciudad; concluyendo que los techos verdes resultan ser económicos y rentables (Rosenzweig, Gaffin y Parshall, 2006).

VII. DISCUSIÓN

En esta sección se compara los hallazgos obtenidos en este proyecto de investigación con la información establecida por la literatura para concluir hacia una comparación entre las diferencias y similitudes. Aunado a esto, se mencionan los beneficios generados por la propuesta y como afecta la sustentabilidad urbana y la búsqueda de los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

7.1 Desafíos urbanos

Las ciudades poseen elementos capaces de incrementar la calidad de vida; pero también tienen el potencial de intensificar los problemas urbanos actuales; por ejemplo, la urbanización acelerada y la ausencia de planeación han generado una serie de problemas y desafíos como la contaminación ambiental, pérdida de recursos y áreas naturales, lo cual afecta de manera directa la salud urbana y el bienestar de las personas que habitan en las zonas urbanas (World Health Organization, 2016; Graizbord, 2007; Galea et al., 2005).

En el estudio del indicador de calidad del aire y emisiones de gases de efecto invernadero, se mostró que en la ciudad de Hermosillo en ocasiones se superan los límites establecidos de cantidad de contaminantes en el aire, lo cual es considerada como un área crítica ya que afecta la salud urbana. Como se observó en la estimación del impacto potencial de la propuesta, los techos verdes extensivos tienen la capacidad de absorber una variedad de contaminantes atmosféricos, incluyendo una alta cantidad de dióxido de carbono y toxinas, lo que se proyecta en un aumento en la calidad del aire y del ambiente en general, y por consecuente en la salud de las personas. Al incrementar la cantidad de áreas verdes a nivel urbano, también se generan beneficios cualitativos que ayudan a la disminución de enfermedades físicas y mentales de las personas

Afirmando que las ciudades enfrentan una variedad de desafíos los cuales afectan a la salud de las personas, por lo cual se requiere diseñar e implementar una serie de estrategias sustentables para poder mejorar las condiciones ambientales urbanas y generar beneficios hacia la salud pública para promover el bienestar de las personas, tal cual lo establece el objetivo 3 de los Objetivos de Desarrollo Sustentable, meta 9 que es reducir el número de muertes y enfermedades por la contaminación del aire y el Objetivo 11, meta 7, que busca reducir el impacto negativo sobre la calidad del aire en las ciudades.

7.2 Sustentabilidad de las ciudades

La implementación de estrategias insustentables en las ciudades no solamente afecta el ambiente y la salud urbana, también hay una serie de consecuencias en los sectores sociales y económicos, como inequidad, pobreza, desempleo, sobrepoblación, violencia, déficit de la infraestructura y los servicios públicos, afirmando así que uno de los mayores desafíos que tienen las ciudades es el establecer un desarrollo sustentable (Gudynas, 2009; Winchester, 2006; Vlahov et al., 2007; Felappi et al., 2020). Una de las estrategias urbanas más accesibles de implementar puede constituirlo la creación de áreas verdes urbanas, las cuales son consideradas como una de las herramientas con mayor influencia positiva en la salud física y mental de sus habitantes (Martínez-Soto, Montero-López y Córdova, 2014).

En el estudio del panorama general de la ciudad se observó una deficiencia en los servicios de pavimentación urbana e infraestructura peatonal lo que afecta al desarrollo sustentable de la ciudad. Como ya se mencionó en el apartado de resultados, la propuesta urbana genera beneficios cuantitativos y cualitativos a escala urbana en cada uno de los sectores de la sustentabilidad, ejemplificando, se tuvo un total de absorción de 778 502.42 toxinas por año, un ahorro económico anual de \$299,042,897.37 MXN, gran valor paisajístico y se estima un aumento en la salud urbana.

La ciudad de Hermosillo presenta una serie de desafíos para la implementación del desarrollo sustentable, bajo la deficiencia de cierta infraestructura en la zona urbana; sin embargo, la propuesta tiene la capacidad de aumentar la sustentabilidad urbana mediante la implementación de techos verdes, creando áreas verdes privadas, aumentando la seguridad urbana.

7.3 Áreas verdes urbanas

Las áreas verdes urbanas desempeñan un rol esencial en el bienestar de las personas y en la calidad de vida urbana (Martínez-Soto, Montero-López y de la Roca, 2016); sin embargo, aunque generan una gran cantidad de beneficios urbanos, presentan una serie de desafíos urbanos, tales como:

- No hay una distribución equitativa de éstas (Wolch, Byrne y Newell, 2014)
- Su uso está condicionado por características etno-raciales y socioeconómicos (Cole et al., 2019)

- El clima y la falta de agua en ciudades con clima árido-seco es una problemática para su desarrollo y mantenimiento (Khalifa y Abdelall, 2019)
- Las construcciones, concreto y pavimentación constituyen un gran porcentaje dentro de las zonas urbanas, lo cual destina poca área a la implementación de infraestructura verde urbana (BID, 2019)

Una estrategia para la solución de escasez de áreas verdes es la transformación de los techos convencionales a techos verdes (Valenzuela et al., 2017). Donde es necesaria la adaptación del diseño hacia las condiciones económicas, ambientales y sociales específicas del lugar, para poder incrementar la sustentabilidad urbana (Navarrete-Peñuela, 2017). En el análisis del indicador de áreas verdes calificadas por habitante, se presentó una escasez de áreas verdes en la ciudad de Hermosillo, el cual es respondido por la propuesta urbana paisajística, donde su implementación aumentaría 10 metros cuadrados de áreas verdes calificadas por habitante. Otros hallazgos de la propuesta son:

- Contiene una implementación equitativa alrededor de la mancha urbana
- Propuesta de prototipo de techos verde para ciudades con clima árido seco
- Adaptación a la disponibilidad del recurso hídrico, mediante el sistema de irrigación por goteo y a las características ambientales de la ciudad
- Demuestra que Hermosillo tiene la capacidad de albergar arriba de nueve millones de metros cuadrados de áreas verdes, mediante la reutilización de azoteas ya construidas

El análisis de la encuesta de percepción ciudadana afirmó que en la ciudad de Hermosillo las áreas verdes no están distribuidas equitativamente, tal como lo menciona la literatura; sin embargo, este desafío es respondido por medio de la propuesta urbana, generando un aumento equitativo de áreas verdes urbanas. Simmons (2015), establece que los componentes del techo verde convencional deben ser rediseñados para su adaptación a las condiciones del clima, lo cual se establece en la caracterización de techos verdes en clima árido seco en la fase 3 de los resultados.

Al transformar los espacios ya construidos en techos verdes, aumenta de manera significativa la cantidad de áreas verdes urbanas por habitante, siendo una estrategia óptima para el desarrollo sustentable de las ciudades y el aumento de la calidad de vida urbana, respondiendo a los objetivos 3 y 11 de los ODS.

VIII. CONCLUSIONES

Conforme a los hallazgos encontrados en la literatura, es posible la adaptación de los componentes de los techos verdes extensivos convencionales hacia las características extremas de ciudades con clima árido-seco; mediante el uso de vegetación nativa, uso de elementos de baja huella ecológica o del cierre de ciclo de otras actividades, la implementación de un sistema de riego ahorrativo y un diseño que cumpla con las necesidades específicas del lugar y del usuario, para obtener resultados en pro a la sustentabilidad urbana.

Al concluir el proyecto de investigación se mostró que la propuesta urbana paisajística contribuye potencialmente a la sustentabilidad urbana de Hermosillo, mediante la generación de beneficios cuantitativos y cualitativos en la calidad del aire, la salud urbana, la biodiversidad, la mitigación al cambio climático, áreas verdes urbanas, y genera un ahorro económico significativo a largo plazo, siendo los techos verdes rentables. Aunado a esto, la propuesta tiene la capacidad de aumentar equitativamente el indicador de áreas verdes calificadas por habitante en la ciudad, pasando de 2.14 a 10 m²/hab; generando un aumento en la calidad de vida de los habitantes.

IX. RECOMENDACIONES

Para la implementación de la propuesta urbana paisajística se recomienda la participación de instituciones gubernamentales, asociaciones civiles y empresas, que contribuyan a la implementación económica de dicha propuesta; de igual manera, es importante que se realice una difusión clara de las ventajas y desafíos de los sistemas de techo verde en ciudades con clima árido seco, así como realizar un estudio a detalle del análisis estructural de cada edificación donde se pretende implementar este sistema, ya que es necesario conocer las condiciones físicas de la techumbre y saber si tiene las capacidades de soportarlo o requiere de un refuerzo estructural externo.

Aunado a esto, se recomienda ampliamente realizar estudios a detalle para evaluar la percepción social de las personas que habitan en la zona urbana para conocer y analizar la perspectiva actual que se tiene hacia las áreas verdes urbanas, y en específico de los techos verdes; detectar los procesos de apropiación y compararlos con los sistemas estándares establecidos para una mejor integración del sistema en las propiedades. En la ciudad de Hermosillo, se recomienda un análisis más a detalle de la cantidad requerida de áreas verdes cualificadas por habitante, según las características específicas de la ciudad y la demanda de sus habitantes, para un aumento en la sustentabilidad urbana.

X. REFERENCIAS

- Acioly, C., Vignol, R. y Jonsson, A., 2020. *The New Urban Agenda*. UN-Habitat ed. [En línea] Disponible en: www.unhabitat.org/HSNumber:HS/035/20E [Consultado el 14/2/2021].
- Acks K., 2005. A framework of cost-benefit analysis of green roofs: initial estimates. [En línea] Disponible en: [http://ccsr.columbia.edu/cig/greenroofs/ Green_Roof_Cost_Benefit_Analysis](http://ccsr.columbia.edu/cig/greenroofs/Green_Roof_Cost_Benefit_Analysis). New York: Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies [Consultado el 03/9/2021].
- Allen, M., Coninck, H., Dube, O., Hoegh-Guldberg, O., Jacob, D., Jiang, K., Revi, A., Rogelj, J., Roy, J., Shindell, D., Solecki, W., Taylor, M., Tschakert, P. y Waisman, H., 2018. Technical Summary. In: *Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emissions pathways*. pp. 1-22.
- Alpuche, M.G., Moreno, H., Ochoa, M. y Marincic, I., 2010. Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes. *Estudios sobre Arquitectura Y Urbanismo del Desierto*, 3(3), pp.1–9.
- Banco Interamericano de Desarrollo, 2016. *Guía Metodológica Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles: Tercera edición*, [En línea] pp.1–172. Disponible en: <https://publications.iadb.org/es/guia-metodologica-programa-de-ciudades-emergentes-y-sostenibles-tercera-edicion> [Consultado el 8/4/2021].
- Banco Interamericano de Desarrollo y Ayuntamiento de Hermosillo., 2018. *Hermosillo a Escala Humana, Ciudad diversificada, innovadora y sostenible*. pp. 1-173.
- Banco Interamericano de Desarrollo, 2019. Promover Ciudades Sostenibles: Perspectivas Regionales. *Resumen Ejecutivo* [En línea] pp.1–12. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/creating-livable-cities-regional-perspectives> [Consultado el 29/3/2021].
- Banco Interamericano de Desarrollo, 2020. Guía técnica para Desarrolladores de Proyectos Respecto al Uso de las SbN. *Mejorando la Resiliencia de la Infraestructura con Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN)*, pp. 1-56.
- Banting, D., Doshi, H., Li, J. and Missios, P., 2005. Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto.
- Benvenuti, S., 2014. Wildflower green roofs for urban landscaping, ecological sustainability, and biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, 124, pp.151–161.
- Beyer, K., Kaltenbach, A., Szabo, A., Bogar, S., Nieto, J. y Malecki, K., 2014. Exposure to neighborhood green space and mental health: Evidence from the survey of the health of Wisconsin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(3), pp.3453–3472.
- Bianchini, F. y Hewage, K., 2012. Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Building and Environment*, 58, pp.1–11.
- Bowler, D.E., Buyung-Ali, L., Knight, T.M. y Pullin, A.S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97, pp. 147-155.
- Brenneisen, S., 2006. Space for Urban Wildlife: Designing Green Roofs as Habitats in Switzerland. *Urban Habitats*, [En línea] 4(1), pp.27–36. Disponible en: <http://www.urbanhabitats.org> [Consultado el 07/11/2020].
- Chiabai, A., Quiroga, S., Martínez-Juarez, P., Suárez, C., García de Jalón, S. y Taylor, T., 2020. Exposure to green areas: Modelling health benefits in a context of study heterogeneity. *Ecological Economics*, 167, pp.1–10.
- Clark, C., Adriaens, P. y Talbot, F.B., 2008. Green roof valuation: A probabilistic economic analysis of environmental benefits. *Environmental Science and Technology*, 42(6), pp.1–7
- Cole, H., Triguero-Mas, M., Connolly, J. y Anguelovski, I., 2019. Determining the health benefits of green space: Does gentrification matter? *Health and Place*, 57, pp.1–11.

- CONEVAL. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2019. [En línea] Disponible en: <<https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Pobreza-2018.aspx>> [Consultado el 07/06/2021].
- Connelly, M. y Hodgson, M., 2013. Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs. *Applied Acoustics*, 74(10), pp.1136–1143
- Cordera, R. y Provencio, E., 2020. Cambiar el rumbo: el desarrollo tras la pandemia. *Programa Universitario de Estudios del Desarrollo, Universidad Nacional Autónoma de México*, pp. 23-142.
- Córdova O., 2021. [En línea] Disponible en: <<https://twitter.com/omarcordova74>> [Consultado el 04/07/2021].
- Cortés, K., 2019. Análisis del comportamiento térmico, beneficios y costos, de dos tipos de techos verdes en sistema modular, en Poza Rica, Veracruz.
- Dadvand, P. y Nieuwenhuijsen, M., 2019. Green space and health. In: *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning: A Framework*. Springer International Publishing, pp.409–424.
- Delgado, S., 2018. *Resiliencia verde urbana en Santiago de Surco, Lima, Perú*. Universidad Politécnica de Madrid, [Pdf] pp.1-8. Disponible en: <<https://www.urp.edu.pe/pdf/id/17291/n/01-resiliencia-verde-urbana.pdf>> [Consultado el 27/1/2021].
- Di Giuseppe, E. y D’Orazio, M., 2015. Assessment of the effectiveness of cool and green roofs for the mitigation of the Heat Island effect and for the improvement of thermal comfort in Nearly Zero Energy Building. *Architectural Science Review*, 58(2), pp.134–143.
- Díaz, C., 2015. Valoración Económica de Techos Verdes en Bogotá. Bogotá. pp.1-8
- Díaz, L. y Rodríguez, E., 2007. Insostenibilidad desarrollo urbano Caso Danta Marta. 1(1), pp.64–100.
- Duarte, A., 2014. Guía para la redacción del protocolo de investigación del proyecto final de carrera. Hermosillo.
- Dubey, S., Biswas, P., Ghosh, R., Chatterjee, S., Dubey, M.J., Chatterjee, S., Lahiri, D. y Lavie, C.J., 2020. Psychosocial impact of COVID-19. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, 14(5), pp.779–788.
- Felappi, J.F., Sommer, J.H., Falkenberg, T., Terlau, W. y Kötter, T., 2020. Green infrastructure through the lens of “One Health”: A systematic review and integrative framework uncovering synergies and trade-offs between mental health and wildlife support in cities. *Science of the Total Environment*, 748, pp. 1-12.
- Fernández, R., 2005. Ciudades al borde del colapso: Notas sobre la insostenible insustentabilidad urbana. *Perspectivas Urbanas*, [En línea] pp.15–23. Disponible en: <www.etsav.upc.es/urbspersp> [Consultado el 20/2/2021].
- Flores, E., Martínez, C., Cantón, A. y Correa, E., 2016. Cubiertas verdes en zonas áridas. Su eficiencia como estrategia de ahorro energético en verano e invierno. pp.1-11
- Flores, J., 2019. Tecnología verde en zonas áridas. Diseño y evaluación energético-ambiental de sistemas de vegetación de aplicación en cubiertas edilicias.
- Flores, J., Martínez, C., Cantón, A. y Correa, E., 2016. Desempeño térmico de cubiertas verdes en ciudades de zonas áridas. *Revista Hábitat Sustentable*, 6(2), pp.6–15.
- Flores, J., Martínez, C., Cantón, M. y Correa, E., 2017. Ahorro energético residencial en ciudades de zonas áridas. Incorporación de cubiertas vegetadas como estrategias ambientalmente eficientes. *Estudios del hábitat*, 15(2), pp.1–13.
- Galea, S., Freudenberg, N. y Vlahov, D., 2005. Cities and population health. *Social Science and Medicine*, 60(5), pp.1017–1033.
- Gehl, J., 2014. Ciudades para la gente. *Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Infinito*, 1, pp. 1-29.
- Givoni, B., 1991. Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment*, 25(3), pp.289–299.
- Google Maps, 2021. [En línea] Disponible en: <<https://www.google.com.mx/maps>> [Consultado el 03/06/2021].

- Graizbord, B., 2007. Megaciudades, globalización y viabilidad urbana. *Boletín del Instituto de Geografía*, [En línea] 63, pp.125–140. Disponible en: <<http://www.citypopulation.de/World.html>> [Consultado el 03/2/2021].
- Green, T.L., Kronenberg, J., Andersson, E., Elmqvist, T. y Gómez-Baggethun, E., 2016. Insurance Value of Green Infrastructure in and Around Cities. *Ecosystems*, 19(6), pp.1051–1059.
- Gudynas, E., 2009. Desarrollo sostenible: Posturas contemporáneas y desafíos en la construcción del espacio urbano. *Vivienda popular*, 18, pp.12–19.
- Haksever, T. y Markoc, I., 2020. Social Perception of the Green Roofs in Contribution to Urban Sustainability: Istanbul. *Developing Country Studies*, 10(4), pp.1–8.
- Harvard Graduate School of Design y Banco Interamericano de Desarrollo, 2017. *Rethinking Hermosillo. Ciudades Emergentes Sostenibles* pp. 1-95.
- Hashemi, S.S.G., Mahmud, H. bin y Ashraf, M.A., 2015. Performance of green roofs with respect to water quality and reduction of energy consumption in tropics: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, pp. 669-679.
- Hassan, K. y Muhammad, A., 2017. Impact of green roof and orientation on the energy performance of buildings: A case study from Saudi Arabia. *Sustainability*, 9(4), pp.1–18.
- Hermosillo ¿Cómo vamos?, 2020. Informe de Indicadores 2020. Hermosillo, México: Observatorio para la competitividad y el Desarrollo de Sonora A.C. pp. 1-173
- Hien, N., Fen Tay, S., Wong, R., Leng, C. y Sia, A., 2003. Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. *Building and Environment*. 38, pp.499–509.
- IMPLAN. Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo, 2016. *Programa de Desarrollo Metropolitano de Hermosillo*. pp. 1-158.
- IMPLAN. Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo, 2020a. Manual de Lineamientos de Diseño de Infraestructura Verde para Municipios Mexicanos, pp. 1-193.
- IMPLAN. Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo, 2020b. *Paleta Vegetal Hermosillo*. pp. 1-158.
- INAFED. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal, 2021. [En línea] Disponible en: <<https://www.gob.mx/inafed>> [Consultado el 05/06/2021].
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2020. *Censo de Población y Vivienda*. [En línea] Disponible en: <<https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=260300001#tabMCcollapse-Indicadores>> [Consultado el 01/06/2021].
- James, P., Banay, R., Hart, J. y Laden, F., 2015. A Review of the Health Benefits of Greenness. *Current Epidemiology Reports*, 2(2), pp.131–142.
- Jordán, R. y Segovia, O., 2005. Espacios públicos urbanos, pobreza y construcción social. In: *Medio ambiente y desarrollo*. Naciones Unidas, CEPAL, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos.pp.1–52.
- Khalifa, M.M. y Abdelall, M.I., 2019. Ecological desert settlement Egypt western desert. *Alexandria Engineering Journal*, 58(1), pp.291–301.
- Khotbehsara, E.M., Daemei, A.B. y Malekjahan, F.A., 2019. Simulation study of the eco green roof in order to reduce heat transfer in four different climatic zones. *Results in Engineering*, 2, pp.1–8.
- Kim, G. y Miller, P., 2019. The impact of green infrastructure on human health and well-being: The example of the Huckleberry Trail and the Heritage Community Park and Natural Area in Blacksburg, Virginia. *Sustainable Cities and Society*, 48, pp.1–9.
- Kjellstrom, T., Friel, S., Dixon, J., Corvalan, C., Rehfues, E., Campbell-Lendrum, D., Gore, F. y Bartram, J., 2007. Urban environmental health hazards and health equity. *Journal of Urban Health: Bulletin of the New York Academy of Medicine*, 84(1), pp.86–97.

- Kühn, S., Düzel, S., Eibich, P., Krekel, C., Wüstemann, H., Kolbe, J., Martensson, J., Goebel, J., Gallinat, J., Wagner, G.G. y Lindenberger, U., 2017. In search of features that constitute an “enriched environment” in humans: Associations between geographical properties and brain structure. *Scientific Reports*, 7(1), pp.1–8.
- Kumar, P., Druckman, A., Gallagher, J., Gatersleben, B., Allison, S., Eisenman, T.S., Hoang, U., Hama, S., Tiwari, A., Sharma, A., Abhijith, K. v., Adlakha, D., McNabola, A., Astell-Burt, T., Feng, X., Skeldon, A.C., de Lusignan, S. y Morawska, L., 2019. The nexus between air pollution, green infrastructure, and human health. *Environment International*, 133, pp. 1-14.
- Kuper, R., 2009. What's up? Examining the awareness of green roofs in suburbia. *Journal of Soil and Water Conservation*, 64(5), pp. 145-149.
- Lagstrom 2004. ¿Do extensive green roofs reduce noise? International Green Roof Institute
- Lecic-Tosevski, D., 2019. Is urban living good for mental health? *Current Opinion in Psychiatry*, 32(3), pp. 1-6
- Liu y Baskaran 2003. Thermal Performance of Green Roofs Through Field Evaluation. En Proc. Greening Rooftops for Sustainable Communities Chicago, Illinois.
- Losada-Baltar, A., Jiménez-Gonzalo, L., Gallego-Alberto, L., Pedroso-Chaparro, M.D.S., Fernández-Pires, J. y Márquez-González, M., 2020. “We’re staying at home”. Association of self-perceptions of aging, personal and family resources and loneliness with psychological distress during the lock-down period of COVID-19. *The journals of gerontology. Series B, Psychological sciences, and social sciences*, 10(10), pp.1–7.
- Manso, M., Teotónio, I., Silva, C.M. y Cruz, C.O., 2021. Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*,
- Marincic I. y Ochoa J. M., 2021. *Base de datos de la Estación Meteorológica Automática del Laboratorio de Energía, Medioambiente y Arquitectura*, Universidad de Sonora. Hermosillo, México.
- Martínez-Soto, J., Montero-López, M. y Córdova, A., 2014. Restauración psicológica y naturaleza urbana: algunas implicaciones para la salud mental. *Salud Mental*, 37(3), pp.217–224.
- Martínez-Soto, J., Montero-López, M. y de la Roca, J.M., 2016. Efectos psico ambientales de las áreas verdes en la salud mental. *Interamerican Journal of Psychology*, [En línea] 50(2), pp.204–214. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28447010004>> [Consultado el 18/01/2021].
- Morgan, B., 2004. An evaluation of vegetated roofing technology: Application at Air Force Plant Four, Building 15.
- Moyano, E. y Priego, C., 2009. Marco teórico para analizar las relaciones entre paisaje natural, salud y calidad de vida. *Sociedad Hoy*, 16, pp.31–44.
- Mule, C., 2018. Jardines secos en torno a los jardines en en zonas áridas. *CONSENSUS*, 23(1), pp.53–68.
- Naciones Unidas, 2020a. *Ciudades sostenibles: Por qué son importantes*. [En línea] Disponible en: <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>> [Consultado el 14/2/2021].
- Naciones Unidas, 2020b. *Documento de políticas: La COVID-19 en un mundo urbano*, pp. 1-37.
- Naciones Unidas, 2020c. The Value of Sustainable Urbanization. *World Cities Report 2020*. Nairobi, Kenya. pp. 1-33.
- Navarrete-Peñuela, M., 2017. Desarrollo urbano sustentable: El gran desafío para América Latina y los preparativos para habitat III. *Revista Luna Azul*, 45, pp.123–149.
- Nawaz, R., McDonald, A. y Postoyko, S., 2015. Hydrological performance of a full-scale extensive green roof located in a temperate climate. *Ecological Engineering*, 82, pp.66–80.
- Nowak, D., Nascimento, J., Bardoed, T. y Krishnamurthy, L., 1998. *Áreas verdes urbanas en Latinoamérica y el Caribe*. Ciudad de México: Universidad Autónoma Chapingo. pp. 17-38.
- OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, 2020. [En línea] Disponible en: <<https://www.oecd.org/mexico/>> [Consultado el 18/06/2021].

- Ortega, C., Enciso, C., Macías, A., Morales, D. and Villarruel, L., 2020. Urban vegetation cover correlates with environmental variables in a desert city: insights of mitigation measures to climate change. *Urban Ecosystems*, 23(6), pp.1191–1207.
- Pinazo-Hernandis, S., 2020. Psychosocial impact of COVID-19 on older people: Problems and challenges. *Revista Española de Geriatría y Gerontología*, 55(5), pp.249–252.
- PNUD. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2020. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. [En línea] Disponible en: <undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals.html> [Consultado el 29/11/2020]
- Razia, S. y Khan, N., 2019. Residents' Perception of Green Spaces for Urban Sustainability: A Case Study in Dhaka City. *Quarterly Journal of Bangladesh Public Administration Training Centre*, [En línea] pp.6–25. Disponible en: <<https://www.researchgate.net/publication/336287460>> [Consultado el 08/04/2021].
- Romagosa, F., 2018. Physical health in green spaces: Visitors' perceptions and activities in protected areas around Barcelona. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*, 23, pp.1–7.
- Rosenzweig, Gaffin y Parshall 2006. Green roofs in the New York metropolitan region: research report. New York: Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies. Pp. 1–59
- Rugel, E., Carpiano, R., Henderson, S. y Brauer, M., 2019. Exposure to natural space, sense of community belonging, and adverse mental health outcomes across an urban region. *Environmental Research*, 171, pp.365–377.
- Sahagun, M., 2019. Análisis del comportamiento térmico de un techo verde desértico y su espesor de sustrato en el clima seco del noroeste de México, pp. 1-20.
- Sailor, D.J., 2008. A green roof model for building energy simulation programs. *Energy and Buildings*, 40(8), pp.1466–1478.
- Santini, Z.I., Nielsen, L., Hinrichsen, C., Meilstrup, C., Madsen, K.R., Koushede, V., Sanitari Sant Joan de Déu, P., Ziggi Ivan Santini, D., Ivan Santini, Z., Jose, P.E., York Cornwell, E., Koyanagi, A., Nielsen, L., Hinrichsen, C., Meilstrup, C., Madsen, K.R. y Koushede, V., 2020. Social disconnectedness, perceived isolation, and symptoms of depression and anxiety among older Americans (NSHAP): a longitudinal mediation analysis. *Articles Lancet Public Health*, [En línea] 5, pp.62–70. Disponible en: <www.thelancet.com/> [Consultado el 3/3/2021].
- Sendzimir Foundation, 2010. Local Development. In: *Sustainable Development Applications*. pp.1–51.
- Sendzimir Foundation, 2011. Sustainable Development Applications. In: T. Bergier and J. Kronenberg, eds. *Sustainable Development Applications*. Sendzimir Foundation. pp.1–77.
- Serafini, G., Parmigiani, B., Amerio, A., Aguglia, A., Sher, L. y Amore, M., 2020. The psychological impact of COVID-19 on the mental health in the general population. *QJM: An International Journal of Medicine*, 113(8), pp.529–535.
- Shen, L., Shuai, C., Jiao, L., Tan, Y. y Song, X., 2017. Dynamic sustainability performance during urbanization process between BRICS countries. *Habitat International*, 60, pp.19–33
- Simmons, M., 2015. Climates and Microclimates: Challenges for Extensive Green Roof Design in Hot Climates. pp.63–78.
- SINA. Sistema Nacional de Información del Agua, 2021. *Monitoreo de las Principales Presas de México* [En línea] Disponible en: <<http://sina.conagua.gob.mx/sina/almacenamientoPresas.php>> [Consultado el 04/06/2021].
- Sonne J, 2006. Energy performance aspects of a Florida green roof. In: 15th annual symposium on improving building energy systems efficiency in hot and humid climates
- Suarez, M., 2020. Avances en la introducción de cubiertas naturadas sustentables para zonas urbanas y periurbanas de la ciudad de Córdoba: selección de materiales de Glandularia spp.
- Susca, T., Gaffin, S.R. y Dell'Osso, G.R., 2011. Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental Pollution*, 159(8–9), pp.2119–2126.

- Teemusk, A. y Mander, Ü., 2010. Temperature regime of planted roofs compared with conventional roofing systems. *Ecological Engineering*, 36(1), pp.91–95.
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs and Population Division, 2019. World Urbanization Prospects. *The 2018 Revision*. New York, pp. 1-126.
- Valenzuela, M., Guitron, A., López, P. y Rodríguez, M., 2017. Techo verde y su espesor de sustrato en zonas desérticas del Noroeste de México. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 12(21), pp.30–37.
- Van Renterghem, T. y Botteldooren, D., 2009. Reducing the acoustical façade load from road traffic with green roofs. *Building and Environment*, 44(5), pp.1081–1087.
- Van Renterghem, T. y Botteldooren, D., 2011. In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Building and Environment*, 46(3), pp.729–738.
- Vanuytrecht, E., Van Mechelen, C., Van Meerbeek, K., Willems, P., Hermy, M. y Raes, D. (2014) 'Runoff and vegetation stress of green roofs under different climate change scenarios', *Landscape and Urban Planning*, 122, pp. 68-77.
- VanWoert, N., Rowe, B., Andresen, J., Rugh, C., Fernandez, T. y Xiao, L., 2005. Green Roof Stormwater Retention: Effect of Roof Surface, Slope, and Media Depth. *Journal of Environmental Quality*, 34(3), pp.1036–1044
- Versini, P.-A., Jouve, P., Ramier, D., Berthier, E. y de Gouvello, B., 2016. Use of green roofs to solve storm water issues at the basin scale – Study in the Hauts-de-Seine County (France). *Urban Water Journal*, 13(4), pp.372–381.
- Vlahov, D., Freudenberg, N., Proietti, F., Ompad, D., Quinn, A., Nandi, V. y Galea, S., 2007. Urban as a determinant of health. *Journal of Urban Health*, 84(1), pp.16–26.
- Volder A., y Dvorak B. 2014. Event size, substrate water content and vegetation affect storm water retention efficiency of an un-irrigated extensive green roof system in Central Texas. *Sustainable Cities and Society* vol 10, 59-64.
- Winchester, L., 2006. Desafíos para el desarrollo sostenible de las ciudades en América Latina y El Caribe. *Revista eure*, XXXII (96), pp.7–25.
- Wolch, J.R., Byrne, J. y Newell, J.P., 2014. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities “just green enough.” *Landscape and Urban Planning*, 125, pp.234–244.
- World Health Organization, 2016. *Global report on urban health: equitable, healthier cities for sustainable development*, pp. 6-137.
- Yang, J., Yu, Q. y Gong, P., 2008. Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment*, 42(31), pp.7266–7273.
- Yanguas, J., Pinazo-Henandis, S. y Tarazona-Santabalbina, F.J., 2018. The complexity of loneliness. *Acta Biomédica*, 89(2), pp.302–314.
- Yañez, O., 2016. Techos verdes para climatización pasiva en clima árido-seco.
- Zahir, M., Raman, S., Mohamed, M., Jamiland, M. y Nopiah, Z., 2014. The Perception of Malaysian Architects towards the Implementation of Green Roofs: A Review of Practices, Methodologies and Future Research. In: *Emerging Technology for Sustainable Development Congress*. [En línea] pp.1–8. Disponible en: <<http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/20140301022>> [Consultado el 11/2/2021].

XI. ANEXOS

Anexo 1 Resultados a detalle de percepción social

¿Qué tan satisfecho se siente con la calidad del alumbrado público?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	805 H del 100%	804 M del 100%
	H	M	H	M	H	M	H	M				
Muy insatisfecho	14	5	16	5	13	5	0	3	61	3.79%	5.34%	2.24%
Poco satisfecho	28	17	31	16	17	21	16	20	166	10.32%	11.43%	9.20%
Algo satisfecho	39	35	33	28	20	24	23	23	225	13.98%	14.29%	13.68%
Satisfecho	95	113	138	88	100	118	43	65	760	47.23%	46.71%	47.76%
Muy satisfecho	50	57	57	43	49	84	23	34	397	24.67%	22.24%	27.11%
	TOTAL ENCUESTADOS								1609	100%		

¿Qué tan satisfecho se siente con la calidad de la semaforización y señales viales?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	805 H del 100%	804 M del 100%
	H	M	H	M	H	M	H	M				
Muy insatisfecho	21	10	22	5	17	5	5	14	99	6.15%	8.07%	4.23%
Poco satisfecho	32	35	36	19	19	32	20	24	217	13.49%	13.29%	13.68%
Algo satisfecho	49	36	41	36	36	37	23	35	293	18.21%	18.51%	17.91%
Satisfecho	98	115	141	101	93	120	40	56	764	47.48%	46.21%	48.76%
Muy satisfecho	26	31	35	19	34	58	17	16	236	14.67%	13.91%	15.42%
	TOTAL ENCUESTADOS								1609	100%		

¿Qué tan satisfecho se siente con la calidad del servicio de agua?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	805 H del 100%	804 M del 100%
	H	M	H	M	H	M	H	M				
Muy insatisfecho	18	13	9	6	9	2	1	6	64	3.98%	4.60%	3.36%
Poco satisfecho	28	21	35	20	21	12	19	23	179	11.12%	12.80%	9.45%
Algo satisfecho	30	31	29	23	21	25	14	17	190	11.81%	11.68%	11.94%
Satisfecho	105	110	149	104	112	133	43	51	807	50.16%	50.81%	49.50%
Muy satisfecho	45	52	53	27	36	80	28	48	369	22.93%	20.12%	25.75%
	TOTAL ENCUESTADOS								1609	100%		

¿Qué tan satisfecho se siente con la calidad del servicio de recolección de basura?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	805 H del 100%	804 M del 100%
	H	M	H	M	H	M	H	M				
Muy insatisfecho	14	4	18	2	11	6	4	12	71	4.41%	5.83%	2.99%
Poco satisfecho	25	22	26	18	18	25	14	29	177	11.00%	10.30%	11.71%
Algo satisfecho	32	25	37	29	20	18	20	26	207	12.87%	13.52%	12.20%
Satisfecho	88	89	116	75	80	95	45	59	647	40.21%	40.82%	39.60%
Muy satisfecho	68	87	78	56	70	108	22	18	507	31.51%	29.53%	33.50%
	TOTAL ENCUESTADOS								1609	100%		

¿Qué tan satisfecho se siente con la calidad de las calles y la pavimentación?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	805 H del 100%	804 M del 100%
	H	M	H	M	H	M	H	M				
Muy insatisfecho	45	58	31	13	36	31	13	28	255	15.85%	15.53%	16.17%
Poco satisfecho	40	38	47	29	28	38	24	26	270	16.78%	17.27%	16.29%
Algo satisfecho	59	45	67	45	58	51	28	32	385	23.93%	26.34%	21.52%
Satisfecho	56	68	98	74	56	82	30	45	509	31.63%	29.81%	33.46%
Muy satisfecho	26	18	32	19	21	50	10	14	190	11.81%	11.06%	12.56%
	TOTAL ENCUESTADOS								1609	100%		

¿Qué tan seguro o inseguro se siente en su casa cuando no se encuentra acompañado?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	HOMBRES MUJERES	
	H	M	H	M	H	M	H	M			HOMBRES	MUJERES
Muy inseguro	1	3	0	1	1	3	2	7	18	1.12%	4	14
Poco inseguro	5	8	0	3	2	3	4	7	32	1.99%	11	21
Algo seguro	22	21	24	15	18	15	14	29	158	9.82%	78	80
Poco seguro	114	114	127	84	91	126	52	55	763	47.42%	384	379
Muy seguro	83	80	119	76	86	102	33	46	625	38.84%	321	304
NS/NC	1	1	5	1	1	3	0	1	13	0.81%	7	6
TOTAL ENCUESTADOS									1609	100%	805	804

¿Qué tan seguro o inseguro se siente en la calle cuando no se encuentra acompañado?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	HOMBRES MUJERES	
	H	M	H	M	H	M	H	M			HOMBRES	MUJERES
Muy inseguro	15	23	16	13	15	12	9	23	126	7.83%	55	71
Poco inseguro	33	30	29	16	19	22	14	19	182	11.31%	95	87
Algo seguro	78	82	88	52	68	75	45	46	534	33.19%	279	255
Poco seguro	66	68	91	76	64	101	29	37	532	33.06%	250	282
Muy seguro	32	21	47	20	32	38	8	18	216	13.42%	119	97
NS/NC	2	3	4	3	1	4	0	2	19	1.18%	7	12
TOTAL ENCUESTADOS									1609	100%	805	804

¿Qué tan seguro o inseguro se siente en el parque cuando no se encuentra acompañado?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	HOMBRES MUJERES	
	H	M	H	M	H	M	H	M			HOMBRES	MUJERES
Muy inseguro	14	12	14	8	17	8	7	11	91	5.66%	52	39
Poco inseguro	15	14	15	12	14	13	10	10	103	6.40%	54	49
Algo seguro	47	57	53	33	33	40	21	25	309	19.20%	154	155
Poco seguro	76	48	93	54	61	90	24	31	477	29.65%	254	223
Muy seguro	24	30	35	20	26	36	9	19	199	12.37%	94	105
NS/NC	50	66	65	53	48	65	34	49	430	26.72%	197	233
TOTAL ENCUESTADOS									1609	100%	805	804

¿Qué tan seguro o inseguro se siente en el transporte público cuando no se encuentra acompañado?

	Norte		Centro		Sur		Rural		TOTAL	%	HOMBRES MUJERES	
	H	M	H	M	H	M	H	M			HOMBRES	MUJERES
Muy inseguro	21	10	12	7	14	7	3	7	81	5.03%	50	31
Poco inseguro	14	15	8	10	13	9	8	10	87	5.41%	43	44
Algo seguro	53	75	65	46	33	51	12	36	371	23.06%	163	208
Poco seguro	78	68	96	58	72	104	38	45	559	34.74%	284	275
Muy seguro	28	29	37	22	26	38	8	14	202	12.55%	99	103
NS/NC	32	30	57	37	41	43	36	33	309	19.20%	166	143
TOTAL ENCUESTADOS									1609	100%	805	804

Fuente: Elaboración propia en base a datos recaudados por Hermosillo ¿Cómo vamos? 2020.

Anexo 2 Zonas prioritarias de reforestación verde en Hermosillo en base a estudio de Ortega et. al., (2020)

