

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

Reconocimiento de validez oficial de estudios de nivel superior según acuerdo secretarial 15018, publicado en el Diario Oficial de la Federación del 29 de noviembre de 1976.

Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano
Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables

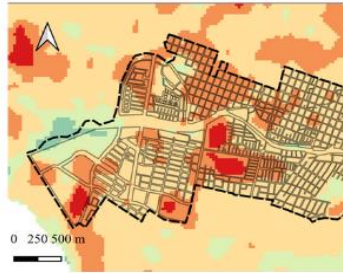
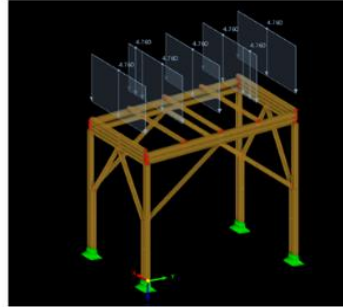


Techos Verdes con Especies Nativas: Una Apuesta para Crear Azoteas Regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta

TRABAJO RECEPCIONAL que para obtener el **GRADO** de
MAESTRA EN PROYECTOS Y EDIFICACIÓN SUSTENTABLES
Presenta: **VANESSA GUADALUPE MENDOZA HERNÁNDEZ**

Tutor **FRANCISCO ÁLVAREZ PARTIDA**
Cotutor **MARINÉS DE LA PEÑA DOMENE**

Tlaquepaque, Jalisco. Agosto del 2022.



**Techos Verdes con Especies Nativas: Una Apuesta para Crear Azoteas
Regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta, Jalisco**

Ing. Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández

ORCID 0000-0001-8841-0669

Trabajo de Obtención de Grado

Modalidad - Proyecto de Investigación Aplicada

LGAC - Soluciones Espaciales al Hábitat Inmediato

El proyecto se alinea con tres Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES):

Energía y Cambio Climático; Sistemas Socioecológicos y Sustentabilidad; y Vivienda

El proyecto responde a los siguientes campos de la Clasificación Barros Sierra:

240000	Ciencias de la Vida	330000	Ciencias de la Tecnología
241700	Botánica	330500	Tecnologías de la Construcción
241715	<i>Crecimiento de Plantas</i>	330514	<i>Casas</i>
		330800	Tecnología del Medio Ambiente
250000	Ciencias de la Tierra y el Cosmos	332200	Tecnología de la Energía
250200	Climatología	332299	<i>Otros (Eficiencia Energética)</i>
250203	<i>Bioclimatología</i>	332900	Tecnología del Urbanismo
		332908	<i>Medio Ambiente Urbano</i>

Nota: Nomenclatura Internacional Normalizada Relativa a la Ciencia y la Tecnología, UNESCO (Versión México 2000), COQCYT, octubre del 2010

31 de agosto del 2022



CC BY-SA

Agradecimientos

Al ITESO, por la oportunidad. Al CONACyT, por la beca otorgada. A mi tutor y cotutora, el Mtro. Francisco Álvarez Partida y la Dra. Marinés de la Peña Domene, por su compromiso y acompañamiento. Al Geog. Samuel Alatorre Ramos, por su disposición y fehaciente contribución en la elaboración de cartografía y asesoría en sistemas de información geográfica. Al Ing. Juan Pablo Doddolí, por su interés, entusiasmo y contribución en el cálculo estructural de la vivienda caso de estudio y diseño de estructura de bambú. Al M. en C. José Arturo Solís Magallanes, por su oportuna respuesta, accesibilidad y asesoría para la identificación de especies nativas. Al Mtro. Carlos E. Estrada Casarín y Mtro. Diego Rea Padilla, por su confianza y colaboración. A mis compañeras(os) estudiantes: Rosy; Christopher; María Elena; Roberto; Michell; Fernanda; y Esteban, por su apoyo y entusiasmo. Al Dr. Nayar Gutiérrez; Dra. Natalia Mesa; Arq. Paola Rojas; entre muchas otras personas que, directa o indirectamente, aportaron a la culminación de este proyecto.



Dedicatoria



Resumen

Las ciudades ejercen una fuerte presión sobre los ecosistemas, disminuyendo los servicios ecosistémicos en su entorno. Desde las azoteas de las edificaciones se puede contribuir a mitigar este fenómeno a través de la incorporación de techos verdes. Este proyecto se propuso diseñar un prototipo de techo verde con especies nativas para vivienda social existente de Puerto Vallarta, Jalisco. Se eligió al bambú *Guadua angustifolia* como material de construcción de la estructura. A través de sinergia con estudiantes de licenciatura en arquitectura e ingeniería civil, se logró diseñar tres prototipos. Se establece al prototipo DDI como el más apto. Inexperiencia en el cálculo estructural con bambú y la mala calidad del material fueron los obstáculos más importantes en el diseño de la estructura de bambú. Por otra parte, una investigación sobre especies nativas, basada en plantas ruderales, arrojó una lista de ochenta y tres especies que potencialmente se podrían utilizar en techos verdes extensivos. *Portulaca oleorasa* destacó en una prueba piloto de sobrevivencia en condiciones de techo verde. Una encuesta sobre percepción de techos verdes y usos de la azotea demostró una tendencia en el uso de este espacio, así como el deseo de tener un techo verde. Finalmente, un mapa de isla de calor urbano elaborado para Puerto Vallarta permitió conocer que el 99% de las manzanas del área de estudio presentan temperaturas fuera de la zona de confort higrotérmico. Se determinó como zona prioritaria para establecer techos verdes a las manzanas con rango de temperatura de 27.99°C a 29.63°C.

Palabras clave: techos verdes ruderales; estructuras de bambú; vivienda social de Puerto Vallarta; especies nativas; desarrollo regenerativo.

Abstract

Cities exert a strong pressure on ecosystems, reducing ecosystem services in their environment. From the roofs of the buildings you can contribute to mitigate this phenomenon through the incorporation of green roofs. This project was set out to design a prototype of a green roof with native species in favor of existing social housing in Puerto Vallarta, Jalisco. Guadua angustifolia bamboo was chosen as the construction for the structure. Through synergy with undergraduate students in architecture and civil engineering, it was possible to design three prototypes. The DDI prototype is established as the most suitable. Inexperience in the structural calculation with bamboo and the poor quality of the material were the most important obstacles in the design of the bamboo structure. Besides, research on native species, based on ruderal plants, yielded a list of eighty-three species that could potentially be used in extensive green roofs. Portulaca oleorasa excelled in a pilot test for survival under green roof conditions. A survey on perception of green roofs and uses of the roof demonstrated a trend in the use of this kind of space as well as a desire to have a green roof. Finally, an urban heat island map prepared for the city of Puerto Vallarta revealed that 99% of the blocks of houses in the study area have reached temperatures outside the hygrothermal comfort zone. Therefore, blocks of houses with a limit temperature range of 27.99°C to 29.63°C were determined as a priority area by establishing green roofs.

Key words: *ruderal green roofs; bamboo structures; Puerto Vallarta social housing; native species; regenerative development.*

Índice

Resumen		i
<i>Abstract</i>		ii
Índice de Figuras		viii
Índice de Tablas		xiii
Introducción		1
Capítulo 1.	Planteamiento del Problema, Objetivos y Metodología	3
1.1	Uso del Suelo y Pérdida de Servicios Ecosistémicos	3
1.2	El Problema Central: La Azotea y sus Efectos en el Ecosistema	6
	Materiales de Alta Transmitancia Térmica Usados en Vivienda Social	10
	Impacto Ambiental Negativo de las Azoteas: La Isla de Calor Urbano	12
	Azoteas y Soluciones Basadas en la Naturaleza: Los Techos Verdes	13
1.3	Dos Factores Esenciales en la Construcción de Techos Verdes	13
	Biodiversidad y Especies Utilizadas	14
	Capacidad de Carga de la Losa de Azotea	15
1.4	Delimitación del Área de Estudio: Puerto Vallarta, Jalisco	16
1.5	Importancia del Proyecto	18
	Aportes del Proyecto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible	20
1.6	Preguntas de Investigación e Hipótesis	21

1.7	Objetivo General.....	23
	Objetivos Particulares.....	23
1.8	Metodología.....	23
Capítulo 2.	Marco Referencial	26
2.1	El Concepto de Azotea Regenerativa	27
2.2	Definición de Vivienda Social.....	29
2.3	Servicios Ecosistémicos Urbanos	30
	Relevancia de la Biodiversidad	35
2.4	Investigación Desarrollada en América Latina: Techos Verdes y Especies Nativas en Clima Cálido-Húmedo	37
	Resultados de la Investigación Documental.....	37
2.5	Tipología de Techos Verdes	42
	Clasificación por Atributos y Diseño de Construcción	43
	Techos Verdes Ruderales	47
	Casos Análogos	48
2.6	El Bambú como Material de Construcción	53
	Bases para el Diseño de Estructuras	55
	Esfuerzos Máximos Admisibles y Módulos de Elasticidad	58
	El Bambú en Puerto Vallarta	59
2.7	Casos Análogos de Estructuras de Bambú con Techo Verde.....	61

	La Ceiba, Lucia Aguilar Arquitectos.....	62
	Casa Vacío, ZUARQ	63
	Aula Verde, Bambuterra.....	64
	Paraboloide en Bambú y Techo Verde	65
	INBAR Garden Pavilion-2019	66
2.8	Proveedores de Bambú Estructural en México	67
2.9	Normativa Relacionada con la Instalación de Techos Verdes	68
Capítulo 3.	Especies Nativas Potenciales para Techos Verdes Extensivos	70
3.1	Especies Utilizadas en Techos Verdes	71
	Mapa Taxonómico General	71
	Nativas de México	72
	Nativas de Puerto Vallarta.....	75
3.2	Especies Recomendadas por Expertos	79
3.3	Características Funcionales de Especies Aptas para Techos Verdes	80
3.4	Colecta e Identificación de Malezas	81
3.5	Listado de Especies Potenciales	83
3.6	Prueba Piloto de Supervivencia.....	87
	Prueba de Reproducción por Esqueje.....	88
	Prueba de Supervivencia en Condiciones de Techo Verde	91
Capítulo 4.	Percepción de Techos Verdes y Usos de la Azotea	94

	Perfil de las Personas Encuestadas	95
4.1	Tendencia en la Percepción de Techos Verdes	96
4.2	Tendencia en el Uso de la Azotea	103
4.3	Criterios para el Prototipo de Techo Verde	105
Capítulo 5.	Prototipo de Techo Verde para Vivienda Social	106
5.1	Proceso de Trabajo Interdisciplinario con el PAP-RSEP.....	108
	Beneficios de la Sinergia PAP-TOG	118
5.2	Descripción de la Vivienda Caso de Estudio.....	124
	Ubicación.....	124
	Sistema Constructivo y Alzados.....	125
	Análisis Bioclimático	130
5.3	Análisis Estructural de la Vivienda Caso de Estudio	143
	Revisión por Carga de Servicios	143
	Análisis Sísmico	146
5.4	Tres Diseños de Prototipo	148
	Prototipo P22	148
	Prototipo V22	153
	Prototipo DDI	163
Capítulo 6.	Zonas Prioritarias para Establecer Techos Verdes.....	170
6.1	Isla de Calor Urbana en Puerto Vallarta.....	170

6.2	Rangos de Temperatura Efectiva por Manzana.....	176
6.3	Criterios para Priorizar el Establecimiento de Techos Verdes	179
	Manzanas con Temperatura Efectiva más Altas.....	179
	Manzanas con Mayor Cantidad de Población y/o Vivienda	180
	Manzanas Prioritarias para Establecer Techos Verdes.....	183
Capítulo 7.	Conclusiones Generales y Propuestas de Investigación Futura	184
	Selección de Especies Nativas Potenciales para Techos Verdes Extensivos.	185
	Percepción sobre Techos Verdes y Usos de la Azotea.....	189
	Prototipos de Techo Verde para Vivienda Social de Puerto Vallarta.....	191
	Zonas Prioritarias para el Establecer Techos Verdes	214
Referencias	216
Anexos	239

Índice de Figuras

Figura 1.1 <i>Perfil de Horizontes del Suelo</i>	4
Figura 1.2 <i>Impacto del Uso del Suelo en los Microciclos del Agua</i>	5
Figura 1.3 <i>Analogía Entre la Azotea y un Suelo Desertificado</i>	7
Figura 1.4 <i>Árbol de Problemas</i>	9
Figura 1.5 <i>Delimitación del Área de Estudio</i>	17
Figura 1.6 <i>Emisión de GEI en Puerto Vallarta</i>	18
Figura 1.7 <i>Esquema Metodológico</i>	25
Figura 2.1 <i>Evolución de la Sustentabilidad</i>	28
Figura 2.2 <i>Marco para la Comprensión y Evaluación Integral de Servicios Ecosistémicos</i>	31
Figura 2.3 <i>Relación entre Servicios Ecosistémicos y el Bienestar Humano</i>	32
Figura 2.4 <i>Ejemplos de Servicios Ecosistémicos</i>	33
Figura 2.5 <i>Servicios Ecosistémicos Urbanos</i>	35
Figura 2.6 <i>Relación entre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos</i>	36
Figura 2.7 <i>Clasificación de los Techos Verdes</i>	44
Figura 2.8 <i>Techo Verde DOMOTEJ</i>	49
Figura 2.9 <i>Techo Verde del Edificio INFONAVIT</i>	50
Figura 2.10 <i>Tejas Verdes</i>	51
Figura 2.11 <i>Techo Verde Ligero</i>	52
Figura 2.12 <i>Ejemplos del Uso Histórico del Bambú en México</i>	54
Figura 2.13 <i>Valores de Resistencia y Módulos de Elasticidad de la NTC-Madera</i>	57
Figura 2.14 <i>Ejemplos de la Presencia del Bambú en Puerto Vallarta</i>	59

Figura 2.15 <i>Ejemplos de Construcciones de Estructuras con Bambú en la Región Bahía de Banderas</i>	60
Figura 2.16 <i>Proyecto La Ceiba</i>	62
Figura 2.17 <i>Proyecto Casa Vacío</i>	63
Figura 2.18 <i>Proyecto Aula Verde</i>	64
Figura 2.19 <i>Paraboloide en Bambú y Techo Verde</i>	65
Figura 2.20 <i>INBAR Garden Pavilion 2019</i>	66
Figura 2.21 <i>Proveedores de Bambú Estructural en México</i>	67
Figura 3.1 <i>Géneros con la Mayor Abundancia de Especies Utilizadas en Techos Verdes</i>	72
Figura 3.2 <i>Número de Especies Utilizadas en Techos Verdes Nativas de México</i>	73
Figura 3.3 <i>Especies Utilizadas en Techos Verdes Nativas de Puerto Vallarta</i>	76
Figura 3.4 <i>Cuatro Especies Nativas de Puerto Vallarta que ya se Usan en Techos Verdes</i>	78
Figura 3.5 <i>Ruderales en Puerto Vallarta</i>	82
Figura 3.6 <i>Proceso de Identificación en Herbario de las Malezas Colectadas</i>	83
Figura 3.7 <i>Especies Utilizadas en las Prueba Piloto</i>	89
Figura 3.8 <i>Resultados de la Reproducción por Esqueje</i>	90
Figura 3.9 <i>Resultados de la Prueba de Supervivencia</i>	92
Figura 3.10 <i>Especies Emergentes en la Caja Experimental</i>	93
Figura 4.1 <i>Distribución Espacial de las Encuestadas</i>	95
Figura 4.2 <i>Ecotecnologías, Existentes y Anheladas</i>	97
Figura 4.3 <i>Ejemplo de Techo Verde Extensivo con Paneles Fotovoltaicos</i>	98
Figura 4.4 <i>Razones para Instalar un Techo Verde</i>	99
Figura 4.5 <i>Imágenes de Techos Verdes Mostradas en el Cuestionario de la Encuesta</i>	100

Figura 4.6 <i>Percepción sobre Probabilidad de Costear un Techo Verde</i>	101
Figura 4.7 <i>Acceso y Usos de las Azoteas</i>	103
Figura 5.1 <i>Proceso General de Diseño de Prototipos de Techo Verde</i>	107
Figura 5.2 <i>Línea de Tiempo del Proceso de Trabajo con el PAP-RSEP</i>	108
Figura 5.3 <i>Reciprocidad en Sinergia TOG - PAP-RSEP</i>	119
Figura 5.4 <i>Elementos de Bambú en las Propuestas de los Proyectos del PAP-RSEP</i>	121
Figura 5.5 <i>Participación en 3er Foro de América Latina y el Caribe sobre Bosques Urbanos</i>	123
Figura 5.6 <i>Ubicación del Caso de Estudio</i>	125
Figura 5.7 <i>Alzado Tipo del Caso de Estudio</i>	126
Figura 5.8 <i>Vista de la Fachada del Caso de Estudio</i>	126
Figura 5.9 <i>Plano Arquitectónico de la Planta Alta del Caso de Estudio</i>	127
Figura 5.10 <i>Imágenes de la Azotea del Caso de Estudio</i>	128
Figura 5.11 <i>Plano de Elementos Estructurales del Caso de Estudio</i>	129
Figura 5.12 <i>Mapa Bioclimático Anual de Jalisco</i>	131
Figura 5.13 <i>Orientación de la Vivienda Caso de Estudio</i>	133
Figura 5.14 <i>Vista de la Fachada Este del Caso de Estudio</i>	134
Figura 5.15 <i>Ubicación de las Recámaras en el Caso de Estudio</i>	135
Figura 5.16 <i>Instalación de Datalogger en Azotea</i>	136
Figura 5.17 <i>Estadísticos de Monitoreo (06 de marzo a 08 julio, 2022)</i>	138
Figura 5.18 <i>Rango de Temperatura para Zona de Confort en Puerto Vallarta</i>	139
Figura 5.19 <i>Carta Psicrométrica de Puerto Vallarta (junio a octubre)</i>	141
Figura 5.20 <i>Esfuerzo a Compresión de Estructura de la Vivienda</i>	144
Figura 5.21 <i>Zonas Críticas de Esfuerzo a Compresión de Muros</i>	145

Figura 5.22 <i>Simulación de Esfuerzos Producidos por Sismo</i>	146
Figura 5.23 <i>Tres Diseños de Prototipo de Techo Verde</i>	148
Figura 5.24 <i>Prototipo P22</i>	149
Figura 5.25 <i>Modelo a Escala del Prototipo P22</i>	150
Figura 5.26 <i>Uniones y Conexiones Propuestas en Prototipo P22</i>	150
Figura 5.27 <i>Detalle de Dado de Anclaje del Prototipo P22</i>	151
Figura 5.28 <i>Construcción de Estructura de Bambú Durante el Ciclo Primavera-2022</i>	152
Figura 5.29 <i>Prototipo V22. Isométrico con Medidas</i>	155
Figura 5.30 <i>Uniones Propuestas en Prototipo V22</i>	156
Figura 5.31 <i>Vista Desde Arriba de la Cubierta del Prototipo V22</i>	157
Figura 5.32 <i>Diseño del Techo Verde Ligero en Prototipo V22</i>	158
Figura 5.33 <i>Fotomontaje de Prototipo V22</i>	159
Figura 5.34 <i>Construcción de Prototipo V22</i>	160
Figura 5.35 <i>Modelo de Referencia para el Diseño del Prototipo DDI</i>	163
Figura 5.36 <i>Estructura Preliminar del Prototipo DDI</i>	164
Figura 5.37 <i>Deformación de la Estructura Preliminar de Prototipo DDI</i>	165
Figura 5.38 <i>Esfuerzos por Deformación de la Estructura Preliminar del Prototipo DDI</i>	166
Figura 5.39 <i>Estructura Final del Prototipo DDI</i>	167
Figura 5.40 <i>Aportación Sísmica del Prototipo DDI a la Vivienda</i>	168
Figura 5.41 <i>Aportación por Viento del Prototipo DDI a la Vivienda</i>	169
Figura 6.1 <i>Mapa de Temperatura Ambiental (ta) de Puerto Vallarta</i>	171
Figura 6.2 <i>Mapa de Isla de Calor en Puerto Vallarta a Través de la Temperatura Efectiva (te)</i>	173

Figura 6.3 <i>Comparación Entre Temperatura Efectiva y Cobertura del Suelo</i>	174
Figura 6.4 <i>Rango de Temperatura por Manzana del Área de Estudio</i>	176
Figura 6.5 <i>Área por Rango de Temperatura</i>	178
Figura 6.6 <i>Población y Viviendas por Rango de Temperatura</i>	178
Figura 6.7 <i>Ubicación de las Manzanas con Temperatura Efectiva más Elevado (29.64°-34.64)</i>	180
Figura 6.8 <i>Ubicación de Manzanas con Temperatura Efectiva de 26.55° a 27.98°C</i>	181
Figura 6.9 <i>Ubicación de Manzanas con Temperatura Efectiva de 27.99°C a 29.63°C</i>	182
Figura 7.1 <i>Modelo 3D de Prototipo DDI</i>	195
Figura 7.2 <i>Conexiones Propuestas para Prototipo DDI</i>	198
Figura 7.3 <i>Calidad de Culmos de Bambusa oldhami</i>	201
Figura 7.4 <i>Calidad del Bambú Guadua del Proveedor de Puerto Vallarta</i>	202
Figura 7.5 <i>Calidad de los Culmos de Proveedor de Zapopan</i>	204
Figura 7.6 <i>Ventajas Ambientales del Bambú sobre la Madera de Coníferas</i>	209
Figura 7.7 <i>Daños por Exposición a Sol y Lluvia del Prototipo V22</i>	212
Figura 7.8 <i>Manzanas con Temperaturas Superiores a la Zona de Confort Higrotérmico</i>	214

Índice de Tablas

Tabla 1.1	<i>Objetivos de los Techos Verdes Implementados por Ciudades Alrededor del Mundo</i>	19
Tabla 1.2	<i>Relación del Proyecto con los ODS</i>	20
Tabla 1.3	<i>Preguntas de Investigación e Hipótesis</i>	21
Tabla 2.1	<i>Clasificación de la Vivienda</i>	29
Tabla 2.2	<i>Antecedentes Empíricos de Investigación sobre Techos Verdes en América Latina</i> ..	40
Tabla 2.3	<i>Parámetros por Tipo de Techo Verde de la NADF-013-RNAT-2017</i>	45
Tabla 2.4	<i>Clasificación de Techos Verdes por Atributos</i>	45
Tabla 2.5	<i>Clasificación de Techos Verdes por Diseño de Construcción</i>	46
Tabla 2.6	<i>Clasificación Taxonómica de Bambúes de Uso en la Construcción</i>	53
Tabla 2.7	<i>Especies de Bambú de Uso Estructural Presentes en México</i>	55
Tabla 2.8	<i>Normativa sobre Construcción con Bambú</i>	56
Tabla 2.9	<i>Esfuerzos Máximos Admisibles y Módulos de Elasticidad para Guadua angustifolia</i>	58
Tabla 2.10	<i>Instrumentos Normativos para la Construcción de Techos Verdes</i>	68
Tabla 3.1	<i>Mapa Taxonómico de Especies Utilizadas en Techos Verdes Nativas de México</i>	73
Tabla 3.2	<i>Mapa Taxonómico de Especies Utilizadas en Techos Verdes Nativas de Puerto Vallarta</i>	76
Tabla 3.3	<i>Recomendaciones de Expertos para la Búsqueda y Selección de Especies Nativas</i> ...	79
Tabla 3.4	<i>Características Funcionales de las Especies Potenciales para Techos Verdes</i>	80
Tabla 3.5	<i>Listado de Especies Potenciales Para Techos Verdes en Puerto Vallarta</i>	84
Tabla 3.6	<i>Sustrato Usado en la Prueba de Supervivencia</i>	91
Tabla 5.1	<i>Estadísticos de Temperatura del Monitoreo</i>	137
Tabla 5.2	<i>Estadísticos de Humedad Relativa del Monitoreo</i>	137

Tabla 6.1 <i>Rango de Temperatura por Manzana en el Área de Estudio</i>	177
Tabla 7.1 <i>Características de las Especies en Función de Servicios Ecosistémicos Urbanos</i> ...	186
Tabla 7.2 <i>Productos Generados para Cada Prototipo</i>	192
Tabla 7.3 <i>Sustratos para Techo Verde Probados por Ordoñez López et al (2012)</i>	197
Tabla 7.4 <i>Costo de la Estructura de Bambú del Prototipo DDI (Materiales)</i>	206
Tabla 7.5 <i>Comparación de Costos entre Prototipo DDI y Sistema Ecotejado</i>	207
Tabla 7.6 <i>Aproximación al Potencial de Captura de Carbono del Prototipo DDI</i>	210

Introducción

Este documento se elaboró como requisito para obtener el grado de Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables otorgado por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

El paradigma de la sustentabilidad desde el que se aborda el proyecto es el *Desarrollo Regenerativo*, entendido como la co-evolución de los sistemas humano-naturaleza. De esta manera, el ambiente urbano construido por la humanidad debería favorecer la reproducción de otras formas de vida, conservar la biodiversidad y las funciones ecosistémicas. Desde esta perspectiva es que se propone la creación de azoteas regenerativas a través de la instalación de techos verdes.

El enfoque de aplicación del proyecto es la vivienda social existente en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. Se desarrollaron prototipos de techos verdes, de tipo extensivo y ligeros. En los prototipos, se utilizó un material sustentable y renovable como estructura portante: el bambú. Asimismo, se elaboró un mapa de islas de calor urbano con la finalidad de definir zonas prioritarias para el establecimiento de techos verdes en función del servicio ecosistémico de regulación de la temperatura.

El documento consta de siete capítulos, un apartado de referencias y anexos. En el Capítulo 1 se presenta el problema planteado, así como las hipótesis y los objetivos. El Capítulo 2 se dedica al marco referencial del proyecto, desarrollado a partir de revisión documental y los hallazgos de entrevistas semiestructuradas realizadas a expertas en el tema de los techos verdes.

Los Capítulos 3, 4, 5 y 6 corresponden a los resultados del proyecto. El Capítulo 3 presenta los hallazgos en la investigación sobre especies nativas potenciales para su implementación en

techos verdes. Las técnicas utilizadas para esta tarea fueron entrevistas semiestructuradas, revisión documental y colecta e identificación de especímenes.

El Capítulo 4 presenta los principales hallazgos de una encuesta no representativa en la que se recogió la percepción sobre los techos verdes y usos de la azotea de las habitantes de Puerto Vallarta. Los hallazgos de la encuesta, en conjunto con información obtenida de entrevistas y revisión documental, alimentaron los criterios y elementos con los que se diseñó los prototipos de techo verde. El contenido de este capítulo se presentó en ponencia en el Congreso Internacional de Desarrollo Sustentable y Energías Renovables (CIDSER) 2021.

El Capítulo 5 describe los prototipos de techos verdes que fueron diseñados en función de una vivienda caso de estudio. Los resultados de este capítulo son producto del trabajo colaborativo e interdisciplinario que se efectuó con estudiantes de las licenciaturas de arquitectura e ingeniería civil del ITESO, a través de la asignatura Proyecto de Aplicación Profesional (PAP)-Regeneración Social del Espacio Público.

En el Capítulo 6 se presenta la determinación de zonas prioritarias para establecer techos verdes. Para lograrlo, se crearon mapas a través de sistemas de información geográfica que permitieron analizar en Puerto Vallarta el fenómeno de la isla de calor urbano.

Finalmente, el Capítulo 7 expone las propuestas de investigación futura y recoge las conclusiones generales.

Capítulo 1.

Planteamiento del Problema, Objetivos y Metodología

En este primer capítulo se narra el planteamiento general del que se desprende el problema central. En él se describe a las azoteas como reminiscencias del deterioro ambiental, a la vez que las posiciona como elementos espaciales estratégicos para la reconversión de las ciudades en sustentables. También se presenta una descripción de la importancia del proyecto y se define el área de estudio. Finalmente, se exponen las preguntas de investigación que dieron origen a los objetivos del proyecto y se describe la metodología empleada.

1.1 Uso del Suelo y Pérdida de Servicios Ecosistémicos

Inherente a la urbanización se encuentra la reducción de la cubierta vegetal y el cambio de uso de suelo. Estos dos factores contribuyen significativamente con los procesos que generan cambio climático; pérdida de biodiversidad; alteración del ciclo hidrológico; islas de calor y degradación del suelo; entre otros varios problemas ambientales que terminan por cobrar factura a las mismas ciudades. Consecuencia de la degradación del suelo se cuenta la depreciación de la habilidad que los ecosistemas tienen de proporcionar servicios ecosistémicos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021).

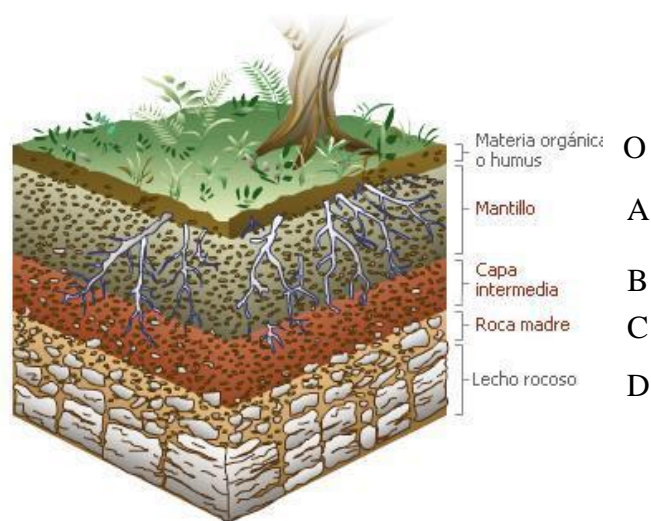
Uno de los usos que más degrada el suelo es el uso urbano, con el que habitualmente se trasciende del concepto de degradación hacia el concepto de desertificación, que hace referencia a un cambio cuasi irreversible del suelo: la creación de desiertos. Esto se debe a que el uso de suelo urbano implica la sustitución de los *Horizontes A* y *O*¹ por una plancha de concreto (Figura 1.1).

¹ En edafología, el suelo se compone de capas verticales que se denominan *horizontes*. Los horizontes A y O corresponden a la capa “viva” del suelo. Es donde sucede el reciclaje de nutrientes, compuesto de hojarasca y humus (materia orgánica en descomposición), hábitat de una gran diversidad de microorganismos.

En otras palabras, el suelo, ente vivo que sustenta todos los ecosistemas terrestres, se sustituye por una capa de material inerte que, además, resulta ser impermeable y muy susceptible a ganancias de calor por radiación.

Figura 1.1

Perfil de Horizontes del Suelo



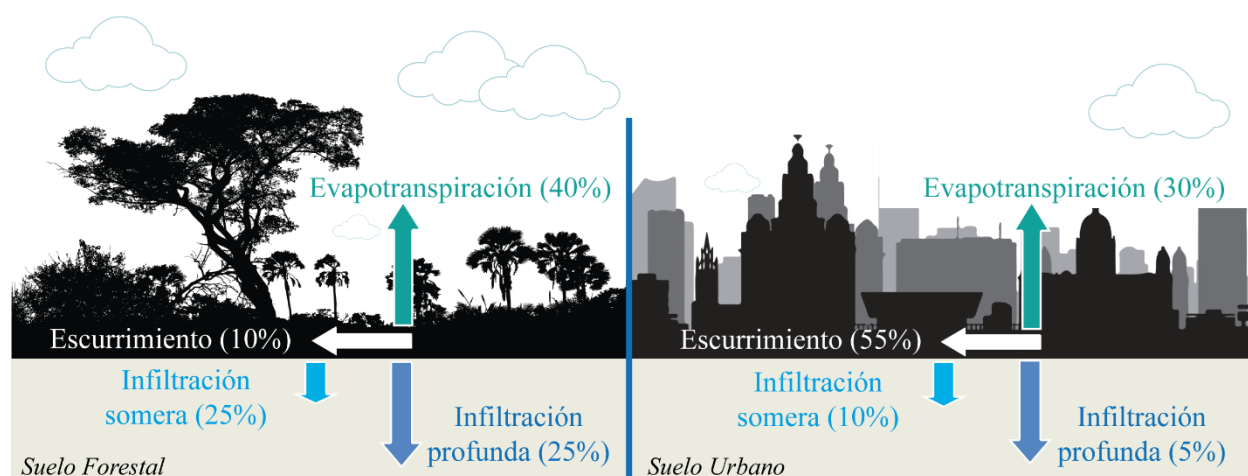
Nota. Tomado de *Calidad de la Planta y Salud de los Agrosistemas* [Presentación], de M. Garzón-Molina et al., 2018, Jornadas Técnicas sobre Aguacate, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias (<https://www.icia.es/icia/download/Aguacate/02.pdf>)

A la par de la degradación del suelo, el ciclo hidrológico es uno de los más afectados por la urbanización. En la actualidad, muchas ciudades en el mundo presentan retos para el abasto, gestión y manejo del agua. Se proyecta que en menos de una década el problema de abasto de agua en las ciudades se agrave. Se estima que para el año 2030, la demanda supere a la oferta de agua en un 25%, esto es 68,300 millones de metros cúbicos de oferta contra 91,200 millones de metros cúbicos de demanda (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. [CEA], 2022).

Al sustituir un suelo permeable con materiales impermeables (concreto, pavimento o asfalto) en vialidades y edificaciones, se modifican los microciclos o procesos del ciclo hidrológico responsables de que el agua se mueva a nivel local y global. Tres de estos microciclos son: la evapotranspiración; el escurrimiento; y la infiltración (Figura 1.2).

Figura 1.2

Impacto del Uso del Suelo en los Microciclos del Agua



Nota. Adaptado de *Comportamiento del Ciclo del Agua Antes y Después de la Urbanización* (p.20), de J. A. Gleason Espíndola (Coord.), 2021, Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia, Editorial Trillas.

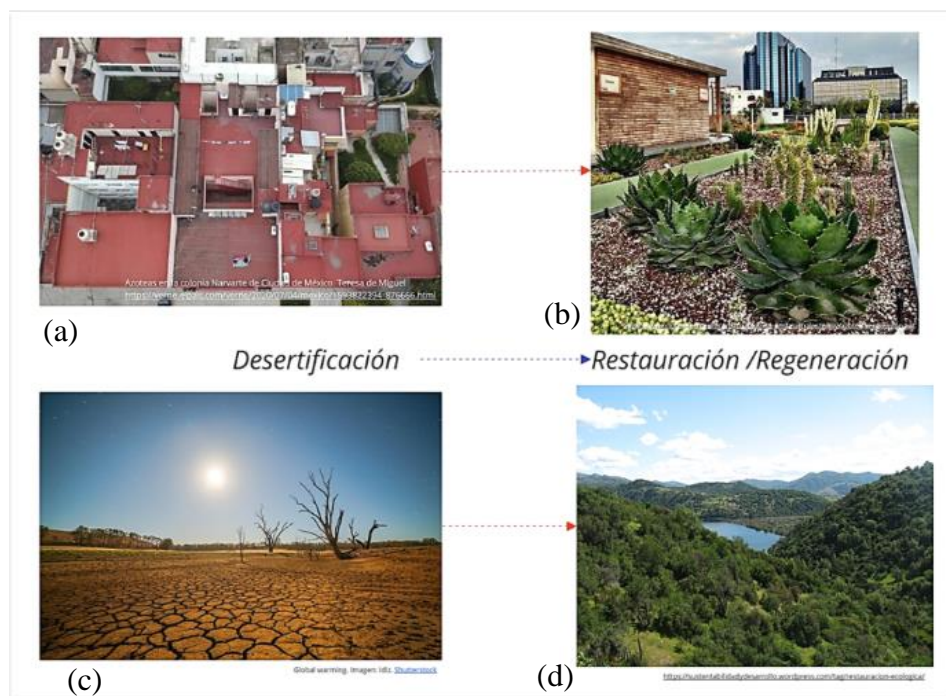
En la Figura 1.2 se distingue que el microciclo más afectado es el escurrimiento, ya que este incrementa en un 45% en suelos urbanos con respecto a suelos forestales o agrícolas. Lo que a su vez provoca una disminución en la infiltración y en la evapotranspiración. Asimismo, un mayor escurrimiento puede significar que durante una tormenta las ciudades experimenten problemas de inundación. Por otra parte, una menor infiltración sugiere una mengua de la recarga de acuíferos. Mientras que, un decremento en la evapotranspiración influye en el clima y en el confort higrotérmico de la ciudad al favorecer un aumento en la temperatura superficial,

favoreciendo la generación del fenómeno conocido como Isla de Calor Urbano (UHI por su sigla en inglés).

1.2 El Problema Central: La Azotea y sus Efectos en el Ecosistema

La azotea de una vivienda es una reminiscencia del deterioro ambiental y la degradación de ecosistemas. Representa un suelo desertificado que ha perdido sus funciones ecosistémicas: filtración de lluvia; sustrato para el desarrollo de plantas; hábitat de fauna; regeneración de nutrientes; captura de CO₂; evapotranspiración; entre otras funciones.

De esta manera, se percibe a la azotea como un espacio estratégico en la construcción de ciudades sustentables. Es un espacio que, al igual que los suelos degradados, necesita trabajo de restauración con la finalidad de regenerar las funciones que sustentan la generación de servicios y bienes ecosistémicos ([Figura 1.3](#)).

Figura 1.3*Analogía Entre la Azotea y un Suelo Desertificado*

Nota. Donde (a) es la fotografía *Azoteas de la Colonia Navarrete en Ciudad de México*, de Miguel, s.f., tomado de A. Barragán, 2020, Verne México (https://verne.elpais.com/verne/2020/07/04/mexico/1593822394_876666.html).; (b) es una imagen con licencia *creative commons* del techo verde en el edificio Infonavit de la Ciudad de México, obtenida del sitio www.pixabay.com; (c) es una imagen libre de regalías sobre el calentamiento global del sitio www.shutterstock.com; y (d) es una imagen sobre restauración ecológica tomada de J. F. Silva, 2017, *Sustentabilidad y Desarrollo* (<https://sustentabilidadydesarrollo.wordpress.com/tag/restauracion-ecologica/>).

La analogía mostrada en la **Figura 1.3** conceptualiza el planteamiento general del problema, del que se desprende el problema central que atiende este proyecto y que se describe como sigue: las azoteas de las viviendas de interés social representan un suelo desertificado; su diseño y configuración con el entorno inmediato no permite la sustitución de funciones ecosistémicas del suelo donde se asienta la edificación. Además, constituyen la superficie con mayor ganancia de calor por radiación dentro de la vivienda, agravando los problemas de sobrecalentamiento en

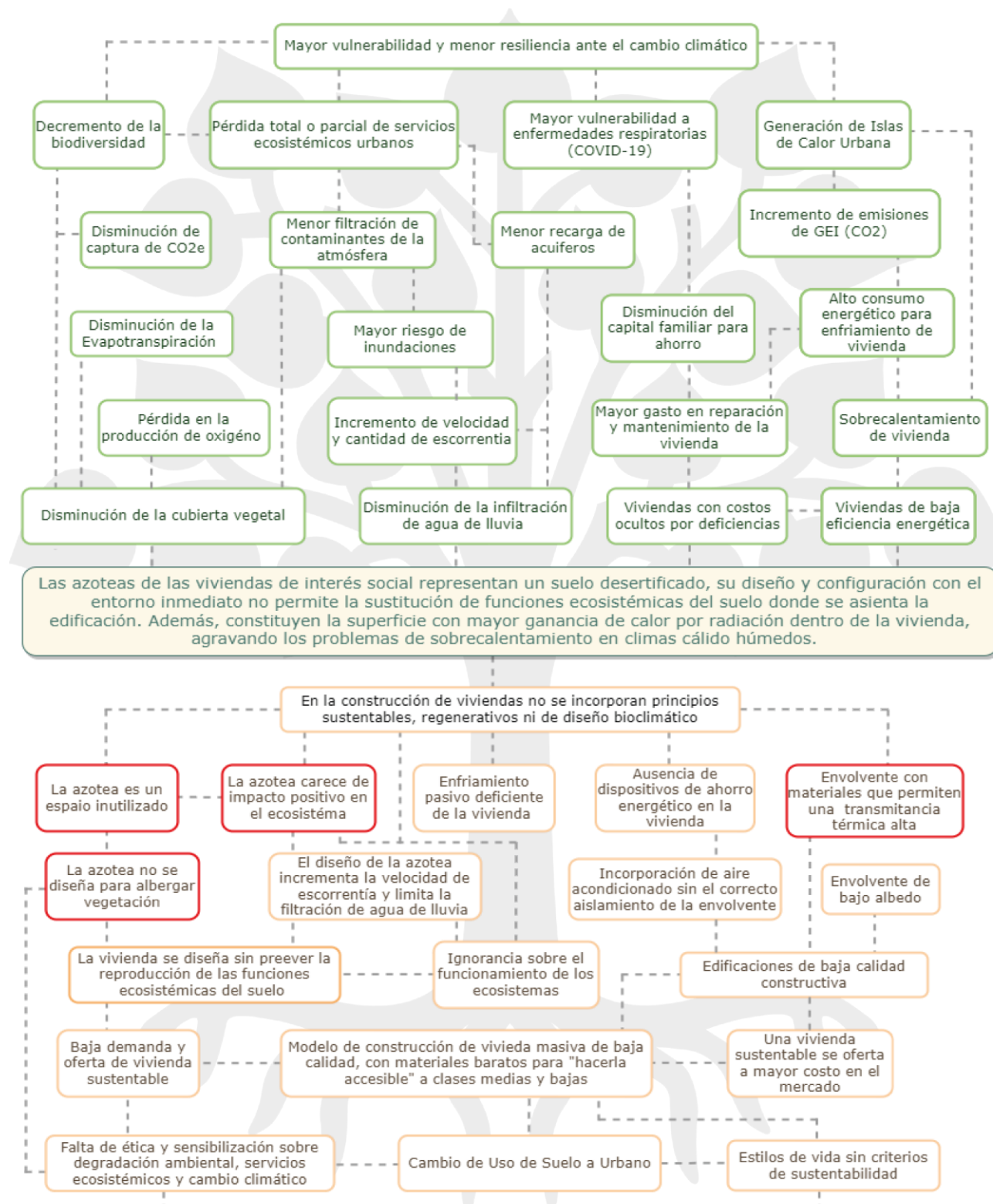
climas cálido-húmedos, como el de Puerto Vallarta. Lo anterior afecta la calidad de vida de sus habitantes en dos escalas. Al interior de la vivienda, se experimentan niveles bajos de confort higrotérmico. Al exterior, a nivel de barrio o ciudad, la pérdida de servicios ecosistémicos genera condiciones que incrementan la vulnerabilidad ante fenómenos como la isla de calor urbana, el cambio climático y la contaminación ambiental; además de poner en riesgo el aprovisionamiento de agua y alimentos.

Aquello que causa el problema central, así como sus consecuencias, se exhiben en la [Figura 1.4](#) a través de un diagrama creado con una técnica de la metodología de marco lógico²: el árbol de problemas. El tronco representa el problema, se coloca al centro del diagrama; las raíces corresponden a las causas y las ramas a las consecuencias.

² *Marco Lógico* es una metodología que se usa como “herramienta para facilitar el proceso de conceptualización, diseño, ejecución y evaluación de proyectos. Su énfasis está centrado en la orientación por objetivos, la orientación hacia grupos beneficiarios y a facilitar la participación y la comunicación entre las partes interesadas” ILPES (2005, p.13 citado por Sánchez (2007, p. 329)

Figura 1.4

Árbol de Problemas



El diagrama funciona como un sistema, las líneas punteadas señalan una relación causal en dirección de abajo hacia arriba (Ortegón et al., 2005); y de correlación en trayectoria izquierda a derecha o viceversa. De esta manera, la consecuencia de mayor magnitud es la disminución de la resiliencia e incremento de la vulnerabilidad ante el cambio climático. Asimismo, las causas más profundas son los estilos de vida sin criterios de sustentabilidad, la falta de ética y sensibilización sobre degradación ambiental y el cambio de uso de suelo.

Las cuatro causas enmarcadas en color rojo son el enfoque de las preguntas generadoras que dieron origen a los objetivos de este proyecto, estas son:

- * Envolvente de la edificación construida con materiales de alta transmitancia térmica.
- * La azotea carece de un impacto positivo en el ecosistema.
- * La azotea no se diseña para albergar vegetación.
- * La azotea es un espacio inutilizado.

Materiales de Alta Transmitancia Térmica Usados en Vivienda Social

La vivienda social de clima cálido-húmedo del país suelen presentar menores niveles de confort térmico debido al diseño inadecuado y a los materiales de alta transmitancia térmica utilizados en su construcción.

En México, las azoteas generan el mayor impacto de ganancia de calor por radiación solar. Tan solo en el estado de Jalisco, el 88.3% de las viviendas ocupadas presentan techo de loza de concreto o viguetas con bovedilla (Consejo Estatal de Población [COEPO], 2010). Tal es el caso de la ciudad de Puerto Vallarta, una ciudad costera donde el sistema constructivo que domina la construcción de vivienda social es mampostería con bloque de jal y losa armada de concreto de 10

cm de espesor. Una azotea con estas características puede alcanzar los 70°C (Kasten-Paredes, 2016).

Por otra parte, el 98.5% de las viviendas, en la región central del país, no cuenta con aislamiento térmico (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2018). Ello conlleva a invertir una cantidad considerable de energía a fin de conseguir el confort higrotérmico (Ordóñez López y Pérez Sánchez, 2015) pues un mayor uso de energía es requerido para el enfriamiento de la vivienda.

Aunado a lo anterior, en las regiones del país con clima cálido (húmedo y seco) no han tenido éxito las estrategias gubernamentales de ahorro energético para reducir los aportes de la vivienda al cambio climático. Esto se debe a que en estas regiones el mayor aporte de ahorro energético se obtendría de reducir el calor que se gana por radiación a través de la envolvente. Sin embargo, esta estrategia no formó parte de las estrategias implementadas (De Buen *et al.*, 2016).

De acuerdo con la Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI] (2008), en las zonas cálidas se emiten alrededor de 600 kg de CO₂ como consecuencia directa de viviendas con un diseño inadecuado, que requieren un suministro añadido de 1,000 kwh al año para enfriamiento artificial (aire acondicionad, ventiladores, etc.).

Un diseño inadecuado, sin criterios bioclimáticos ni de sustentabilidad, se traduce en un gasto económico mayor para las familias, disminuyendo su capital y su capacidad de ahorro para contingencias futuras. Lo que puede acentuar situaciones de desigualdad e inequidad social existente.

Impacto Ambiental Negativo de las Azoteas: La Isla de Calor Urbano

La Isla de Calor Urbano (UHI por su sigla en inglés) es un fenómeno propio del medio ambiente construido en el que las áreas urbanas presentan temperaturas superficiales y atmosféricas mayores a las de las áreas rurales o forestales circundantes (Voogt y Oak, 2003, citados por Ravanelli et al, 2018). Esto se debe principalmente a que el pavimento y el concreto que dominan el paisaje urbano son materiales que almacenan gran cantidad de energía térmica a diferencia de la vegetación o el suelo (Phelan et al, 2015).

De manera similar, Susca (2011) menciona que la UHI se produce por modificaciones en el balance de energía, en el que intervienen factores como la disminución del albedo; la merma en evapotranspiración; las propiedades físicas de los materiales; los cañones urbanos; y la pérdida de cubierta vegetal. Así pues, la UHI es un fenómeno complejo porque el balance de energía es dinámico e intervienen en él otros factores como la superficie y la disposición de la ciudad; los flujos de viento; la nubosidad; radiación solar; la altitud; precipitación; y muchos otros factores del ambiente construido (Phelan *et al*, 2015).

La UHI es relevante para la sustentabilidad en las ciudades en tanto que interviene en la sensación de calor percibida por las personas, generando estrés y malestar térmico (García, 2018), con su consecuente incremento en el consumo de energía para el funcionamiento de artefactos de enfriamiento. En Nueva York, por ejemplo, desde 1950 la UHI es responsable de 1/3 del calor que se percibe en la ciudad (Gaffin *et al.*, 2008, citado por Susca, 2011). Lo anterior convierte a la UHI en un elemento clave del combate contra el cambio climático.

Existen dos grandes estrategias de mitigación de la UHI: 1). - incrementar la cobertura vegetal (por ejemplo, crear áreas verdes, colocar árboles en las banquetas; o construir techos verdes); y 2). - modificar las prácticas de construcción (por ejemplo, utilizar materiales de albedo

alto o de mejores propiedades térmicas) (Phelan *et al*, 2015; Susca, 2011; Ravanelli *et al*, 2018; Wang *et al*, 2022).

Azoteas y Soluciones Basadas en la Naturaleza: Los Techos Verdes

McCormick (2020) define a las soluciones basadas en la naturaleza como aquellas “intervenciones que, deliberadamente, buscan afrontar los desafíos socioambientales a través de las propiedades de la naturaleza” (traducción propia, p. 11). El mismo autor señala que algunos ejemplos de soluciones basadas en la naturaleza son los edificios con techos y muros verdes; infraestructura verde urbana; parques y jardines públicos; jardines de lluvia; patios y jardines de interior; ríos, lagos y humedales; y huertos urbanos, por citar algunos.

El valor de las soluciones basadas en la naturaleza es su potencial para proveer de múltiples beneficios. Los techos verdes, por ejemplo, se prescriben para contribuir con la eficiencia térmica del edificio y alcanzar el confort higrotérmico. Paralelamente, el mismo techo verde puede contribuir a la disminución del fenómeno de isla de calor, disminuir la velocidad del escurrimiento pluvial, mejorar la calidad del aire, entre otros servicios ecosistémicos.

Por tanto, la contribución de las viviendas al calentamiento global se reduce gracias a los techos verdes (Osuna Motta *et al*, 2017). Al respecto, Barahona Sánchez (2011) afirma que, debido a que se puede lograr un ahorro mayor en el consumo de energía eléctrica destinada al funcionamiento de aires acondicionados, las zonas de climas tropicales son atractivas para la implementación de techos verdes.

1.3 Dos Factores Esenciales en la Construcción de Techos Verdes

Diversas investigaciones han demostrado la eficacia de la naturación de azoteas con techos verdes para disminuir la temperatura interior de una edificación entre 3°C a 10°C (Ordóñez López y Pérez

Sánchez, 2015; Aragón Moreno y Espitia González, 2017). A diferencia de un aislante térmico convencional, un techo verde tiene la capacidad de suplir varias funciones ecosistémicas (Osuna Motta *et al.*, 2017; Herrera-Gómez *et al.*, 2017; López Machado *et al.*, 2020), lo que convierte a esta tecnología en una herramienta estratégica para hacer vivienda regenerativa. Para que esto se logre, un techo verde debe cumplir con tres factores importantes: estar construido con especies nativas, ser asequible y técnicamente factible de construir.

Biodiversidad y Especies Utilizadas

Las plantas son el componente más importante en los techos verdes. A nivel mundial existe una tendencia a utilizar especies nativas que están mejor adaptadas a las condiciones de clima locales (Schiappacasse *et al.*, 2017). Además, incrementar el número de especies nativas que conforman los techos verdes coadyuba en la obtención de mejores puntajes de certificación ambiental y pueden ser factibles para la conservación de la biodiversidad *ex situ* (Pinzón, 2017).

Convencionalmente, las especies que ya se utilizan en techos verdes en México son especies exóticas originarias de Asia, África y Europa, principalmente. Al respecto, la experiencia de una empresa dedicada a la naturación de muros y azoteas demostró que las especies comerciales usadas en techos verdes no sobreviven a las condiciones climáticas de Puerto Vallarta, Jalisco (R. Huber, comunicación personal, 19 de noviembre del 2020).

Debido a lo anterior, las especies nativas serían una mejor opción para la implementación de techos verdes en Puerto Vallarta. A decir de Balvanera *et al.* (2017) sobre la biodiversidad, esta es “la habilidad de los ecosistemas que nos permiten regular los servicios ecosistémicos” (p. 40). No obstante, en México existen restricciones en el uso de especies nativas debido a información limitada sobre su propagación, crecimiento y disponibilidad. La poca investigación que al respecto se ha desarrollado en el país se concentra en las regiones de clima templado (Tovar Jiménez, 2011;

Tovar Jiménez *et al*, 2014; Martínez, 2018), por lo que este tema resulta prioritario para este proyecto.

Capacidad de Carga de la Losa de Azotea

Una de las primeras cuestiones a definir en la instalación de un techo verde es la capacidad de carga de la losa de azotea. La legislación local vigente en el área de estudio, en materia de construcción, estipula que las viviendas sociales deben diseñarse con una capacidad de carga viva de 100kg/m^2 (H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, 2018). Aunque este parámetro puede ser relativamente confiable para vivienda producida por constructoras inmobiliarias, la mayoría de las viviendas en el área de estudio corresponde a la producción social o autoconstrucción. Además, es común que en la vivienda de producción inmobiliaria se presenten casos de desdoblamiento, que ya corresponden a procesos de autoconstrucción y son carentes de un cálculo estructural que asegure el pleno conocimiento de la capacidad de carga viva.

Por motivos de seguridad es preciso conocer la capacidad de carga de la losa de azotea. Existen dos procesos para conocer este dato cuando no se precisan desde diseño y construcción, aunque ambos son destructivos y costosos. El primero, es un cálculo matemático que requiere la excavación del piso de la edificación para dejar al descubierto los cimientos. La veracidad del cálculo matemático depende de conocer las dimensiones y características con las que los cimientos están contruidos (Dr. Nayar, profesor-investigador de Ingeniería Civil en el ITESO, comunicación personal el 24 de marzo del 2021). El segundo método es pragmático, consiste en aplicar un peso conocido a la losa de azotea y medir cuánto es que esta se deforma.

Ninguno de los métodos anteriores se consideró viable. Por ende, a falta de un dato confiable de la capacidad de carga viva y, considerando el parámetro legal de 100 kg/m^2 de carga viva, para losa de concreto armado, se concluyó que resulta inviable la instalación de techos verdes

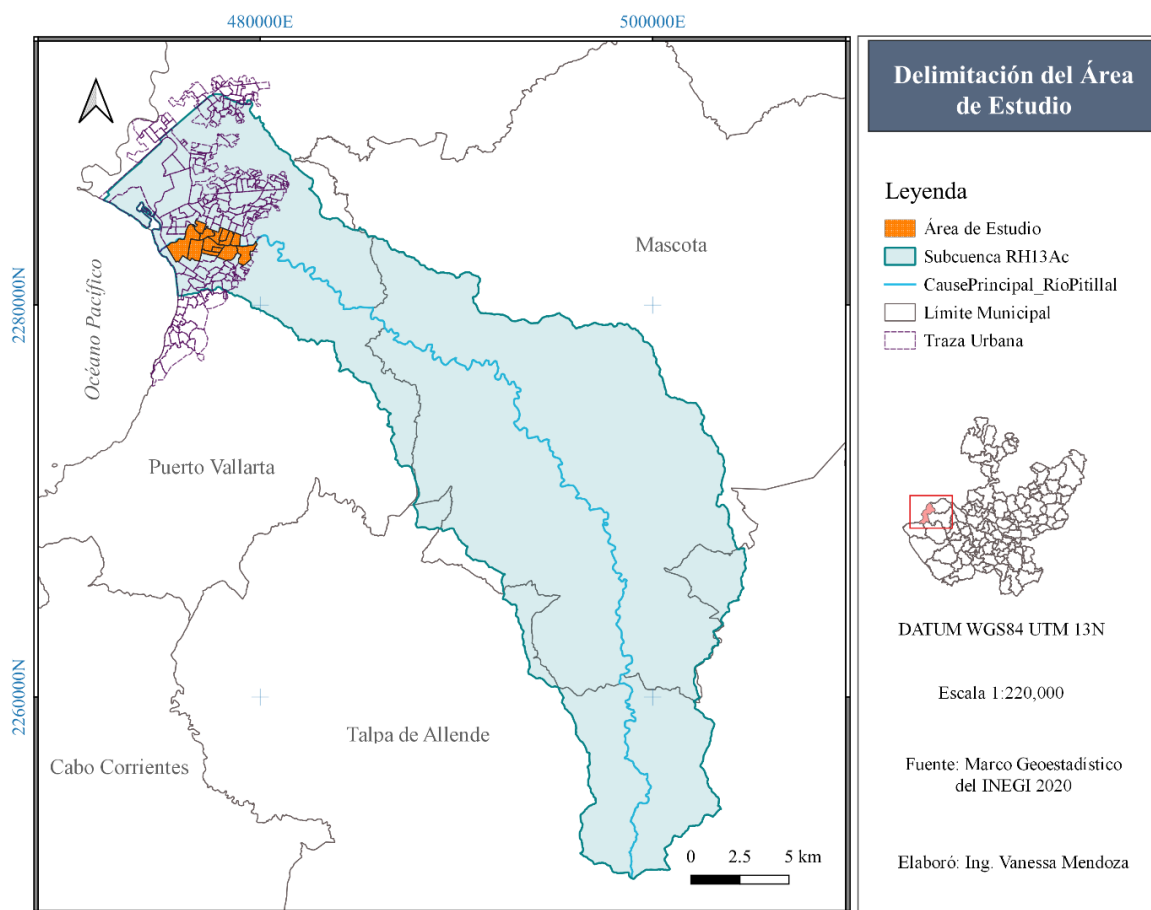
directamente sobre la losa de las azoteas de viviendas sociales, ya que estos representan una carga de entre 110 a 200 kg/m² (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA], 2018), lo que pondría en riesgo de falla a la losa. En su lugar, se puede considerar el reforzamiento de la estructura para incrementar la capacidad de carga de la losa o dirigir la carga del techo verde directamente a los elementos estructurales existentes de la vivienda. Para este proyecto se consideró a la segunda opción como la más factible.

1.4 Delimitación del Área de Estudio: Puerto Vallarta, Jalisco

El área de estudio se ubica en la ciudad de Puerto Vallarta, municipio del mismo nombre en el estado de Jalisco. Dentro de ella se delimitó un área menor con fines metodológicos para el análisis de los techos verdes y la vivienda social existente. Se trata de un área delimitada por trece Áreas Geoestadísticas Básicas (AGEB) que intersecan con el Río Pitillal (Figura 1.5).

Figura 1.5

Delimitación del Área de Estudio



Nota. El Río Pitillal pertenece a la Región Hidrológica del Río Huicicila, Cuenca del Río Cuale-Pitillal, subcuenca RH13Ac (Comisión Estatal del Agua en Jalisco (CEA), s.f.). La información sobre el cauce del Río Pitillal se descargó del Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL 4.0) del INEGI (2021).

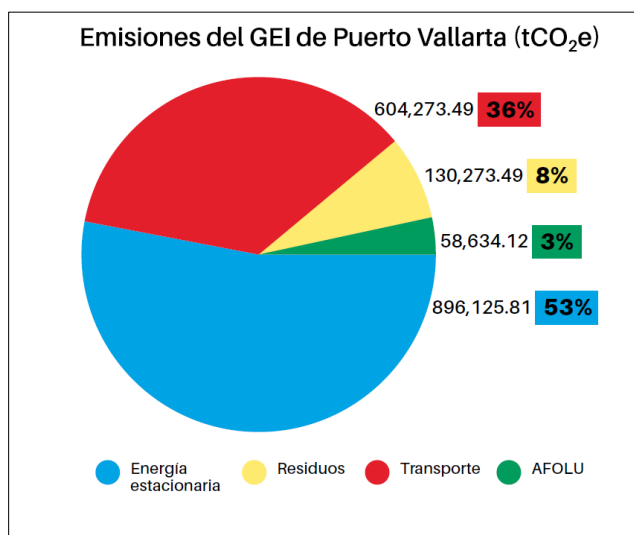
Puerto Vallarta es la segunda ciudad más poblada del estado de Jalisco. En los últimos veinte años se duplicó el tamaño de la ciudad y de la construcción de vivienda, aunque su población creció únicamente un 37%. De 151,432 habitantes en el año 2000, pasó a 224,166 en el año 2020 (Guzmán Mejía y Anaya Corona, 2009; INEGI, 2020).

1.5 Importancia del Proyecto

El 53% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Puerto Vallarta provienen del consumo de energía eléctrica. El subsector de consumo de energía residencial es responsable del 22.6%, equivalente a 382,299.06 toneladas de CO_{2e} (Figura 1.6) (H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, 2020).

Figura 1.6

Emisión de GEI en Puerto Vallarta



Nota. Tomado de *Programa Municipal de Cambio Climático de Puerto Vallarta, Jalisco 2020-2030*, H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, 2020.

De continuar esta tendencia, “los resultados del diagnóstico de vulnerabilidad futura proyectan un incremento de entre 0.7 y 1.6 ° C en promedio para los meses fríos (enero-marzo) y de 1.3 a 2 ° C para los meses cálidos (junio-agosto)” (H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, 2020, p.24).

Derivado de lo anterior, el proyecto es un área de oportunidad en la mitigación de emisiones de GEI. Los techos verdes son capaces de reducir la necesidad de enfriamiento al interior de la

vivienda, lo que se traduce en un descenso en el consumo de energía eléctrica. En la misma sintonía, el proyecto resulta también relevante porque incorpora materiales que capturan y secuestran carbono.

Entre tanto, Ulloa (2005, citado por Guzmán Mejía y Anaya Corona, 2009) señala que, desde el año 2000, los problemas urbanos de Puerto Vallarta se intensificaron debido a la expansión urbana y a la explosión demográfica. El autor cuenta entre los problemas urbanos más significativos al:

...incremento de delincuencia, escasez de agua potable, mala calidad de servicios de transporte, carga vehicular excesiva, escalada de precios de bienes y servicios básicos, altos costos de terrenos y viviendas, expansión urbana, hacinamiento y, por si fuera poco, inundaciones de calles y avenidas principales en la época lluviosa. (p. 71)

En este sentido, el proyecto resulta relevante en tanto el potencial de los techos verdes aplicados a regular los escurrimientos pluviales en las ciudades.

Por otra parte, Sutton (2015) presenta una lista de 25 ciudades alrededor del mundo que han adoptado los techos verdes por una variedad de objetivos (Tabla 1.1).

Tabla 1.1

Objetivos de los Techos Verdes Implementados por Ciudades Alrededor del Mundo

Ciudad	Calidad de agua de escorrentía	Cantidad de agua de escorrentía	Isla de Calor urbana	Espacios Verdes	Ahorro Energético	Calidad del aire	Biodiversidad	Agricultura urbana
Toronto	X	X	X	X		X		
Baltimore	X	X	X		X			
Berlín	X	X	X				X	
Singapur			X					
Austin		X	X		X			

Ciudad	Calidad de agua de escorrentía	Cantidad de agua de escorrentía	Isla de Calor urbana	Espacios Verdes	Ahorro Energético	Calidad del aire	Biodiversidad	Agricultura urbana
Seattle	X	X						
S. Francisco	X		X					
Montreal					X			X

Nota. Adaptado de *Key issues specified for green roof adoption in twenty-five world metropolises* de Sutton (2015, p. 4), en R. K. Sutton (Ed.), *Green Roof Ecosystems*, Springer.



La ciudad de Puerto Vallarta podría aprender de la experiencia de estas ciudades y aprovechar los resultados de este proyecto, cuyo planteamiento del problema se alinea con lo establecido en sus instrumentos de planeación en materia de acción climática.

Aportes del Proyecto a los Objetivos de Desarrollo Sostenible

El proyecto se relaciona con cuatro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) promovidos por las Naciones Unidas. En la [Tabla 1.2](#) se describe la manera en que el proyecto aportaría a los ODS.

Tabla 1.2

Relación del Proyecto con los ODS

ODS	Descripción del Aporte
 <p>11 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES</p>	El proyecto prioriza el uso de materiales sustentables y renovables. Busca acrecentar la calidad de vida de habitantes de vivienda social a través del confort higrotérmico.
 <p>13 ACCIÓN POR EL CLIMA</p>	Replicar la propuesta del proyecto puede impactar positivamente en la emisión de GEI generadas por consumo energético residencial.



Replicar la propuesta del proyecto puede impactar positivamente en la regulación del ciclo hidrológico.



La propuesta del proyecto puede adaptarse para la producción de alimentos y conservación de polinizadores útiles en agricultura.

Nota. Los iconos de los ODS fueron tomados de *Objetivos de Desarrollo Sostenible* de la Organización de las Naciones Unidas [ONU], s.f. (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>).

1.6 Preguntas de Investigación e Hipótesis

Se plantearon seis preguntas de investigación con sus respectivas hipótesis (Tabla 1.3).

Tabla 1.3

Preguntas de Investigación e Hipótesis

<i>Pregunta de Investigación</i>	<i>Hipótesis</i>
<i>General</i>	
¿Cómo incorporar techos verdes extensivos a vivienda social existente de Puerto Vallarta, Jalisco con la finalidad de convertir el espacio de la azotea en un elemento regenerativo que provea servicios ecosistémicos urbanos e incorpore especies nativas?	<p>Hi₁. - La azotea puede convertirse en un elemento regenerativo desde el que se provean servicios ecosistémicos urbanos si se instalan en ella techos verdes con especies nativas.</p> <p>Hi_{e2}. - Es factible incorporar techos verdes extensivos o ligeros en vivienda social existente de Puerto Vallarta si las cargas se dirigen hacia elementos estructurales.</p>
<i>Específicas</i>	
¿Cuáles especies de flora nativa de la Costa de Jalisco y territorio adyacente pueden utilizarse	Hi ₃ . - En los diversos tipos de vegetación de la costa de Jalisco, Colima y Nayarit existen especies de flora nativa y endémica que

<i>Pregunta de Investigación</i>	<i>Hipótesis</i>
en el componente vegetal de techos verdes extensivos?	<p>cumplen con las características funcionales necesarias para sobrevivir y desarrollarse en un techo verde extensivo.</p> <p>Hi_{e4}. - Existe flora nativa de la costa de Jalisco que ya se utiliza en techos verdes extensivos.</p>
¿Qué criterios de seguridad estructural y elementos de diseño deben considerarse para incorporar un sistema de techo verde a vivienda social existente de Puerto Vallarta?	<p>Hi_{e5}. – Lo más apropiado para la seguridad estructural de la vivienda social son los techos verdes extensivos con un peso saturado en agua >80kg/m² o techos verdes ligeros que no emplean sustrato.</p>
¿Es factible utilizar al bambú como material de construcción para techos verdes en vivienda social de Puerto Vallarta?	<p>Hi_{e6}. - Con el diseño adecuado, el bambú es un material asequible y confiable para la construcción de estructuras de soporte de techos verdes extensivos.</p>
¿Cuál es la percepción de los techos verdes y el uso de la azotea por parte de habitantes de vivienda social en Puerto Vallarta Jalisco?	<p>No aplica por ser un estudio cualitativo descriptivo.</p>
¿En qué zonas del área de estudio resulta prioritario la instalación de techos verdes de acuerdo con la prestación de servicios ecosistémicos?	<p>Hi_{e7}. –A través del fenómeno de isla de calor urbana se puede determinar zonas prioritarias para el establecimiento de techos verdes, lo que corresponde al servicio ecosistémico de regulación de la temperatura.</p>

Nota. Donde Hi= hipótesis de investigación; Hi_e= hipótesis de investigación emergente; Ha=hipótesis alternativa.

1.7 Objetivo General

Proponer un sistema de techo verde extensivo con especies nativas para vivienda social existente de Puerto Vallarta, Jalisco, que convierta a la azotea en un elemento regenerativo desde el que se provean servicios ecosistémicos urbanos.

Objetivos Particulares

- 1) Seleccionar especies nativas de Puerto Vallarta que potencialmente pueden funcionar en techos verdes extensivos.
- 2) Definir la percepción sobre techos verdes y usos de la azotea en habitantes de vivienda social Puerto Vallarta, Jalisco.
- 3) Diseñar un prototipo de techo verde para vivienda social existente de Puerto Vallarta con base en un caso de estudio.
- 4) Determinar zonas prioritarias para el establecimiento de techos verdes dentro del área de estudio.

1.8 Metodología

La postura epistemológica del diseño metodológico es mixta; el proyecto utilizó métodos de investigación y análisis de corte cuantitativo y cualitativo. Además, las técnicas de investigación empleadas para recopilar o generar información son aportes de diversas disciplinas, tales como: biología; geografía; sociología; arquitectura; e ingeniería civil.

De la biología, se utilizó la botánica taxonómica para identificar y describir las especies nativas que potencialmente pueden implementarse en techos verdes. Lo anterior a través de la revisión de inventarios florísticos existentes, así como la identificación de ejemplares botánicos que fueron recolectados en el área de estudio.

Por su parte, de la geografía se aprovechó el campo de la cartografía en el que, por medio de Sistemas de Información Geográfica (SIG), se generó un mapa de isla de calor urbano que se usó como criterio para analizar el establecimiento de zonas prioritarias para techos verdes.

De la sociología se empleó la técnica de entrevista para recabar información de la mano de especialistas, misma que sirvió para el marco referencial del proyecto, así como en la selección de

especies nativas. También, se ejecutó una encuesta para conocer la percepción de las personas habitantes de Puerto Vallarta acerca de los techos verdes, cuyos resultados trasmularon en criterios de diseño estratégico para los prototipos.

Asimismo, de la arquitectura se usaron los principios de bioclimática para caracterizar la vivienda caso de estudio y, de esta manera, definir las bases de diseño para que los prototipos funcionen como sistema de enfriamiento pasivo. Finalmente, la ingeniería civil aportó los métodos para el análisis estructural de la vivienda caso de estudio, al igual que para calcular la estructura de los prototipos de techo verde.

Este carácter interdisciplinario aplicó también para algunas de las interacciones humanas que se desarrollaron durante el proceso de investigación. Se generó una sinergia con estudiantes de las licenciaturas de arquitectura e ingeniería civil, principalmente, que cursaban la asignatura de Proyectos de Aplicación Profesional en Regeneración Social del Espacio Público [PAP-RSEP] del ITESO; formándose un equipo de trabajo interdisciplinario, de beneficio mutuo, que actuó en el objetivo específico no. 3 de este proyecto.

Esquema Metodológico

El esquema metodológico está definido por los objetivos específicos, en donde cada uno de ellos representa un bloque de actividades con sus etapas, metas y técnicas particulares.

Algunas de las técnicas se usaron en más de un objetivo específico. Estas son: entrevistas semiestructuradas; encuesta no representativa; colecta e identificación de plantas en Herbario; revisión o investigación documental; sistemas de información geográfica; y trabajo colaborativo e interdisciplinario.

La **Figura 1.7** muestra el *Esquema Metodológico* del proyecto.

Figura 1.7

Esquema Metodológico



Capítulo 2.

Marco Referencial

Poco importa la concepción que tengamos de sostenibilidad; la idea motriz es esta: no es correcto ni justo ni ético que, al buscar los medios para nuestra subsistencia, dilapidemos la naturaleza, destruyamos los biomas, envenenemos los suelos, contaminemos las aguas y el aire y destruyamos el sutil equilibrio del sistema - Tierra y del sistema-vida. No es éticamente tolerable que determinadas sociedades vivan a costa de otras sociedades o de otras religiones, ni que la sociedad humana actual viva sustrayendo a las generaciones venideras los medios para que puedan vivir decentemente.

Boff, L. (2013, p. 77)

En este capítulo se describen los conceptos de azotea regenerativa y servicios ecosistémicos urbanos. Asimismo, se muestra los resultados de la revisión documental que se llevó a cabo acerca de trabajos de investigación científica sobre techos verdes desarrollados en América Latina. Posteriormente, se presenta un estado del arte y casos análogos de tipologías de techos verdes y construcción de estructuras con bambú, Finalmente, se expone la normatividad vigente aplicable al proyecto.

2.1 El Concepto de Azotea Regenerativa

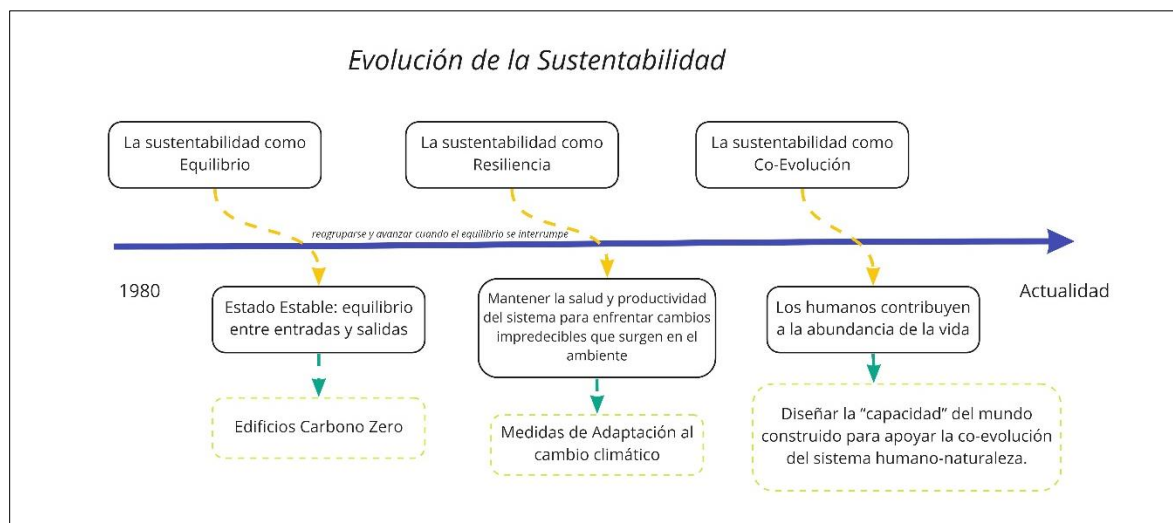
La *azotea* se define como la cubierta³ casi llana de un edificio (Real Academia Española, s.f., definición 1), con poco desnivel, preparada o pensada para ser transitable, que puede ser utilizada para diversos fines (por ejemplo: tender la ropa o broncearse) y que, ubicada en el último piso del edificio, puede abarcar una parte o la totalidad de este, pero sin rebasar su perímetro (González Velasco, s.f.).

Al ser una cubierta, la azotea resguarda de las condiciones climáticas y coadyuba a crear y mantener el ambiente propicio para el confort higrotérmico al interior de la edificación (Lara Martínez, 2018). A este carácter funcional de la azotea se suma la visión de Le Corbusier, quien, en 1926 con su publicación de los *Cinco Postulados sobre la Arquitectura Moderna*, dota a la azotea del potencial para devolver el área verde que se pierde con la construcción del edificio, bautizándola como *la quinta fachada* (Weiss, s.f.). Este postulado es similar a lo que aquí se concibe como *azotea regenerativa*.

El adjetivo *regenerativo*, que acompaña al concepto de azotea, proviene del paradigma de la sustentabilidad desde el que se aborda este proyecto: el *Desarrollo Regenerativo*; que propone que la sustentabilidad es funcionar con el ecosistema, es desarrollarse dentro de los límites planetarios, pensar como la naturaleza y propiciar la creación de vida. De acuerdo con Mang *et al.* (2016), en este paradigma el objetivo que persigue la sustentabilidad ha evolucionado de pretender alcanzar un estado de equilibrio a facilitar la co-evolución de los sistemas humano-naturaleza (Figura 2.1).

³ La cubierta es el “elemento o conjunto de elementos que sirven como cerramiento superior de una edificación que se encuentran comprendidos entre la superficie inferior del último techo y el acabado en contacto con el exterior” (NADF-013-RNAT-2017, 2018, p.18)

Figura 2.1

Evolución de la Sustentabilidad

Nota. Elaborado con información de [Mang et al. \(2016\)](#), quienes exponen que “el desarrollo regenerativo proporciona un contexto y una guía para comprender la multiplicidad de enfoques de sostenibilidad como un fenómeno coherente que es realmente capaz de coincidir con la complejidad de los problemas globales de hoy” (traducción propia).

De esta manera, se entiende por *azotea regenerativa* a aquella condicionada para imitar algunas de las funciones ecosistémicas del suelo donde se asienta la edificación, a través de la integración de vegetación, propiciando: la creación y co-evolución de diversas formas de vida; la preservación de servicios ecosistémicos; y el mantenimiento de un balance de energía óptimo para lograr, de forma pasiva, el confort higrotérmico dentro de la edificación; con lo que contribuye a que ecosistemas y personas se mantengan de forma saludable.

2.2 Definición de Vivienda Social

Por vivienda social se concibe a aquellas viviendas clasificadas como económica, popular y tradicional por el Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda (SNIIV). La superficie y el costo son los criterios clave de la clasificación. En la [Tabla 2.1](#) se describen los tipos de vivienda de acuerdo con el SNIIV.

Tabla 2.1

Clasificación de la Vivienda

Tipo de Vivienda	Descripción	Costo
Económica	Superficie promedio construida de 40m ² . Cuentan con un baño, cocina y área de usos múltiples.	Costo promedio de 118 UMAs. (\$372,136.6)
Popular	Superficie promedio de 50m ² . Cuenta con un baño, cocina, estancia, comedor, de una a dos recamaras y un cajón de estacionamiento.	Costo promedio de 118.1 a 200 UMAs. (\$372,451 - \$630,740)
Tradicional	Superficie promedio de 71m ² . Cuenta con un baño y medio, cocina, estancia-comedor, de dos a tres recámaras y cajón de estacionamiento.	Costo promedio de 200.1 a 350 UMAs. (\$631,055 - \$1,103,795)
Media	Superficie promedio de 102m ² . Cuenta con dos baños, cocina, sala, comedor, de dos a tres recámaras, cuarto de servicio y uno o dos cajones de estacionamiento.	Costo promedio de 350.1 a 750 UMAs. (\$1,104,110- \$ 2,365,275)
Residencial	Superficie promedio de 156m ² . Cuenta con tres a cuatro baños, cocina, sala, comedor, de tres a cuatro recámaras, cuarto de servicio, sala familiar y dos o tres cajones de estacionamiento.	Costo promedio de 750.1 a 1,500 UMAs. (\$2,365,590 - 4,730,550)

Nota. Elaborado con información del *Glosario del Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda* [SNIIV], 2021). Los costos en pesos mexicanos, colocados entre paréntesis, se estimaron considerando un costo mensual de UMA de \$3,153.70 (El Contribuyente, s.f.).

2.3 Servicios Ecosistémicos Urbanos

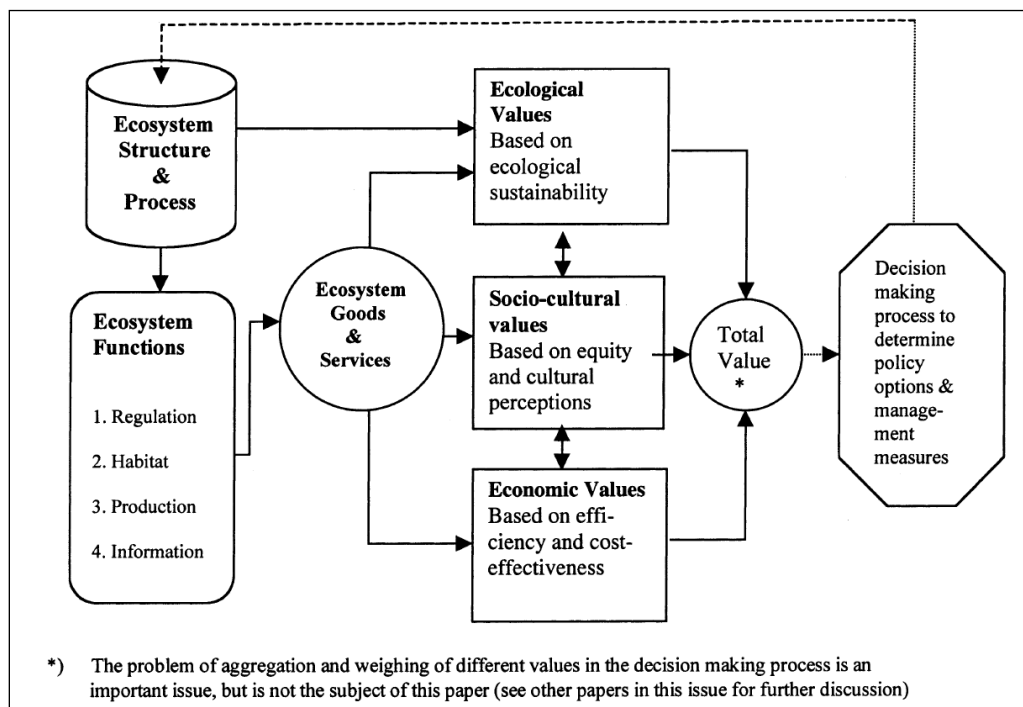
Se conoce como servicios ecosistémicos a los beneficios que la humanidad adquiere de los ecosistemas (Millennium Ecosystem Assessment [MEA], 2005; Balvanera *et al.*, 2017). Por su parte, Costanza *et al.* (1996) hacen una distinción entre servicios y bienes ecosistémicos. Donde un servicio ecosistémico sería, por ejemplo, la asimilación de residuos y, un ejemplo de bien ecosistémico sería los alimentos. Para fines de este trabajo, se entenderá como servicios ecosistémicos a ambas acepciones. Por otra parte, estos autores señalan que los servicios ecosistémicos se derivan de las funciones del ecosistema y que, además, pueden percibirse de forma directa o indirecta.

Que los servicios ecosistémicos se deriven de las funciones del ecosistema significa que los primeros están sujetos a que en los ecosistemas se forjen las condiciones óptimas para su generación. De esta manera, se entiende por funciones de los ecosistemas “todos aquellos aspectos de la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas con capacidad de generar servicios que satisfagan necesidades humanas de forma directa o indirecta” (De Groot, 1992, citado por Gómez-Baggethun y De Groot, 2007). En otras palabras, las funciones del ecosistema son los beneficios potenciales, en cambio, los servicios ecosistémicos son los beneficios reales: usufructo efectivo.

En la [Figura 2.2](#), De Groot *et al.* (2002) ofrecen un marco para la comprensión y evaluación integral de los servicios ecosistémicos en el que, la complejidad de estructuras, procesos e interacciones de las que se compone un ecosistema, se traducen en un número limitado de funciones del ecosistema: de hábitat, de producción, de regulación, de información, y de sustrato.

Figura 2.2

Marco para la Comprensión y Evaluación Integral de Servicios Ecosistémicos



Nota. Tomado de *Framework for integrated assessment and valuation of ecosystem functions, goods and services*, de De Groot *et al.*, 2002, p. 394, en *Ecological Economics*, 41(3), 393-408 ([https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)).

Otro marco para el análisis de los servicios ecosistémicos es la clasificación del Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), donde se hace diferencia entre cuatro tipos de servicios ecosistémicos:

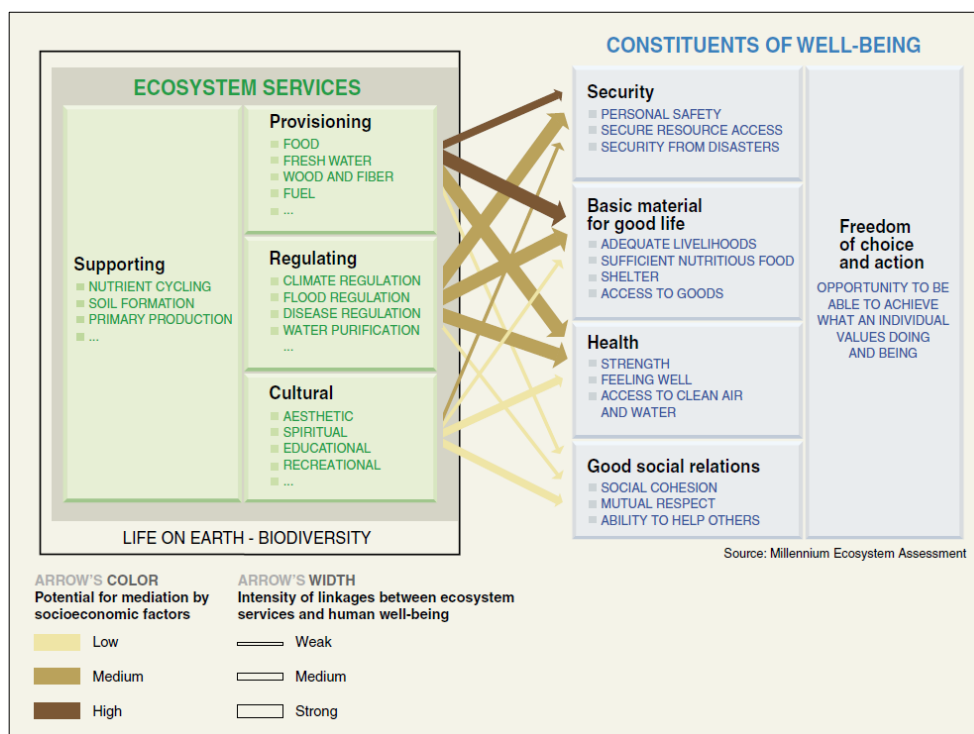
- I. Provisión: son los bienes (productos) extraídos de los ecosistemas para su consumo o transformación, por ejemplo, madera, agua, alimentos, etc.
- II. Regulación: comúnmente se refieren a regulación del clima, por ejemplo, temperatura y precipitación, aunque también son servicios de regulación la fertilidad del suelo y la recarga de mantos acuíferos.

- III. Culturales: son intangibles, se refiere a beneficios que los humanos obtienen de la interacción con el ecosistema, por ejemplo: recreación; empleo; identidad; cosmovisión; espiritualidad; belleza escénica; etc.
- IV. Soporte: son aquellos procesos y fenómenos que suceden en los ecosistemas y que “soportan” el resto de los servicios ecosistémicos, por ejemplo: fotosíntesis; ciclos biogeoquímicos; evolución.

La Figura 2.3 muestra la relación existente entre los tipos de servicios ecosistémicos y el bienestar que aportan a la humanidad

Figura 2.3

Relación entre Servicios Ecosistémicos y el Bienestar Humano



Nota. Tomado de *Linkages between Ecosystem Services and Human Well-being*, de Millennium Ecosystem Assessment, 2005, p. vi, Island Press (<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>).

En tanto, en la [Figura 2.4 Costanza et al. \(2017\)](#) ofrece otro listado de ejemplos de servicios ecosistémicos.

Figura 2.4

Ejemplos de Servicios Ecosistémicos

#	Ecosystem service*	Ecosystem functions	Examples
1	Gas regulation	Regulation of atmospheric chemical composition	CO ₂ /O ₂ balance, O ₃ for UVB protection, and SO _x levels
2	Climate regulation	Regulation of global temperature, precipitation, and other biologically mediated climatic processes at global or local levels	Green-house gas regulation, DMS production affecting cloud formation
3	Disturbance regulation	Capacitance, damping, and integrity of ecosystem response to environmental fluctuations	Storm protection, flood control, drought recovery, and other aspects of habitat response to environmental variability mainly controlled by vegetation structure
4	Water regulation	Regulation of hydrological flows	Provisioning of water for agricultural (e.g., irrigation) or industrial (e.g., milling) processes or transportation
5	Water supply	Storage and retention of water	Provisioning of water by watersheds, reservoirs, and aquifers
6	Erosion control and sediment retention	Retention of soil within an ecosystem	Prevention of loss of soil by wind, runoff, or other removal processes, storage of silt in lakes and wetlands
7	Soil formation	Soil formation processes	Weathering of rock and the accumulation of organic material
8	Nutrient cycling	Storage, internal cycling, processing, and acquisition of nutrients	Nitrogen fixation, N, P, and other elemental or nutrient cycles
9	Waste treatment	Recovery of mobile nutrients and removal or breakdown of excess or xenic nutrients and compounds	Waste treatment, pollution control, detoxification
10	Pollination	Movement of floral gametes	Provisioning of pollinators for the reproduction of plant populations
11	Biological control	Trophic-dynamic regulations of populations	Keystone predator control of prey species, reduction of herbivory by top predators
12	Refugia	Habitat for resident and transient populations	Nurseries, habitat for migratory species, regional habitats for locally harvested species, or over wintering grounds
13	Food production	That portion of gross primary production extractable as food	Production of fish, game, crops, nuts, fruits by hunting, gathering, subsistence farming, or fishing
14	Raw materials	That portion of gross primary production extractable as raw materials	The production of lumber, fuel, or fodder
15	Genetic resources	Sources of unique biological materials and products	Medicine, products for materials science, genes for resistance to plant pathogens and crop pests, ornamental species (pets and horticultural varieties of plants)
16	Recreation	Providing opportunities for recreational activities	Eco-tourism, sport fishing, and other outdoor recreational activities
17	Cultural	Providing opportunities for non-commercial uses	Aesthetic, artistic, educational, spiritual, and/or scientific values of ecosystems

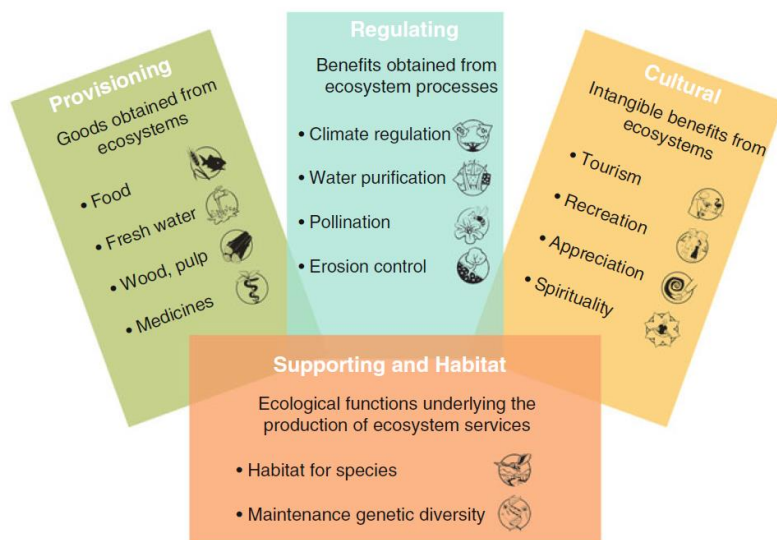
* We include ecosystem "goods" along with ecosystem services.

Nota. Tomado de *Classification of ecosystem services and functions used in: (Costanza et al., 1997)*, de Costanza et al., 2017, p. 4, en *Ecosystem Services*, 28(2017), 1-16 (<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>).

Las ciudades son propulsoras de transformaciones en el clima y en los ecosistemas debido a los cambios de uso de suelo asociados a la urbanización (Sero et al., 2013). Se apropian de vastas áreas del territorio que las rodea para su consumo y asimilación de residuos. Aunque, estas solo “ocupan un 3% de la superficie terrestre, representan entre un 60% y un 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono” (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2021) causante del cambio climático.

Por otro lado, las ciudades se están expandiendo a una velocidad alarmante en términos de densidad poblacional y de superficie. Actualmente, el 50% de la población humana vive en ciudades, con la expectativa de que para el 2030 el porcentaje ascienda al 60% (ONU, 2021). De acuerdo con Hubacek *et al.* (2009, citado por Sero *et al.*, 2013), la urbanización está ejerciendo una fuerte presión en los servicios ecosistémicos debido a los cambios en patrones de consumo y estilos de vida, fundamentalmente, porque ello significa un acrecentamiento en la demanda de agua y energía.

Las ciudades no solo afectan los ecosistemas que las rodean, sino que su diseño y construcción, a base de infraestructura gris, esta desasociada de los procesos ecológicos de los que forma parte, afectando los servicios ecosistémicos que se producen de manera local (dentro de la ciudad): en los espacios verdes. Esto quiere decir que las ciudades tienen el potencial para producir servicios ecosistémicos, algunos de los más relevantes para la ciudad se mencionan en la [Figura 2.5](#).

Figura 2.5*Servicios Ecosistémicos Urbanos*

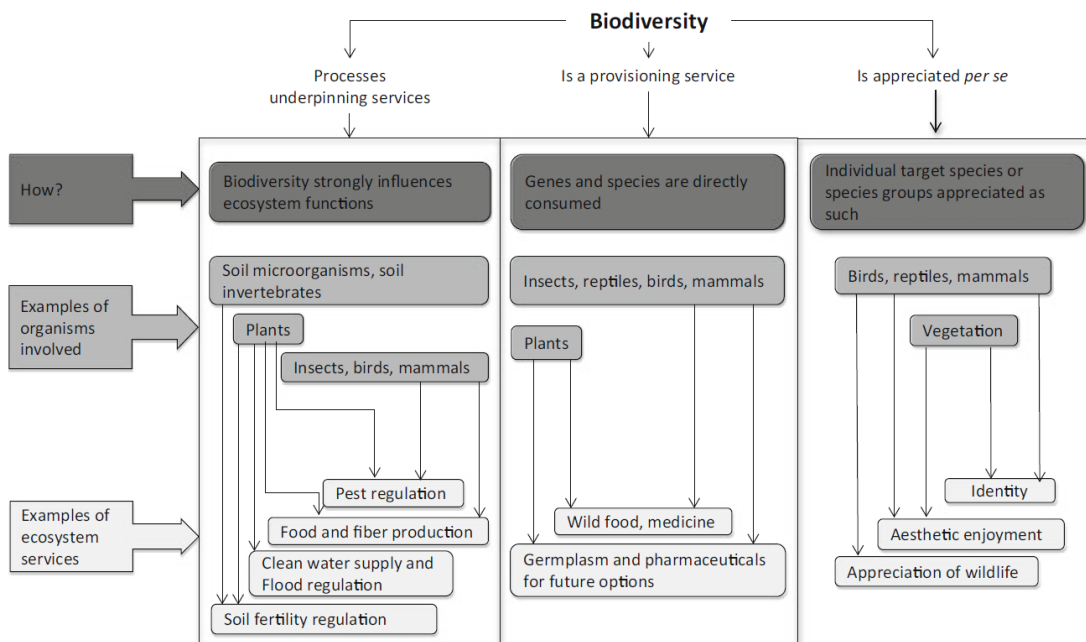
Nota. Tomado de *Classification of ecosystem services based on the Millennium Ecosystem Assessment (MAE 2005) and the Economics of Ecosystems and Biodiversity initiative (TEEB 2012)*, de Gómez-Baggethun *et al.*, 2013, p.179, Springer Netherlands (https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_11).

Relevancia de la Biodiversidad

De acuerdo con Balvanera *et al.* (2017), “la biodiversidad regula el estado, los rangos y, en muchos casos, la estabilidad de los procesos fundamentales del ecosistema para proveer servicios ecosistémicos” (p. 42). La Figura 2.6 esquematiza cómo la biodiversidad está ligada con los servicios ecosistémicos.

Figura 2.6

Relación entre Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos



Nota. Tomado de Fig. 3.1, de Balvanera *et al.*, 2017, p. 43, quienes se basaron en el trabajo de Mace *et al.* (2012) y Reyers *et al.* (2012), Springer Nature (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-27288-7_3).

De esta manera, la biodiversidad afecta a los servicios ecosistémicos de tres maneras. Primero, regula las funciones ecosistémicas de las que dependen los servicios ecosistémicos de provisionamiento, soporte y regulación. Segundo, la biodiversidad está íntimamente ligada con la fuente de provisión de alimentos, medicinas y demás materiales. Dicha provisión está fuertemente relacionada con la diversidad cultural alrededor del mundo. Finalmente, la biodiversidad tiene valor en sí misma, independientemente de los servicios ecosistémicos que de ella se obtengan (Balvanera *et al.*, 2017).

2.4 Investigación Desarrollada en América Latina: Techos Verdes y Especies Nativas en Clima Cálido-Húmedo

La investigación sobre techos verdes se disparó a finales de la década de los noventa del siglo XX (Dvorak y Voldier, 2010). De modo tal que la literatura sobre el tema es amplia. No obstante, esta se concentra en regiones de clima templado de Europa y Norte América.

En la actualidad, uno de los temas tendencia en investigación sobre techos verdes es el uso de especies nativas y la conservación de la biodiversidad. En México ya se cuenta con algunos de estos esfuerzos. Por ejemplo, Haro Carbajal (2009) experimentó con dos tipos de plantas en Coquimatan, Colima. Sus resultados sugieren que *Wedelia tribolata*, especie nativa, presenta un mejor desempeño térmico (diferencia máxima de 12°C) en comparación con *Malephora crocea*, especie exótica (diferencia máxima de 5°C).

Por su parte, Tovar Jiménez (2011) diseñó un sistema ligero de techo verde para la Ciudad de México que no requiere de sustrato. Utilizó una cactácea nativa, trepadora y de frutos comestibles de México, Centro y Sur América: la pitahaya (*Hylocereus undatus*). Otras investigaciones sobre especies nativas para techos verdes realizadas en México son las de Martínez Pedraza (2012) y López Silva (2020), quienes estudiaron el desempeño térmico de techos verdes utilizando especies nativas; y Lara Martínez (2018), quien está trabajando en la elaboración de un catálogo de especies nativas para el Valle de México.

Resultados de la Investigación Documental

Al inicio de este proyecto, con la finalidad de conocer el panorama de la investigación científica desarrollada en torno al tema de los techos verdes para climas cálido-húmedos, así como del grado de conocimiento sobre especies nativas de América Latina que se pueden implementar en estos

sistemas, se realizó una investigación documental en acervos digitales de revistas científicas arbitradas, repositorios universitarios y buscadores académicos, en el período de 2000 a 2020, con los siguientes criterios de búsqueda:

- "techos verdes" OR "Cubiertas vegetales" AND
- "tropical" OR " clima cálido húmedo" AND
- "América Latina" OR "México"

La investigación documental, que se inició en agosto del 2020 y concluyó en diciembre del mismo año, dio como resultado un total de doce documentos localizados. De los cuales, el 42% corresponde a trabajos de grado, un 8% son presentaciones de simposio y el 50% restante corresponde a artículos científicos.

Del total de los documentos, el 75% se enfoca en el estudio del desempeño térmico de un techo verde; el otro 25% en el estudio de especies nativas con potencial para su implementación de techos verdes. Sin embargo, en los estudios de desempeño térmico se puede encontrar la utilización de especies nativas en el diseño del techo verde que se implementó, si consideramos esta particularidad, en el 42% del total de los documentos ha optado por el uso de especies nativas.

En cuanto al sistema o tipo de techo verde estudiado en los documentos, el 75% experimenta con el sistema extensivo, el resto, con el sistema modular. Finalmente, se advierte que en un 33% del total de los documentos consultados se proponen mejoras o innovaciones en cuanto a los materiales con los que se construye el sistema de techo verde.

Los países de América Latina donde se está desarrollando investigación sobre techos verdes en climas cálido-húmedos son, por frecuencia de documentos localizados, México,

Colombia, Chile y Republica Dominicana. Al interior de México, la mayor parte de los estudios se ha realizado en la costa del Atlántico, en los estados de Veracruz, Quintana Roo y Yucatán; una pequeña porción se ha desarrollado en la costa del Pacífico, en el estado de Colima. Esto en cuanto a climas cálido-húmedos, si nos referimos a clima árido o cálido seco, el panorama geográfico cambia por obvias razones.

En la [Tabla 2.2](#) se puede consultar a los autores, el año y la ciudad o país de los documentos encontrados; el título, en la sección de referencias bibliográficas.

Tabla 2.2

Antecedentes Empíricos de Investigación sobre Techos Verdes en América Latina

Autor/año	Ciudad/país	Sistema de Techo Verde			Especies Nativas		Énfasis de la investigación			Tipo de Estudio		Tipo de Documento
		Ext	Mod	Int	Si	No	DT	IN	Spp	Ex	Mo	
Alvarado Palencia, E. P. (2014)	Chetumal, Quintana Roo, México	x			x		x			x		T
Cortés Sosa, K. A (2019)	Poza Rica, Veracruz, Méx.	x		x	x		x	x		x		T
Apalucho, M. G., Moreno, H., Ochoa, L. M. y Marincic, I. (2010)	Hermosillo, Sonora, Méx.	x				x	x				x	A
Kasten Paredes, K. (2010)	Zapopan, Jalisco, México		x			x		x		x	x	T
Ordóñez López, E. E. y Pérez Sánchez, M. M. (2015)	Yucatán, México	x				x	x			x		A
Schiappacasse, F., Rodríguez, E., Nektarios, P. A., Gaeete, K. y Maturana, L. D. (2017)	Talca, Chile	x			x				x	x		A
Feliz Santana, K. (2016)	República Dominicana		x			x	x				x	T
Yeomans Reyna, F. S., Almada Navarro, D. V. y Martínez Márquez, R. (2013)	Monterrey, Nuevo León, México	x				x	x			x		A
Aragón Moreno, J. A. y Espita González, J. D. (2017)	Colombia	x				x	x			x		A
Pinzón Gaitán, L. M. (2017)	Colombia	x	x	x	x				x	x		S
Beltrán Melgarejo, A. (2013)	Atenguillo, Veracruz, México	x			x		x	x	x	x		T
Herrera-Cáceres, C. y López-Bernal, O. (2017)	Colombia		x			x	x	x		x		A

Nota. Donde Ext = extensivo. Mod = modular. Int = intensivo. DT = desempeño térmico. IN = innovación en diseño o materiales. Spp = comportamiento de especies nativas en condiciones de techos verdes. Ex = experimental. Mo = modelación. T = tesis. A = artículo científico. S = presentación en simposio.

Colombia y Chile son los únicos países donde el trabajo de investigación se dirigió a evaluar el potencial y desempeño de especies nativas que se pueden utilizar en techos verdes. Tal es el caso de [Schiappacasse et al. \(2013\)](#), quienes evaluaron el crecimiento de dos especies nativas de Chile con diferentes regímenes de riego para encontrar el nivel óptimo de consumo de agua del sistema. Por su parte, [Pinzón Gaitán \(2017\)](#) evaluó la sobrevivencia y cobertura de tres especies nativas propagadas de esquejes recolectados en campo en Bogotá, Colombia. Cabe mencionar a [Bolaños-Silva y Moscoso-Hurtado \(2011\)](#), quienes construyeron una herramienta metodológica, dirigida a arquitectos y desarrolladores, para seleccionar las especies más apropiadas para techos verdes y otras áreas naturalizadas de la edificación, en la que se privilegia la elección de especies nativas.

Otras investigaciones, como la realizada en Veracruz, México por [Cortés Soza \(2019\)](#), no evalúan directamente el desempeño de las especies nativas, aunque las incorporan en sus prototipos o diseños experimentales, es decir, no miden parámetros ni estadísticos de las especies nativas como población o muestra, sino que miden el sistema de techo verde en su conjunto, en función del desempeño térmico. En la misma situación se encuentran los estudios de [Alvarado Palencia \(2014\)](#) y [Beltrán Melgarejo \(2013\)](#), ambos de México, de Quintana Roo y Veracruz respectivamente.

De este modo, se distinguen dos grupos de trabajos de investigación en relación con el papel que juegan las especies nativas en su diseño metodológico. En un primer grupo, las especies nativas, aunque se incluyen en la investigación, no son el objeto central de estudio, sino que simplemente forman parte de las características con las que fue diseñado el techo verde. En un segundo grupo, que resulta de mayor interés para este proyecto, las especies nativas son el objeto central de la investigación. La importancia de esta distinción radica en que en el primer grupo se

utilizan especies de las que ya se cuenta conocimiento previo o referencias de su uso en techos verdes. En cambio, en el segundo grupo de estudios de investigación se busca generar conocimiento sobre qué especies nativas son aptas para su implementación en techos verdes, ampliando el catálogo disponible.

2.5 Tipología de Techos Verdes

Los techos verdes pueden definirse de diversas maneras. Algunos lo describen como un techo vivo (Placitelli, 2022). Para otros, se trata de un sistema tecnológico en el que la vegetación se planta con alguna intención o propósito (Giacomello, 2021). Hay quienes son aún más descriptivos y los definen como un sistema artificial de capas que se unen directamente a un edificio y cuya última capa es la vegetación (Lara Martínez, 2018).

Lo que tienen en común todas las definiciones es que se trata de establecer vegetación en los techos de las edificaciones. La vegetación debe cumplir un propósito específico más allá de la estética, no se trata de crear jardines o espacios de esparcimiento, sino que, el techo verde se diseña para funcionar como una “máquina ecológica viviente” (Todd, 1993, citado por Snodgrass y Snodgrass, 2006).

A los techos verdes (*green roofs* en inglés) también se les conoce con otros nombres: eco-techos; azoteas verdes; techos ecológicos; naturación de azoteas, etc. La Norma Ambiental que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de maturación en la Ciudad de México (NADF-013-RNAT-2017) (Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA], 2018), por ejemplo, define a los techos verdes como sistemas de naturación, entendidos como:

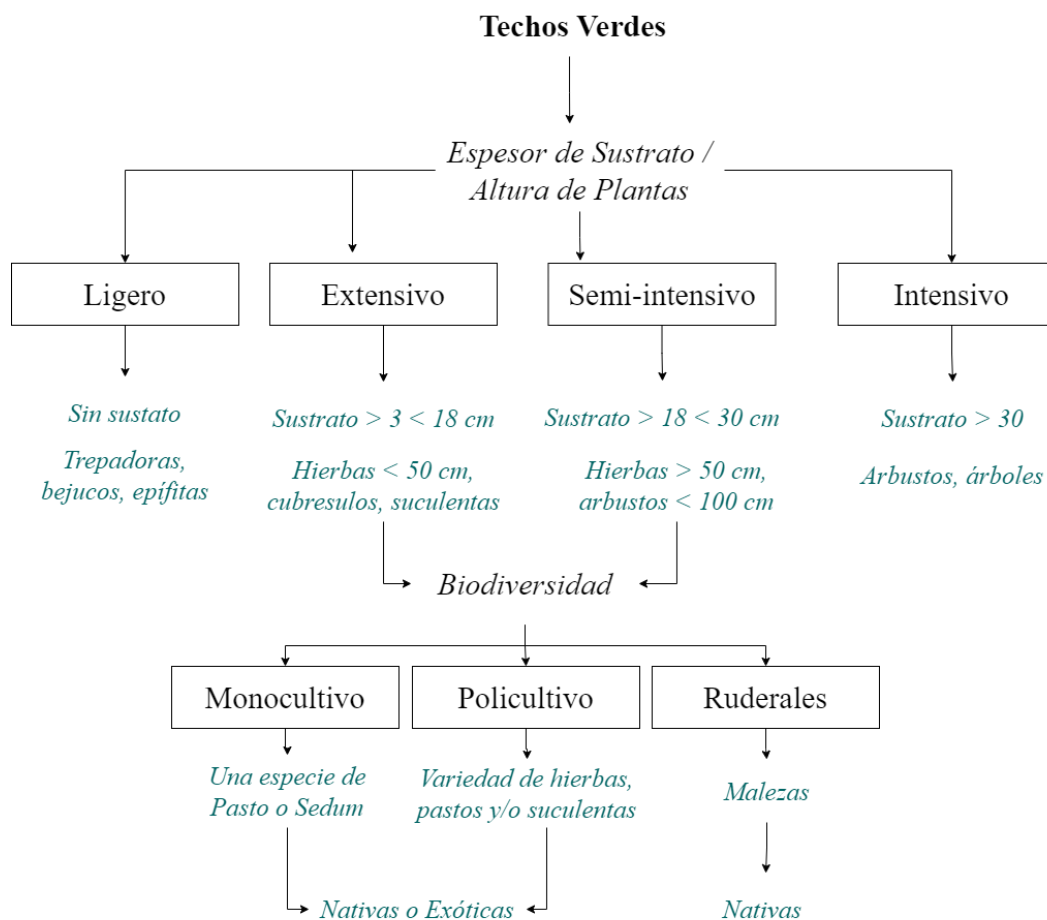
Tratamiento técnico de superficies edificadas horizontales o inclinadas, individuales o agrupadas, mediante el cual se incorporan, en un elemento o grupo de elementos constructivos tradicionales, capas de medio de crecimiento y vegetación especialmente adaptadas a las condiciones físicas y climáticas del sitio en que se instala, creando una superficie vegetal inducida. (p. 20)

Clasificación por Atributos y Diseño de Construcción

Habitualmente, los techos verdes se clasifican en intensivos y extensivos. Empero, para este proyecto se reconoce una clasificación más amplia en la que se incluye a los techos verdes ligeros y semi-intensivos. Asimismo, se añade el factor de biodiversidad para distinguir entre techos verdes que se diseñan con una sola especie (monocultivo), o con varias especies (policultivo); así como del tipo de especies, nativas o exóticas. Particularmente, se visibiliza a la existencia de los techos verdes ruderales, que son aquellos constituidos por especies de malezas ([Figura 2.7](#)).

Figura 2.7

Clasificación de los Techos Verdes



Nota. Elaborado con información de Placitelli (2022); Giacomello (2021); Lara Martínez (2018); NADF-013-RNAT-2017 (SEDEMA, 2018), Berardi et al. (2014); y Snodgraas y Snodgrass (2010).

Se observa que el principal parámetro de clasificación es el espesor del sustrato, del que depende la altura de las plantas que pueden crecer en él; asimismo, éste representa parte importante del peso del sistema.

Otros parámetros para la clasificación son los que ofrece la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2017, que establece las especificaciones técnicas para la

instalación de sistemas de naturación en la Ciudad de México [NADF-013-RNAT-2017] y Berardi *et al.* (2014), que se pueden consultar en la [Tabla 2.3](#), [Tabla 2.4](#) y [Tabla 2.5](#).

Tabla 2.3

Parámetros por Tipo de Techo Verde de la NADF-013-RNAT-2017

Parámetros del sistema de naturación	Tipos		
	Extensiva	Semi-intensiva	Intensiva
Espesor del sustrato	Hasta 18 cm	Hasta 30 cm	Mayor a 40 cm
Carga adicional	De 110 y hasta 200 kg/m ²	Mayor a 200 y hasta 350 kg/m ²	Mayor a 350 kg/m ²
Tipo de vegetación	Suculentas	Suculentas, pastos y arbustos	Suculentas, pastos arbustos y árboles.
Altura de crecimiento de las plantas	5 – 50 cm	5 – 100 cm	5 – 400 cm
Diámetro de copa	No aplica	No aplica	300 cm máximo

Nota. Tomado de *Parámetros para cada tipo de sistema de naturación*, de la NADF-013-RNAT-2017 (2018, p. 23)

Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/Respuesta_Comentarios_NADF_013_RNAT_2017.pdf

Tabla 2.4

Clasificación de Techos Verdes por Atributos

Atributos Principales	Extensivo	Intensivo
Grosor del sustrato	Menor a 200 mm	Mayor a 200 mm
Accesibilidad	Inaccesible (raíces frágiles)	Accesible (se puede usar para propósitos recreativos)
Peso	60-150 kg/m ²	Arriba de 300 kg/m ² (puede requerir reforzar la estructura)
Diversidad de plantas	Baja (musgo, hierbas y pastos)	Alta (césped, perenes, arbustos y árboles)
Construcción	Moderadamente fácil	Técnicamente complejo

Atributos Principales	Extensivo	Intensivo
Irrigación	Comúnmente no necesaria	Son necesarios sistemas de drenaje e irrigación
Mantenimiento	Simple	Complicado
Costo	Bajo	Alto

Nota. Adaptado de *Classification of green roofs and their main attributes with supporting literature*, de Berardi et al., 2014, p. 414, *Applied Energy*, 115(2014) 411–428 (DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.047), traducción propia.

Tabla 2.5

Clasificación de Techos Verdes por Diseño de Construcción

Tema	Sistema Pre-cultivado	Sistema Modular	Sistema Completo
Plantación	Pre-plantado	Pre-plantado	Plantado en sitio, en capas
Peso	Bajo	Promedio	Alto
Instalación	Simple y fácil	Simple y fácil	Complejo
Mantenimiento	Simple	Simple	Complejo
Costo	Bajo	Promedio	Alto

Nota. Adaptado de *Design construction classification of green roof systems*, de Berardi et al., 2014, p. 414, *Applied Energy*, 115(2014) 411–428 (DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.047), traducción propia.

Existen algunas discrepancias entre los parámetros que ofrece la NADF-013-RNAT-2017 y los parámetros de Berardi *et al.* (2014). Una de las principales discrepancias es la carga o peso del sistema de techo verde. En la norma de la Ciudad de México el rango de peso para un sistema extensivo oscila entre 110 a 200 kg/m². En tanto, Berardi *et al.* (2014) establecen un rango para este mismo sistema en 60 a 150 kg/m². Esta diferencia se puede explicar por el tipo de documento a que se refiere cada fuente. Los parámetros de la NADF-013-RNAT-2017 se establecieron en función de lineamientos de diseño y construcción específicos para la Ciudad de México. En cambio, los parámetros que reportan Berardi *et al.* (2014) se basan en la recopilación de docenas

de documentos tecnocientíficos, en los que se pudo haber reportado que el peso de un techo verde extensivo era mínimo de 60 kg/m² y máximo de 150 kg/m².

Si bien existen variaciones en los valores que delimitan los parámetros, en términos generales resulta sencillo distinguir entre un techo verde extensivo y uno intensivo, sobre todo si se considera el tipo de plantas. Cabe recordar que los arbustos y árboles son exclusivos del sistema intensivo. Los valores finales de peso o profundidad del sustrato dependerán del diseño particular de cada techo verde y de los materiales con los que se constituya el sustrato.

Por otra parte, Berardi *et al.* (2014) aportan una nueva visión para la clasificación de los techos verdes a través del diseño de construcción. De esta manera, se puede distinguir entre sistemas modulares o sistemas completos; con lo que se diferencia el tipo de instalación y el tipo de plantación. Los sistemas modulares se instalan por módulos y generalmente se pre-plantan antes de la instalación (ver el caso análogo de las *Tejas Verdes* de Holanda). En cambio, un sistema completo es el sistema clásico de instalación, en el que se instala capa por capa en toda el área que ocupará el techo verde (ver el caso análogo del *Techo Verde del INFONAVIT*).

Techos Verdes Ruderales

Los techos verdes ruderales son aquellos que incluyen malezas entre las especies vegetales que los componen. Se utilizan especies ruderales como una estrategia de resiliencia y adaptación al cambio climático. Presentan variaciones ecológicas con respecto a techos verdes convencionales, por ejemplo, se asume que no son estáticos, sino que el cambio es fundamental en los procesos ecológicos de las comunidades de plantas. El objetivo es, entonces, crear comunidades de plantas que se autorreproduzcan y auto mantengan en el largo plazo (Dunnett, 2015).

El término maleza presenta diversas connotaciones dependiendo del valor utilitario que se les asigne a las plantas descritas con este término. Aunque no existe una definición inequívoca de del término maleza, lo que si es preciso es que se trata de especies sinántropicas, adaptadas a ambientes intensamente modificados por las actividades humanas, tales como campos agrícolas o espacios urbanos (Martínez-De la Cruz *et al.*, 2015).

Las malezas tienen mala fama debido a los problemas que representan para la producción agrícola convencional, basada en monocultivos y agroquímicos. Sin embargo, realmente son muy pocas las malezas que tienen la capacidad de convertirse en invasoras y representar un peligro competitivo en los campos (Rzedowski y Rzedowski, 2004). En cambio, muchas malezas son útiles como alimento, forraje y medicina. Además, son especialmente útiles para estabilizar el suelo.

Las malezas pueden clasificarse en dos grupos: las arvenses y ruderales. Las primeras se encuentran en zonas de cultivo, adaptadas a una remoción periódica del suelo (labrado). En cambio, las ruderales están adscritas a los asentamientos urbanos, hallada en patios, jardines, lotes baldíos, calles, escombros, grietas en muros y banquetas (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2004; Rzedowski, 2006; Villaseñor *et al.*, 2013; citados por Martínez-De la Cruz *et al.*, 2015). En México existen aproximadamente 3,000 especies de malezas (Vibrans, 2011). De este universo se desconoce la cantidad existente en la ciudad de Puerto Vallarta, no se encontró referencia alguna de listados o catálogos de plantas ruderales para esta ciudad.

Casos Análogos

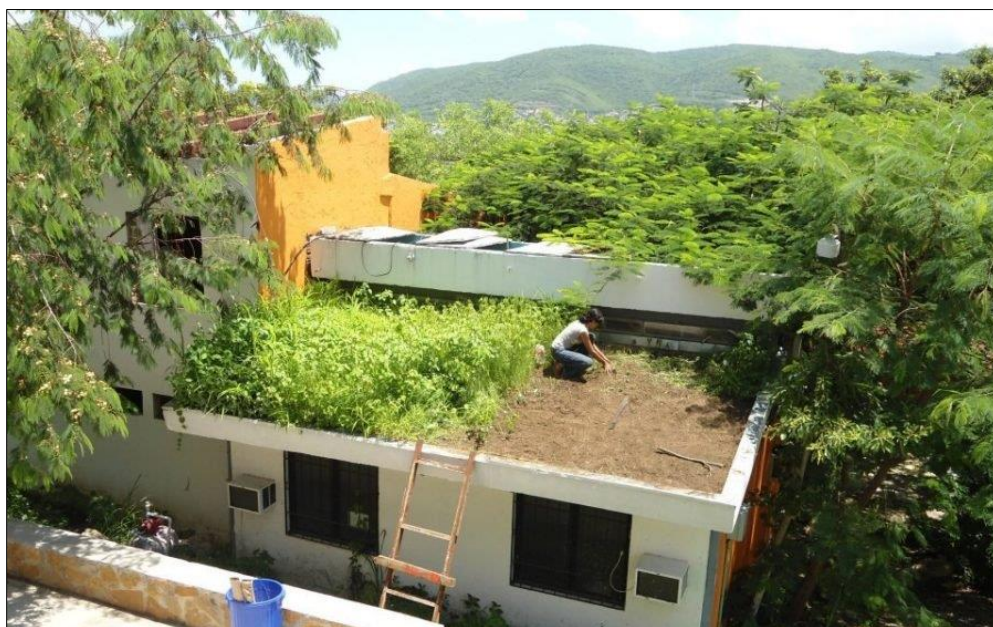
A continuación, se presentan casos análogos de techos verdes que, además, ejemplifican la clasificación anteriormente expuesta.

Domotej

Domotej es resultado de un proyecto de investigación de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Se trata de un sistema extensivo y modular. Se construyen módulos de 1m² para la construcción del techo que sostendrá al sistema de techo verde (Figura 2.8).

Figura 2.8

Techo Verde DOMOTEJ



(a)



(b)

Nota. Información e imagen (a) obtenidas de Morales (2021). Imagen (b) obtenida de Ecoosfera (2021).

Techo Verde del Edificio INFONAVIT, Cd. De México

El techo verde del edificio Invonavit de la Ciudad de México (Figura 2.9) es considerado el más extenso de América Latina. Se trata de un sistema semi-intensivo que utilizó cactus y agaves nativos (Toche, 2015).

Figura 2.9

Techo Verde del Edificio INFONAVIT



Nota. Imagen obtenida de Toche (2015).

Se trata de “2,270 metros cuadrados de área naturada con 126 especies diferentes de plantas” (Toche, 2015).

Tejas Verdes, Holanda

Este sistema de techo verde es extensivo, modular y pre-plantado (la vegetación se siembra con anterioridad en los módulos que luego serán instalados en el techo). Es un sistema ideado en Holanda y que podría adaptarse al contexto de Puerto Vallarta considerando la tradición arquitectónica del uso de teja de barro (Figura 2.10) (Portal Ambiental, 2022).

Figura 2.10

Tejas Verdes



Nota. Imagen obtenida de Portal Ambiental (2022).

Techo Verde Ligero, Argentina

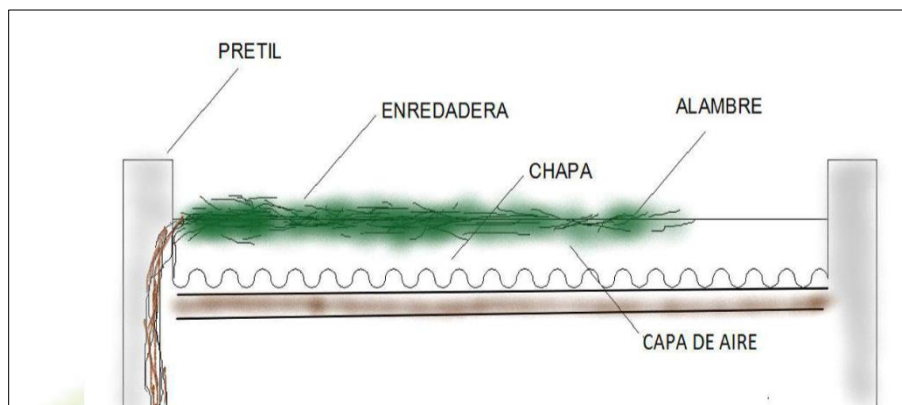
Este techo verde es de tipo ligero, sin sustrato. El concepto es muy básico, se construye a partir de enredaderas o trepadoras que se guían para abarcar el área del techo (Figura 2.11) (Placitelli, 2022).

Figura 2.11

Techo Verde Ligero



(a)



(b)

Nota. Imágenes de Placitelli (2022).

2.6 El Bambú como Material de Construcción

Bambú es el nombre genérico o común por el que se conoce a varias especies de la subfamilia botánica Bambuseae (Tabla 2.6). Los bambúes están emparentados con el maíz, el trigo, el arroz y la avena (Minke, 2012). Se conocen aproximadamente 1,650 especies silvestres de bambú (Ruiz-Sánchez, 2019) en el mundo. Pueden vivir desde el nivel del mar hasta más de 4,000 metros sobre el nivel del mar (Comisión Nacional Forestal [CONAFOR], 2002). Estos crecen en todos los continentes con excepción de Europa, entre la latitud 51° norte y 47° sur, en una diversidad de climas y ecosistemas que van desde selvas altas perennifolias a bosques tropicales caducifolios, bosques templados de pino-encino y bosques mesófilos de montaña. Aunque, la gran mayoría de especies se desarrollan en clima cálido húmedo y normalmente se les encuentra cercanos a cuerpos de agua o en nichos húmedos (Minke, 2012).

Tabla 2.6

Clasificación Taxonómica de Bambúes de Uso en la Construcción

Familia	Subfamilia	Tribu	Géneros
Poaceace	Bambuceae	Bambuseae	<i>Guadua</i>
			<i>Phyllostachys</i>
			<i>Dendrocalamus</i>
			<i>Bambusa</i>
			<i>Otatea</i>

Nota. Elaborado con información de Ruiz-Sánchez (2019) y Ruiz-Sánchez *et al.* (2021).

Los bambúes pueden ser de dos tipos: de tallos leñosos (lignificados) o de tallos herbáceos. Especies de ambos tipos se han empleado históricamente en la construcción de edificios y de utensilios desde hace milenios (Figura 2.12). Quizás, la especie más utilizada en México desde la época prehispánica sea *Otatea acuminata*, utilizada para la elaboración de cestería, para bastones

(“burritas”), como tutores para el cultivo de hortalizas y en la construcción de muros rellenos en el sistema de construcción de *bahareque* (Ruiz-Sánchez, 2019).

Figura 2.12

Ejemplos del Uso Histórico del Bambú en México



(a) Bahareque Maya



(b) Escudo de Moctezuma

Nota. En la construcción del Escudo de Moctezuma se empleó un bambú del género *Otatea*. Imágenes obtenidas de Bambuterra (2021).

Los bambúes leñosos son los que interesan a los propósitos de este proyecto porque son los que se emplean como elementos estructurales en la construcción. En el continente americano, México ocupa el quinto lugar en biodiversidad de especies nativas de bambúes leñosos, con 53 especies y 8 géneros (Ruiz-Sánchez *et al.*, 2021). Asimismo, existe en el país un aproximado de 50 especies exóticas de bambú (Bambuterra, 2021) que fueron introducidas con fines comerciales, entre ellas la *Guadua angustifolia*, la especie de bambú más utilizada de América para la construcción de estructuras, originaria de Sudamérica (Colombia-Brasil).

En la [Tabla 2.7](#) se enlistan ocho especies de bambú que comúnmente se usan en la construcción de estructuras y que se pueden encontrar en México de forma cultivada o silvestre.

Tabla 2.7*Especies de Bambú de Uso Estructural Presentes en México*

Nombre científico	Nombre común	Origen	Altura (metros)	Diámetro (cm)
<i>Bambusa oldhami</i> Munro	Oldhami, bambú africano	Taiwán	11	5-12
<i>Guadua angustifolia</i>	Guadua	Sudamérica	11	3-14
<i>Guadua amplexifolia</i>	Caña vaquera, bambú otate	México a Colombia	8	6-10
<i>Guadua aculeata</i>	Bambú, caña otate, tarro, jimba	México a Panamá	11	7-15
<i>Guadua longifolia</i>	Caña brava, cañizo, otate, bambú espinudo	México a Honduras	10	4-6
<i>Guadua velutina</i>	Caña mansa, caña de otate	México	3-5	5-10
<i>Guadua paniculada</i>	Otate dulce	México y Sudamérica	10	2.5
<i>Dendrocalamus asper</i>	Dendrocalamus	Asía	25	20
<i>Dendrocalamus giganteus</i>	Dendrocalamus	Asía	12	15






Nota. La altura y diámetro por especie son los parámetros reportados para México, estos pueden variar y ser diferentes para otras regiones debido a variaciones climáticas. Elaborado con información de Lucila Aguilar Arquitectos y Selvazama (2020); Minke (2012); y CONAFOR (2002).

Bases para el Diseño de Estructuras

Las bases para el diseño de estructuras con bambú que aquí se presentan son alusivas a la especie *Guadua angustifolia* (a menos que se indique lo contrario). Actualmente, esta especie es la de mayor importancia en el sector de la construcción con bambú en América. De hecho, es la única que cuenta con normas nacionales y estándares ISO (Tabla 2.8).

Tabla 2.8

Normativa sobre Construcción con Bambú

País/Institución	Norma/Documento
	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Título G- Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua [NSR-10 G]. (2010).
	Norma Ecuatoriana de la Construcción. Estructuras de Guadua (GaK) [NEC-SE-GUADÚA]. (2016).
	Norma Técnica E.100 BAMBÚ. (2020). Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú.
	Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras con Madera [NTC - Madera]. (2017). Ciudad de México.
	Kaminski et al (2016). Structural use of bamboo Part 3: Design values. <i>The Institution of Structural Engineer</i> , Diciembre(2016), pp. 42-45

Nota. Estos son algunos de los documentos de referencia sobre el diseño de estructuras con guadua que se consideraron para este proyecto.

A la fecha, en México no existe una norma oficial especializada en estructuras de bambú. La única referencia en el país son las *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras con Madera* de la Ciudad de México, que dedican un capítulo a la determinación de los límites máximos admisibles para tres especies de bambú (Figura 2.13), incluida la especie nativa *Guadua aculeata*.

Figura 2.13

Valores de Resistencia y Módulos de Elasticidad de la NTC-Madera

		<i>Guadua aculeata</i>	<i>Guadua angustifolia</i>	<i>Bambusa oldhamii</i>
Flexión	f_{fu}'	23.2 (235)	25.6 (260)	33.7 (340)
Tensión paralela a la fibra	f_{tu}'	20.6 (210)	36.4 (370)	58.1 (590)
Compresión paralela a la fibra	f_{cu}'	16.9 (170)	23.7 (240)	20.4 (205)
Cortante paralelo a la fibra	f_{vu}'	3.3 (30)	1.9 (18)	2.6 (25)
Módulo de elasticidad promedio	$E_{0.50}$	18 500 (185 000)	18 500 (185 000)	20 500 (205 000)
Módulo de elasticidad correspondiente al 5° percentil	$E_{0.05}$	10 000 (100 000)	12 000 (122 000)	12 000 (122 000)

Nota. Valores en Mpa (kg/cm²). Captura de pantalla de la *Tabla 2.2.9 Valores especificados de resistencias y módulos de elasticidad de bambúes leñosos de la NTC-Madera (2017).*

Además de la normativa, es posible encontrar manuales o guías sobre la construcción de estructuras con bambú. Igualmente, referidos casi en su totalidad a la especie *Guadua angustifolia*. De ambos tipos de referencias se puede concluir que existen principios para tener éxito en el uso del bambú como material estructural, estos son:

1. Utilizar culmos maduros y tratados.
2. Aislar los culmos de la humedad del suelo.
3. Porcentaje de humedad del culmo < 15%.
4. Proteger los culmos del agua de lluvia y radiación solar directa.
5. Dirigir las cargas hacia los nudos o hacia los entrenudos, siempre y cuando estos se llenen previamente con mortero para reforzar.
6. Comprobar que el porcentaje de conicidad del culmo es menor al 1%.
7. Evitar perforaciones adicionales a las elaboradas para los pernos de conexión.

Es inaceptable utilizar bambú que presente:

- Aplastamiento o rajaduras de más de dos entrenudos;
- Plagas u hongos;

- Culmos verdes recién cortados, sin proceso de secado y tratamiento químico;
- Culmos con pared menor a 8 mm;
- Culmos menores de 4 años;
- Culmos con pudrición;
- Culmos con agrietamientos iguales o superiores al 20% de su longitud (Norma Técnica E-100 Bambú, 2020; Lucila Aguilar Arquitectos, 2019; NTC-Madera, 2017; NEC-SE-Guadúa, 2016; NSR-10 G, 2010; y CONAFOR, 2002).

Esfuerzos Máximos Admisibles y Módulos de Elasticidad

La literatura consultada sobre diseño de estructuras de bambú especifica que el método por el que se debe calcular la estructura debe ser el Método de Esfuerzos Máximos Admisibles. La [Tabla 2.9](#) ofrece una comparación de los esfuerzos máximos admisibles y los módulos de elasticidad citados en cinco normas y/o documentos de referencia.

Tabla 2.9

Esfuerzos Máximos Admisibles y Módulos de Elasticidad para Guadua angustifolia

	Kaminski et al (2016)	NSR-10 G Colombia	NEC-SE-GUADÚA	Norma Técnica E.100 BAMBÚ		NTC-Madera-2017	
Esfuerzos Admisibles (Fi)	(N/mm ²)	(MPa) CH=12%	(MPa) CH=12%	(MPa) CH=12%	(kg/cm)	(MPa) CH=12%	(kg/cm)
Flexión (Fb)	30	15	15	5	50	25.6	260
Tracción (Ft)	40	18	19	16	160	36.4	370
Compresión Paralela (Fc)	20	14	14	13	130	23.7	240
Compresión Perpendicular (Fp)*	-	1.4	1.4	1.3	13	-	-
Corte (Fv)	2	1.2	1.2	1	10	1.9	19
Módulo de Elasticidad (Ei)	(N/mm ²)	(MPa) CH=12%	(MPa) CH=12%	(MPa) CH=12%	(kg/cm)	(MPa) CH=12%	(kg/cm)

	Kaminski et al (2016)	NSR-10 G Colombia	NEC-SE-GUADÚA	Norma Técnica E.100 BAMBÚ		NTC-Madera-2017	
Módulo promedio (E0.5)	10000-17000	9500	12000	9500	95000	18500	185000
Módulo percentil 5 (E0.05)	7500-13000	7500	7500	-	-	12000	122000
Módulo mínimo (Emin)	-	4000	4000	7300	13000	-	-

Nota. Los valores de Kaminski et al (2016) están referidos para los esquemas de diseño de todas las especies. Donde CH se refiere al contenido de humedad de los culmos. 1 MPa = 1 N/mm². Elaborado con información de Norma Técnica E-100 Bambú, 2020; NTC-Madera, 2017; Kaminski et al, 2016; NEC-SE-Guadúa, 2016; y NSR-10 G, 2010.

El Bambú en Puerto Vallarta

Como planta de ornato, el bambú ha estado presente hace más de tres décadas en la ciudad de Puerto Vallarta. Especies exóticas como *Bambusa oldhami*, *Bambusa vulgaris* y bambú plumoso dominan este uso en la ciudad. Se les puede encontrar en camellones, áreas verdes, linderos de terrenos o fraccionamientos, orillas de la carretera, traspacios de viviendas, restaurantes y plazas comerciales (Figura 2.14).

Figura 2.14

Ejemplos de la Presencia del Bambú en Puerto Vallarta



(a)



(b)

Nota. Las fotografías se tomaron en diciembre del 2021. Donde (a) es un ejemplo del bambú en áreas verdes y (b) es un ejemplo del bambú usado como elemento decorativo/cercado en comercios.

Como material para la construcción, el bambú recién comienza a tener presencia en la ciudad de Puerto Vallarta. Empero, en localidades aledañas como Sayulita, San Pancho y La Peñita, existe mayor presencia de estructuras hechas con bambú (Figura 2.15).

Figura 2.15

Ejemplos de Construcciones de Estructuras con Bambú en la Región Bahía de Banderas



(a)



(b)

Nota. Fotos tomadas en marzo del 2022. Ambas construcciones se localizan a orilla de carretera Pto. Vallarta – Guadalajara. Donde (a) es una construcción cerca del cruce a San Pancho y (b) es una construcción cerca de La Peñita.

2.7 Casos Análogos de Estructuras de Bambú con Techo Verde

A continuación, se presentan casos análogos de estructuras de bambú con cubierta de techo verde.

La Ceiba, Lucia Aguilar Arquitectos

Este proyecto se construyó en 2016 en Chiapas, México. Se trata de un complejo para una industria agroforestal (Figura 2.16). Destaca el uso de dos tipos de sistemas de cubierta que soportan los techos verdes: cerchas y paraboloides hiperbólicas.

Figura 2.16

Proyecto La Ceiba



Nota. Imágenes de Lucila Aguilar Arquitectos (2016).

Casa Vacío, ZUARQ

Casa Vacío es un proyecto de vivienda construida en un entorno rural de Colombia en el año 2016 (Figura 2.17). Fue diseñada por la arquitecta colombiana Carolina Zuluaga. El edificio incluye una cubierta de techo verde para una de las habitaciones. El sistema constructivo de la cubierta que soporta el techo verde es similar a poste y viga o armaduras.

Figura 2.17

Proyecto Casa Vacío



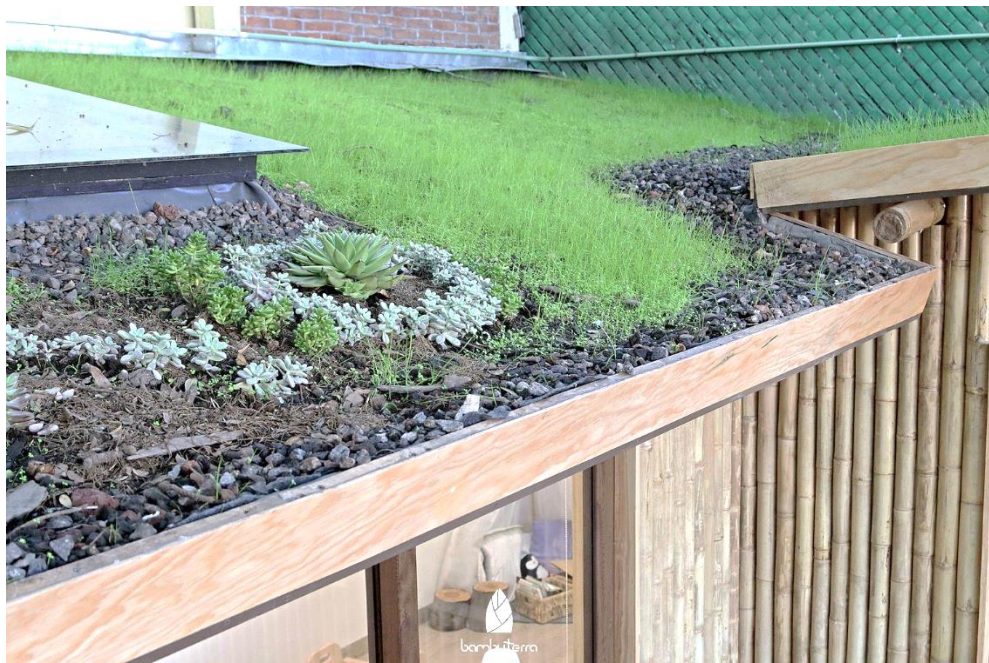
Nota. Imágenes de Zuarq (2016). La flecha indica la habitación a la que se le instaló el techo verde.

Aula Verde, Bambuterra

Aula Verde es un proyecto del despacho Bambuterra con sede en la Ciudad de México. Se trata de una construcción de marcos recubiertos con biopanel. La cubierta que soporta al techo verde está construida con el sistema patentado BiBa (Figura 2.18).

Figura 2.18

Proyecto Aula Verde



Nota. Imágenes de Bambuterra Kaltia (2016).

Paraboloide en Bambú y Techo Verde

Este proyecto es resultado del taller dirigido por Jörg Stamm en 2010 titulado *Estructuras Innovadoras en Caña de Bambú y Techos Verdes*. Contó también con la participación de Gernot Minke. Ambos son figuras importantes en el diseño y construcción de estructuras de bambú en el continente americano. La cubierta usa el paraboloide hiperbólico como sistema para sostener el techo verde (Figura 2.19). Los claros dentro de la cubierta se resuelven con un entramado de esterilla de bambú.

Figura 2.19

Paraboloide en Bambú y Techo Verde



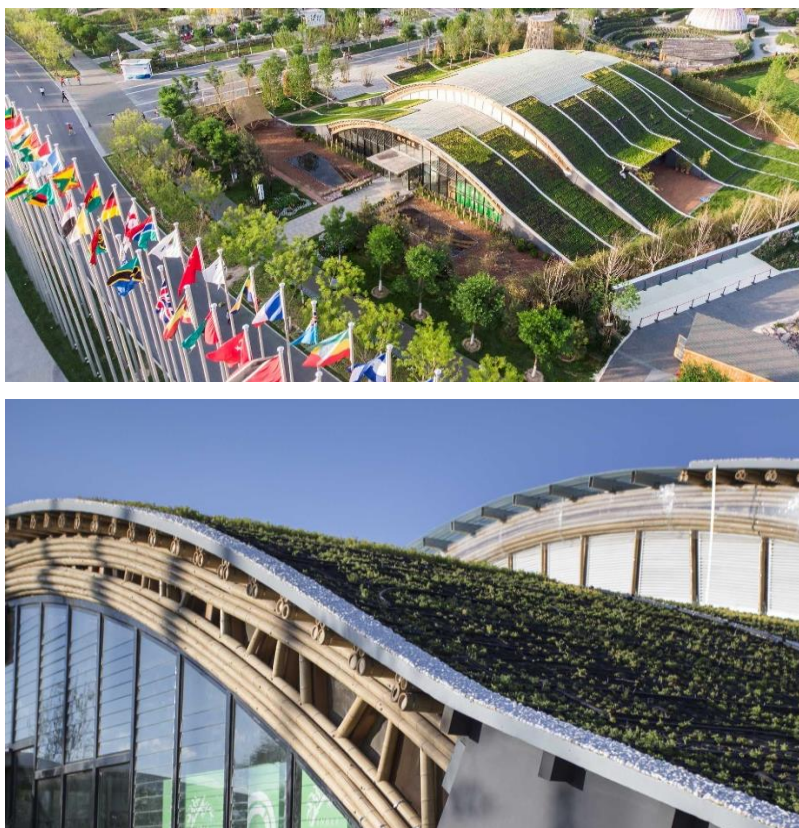
Nota. Imágenes de Bambusa (2010).

INBAR Garden Pavilion-2019

El arquitecto Mauricio Cárdenas Laverde, en conjunto con su equipo de colaboradores, fue el encargado de diseñar el *INBAR Garden Pavilion – 2019* que se celebró en la ciudad de Beijing, China. La base estructural del edificio son armaduras curvas de elementos compuestos de bambú (Figura 2.20).

Figura 2.20

INBAR Garden Pavilion 2019



Nota. Imágenes de Studio Cardenas Conscious (2019).

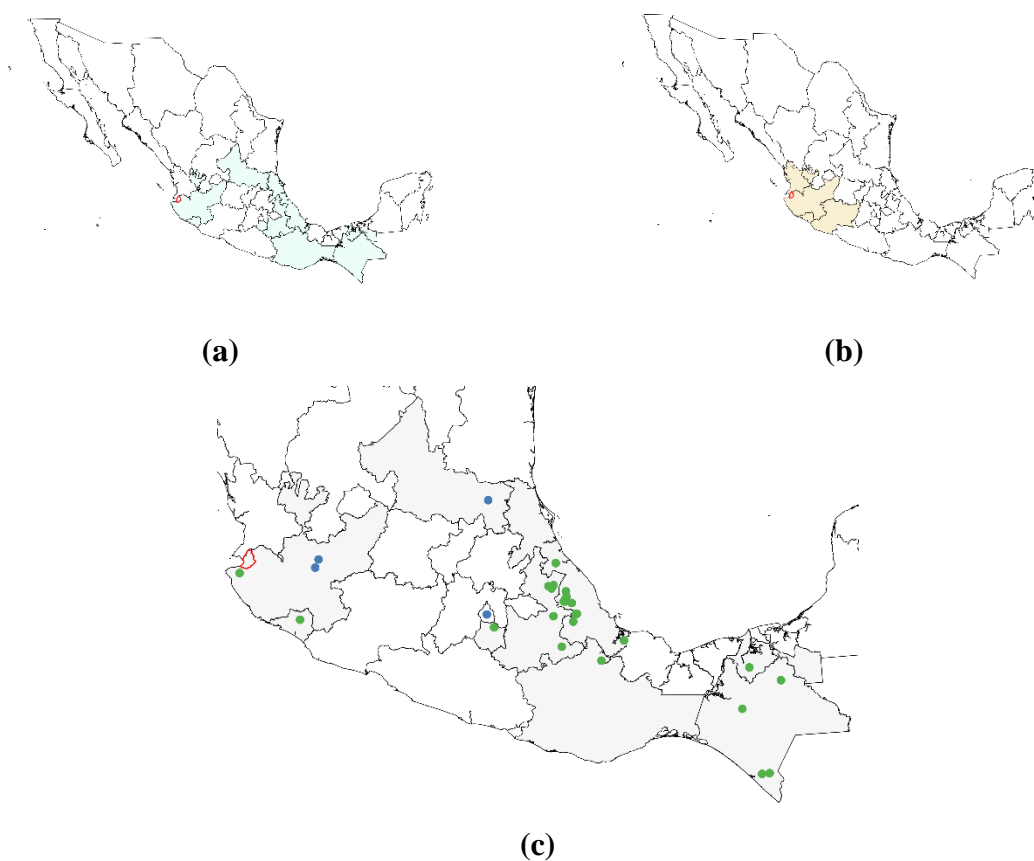
INBAR es la sigla en inglés de la Organización Internacional del Bambú y el Ratán, fundada en 1997. Actualmente cuenta con 48 estados miembros, no incluido México. Su sede se encuentra en China pero tiene oficinas regionales en India, Ecuador, Etiopía y Ghana (INBAR, 2022).

2.8 Proveedores de Bambú Estructural en México

Existe un aproximado de veintinueve proveedores de bambú en México. El 86% son productores y el resto son comerciantes. Con presencia en diez estados de la república: Chiapas, Colima, Jalisco, México, Morelos, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tabasco, y Veracruz (Lucila Aguilar Arquitectos y Selvazama, 2020) y IV Congreso Mexicano de Bambú Colima, 2022) (Figura 2.21).

Figura 2.21

Proveedores de Bambú Estructural en México



Nota. El mayor número de productores se localiza en el estado de Veracruz. Donde (a) resalta los estados que producen bambú estructural en México; (b) resalta los estados en los que se reporta la existencia de plantaciones experimentales de bambú; y (c) indica los puntos donde se ubican los diversos proveedores de bambú: en color verde los productores, en color azul los comerciantes y, el polígono rojo señala la ubicación del municipio de Puerto Vallarta. Elaborado con información de Lucila Aguilar Arquitectos y Selvazama (2020) y IV Congreso Mexicano de Bambú Colima 2022.

En promedio, los proveedores de México manejan tres especies de bambú (mínimo una, máximo ocho). De las especies de uso estructural, las más comunes son *Guadua angustifolia* y *Bambusa oldhami*, producidas y comercializadas por el 70% de los proveedores. La tercera especie estructural de bambú es *Guadua aculeata*, presente en el 24% de los proveedores. Le sigue *Dendrocalamus asper*; *Guadua amplexifolia*; y *Guadua velutina*. Esta última es la única que se aprovecha a través de manejo forestal, para todas las demás se reporta un aprovechamiento proveniente de plantaciones comerciales. Lo anterior resulta obvio al considerar que más de la mitad de estas especies son exóticas.

2.9 Normativa Relacionada con la Instalación de Techos Verdes

Se identificaron instrumentos normativos de carácter federal y de carácter municipal relacionados con la instalación de techos verdes y con el manejo y aprovechamiento de especies nativas (Tabla 2.10). Uno de los instrumentos identificados es de carácter referencial, es decir, no tiene aplicación legal en el municipio de Puerto Vallarta, pero es un referente de norma técnica para la instalación de techos verdes en el país. Estos instrumentos son:

Tabla 2.10

Instrumentos Normativos para la Construcción de Techos Verdes

Norma	Justificación
NOM-059-SEMARNAT-2010	Esta norma trata de la protección de flora y fauna nativa de México, de las categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio de estatus en la Lista de Especies en Riesgo.

Norma	Justificación
Reglamento de Construcción de Puerto Vallarta, Jalisco - 2018	Artículo 105.- Los elementos que no impliquen ningún tipo de ampliación o modificación estructural, no requerirá tramitar licencia o permiso.
NADF013-RNAT-2017	Establece los criterios técnicos para la instalación de techos verdes en la Ciudad de México. Puede ser usada como referencia para ciudades de Jalisco.
Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	Artículo 79.- establece los criterios para la preservación y aprovechamiento de flora y fauna silvestre. Artículo 88.- establece los criterios para el aprovechamiento sustentable del agua. Artículo 122.- criterios para la infiltración en el subsuelo de aguas urbanas.
Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	Artículo 68.- es competencia de la secretaria emitir permiso o autorización para colecta de recursos biológicos forestales.

Nota. Elaborado con información de [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales \(2010, 2015, 2020\)](#); [Secretaria del Medio Ambiente de la Ciudad de México \(2018\)](#) y [H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, Jalisco \(2018\)](#).

Capítulo 3.

Especies Nativas Potenciales para Techos Verdes Extensivos

Este capítulo contiene los resultados de la investigación que se llevó a cabo para responder al primer objetivo específico del proyecto: elaborar un listado con las especies nativas que potencialmente pueden funcionar en techos verdes extensivos.

El listado de especies nativas potenciales se concluyó en dos etapas. En la primera, se elaboró un *mapa taxonómico de especies utilizadas en techos verdes*, que se comparó con listados florísticos de la zona de estudio y regiones adyacentes para detectar coincidencias. Como resultado, se generó un segundo mapa taxonómico con aquellas especies que resultaron ser nativas de la zona de estudio.

En la segunda etapa, con la guía de los dos mapas taxonómicos generados, así como de una lista de características funcionales de plantas útiles para techos verdes extensivos, se exploró cuatro fuentes de información para encontrar especies nativas potenciales: 1) Entrevistas a expertas(os); 2) Colecta e identificación de malezas encontradas en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco; 3) La colección de especímenes del Herbario Zea de Autlán de Navarro, Jalisco; 4) Especies encontradas en viveros locales.

3.1 Especies Utilizadas en Techos Verdes

Se elaboró un mapa taxonómico de las especies que ya se utilizan en la construcción de techos verdes extensivos a partir de siete referencias documentales: Haro (2009); Snodgrass y Snodgrass (2010); Tovar (2011); Martínez Pedraza (2012); Ordoñez-López *et al.* (2012); Tovar *et al.* (2014); Soto *et al.* (s.f.); Alvarado Palencia (2014); y López Silva (2020). Destacan el catálogo de especies publicado por Snodgrass y Snodgrass (2010) y la investigación de Tovar *et al.* (2014). El primero, por tratarse de una guía de plantas para utilizar en techos verdes en las condiciones climáticas de Norte América. El segundo, por su contribución al conocimiento de las especies nativas que pudieran adaptarse a las condiciones de un techo verde extensivo en el Valle de México.

Por su parte, los listados florísticos con los que se comparó el mapa taxonómico fueron tres. Uno de ellos reporta la flora del Estero El Salado, ubicado dentro de la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco (Contreras Rodríguez *et al.*, 2014); otro más recoge la flora de la *Selva Mediana Subcaducifolia* circundante a las instalaciones del Jardín Botánico de Vallarta A.C. (Sahagún Godínez, 2011); y el último listado es un estudio de la flora para la región de Bahía de Banderas (Ramírez Delgadillo *et al.*, 1999).

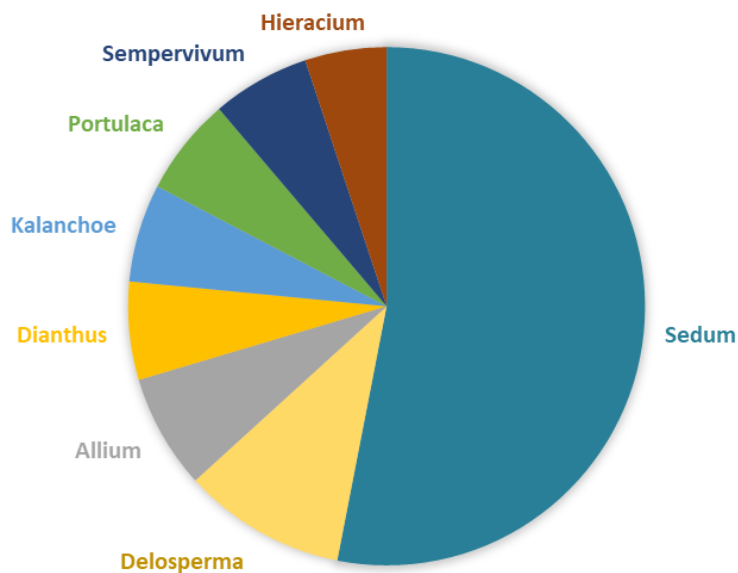
Mapa Taxonómico General

El mapa taxonómico de especies utilizadas en techos verdes extensivos se constituye de un total de 271 especies, contenidas en 128 géneros y 37 familias.

El 36% del total de especies se concentra en ocho géneros que contienen la mayor abundancia de especies. El género *Sedum* es el más representado con 52 especies, lo que asciende al 19% del total (Figura 3.1).

Figura 3.1

Géneros con la Mayor Abundancia de Especies Utilizadas en Techos Verdes



Nota. De un total de 271 especies utilizadas en techos verdes, al género *Sedum* pertenecen 52; a *Delosperma*, 10; a *Allium*, 7; *Dianthus*, *Kalanchoe*, *Portulaca* y *Sempervivum* cuentan con 6 especies cada uno; e *Hieracium* cuenta con 5 especies.

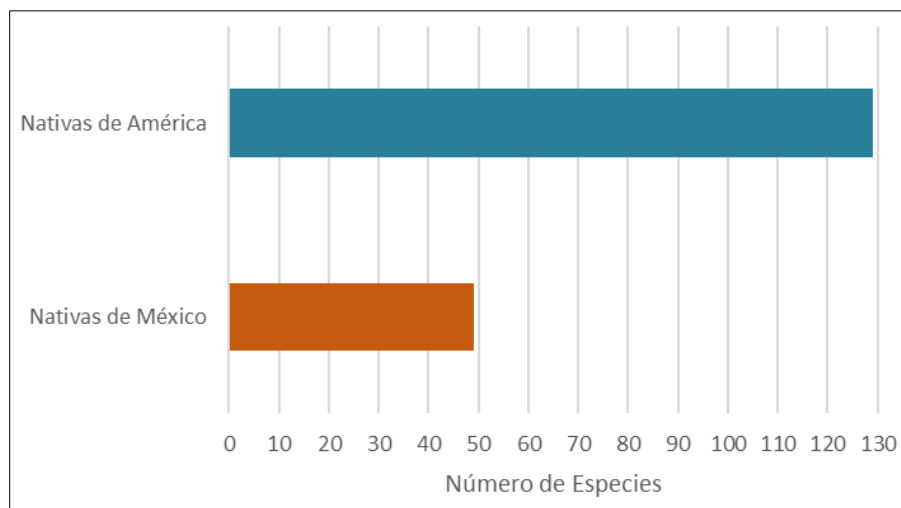
Por otra parte, un poco más de la mitad de las especies listadas en el mapa taxonómico son originarias de Europa, África o Asia. El resto, un 48%, son nativas del continente americano.

Nativas de México

De las 129 especies nativas del continente americano, el 38% son también nativas de México. Esto significa un total de 49 especies del país que ya se utilizan en techos verdes (Figura 3.2).

Figura 3.2

Número de Especies Utilizadas en Techos Verdes Nativas de México



En la [Tabla 3.1](#) se enlistan las especies nativas de México, contenidas en 12 familias y 32 géneros.

Tabla 3.1

Mapa Taxonómico de Especies Utilizadas en Techos Verdes Nativas de México

Familia	Género	Especie
Amaranthaceae	<i>Salicornia</i>	<i>pacifica</i>
Amaranthaceae	<i>Gomphrena</i>	<i>decumbens</i>
Amaranthaceae	<i>Heteropogon</i>	<i>contortus</i>
Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>peruviana</i>
Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>maritima</i>
Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>pilosa</i>
Asteraceae	<i>Florestina</i>	<i>pedata</i>
Asteraceae	<i>Wedelia</i>	<i>tribolata</i>
Cactaceae	<i>Hylocereus</i>	<i>undatus</i>
Cactaceae	<i>Opuntia</i>	<i>lasiacantha</i>
Cactaceae	<i>Opuntia</i>	<i>streptacantha</i>

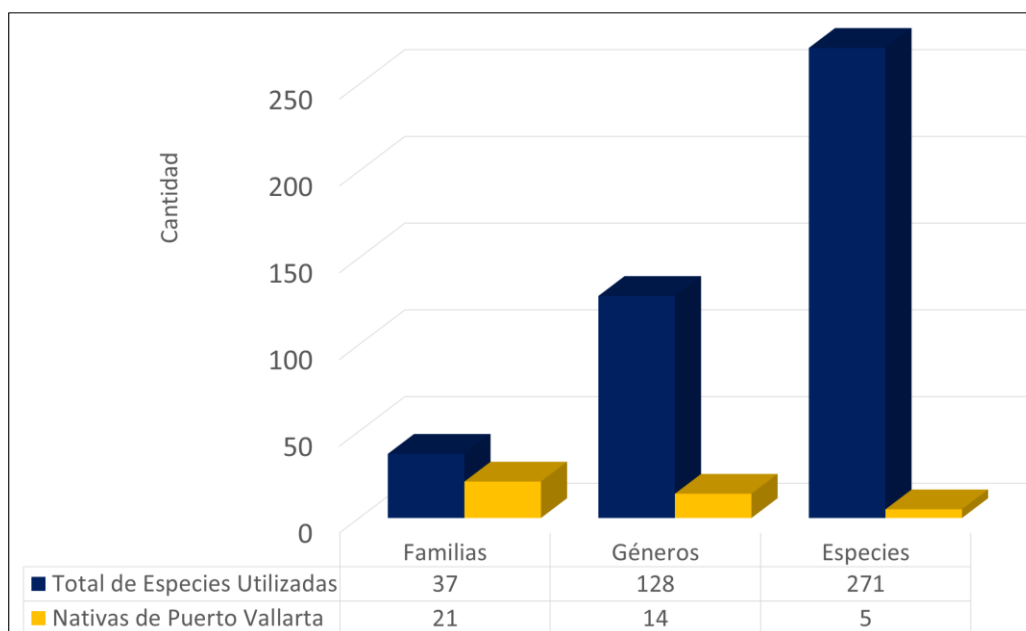
Familia	Género	Especie
Cactaceae	<i>Opuntia</i>	<i>puberula</i>
Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>repens</i>
Commelinaceae	<i>Tradescantia</i>	<i>navicularis</i>
Commelinaceae	<i>Tradescantia</i>	<i>sillamontana</i>
Commelinaceae	<i>Tradescantia</i>	<i>bicolor</i>
Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>adolphii</i>
Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>liebmannianum</i>
Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>morenense</i>
Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>rubrotinctum</i>
Crassulaceae	<i>Echeveria</i>	<i>amoena De Smet.</i>
Crassulaceae	<i>Echeveria</i>	<i>nodulosa</i>
Crassulaceae	<i>Villadia</i>	<i>ramosissima</i>
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>undivided</i>
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>hirta var. Procumbers</i>
Iridaceae	<i>Sisyrinchium</i>	<i>tenuifolium</i>
Poaceae	<i>Bouteloua</i>	<i>gracilis</i>
Poaceae	<i>Bouteloua</i>	<i>media</i>
Poaceae	<i>Bouteloua</i>	<i>scorpioides</i>
Poaceae	<i>Bouteloua</i>	<i>triaena</i>
Poaceae	<i>Bouteloua</i>	<i>williamsii</i>
Poaceae	<i>Ixophorus</i>	<i>unisetus</i>
Poaceae	<i>Bothriochloa</i>	<i>alaguroides</i>
Poaceae	<i>Bromus</i>	<i>anomalus</i>
Poaceae	<i>Distichlis</i>	<i>spicata</i>
Poaceae	<i>Enneapogon</i>	<i>desvauxii</i>
Poaceae	<i>Hilaria</i>	<i>belangeri</i>
Poaceae	<i>Hilaria</i>	<i>cenchroides</i>
Poaceae	<i>Hordeum</i>	<i>jubatum</i>
Poaceae	<i>Muhlenbergia</i>	<i>glabrata</i>

Familia	Género	Especie
Poaceae	<i>Muhlenbergia</i>	<i>microsperma</i>
Poaceae	<i>Scleropogon</i>	<i>brevifolius</i>
Poaceae	<i>Setaria</i>	<i>parviflora</i>
Poaceae	<i>Stenotaphrum</i>	<i>secundatum</i>
Poaceae	<i>Stenotaphrum</i>	<i>secundatum</i>
Polypodiaceae	<i>Polypodium</i>	<i>thyssanolepis</i>
Portulacaceae	<i>Portulaca</i>	<i>pilosa</i>
Portulacaceae	<i>Portulaca</i>	<i>rubricaulis</i>
Portulacaceae	<i>Portulaca</i>	<i>umbraticola</i>
Pteridaceae	<i>Cheilanthes</i>	<i>bonariensis</i>
Pteridaceae	<i>Cheilanthes</i>	<i>sinuata</i>
Selaginellaceae	<i>Selaginella</i>	<i>peruviana</i>

Nota. Elaborado con información de López Silva (2020); Alvarado Palencia (2014); Martínez Pedraza (2012); Tovar Jiménez (2011); Soto *et al* (2014); Tovar Jiménez *et al* (2014); Ordóñez-López *et al* (2012); Snodgrass y Snodgrass (2010); y Haro Carbajal (2009).

Nativas de Puerto Vallarta

De las 49 especies nativas de México que ya se utilizan en techos verdes, cinco resultaron ser también nativas de Puerto Vallarta. Este número de coincidencias crece a nivel de género y de familia (Figura 3.3).

Figura 3.3*Especies Utilizadas en Techos Verdes Nativas de Puerto Vallarta*

En la [Tabla 3.2](#) se enlistan las 5 especies identificadas como nativas de Puerto Vallarta, así como las 21 familias y 14 géneros coincidentes.

Tabla 3.2*Mapa Taxonómico de Especies Utilizadas en Techos Verdes Navitas de Puerto Vallarta*

Familia	Género	Especie
Agavaceae	<i>Agave</i>	<i>angustifolia</i>
Agavaceae	<i>Furcraea</i>	<i>guerrerensis</i>
Aizoaceae		
Amaranthaceae		
Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>spp.</i>
Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>spp.</i>
Boraginaceae		
Bromeliaceae	<i>Tillandsia</i>	<i>spp.</i>

Familia	Género	Especie
Cactaceae	<i>Hylocereus</i>	<i>spp.</i>
Cactaceae	<i>Opuntia</i>	<i>spp.</i>
Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>spp.</i>
Cyperaceae		
Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>hirta</i>
Hydrophyllaceae		
Lamiaceae	<i>Salvia</i>	<i>spp.</i>
Onagraceae	<i>Oenothera</i>	<i>spp.</i>
Papaveraceae		
Plumbaginaceae		
Poaceae	<i>Ixophorus</i>	<i>unisetus</i>
Poaceae	<i>Sporobolus</i>	<i>spp.</i>
Polygonaceae		
Portulacaceae	<i>Portulaca</i>	<i>oleracea</i>
Ranunculaceae		
Rubiaceae		
Scrophulariaceae		

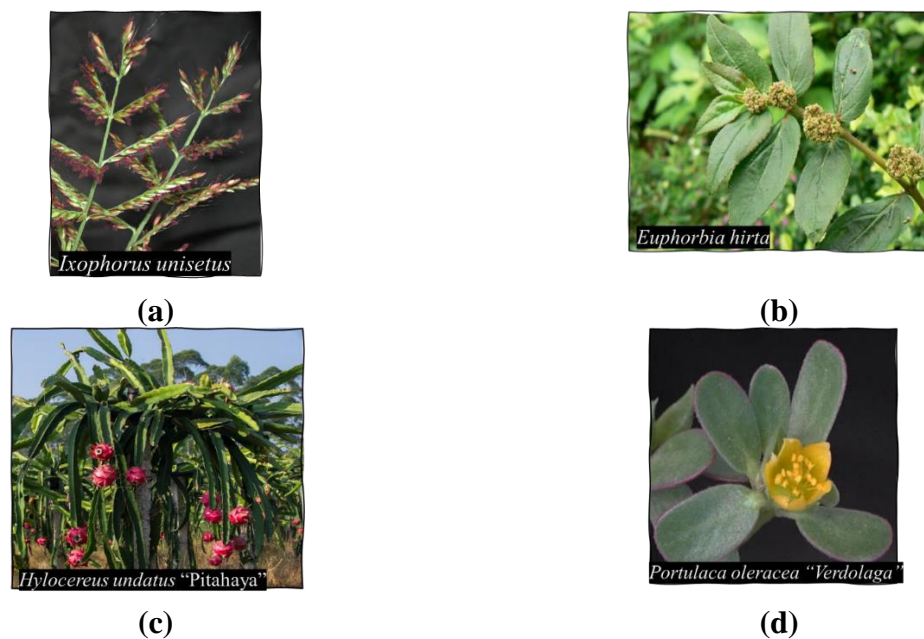
Nota. En botánica taxonómica, el conjunto de letras *spp.* se utiliza para significar todas o más de una especie del mismo género. En este caso, *spp.* también hace referencia a que en los listados florísticos de Puerto Vallarta se encontraron géneros que se mencionan en el *Mapa Taxonómico de Especies Utilizadas en Techos Verdes Nativas de México*, pero de las que no se tienen coincidencias exactas de especies. Elaborado con información de Contreras Rodríguez *et al.* (2014); Sahagún Godínez (2011); Ramírez Delgadillo *et al.* (1999); López Silva (2020); Alvarado Palencia (2014); Martínez Pedraza (2012); Tovar Jiménez (2011); Soto *et al.* (2014); Tovar Jiménez *et al.* (2014); Ordóñez-López *et al.* (2012); Snodgrass y Snodgrass (2010); y Haro Carbajal (2009).

Las cinco especies nativas de Puerto Vallarta que ya se usan en techos verdes son: *Ixophorus unisetus* “Zacate de Honduras”, de la familia Poaceae; *Euphorbia hirta*, de la familia de las Euphorbiaceas; *Hylocereus undatus* “Pitahaya”, de la familia Cactaceae; *Furcraea*

guerrerensis, de la familia Agavaceae; y *Portulaca oleracea* “Verdolaga”, de la familia Portulacaceae (Figura 3.4).

Figura 3.4

Cuatro Especies Nativas de Puerto Vallarta que ya se Usan en Techos Verdes



Nota. Las imágenes se obtuvieron de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, s.f.a, s.f.b., s.f.c) y TeleSUR (2020).

3.2 Especies Recomendadas por Expertos

Se entrevistó a tres personas expertas en techos verdes. Dos investigadores adscritos a universidades mexicanas (Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad Autónoma de Yucatán) y un empresario dedicado a la instalación de techos verdes que opera en los estados de México y Jalisco.

Resultado de las entrevistas se identificó un total de siete familias, seis géneros y dos especies de interés para la búsqueda y selección de especies nativas de Puerto Vallarta que, potencialmente, pueden implementarse en techos verdes (Tabla 3.3).

Tabla 3.3

Recomendaciones de Expertos para la Búsqueda y Selección de Especies Nativas

Familia	Género	Especie
<i>Aizoaceae</i>	<i>Aptenia</i>	<i>cordifolia</i>
<i>Agavaceae</i>	-	<i>spp.</i>
<i>Cactaceae</i>	-	<i>spp.</i>
<i>Crasullaceae</i>	<i>Kalanchoe</i>	<i>spp.</i>
<i>Crasullaceae</i>	<i>Sedum</i>	<i>spp.</i>
<i>Commelinaceae</i>	<i>Tradescantia</i>	<i>spp.</i>
<i>Euphorbiaceae</i>	<i>Pedialanthus</i>	<i>spp.</i>
<i>Portulacaceae</i>	<i>Portullaca</i>	<i>pilosa</i>

Nota. Se utiliza *spp.* cuando no se refiere a alguna especie en particular sino a todas las especies incluidas en el género.

3.3 Características Funcionales de Especies Aptas para Techos Verdes

Las plantas utilizadas en techos verdes extensivos deben cumplir con ciertas características funcionales para lograr sobrevivir y desarrollarse con éxito. Se elaboró un cuadro de características funcionales (Tabla 3.4) que se utilizó como criterio en la búsqueda y selección de especies nativas potenciales a través de la colecta de malezas, así como de la búsqueda de especímenes de herbario.

Tabla 3.4

Características Funcionales de las Especies Potenciales para Techos Verdes

Condicionantes	Características de las Especies
Fluctuaciones de temperatura y humedad relativa	Especies Nativas
Radiación solar directa	Especies que se desarrollen o toleren bajo condiciones de radiación solar directa
Espesor de sustrato	Especies de raíces adventicias o pivotantes poco profundas
Estiaje y riego	Especies de poca necesidad de agua, con estrategias de almacenaje de agua (suculentas) o tolerancia al estiaje: cactáceas, suculentas, gramíneas, hierbas anuales.
Sustrato mineral	Especies rupícolas, epifitas, de dunas costeras, de suelos pobres o rocosos
Sustrato bajo en materia orgánica	Especies rupícolas, epifitas, de dunas costeras, de suelos pobres o rocosos
Capacidad de carga	Especies de baja biomasa (peso); forma de vida herbácea a arbustos bajos.
Salinidad	Especies tolerantes a suelos salinos: especies de dunas, especies nativas de la costa
Replante	Especies perennes o anuales
Poda	Forma de vida: herbáceas, suculentas, cactáceas, gramíneas (que no requieran poda)
Desempeño energético de la edificación	Especies perennifolias, ¿anuales auto germinantes? (pastos)

Condicionantes	Características de las Especies
Retención de agua en sustrato y lluvias	Especies que toleren suelos húmedos

Nota. Elaboración propia a partir de un análisis y síntesis de información que sobre las características de las especies usadas para techos verdes extensivos se encontró en Placitelli (2022); Giacomello (2021); López Silva (2020); Lara Martínez (2018); SEDEMA (2018); Aragón Moreno (2017); Álvaro Ibarra (2017); Berardi *et al.* (2014); Alvarado Palencia (2014); Martínez Pedraza (2012); Tovar Jiménez (2011); Soto *et al.* (2014); Tovar Jiménez *et al.* (2014); Ordóñez-López *et al.* (2012); Snodgrass y Snodgrass (2010); y Haro Carbajal (2009).

“En términos generales, las plantas de techo verde más exitosas son plantas perennes de crecimiento bajo y raíces poco profundas que son tolerantes al calor, frío, sol, viento, sequía, sal, insectos y enfermedades” (Snodgrass y Snodgrass, 2010, p. 48).

3.4 Colecta e Identificación de Malezas

Se consideró a las malezas como foco de atención en la búsqueda de especies nativas potenciales por su capacidad de desarrollarse en ambientes agrestes y suelos pobres, muy parecido a las condiciones en las que se encontrarían en un techo verde extensivo. A través de un recorrido por las calles de la ciudad de Puerto Vallarta (Figura 3.5), se colectó ejemplares de ruderales para su posterior identificación a través de asesoría especializada y comparación con especímenes del Herbario Zea (Figura 3.6).

Figura 3.5*Ruderales en Puerto Vallarta***(a)****(b)****(c)**

Nota. Donde (a) es un lote baldío ubicado en la misma colonia de la vivienda caso de estudio (de la que se hablará más adelante, en el capítulo 5); (b) es una de las especies que se colectaron, identificada como *Heliotropium calcicola*; y (c) son ruderales encontradas en las banquetas de la Av. Francisco Villa. Todas las fotografías se tomaron el 12 de febrero del 2022, durante la temporada de estiaje.

Figura 3.6*Proceso de Identificación en Herbario de las Malezas Colectadas*

Nota. La identificación consiste en comparar los especímenes catalogados del herbario con el ejemplar colectado en campo. Los especímenes de herbario son los que se observan sobre la cartulina blanca. A su derecha, sobre el papel color verde, se muestran los ejemplares colectados. Ambos se encuentran deshidratados. La imagen de la esquina superior izquierda muestra a un ejemplar recién colectado.

3.5 Listado de Especies Potenciales

La lista de especies nativas potenciales para techos verdes en Puerto Vallarta se compone de ochenta y tres especies. Es el resultado conjunto de la comparación de especies usadas en techos verdes contra listados florísticos de Puerto Vallarta; de las recomendaciones dadas por expertas;

de la colecta e identificación de malezas encontradas en la ciudad de Puerto Vallarta; de la revisión de la colección del Herbario Zea; y de la búsqueda documental (Tabla 3.5).

Tabla 3.5

Listado de Especies Potenciales Para Techos Verdes en Puerto Vallarta

No.	Familia	Género	Especie	Tipo de Selección
1	Acanthaceae	<i>Dicliptera</i>	<i>thlaspoides</i>	H
2	Aizoaceae	<i>Sesuvium</i>	<i>portulacastrum</i>	H
3	Aizoaceae	<i>Sesuvium</i>	<i>maritimum</i>	H
4	Aizoaceae	<i>Sesuvium</i>	<i>verrucosum</i>	H
5	Aizoaceae	<i>Trianthema</i>	<i>portulacastrum</i>	H
6	Amaranthaceae	<i>Amaranthus</i>	<i>polygonoides</i>	H
7	Amaranthaceae	<i>Gomphrena</i>	<i>decumbens</i>	L
8	Amaranthaceae	<i>Gomphrena</i>	<i>nitida</i>	H
9	Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>ferulifolia</i>	H
10	Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>cordylocarpa</i>	H
11	Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>laevis</i>	H
12	Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>mollifolia</i>	H
13	Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>riparia</i>	H
14	Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>reptans</i>	H
15	Asteraceae	<i>Bidens</i>	<i>sp.</i>	H
16	Asteraceae	<i>Calyptocarpus</i>	<i>vialis</i>	L
17	Asteraceae	<i>Florestina</i>	<i>pedata</i>	H
18	Asteraceae	<i>Heterosperma</i>	<i>pinnatum</i>	L
19	Asteraceae	<i>Lycopersicon</i>	<i>esculentum</i> var. <i>Leptophyllum</i>	L
20	Asteraceae	<i>Melampodium</i>	<i>sericeum</i>	L
21	Asteraceae	<i>Melampodium</i>	<i>perfoliatum</i> (Cav.) Kunth	F
22	Asteraceae	<i>Melampodium</i>	<i>sp.</i>	C
23	Asteraceae	<i>Tridax</i>	<i>procumbens</i> L.	F
24	Asteraceae	<i>Taraxacum</i>	<i>officinale</i>	L
25	Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>bicolor</i>	H

No.	Familia	Género	Especie	Tipo de Selección
26	Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>americana</i>	H
27	Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>flavicomis</i>	H
28	Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>maritima</i>	H
29	Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>zinnioides</i>	H
30	Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>sp.</i>	H
31	Asteraceae	<i>Zinnia</i>	<i>microglossa</i>	H
32	Boraginaceae	<i>Heliotropium</i>	<i>procumbens</i>	L
33	Boraginaceae	<i>Heliotropium</i>	<i>calcicola</i>	H
34	Commelinaceae	<i>Callisa</i>	<i>filiformes</i>	H
35	Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>erecta</i>	C
36	Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>leiocarpa</i>	H
37	Commelinaceae	<i>Commelina</i>	<i>tuberosa</i>	H
38	Commelinaceae	<i>Gibasis</i>	<i>triflora</i>	H
39	Commelinaceae	<i>Murdannia</i>	<i>nudiflora</i>	H
40	Commelinaceae	<i>Tradescantia</i>	<i>orchidophylla</i>	H
41	Commelinaceae	<i>Tripogandra</i>	<i>angustifolia</i>	H
42	Commelinaceae	<i>Tripogandra</i>	<i>guerrerensis</i>	H
43	Commelinaceae	<i>Weldenia</i>	<i>candida</i>	H
44	Convolvulaceae	<i>Ipomea</i>	<i>purpurea</i>	L
45	Convolvulaceae	<i>Evolvulus</i>	<i>alsinoides</i>	H
46	Convolvulaceae	<i>Evolvulus</i>	<i>mummularis</i>	H
47	Convolvulaceae	<i>Dichondra</i>	<i>sericea</i>	H
48	Crassulaceae	<i>Echeveria</i>	<i>secunda</i>	H
49	Crassulaceae	<i>Graptopetalum</i>	<i>fruticosum</i>	H
50	Crassulaceae	<i>Graptopetalum</i>	<i>glassii</i>	H
51	Crassulaceae	<i>Graptopetalum</i>	<i>paraguayensis</i>	H
52	Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>chazaroi</i>	H
53	Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>jaliscaum</i>	H
54	Crassulaceae	<i>Sedum</i>	<i>palmeri</i>	H
55	Crassulaceae	<i>Villadia</i>	<i>misera</i>	H
56	Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce</i>	<i>hirta</i>	H
57	Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce</i>	<i>mutans (Lag.) Small</i>	F

No.	Familia	Género	Especie	Tipo de Selección
58	Euphorbiaceae	<i>Chamaesyce</i>	<i>sp.</i>	C
59	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia</i>	<i>hirta</i>	M
60	Lamiaceae	<i>Salvia</i>	<i>riparia</i>	C
61	Leguminosae	<i>Chamaecrista</i>	<i>rotundifolia</i>	L
62	Leguminosae	<i>Desmodium</i>	<i>scorpiurus</i>	L
63	Leguminosae	<i>Zornia</i>	<i>reticulata</i>	L
64	Namaceae	<i>Nama</i>	<i>jamaicensis</i>	H
65	Nyctaginaceae	<i>Okenia</i>	<i>hypogaea</i>	H
66	Nyctagynaceae	<i>Boerhavia</i>	<i>diffusa</i>	C
67	Onagraceae	<i>Oenothera</i>	<i>rosea</i>	L
68	Oxalidaceae	<i>Oxalis</i>	<i>divergens</i>	H
69	Oxalidaceae	<i>Oxalis</i>	<i>decaphylla</i>	H
70	Oxalidaceae	<i>Oxalis</i>	<i>sp.</i>	H
71	Poaceae	<i>Bouteloua</i>	<i>diversispicula</i>	H
72	Poaceae	<i>Bouteloua</i>	<i>dimorpha</i>	H
73	Poaceae	<i>Ixophorus</i>	<i>unisetus</i>	M
74	Portulacaceae	<i>Portulaca</i>	<i>oleracea</i>	M
75	Portulacaceae	<i>Portulaca</i>	<i>pilosa</i>	E
76	Rubiaceae	<i>Borreria</i>	<i>verticillata</i>	L
77	Verbenaceae	<i>Verbena</i>	<i>bipinnatifida</i>	L
78	Zygophyllaceae	<i>Kallstroemia</i>	<i>sp.</i>	C
79	Zygophyllaceae	<i>Kallstroemia</i>	<i>rosei</i>	H
80	Zygophyllaceae	<i>Kallstroemia</i>	<i>maxima</i>	H
81	Zygophyllaceae	<i>Tribulus</i>	<i>terrestres</i>	H
82	Zygophyllaceae	<i>Tribulus</i>	<i>cistoides</i>	H
83	Zygophyllaceae	<i>Zygophyllum</i>	<i>pteroocarpum</i>	H

Nota. El tipo de selección se refiere al método de búsqueda del que se desprende la selección de una especie. Donde *C* son especies resultantes de la colecta de ruderales en Puerto Vallarta; *E* son las especies recomendadas por expertos durante las entrevistas; *H* son las especies que se determinaron mediante una revisión de ejemplares en el Herbario Zea; *L* son especies seleccionadas del libro de López-Coronado (2011) sobre malezas de la Zona Metropolitana de Guadalajara; *M* son las especies resultantes de la comparación entre el Mapa Taxonómico de especies nativas de

México que se usan en techos verdes contra listados florísticos de Puerto Vallarta; y *F* son especies de ruderales encontradas en Puerto Vallarta pero que no se colectaron, sino que fueron identificadas por el botánico de la Universidad de Guadalajara, el M.C. Arturo Solís Magallanes, a través de fotografías. Las letras *sp.* en la columna de *especie* significa que se desconoce el nombre específico, la identificación llegó a nivel de género solamente, sin embargo, se sabe que no es alguna de las otras especies mencionadas para el mismo género. Para la identificación de las especies colectadas también se revisó el catálogo digital de www.tropicos.org.

Como se aprecia en la **Tabla 3.5**, el método más fructífero de búsqueda de especies fue la colección de especímenes del Herbario Zea, con un 67.4% de las especies seleccionadas por este medio. Además, la identificación de las ruderales colectadas en campo se hizo también a través del herbario. Sin embargo, la creación de los mapas taxonómicos de las especies empleadas en techos verdes facilitó la búsqueda, al acotar el número de familias y géneros a un número manejable; además, permitió distinguir las características funcionales que debe tener una especie para poder desarrollarse en un techo verde extensivo.

Sobre las especies que fueron recomendadas por expertos, hubo que excluir de la lista a las no nativas de México. Tal es el caso de *Aptenia cordifolia*, especie introducida en el país originaria de África; y del género *Kalanchoe*, originario de África y Madagascar. Otra especie excluida, aunque nativa de México, fue *Hylocereus undatus* debido a su talle y peso.

3.6 Prueba Piloto de Supervivencia

Con la finalidad de tener un acercamiento a la pregunta emergente sobre disponibilidad de las especies nativas potenciales en Puerto Vallarta se visitó a cuatro viveros cercanos al área de estudio, así como al Jardín Botánico de Puerto Vallarta, para identificar presencia y costo por planta.

El Jardín Botánico de Puerto Vallarta no produjo resultados. En cambio, en los viveros se encontró una mayor diversidad y disponibilidad de plantas. Aunque, del listado de nativas potenciales únicamente se encontró a tres de ellas: *Graptopetalum paraguayensis*; *Portulaca pilosa*; y *Portulaca oleracea*. El costo promedio por planta entre los tres viveros es de \$40.00 pesos en maseta de 6in para las portulacas y de \$70.00 pesos para *G. paraguayensis*.

En inercia con estos resultados, se decidió realizar una prueba piloto de sobrevivencia y reproducción de las tres especies disponibles en el vivero y de otras cuatro especies ruderales. Los objetivos que se plantearon para la prueba piloto fueron:

- a) Probar la reproducción de las especies mediante esquejes.
- b) Evaluar la sobrevivencia de las especies en las condiciones de un techo verde extensivo.

Prueba de Reproducción por Esqueje

Se adquirió en los viveros dos plantas por especie de *G. paraguayensis*; *P. pilosa* y *P. oleracea*. Los esquejes de las ruderales se colectaron en un lote baldío ubicado a 30 metros de distancia de la vivienda caso de estudio (lugar donde se llevó a cabo el experimento). Las cuatro especies ruderales que se usaron en el experimento piloto fueron: *Chamaesyce sp.*, *Commelina erecta*, *kallstroemia sp.* y *Boerhavia difusa* (Figura 3.7).

Figura 3.7

Especies Utilizadas en las Prueba Piloto



Boerhavia difusa



Commelina erecta



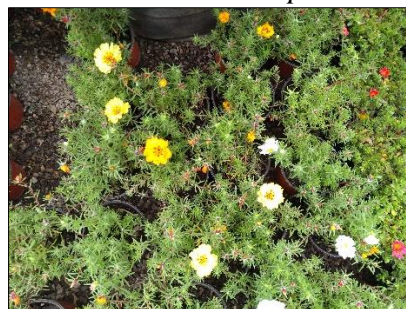
Chamaesyce sp



kallstroemia sp.



Portulaca oleracea



Portulaca pilosa



Graptopetalum paraguayensis

Se usaron charolas plásticas de 76 cavidades en un sustrato mineral, compuesto en un 70% por vermiculita y 30% de humus de lombriz. La plantación se realizó el 12 de febrero del 2022. Se regaron una vez por semana. El proceso duró un mes, posteriormente se procedió con el segundo objetivo de la prueba piloto (Figura 3.8).

Figura 3.8

Resultados de la Reproducción por Esqueje



Inicio de la plantación (12 de febrero del 2022)



Resultados al mes de la plantación (12 de marzo del 2022)



Nota. La columna derecha de fotografías corresponde a las especies de ruderales, en tanto, las especies encontradas en viveros se ubican en la columna izquierda. Las dos primeras imágenes son del inicio de la plantación, las siguientes dos filas de fotos muestran los resultados obtenidos transcurrido un mes.

Tal como se aprecia en la [Figura 3.8](#), la reproducción por esqueje en un sustrato mineral resultó exitoso para las especies encontradas en viveros (*P. oleracea*, *P. pilosa* y *G. paraguayensis*). En cambio, de las especies ruderales únicamente *C. erecta* mostró signos de respuesta a este tipo de reproducción; sin embargo, pocos días después que las demás ruderales, sus esquejes se secaron por completo.

Prueba de Supervivencia en Condiciones de Techo Verde

Esta prueba se llevó a cabo con las tres especies que pasaron la prueba de reproducción por esqueje. Se acondicionó una caja de plástico de reúso, antes usada para la cosecha de arándanos, de 60x30x11 cm. El sustrato se elaboró con materiales disponible localmente: jal, humus de lombriz y fibra de coco ([Tabla 3.6](#)).

Tabla 3.6

Sustrato Usado en la Prueba de Supervivencia

Material	Proporción	Peso (gramos/litro)
Jal	50%	El sustrato pesa en promedio de 663.9 gramos/litro, con
Humus de Lombriz	30%	

Material	Proporción	Peso (gramos/litro)
Fibra de coco	20%	una humedad aproximada del
Total	100%	50%.

Nota. Para llenar el volumen de la caja se necesitó de 20 litros, lo que significa un peso total del sustrato, a 50% de humedad, de 13.3 kg/ 0.8 m² con una profundidad de 10 cm. Aplicada la regla de tres, un metro cuadrado de este sustrato pesa 73.8 kg. Cabe recordar que esta cifra es sin saturación de agua.

A la caja de plástico se le hicieron divisiones de 10x10 cm con hilaza. En cada cuadrante dibujado se plantó un esqueje. La prueba se inició el 12 de marzo del 2022. El experimento tuvo lugar en la azotea de la vivienda caso de estudio. El régimen de riego pasó de una vez cada tercer día durante las primeras dos semanas, a un riego por semana durante el mes de abril y hasta el 23 de mayo; a partir de entonces se abstuvo el riego hasta mediados de junio, cuando la lluvia se encargó de hacerlo (Figura 3.9).

Figura 3.9

Resultados de la Prueba de Supervivencia



Las tres especies sobrevivieron. Sin embargo, es clara la ventaja de *P. oleracea*, que logró expandirse fuera de los límites de la caja, pasando por encima de *P. pilosa* y *G. paraguayensis*.

Otro fenómeno que pudo observarse durante la prueba piloto fue la aparición de especies emergentes. Se trata de plántulas de jitomate. Muy probablemente, estas germinaron porque se encontraban en el humus de lombriz (casero). Sin embargo, murieron durante el periodo en que se dejó de regar la caja, sin rebrotes una vez iniciadas las lluvias. También germinaron otras especies no identificadas, que tuvieron el mismo destino que las plántulas de jitomates (Figura 3.10).

Figura 3.10

Especies Emergentes en la Caja Experimental



Nota. En color naranja se circulan las plántulas de jitomate, en tanto en color amarillo se circula una especie emergente no identificada.

Los resultados de la prueba piloto no son contundentes. Se requiere de un verdadero diseño experimental, que evalúe el comportamiento de las especies en un tiempo mayor, con más tratamientos y más pruebas. No obstante, deja en evidencia el claro potencial de *P. oleracea* para techos verdes extensivos en Puerto Vallarta.

Capítulo 4.

Percepción de Techos Verdes y Usos de la Azotea

Para definir la percepción sobre techos verdes y usos de la azotea en habitantes de vivienda social de Puerto Vallarta, se aplicó una encuesta no representativa⁴; de cuyos resultados se desprenden algunos de los criterios empleados para el diseño del prototipo de techo verde (Capítulo 5).

El tamaño de la muestra se fijó en mínimo 100 encuestados. Se empleó el muestreo no probabilístico por conveniencia. El área de aplicación consistió en un radio de 50 km con epicentro en el perímetro de las trece AGEBS que componen el área de estudio. Este radio alcanzó localidades del municipio de Bahía de Banderas, Nayarit, que tiene una zona conurbada con el municipio de Puerto Vallarta. Ambos municipios conforman la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta (ZMPV).

La aplicación de la encuesta estuvo condicionada por las restricciones de movilidad y contacto impuestas por la contingencia sanitaria de COVID-19. Por ello, se aplicó un cuestionario virtual utilizando la aplicación de *Google Forms*, que se distribuyó y promocionó mediante publicidad pagada en la red social *Facebook*.

Se anexa el *Diseño Conceptual de la Encuesta*, que incluye el cuestionario aplicado (anexo 5).

⁴ A las encuestas no representativas también se les llama sondeos, cuyos resultados se interpretan como tendencias

Perfil de las Personas Encuestadas

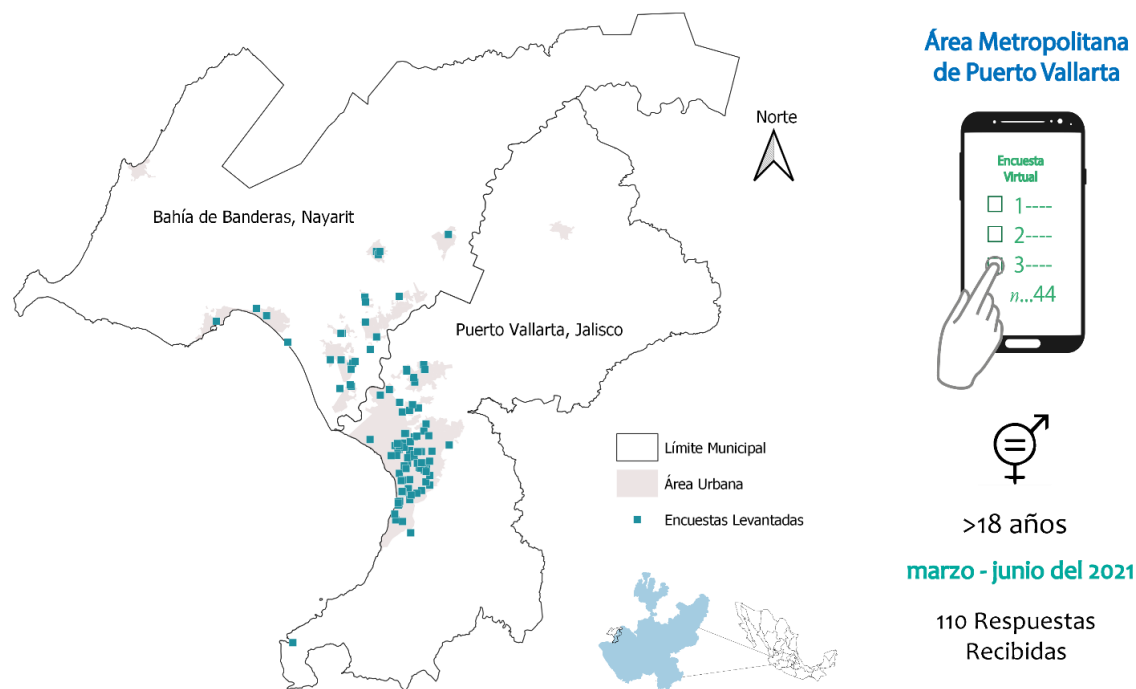
Con un período de aplicación de marzo a junio del 2021, se logró encuestar a 136 personas, de las que se descartó al 19% por tratarse de personas que vivían en torre departamental o vivienda vertical (tipología residencial fuera de los objetivos de este proyecto).

De las 110 encuestadas efectivas, el 67% se identificó en el género femenino. En cuanto al rango de edad, el 52% se encuentra entre los 26 a 45 años; el 28% es mayor a 45 años; y el 20% restante se encuentra entre los 18 a los 25 años.

Las encuestas levantadas corresponden a quince localidades y ochenta y cuatro colonias, distribuidas espacialmente como se muestra en la **Figura 4.1**.

Figura 4.1

Distribución Espacial de las Encuestadas



Nota. Elaborado con información procesada en QGIS de 110 encuestadas. Los límites municipales son del Marco Geoestadístico Nacional del INEGI (2020).

Se considera que el 60% de las encuestadas habita en vivienda social, pues señalaron vivir en una casa de entre 44 a 99 metros cuadrados. Sin embargo, únicamente el 10% reportó haber adquirido su vivienda a través de crédito INFONAVIT. Empero, existen otros sistemas de financiamiento de vivienda social que fueron excluidos del cuestionario.

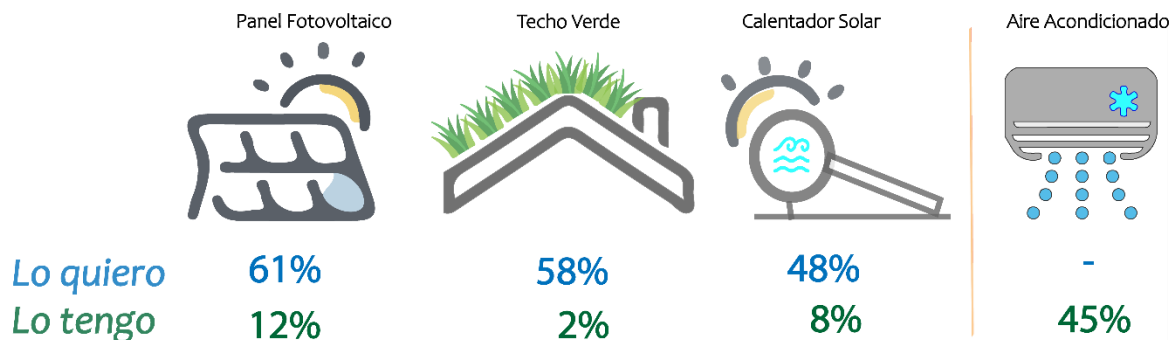
Por otra parte, el 50% de las viviendas tiene más de dieciséis años de antigüedad. Otro 36% tiene entre seis y quince años, y el 14.5% restante, entre uno a cinco años de antigüedad.

Sobre los tipos de vivienda, el 63% de las encuestadas habita en vivienda de dos niveles; 26% en vivienda de un piso; 4.5% corresponde a casas dúplex y el 6.5% habita en vivienda de tres pisos.

4.1 Tendencia en la Percepción de Techos Verdes

El techo verde resultó ser la segunda ecotecnología más votada como deseable. No obstante, es la de menor presencia (Figura 4.2). Para hacer más fresca la vivienda se opta por la instalación de aire acondicionado; al menos, eso sugiere el hecho de que la mitad de las encuestadas paga mensualmente entre \$500 a \$8,000 pesos de electricidad⁵, convirtiendo a los paneles fotovoltaicos en la ecotecnología más deseada y también la más instalada.

⁵ No se les preguntó por la tarifa de CFE adscrita en su recibo ni tampoco por los KW/H de consumo mensual.

Figura 4.2*Ecotecnologías, Existentes y Anheladas*

Si bien, tanto los techos verdes como los paneles fotovoltaicos ocuparían gran parte del espacio de azotea de una vivienda social, estas pueden coexistir. De hecho, se reporta que los primeros incrementan la eficiencia y durabilidad de los paneles fotovoltaicos (Schindler *et al.*, 2018). Por ejemplo, el Departamento de Parques y Bienes Raíces de la Ciudad de Lausanne en Francia, menciona que el rendimiento de los paneles fotovoltaicos se acrecienta hasta en un 8% debido a la vegetación (Figura 4.3) (Service des Parcs et Domaines de la Ville de Lausanne [SPADOM], 2019). Al respecto, la encuesta muestra que un 11% de las personas que desean tener un techo verde ya cuenta con paneles solares instalados en su azotea. Asimismo, el 2% que reporta contar con techo verde en su vivienda no posee alguna otra ecotecnología instalada, por el contrario, les gustaría contar con paneles fotovoltaicos, calentador solar de agua, huerto y sistema de captación de agua de lluvia.

Figura 4.3

Ejemplo de Techo Verde Extensivo con Paneles Fotovoltaicos



Nota. Techo verde de las salas sur del Beaulieu, Lausana. Imagen obtenida de SPADOM (2019, p. 27)

Razones para Instalar un Techo Verde

Más del 70% de las encuestadas reporta tener un espacio de área verde dentro de su vivienda⁶; y, aunque dos tercios de las encuestadas a las que les gustaría tener un techo verde cuenta con un jardín en su casa, no se encontró una relación directa entre ambas afirmaciones.

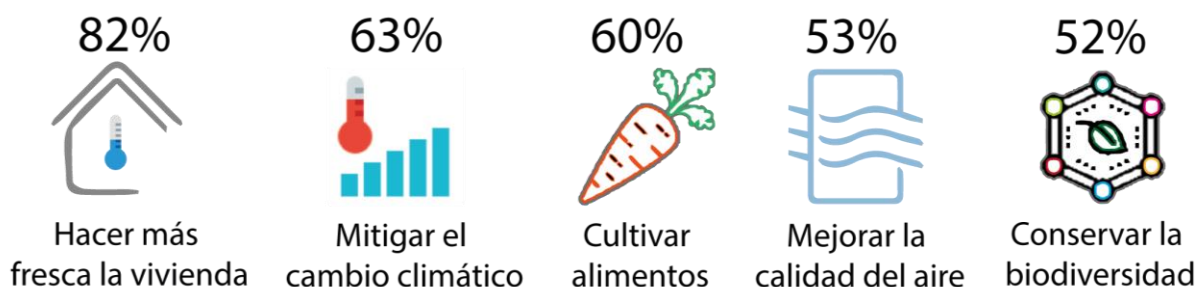
Por otra parte, únicamente el 32% del total de encuestadas a las que les gustaría tener un techo verde manifestó sentirse de insatisfecha a muy insatisfecha con el confort higrotérmico que

⁶ Con los datos obtenidos de la encuesta no se puede evaluar la funcionalidad o calidad de los espacios de área verde dentro de la vivienda. Para esto se requiere un estudio que implemente otras técnicas de investigación, como la observación directa.

ofrece su vivienda⁷. Sin embargo, hacer más fresca la vivienda fue la principal razón para querer instalar un techo verde (Figura 4.4).

Figura 4.4

Razones para Instalar un Techo Verde



Se destaca el hecho de que las cinco razones más votadas para instalar un techo verde se relacionan con servicios ecosistémicos de regulación y aprovisionamiento, dejando en sexto lugar servicios culturales como la belleza escénica. Esto es consistente con que el 80% de encuestadas afirmó que, probablemente instalaría un techo verde en su vivienda con especies nativas, aunque careciera de belleza estética. Asimismo, para dos tercios de las personas encuestadas es fundamental aplicar especies nativas en la instalación de techos verdes.

Preferencias de Diseño

Con la intención de conocer la preferencia por uno u otro tipo de techo verde, el cuestionario mostró una serie de imágenes para exponer diferentes composiciones vegetales y usos (Figura 4.5). El techo verde que más llamó la atención fue el *techo verde-huerto*, seleccionado por un 47.3% de las encuestadas. La segunda opción de techo verde que más llamó la atención fue el de *techo verde y paneles solares*; seguido del *techo verde con especies silvestres*. Cabe destacar que el menos

⁷ Se solicitó responder a esta pregunta sin considerar el uso de aparatos o sistema de enfriamiento artificial.

votado fue, precisamente, el tipo de techo verde que se comercializa en Jalisco y que emplea las especies más habituales: el *techo verde modular con suculentas*.

Figura 4.5

Imágenes de Techos Verdes Mostradas en el Cuestionario de la Encuesta



(a) *Techo verde modular con suculentas*



(b) *Techo verde con especies silvestres*



(c) *Techo verde-huerto*



(d) *Techo verde y paneles solares*

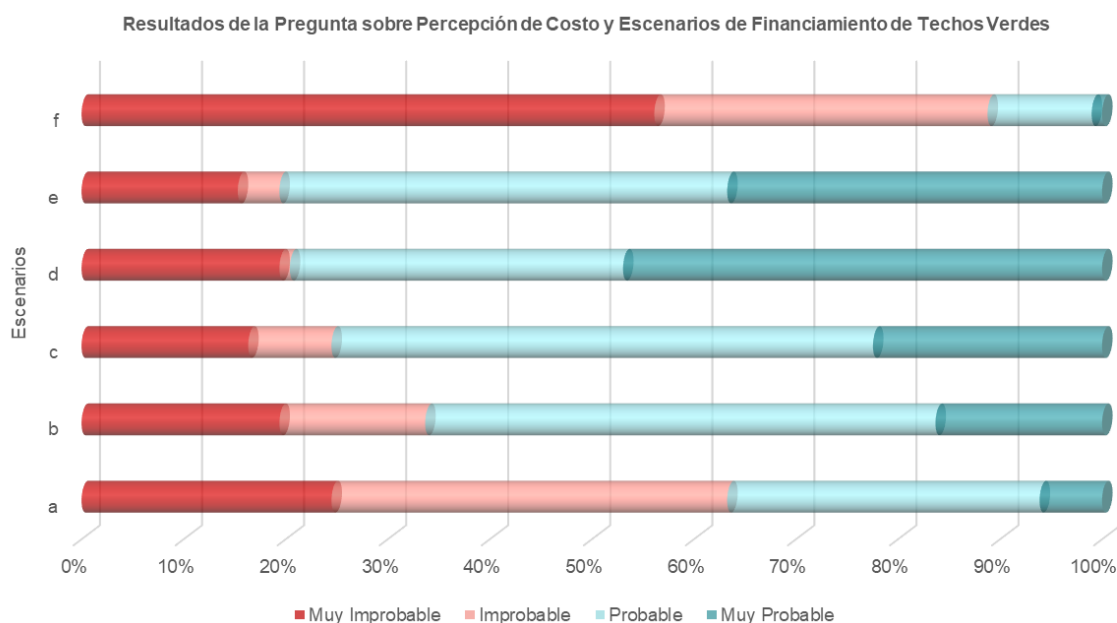
Nota. (a) Es la imagen del sistema *Ecotejado Intensivo* de Plantica Ciudades Vivas, se obtuvo de <https://www.plantica.mx/qu-ofrecemos>. (b) Es una imagen del *Pilot green roof project at Chicago City Hall in 2008*, del *Conservation Design Forum*, obtenida de <https://physicsworld.com/a/computer-model-picks-which-roofs-to-make-green/>; (c) Es una imagen de huertos urbanos en la azotea obtenida de <https://www.pinterest.com.mx/pin/701928291898638629/>; (d) Es una imagen tomada por Sanpergreen, se obtuvo de <https://www.4vientos.net/en-marcha-primer-estudio-sobre-funcionamiento-de-techos-verdes-en-ensenada/>.

Costos de Instalación

Antes que el costo de instalación y mantenimiento, la mayor preocupación percibida acerca de instalar un techo verde son los problemas de humedad que este pudiera causar a la vivienda, así como daños a la estructura. No obstante, para el 63% de las encuestadas a las que les gustaría instalar un techo verde, el rango de costos del mercado (\$20,000 a \$60,000 pesos) hacen de improbable a muy improbable que puedan pagar su instalación. Empero, la percepción de probabilidad de poder costear la instalación cambia conforme se suman financiamientos a la ecuación, tales como: créditos, subsidios y retornos de inversión (Figura 4.6).

Figura 4.6

Percepción sobre Probabilidad de Costear un Techo Verde



Nota. Se preguntó a las encuestadas lo siguiente: *Sobre los costos del techo verde mencionados en las dos preguntas anteriores, indica que tan probables son las siguientes afirmaciones para ti.* El rango de costos presentado fue de \$20,000.00 a \$60,000.00 pesos. Las afirmaciones, que en el gráfico aparecen como escenarios, fueron las siguientes: (a) Los rangos de costos son aceptables y puedo pagarlo; (b) Si pudiera pagar a crédito el techo verde, lo instalaría; (c) Si la inversión se recupera en menos de 10 años y el techo verde dura por lo menos 20 años, me animaría a instalar

el techo verde; (d) Si recibiese subsidios o apoyos del gobierno para costear una parte del techo verde, lo instalaría; (e) Si el techo verde mejorara la calidad del medio ambiente y con ello mi calidad de vida, lo instalaría; (f) No hay forma en que yo quiera instalar el techo verde.

El escenario que recibió mayor aprobación fue en el que se accede a subsidios o apoyos gubernamentales para costear la instalación; un 47% de las encuestadas indicó que, de esta manera, sería *muy probable* que optaran por instalar un techo verde. Sin embargo, si se suman los porcentajes de *probable* y *muy probable*, en realidad, el escenario de la posibilidad de mejorar la calidad de vida a través de mejorar la calidad del medio ambiente resulta ser el de mayor aprobación, seleccionado como factible por un 80% de las encuestadas.

Cabe mencionar que el escenario *f* es en realidad una pregunta de control o de confirmación sobre el deseo de instalar un techo verde. Durante el cuestionario se preguntó en tres ocasiones acerca del interés de implementar este sistema. La primera ocasión sucedió en la selección de ecotecnologías (ver Figura 4.2). La segunda ocasión se dio posterior a mostrar los beneficios que ofrecen los techos verdes y preguntar por las razones para instalarlos (ver Figura 4.4). Finalmente, la tercera ocasión sucedió al momento de presentar los costos de instalación (ver Figura 4.6). Así, se transcurrió de un 58% en la primera ocasión, a un 89.1% en la segunda, y un 88.8% en la tercera. Derivado de lo anterior, se pudo confirmar una tendencia de aprobación acerca de la instalación de techos verdes.

Tiempo Disponible para Mantenimiento del Techo Verde

Sobre el tiempo de mantenimiento, dos tercios de las encuestadas manifestaron contar de tres a cuatro o más horas a la semana disponibles para dedicar al cuidado del techo verde. Solo un cuarto de encuestadas respondió contar con una hora a la semana; el resto, cuenta con dos horas a

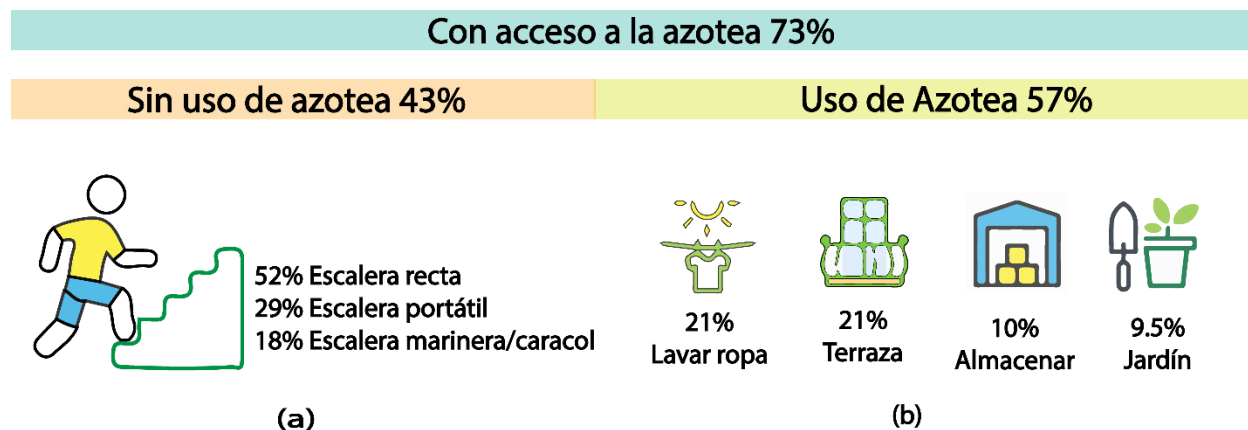
la semana. Por tanto, se percibe una tendencia a contar con el tiempo suficiente para dar mantenimiento al techo verde: regar, desyerbar, fertilizar, etcétera.

4.2 Tendencia en el Uso de la Azotea

La tendencia entre los habitantes de Puerto Vallarta es la de contar con acceso a la azotea y hacer uso de este espacio (Figura.4.7). Este resultado refuta uno de los supuestos iniciales del proyecto, acerca de que el espacio de la azotea es un espacio inutilizado. El uso parece estar condicionado por el tipo de escalera, puesto que dos tercios de los que reportan hacer uso de la azotea cuentan con escalera recta o de caracol. Empero, el porcentaje de escalera portátil es similar en ambos casos.

Figura 4.7

Acceso y Usos de las Azoteas



Nota: (a) Tipo de escalera para acceder a la azotea y (b) Tipos de uso de la azotea

Por otra parte, de entrevistas realizadas para este proyecto a expertos e investigadores en el tema, se infirió que el acceso a la azotea y la capacidad de carga de la cubierta son dos cuestiones primordiales que considerar previo a proponer la instalación de techos verdes. Para los objetivos de este proyecto, el tema del acceso a la azotea se resuelve con los resultados de la encuesta, no

así el tema de la capacidad de carga. Para resolver esta última cuestión es necesario llevar a cabo otros estudios, con técnicas de investigación diferentes al de la encuesta debido a que el 77% de las encuestadas desconoce la capacidad de carga de la cubierta de su vivienda.

Características y Mantenimiento de la Azotea

Con la intención de hacer inferencias sobre estrategias pasivas de enfriamiento de la vivienda e implicaciones en el fenómeno de isla de calor urbano (del que se hablará en secciones consecuentes), se preguntó a las encuestadas sobre el color de impermeabilizante o acabado de su azotea.

Los colores de impermeabilizantes más usados son rojo y blanco, 47.3% y 44.5%, respectivamente. El resto de las encuestadas reporta alguna de las siguientes: no utilizar impermeabilizante; usar color negro; tener teja de barro; o tener acabado de piso o ladrillo. Por otra parte, se esperaba un porcentaje mayor de uso del impermeabilizante blanco, ya que ofrece mejores prestaciones térmicas al interior de la vivienda. Aunque los resultados de la encuesta muestran que el impermeabilizante rojo es el más usado, es necesario llevar a cabo otro estudio para profundizar en este punto, ya que los porcentajes entre ambos son muy cercanos.

El período de impermeabilización o mantenimiento de la azotea es muy variado. La mayor proporción de encuestadas (27.3%) impermeabiliza cada cinco años; seguido de cada dos años (22.7%); cada tres años (21.8%); y cada año (17.3%). El resto reporta que no ha tenido necesidad de impermeabilizar o que desconoce el dato.

Sobre los costos de mantenimiento, el 41% invirtió entre \$1,001.00 a \$3,000.00 pesos la última vez que impermeabilizó su azotea. El 24.5% invirtió de \$3,001.00 a \$5,000.00. Un 11.8% invirtió más de \$5,000.00; y un porcentaje igual al interior invirtió de \$500.00 a \$1,000.00 pesos.

4.3 Criterios para el Prototipo de Techo Verde

Las tendencias que derivaron en criterios de diseño son:

- ♦ Los techos verdes son una ecotecnología deseable.
- ♦ Se espera contar con más de una ecotecnología instalada en la azotea.
- ♦ Se prefiere un techo verde tipo huerto.
- ♦ Se tiene acceso a la azotea y se usa como terraza y lavadero de ropa, principalmente.
- ♦ La capacidad de carga de la cubierta no es conocimiento de dominio popular.

Las tendencias listadas dan pie a diseñar un prototipo de techo verde que permita el uso diversificado de la azotea. Es decir, que se permita el tránsito del espacio y se favorezca el uso de la azotea como terraza, para lavar o tender ropa y como huerto.

De igual manera, la tendencia sobre la capacidad de carga jugó un rol determinante. En el siguiente capítulo se explica la manera en que el desconocimiento de este dato fue condicionante; asimismo, se describe el proceso de trabajo interdisciplinario que se llevó a cabo en sinergia con estudiantes y asesores del PAP-RSEP, del que derivaron propuestas de prototipo de techo verde para vivienda social.

Capítulo 5.

Prototipo de Techo Verde para Vivienda Social

El diseño de prototipos de techo verde para vivienda social de Puerto Vallarta se trabajó en sinergia con asesores y estudiantes de *Proyectos de Aplicación Profesional⁸ en Regeneración Social del Espacio Público (PAP-RSEP)*, del ITESO. “En él participan de forma interdisciplinaria alumnos de los programas educativos en diseño, arquitectura, ingeniería civil, ingeniería ambiental y gestión pública y políticas locales” (Estrada Casarín, 2023, p.1). La sinergia fue posible gracias a la similitud de objetivos y áreas de estudio entre ambos proyectos.

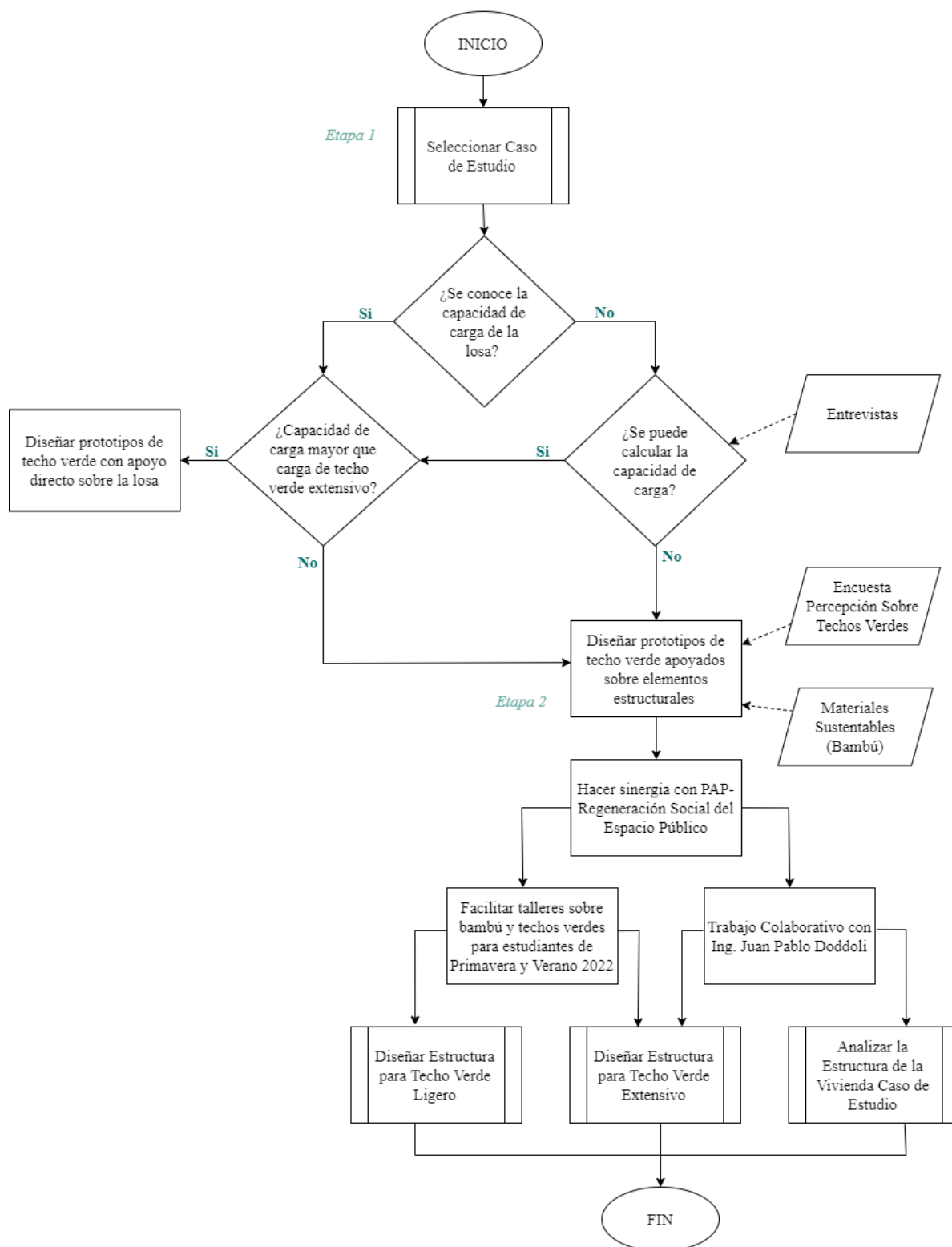
En este capítulo se narra el proceso de trabajo que se vivió en conjunto con el PAP-RSEP durante tres ciclos escolares: otoño-2021; primavera-2022; y verano-2022. Presentados en orden cronológico, se describen los acontecimientos que dieron forma a los prototipos de techo verde. Se aprovecha este mismo orden para abundar en aquellos aspectos que merecen mayor explicación, por ejemplo, la presentación del caso de estudio o la descripción de los prototipos.

Una descripción general del proceso de diseño de los prototipos de techo verde se muestra en el diagrama de flujo de la **Figura 5.1**. En el esquema se aprecian dos etapas; el trabajo interdisciplinario con el PAP-RSEP se ubica en la segunda de ellas.

⁸ Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son asignaturas obligatorias para estudiantes de licenciatura del ITESO; en el que los estudiantes se enfrentan a situaciones problema del entorno, con la finalidad afianzar sus conocimientos adquiridos a través de procesos de participación y colaboración con actores involucrados (ITESO, 2022).

Figura 5.1

Proceso General de Diseño de Prototipos de Techo Verde



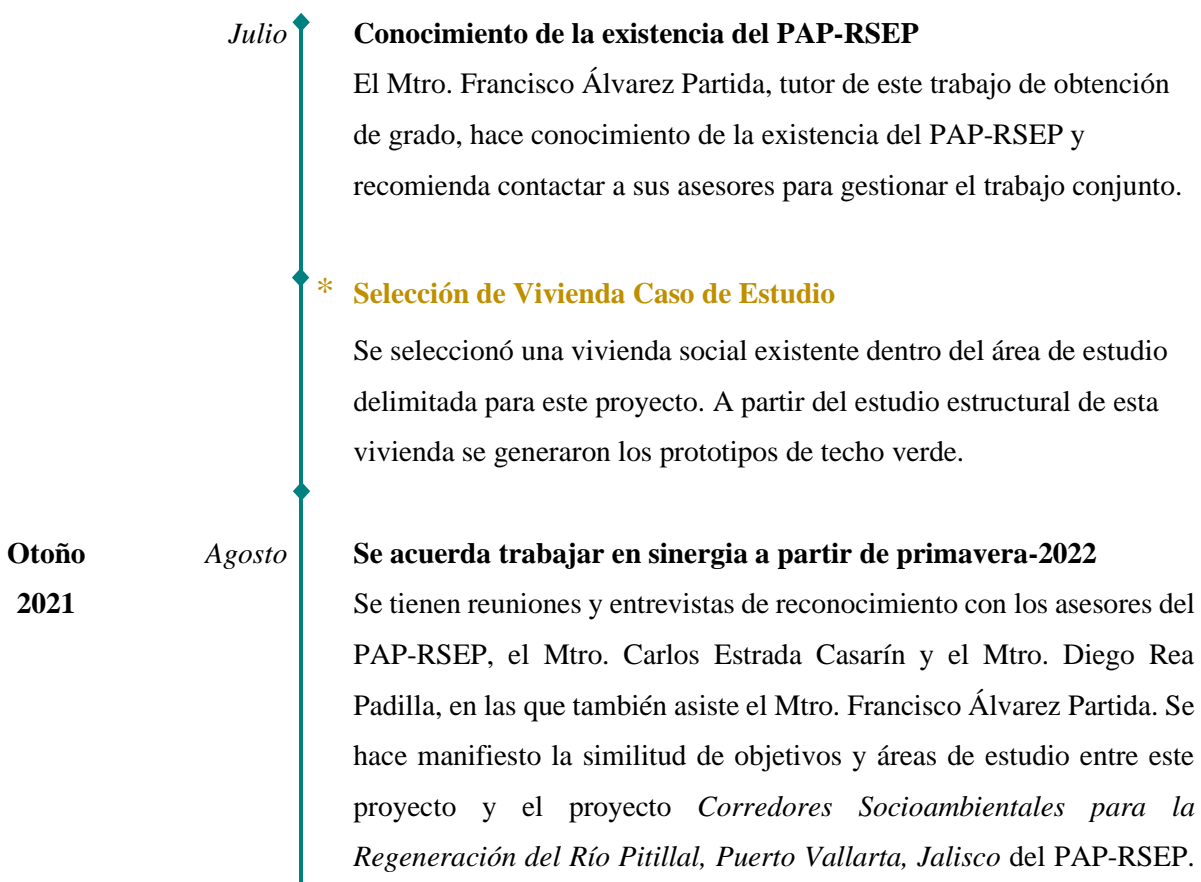
Otro aspecto relevante que destaca el diagrama general del proceso es la generación de dos líneas paralelas de trabajo con el PAP-RSEP. Una en la que se trabajó con estudiantes activos de los periodos de primavera-2022 y verano-2022; y otra en la que se colaboró con el egresado de ingeniería civil, Juan Pablo Doddoli, quien fuere estudiante del PAP-RSEP durante el periodo de otoño-2021.

5.1 Proceso de Trabajo Interdisciplinario con el PAP-RSEP

Los acontecimientos más relevantes del proceso de trabajo con el PAP-RSEP se presentan en una línea de tiempo que va de julio del 2021 a julio del 2022 y que, como se explicó anteriormente, abarca tres ciclos escolares del ITESO (Figura 5.2).

Figura 5.2

Línea de Tiempo del Proceso de Trabajo con el PAP-RSEP

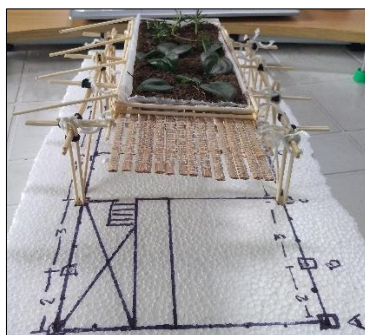


Como el ciclo escolar otoño-2021 ya arrancó, se acuerda comenzar a trabajar a partir de primavera-2022.

Octubre

Se cursa el taller virtual Modelo a Escala de Bambú

Producto de este taller se creó la primera propuesta de techo verde con estructura de bambú, aplicado al caso de estudio, del que se elaboró un modelo a escala, “proceso fundamental para la creación de arquitectura con este material ya que su comportamiento mecánico a micro y a macro escala es similar” (Bambuterra, s.f. párrafo 1).



(a)

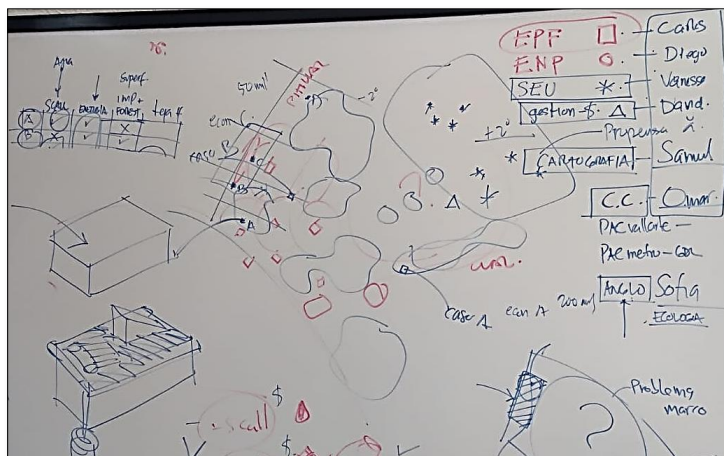


(b)

Noviembre

Se crea plan de trabajo PAP-RSEP para primavera-2022

En reunión celebrada con asesores del PAP-RSEP, se logra definir un plan de trabajo para el ciclo primavera-2022. Se definen metas y responsabilidades para cada una de las partes y se plantea generar insumos o productos de utilidad recíproca.



(c)

* Convenio de colaboración con Juan Pablo Doddoli

Juan Pablo Doddoli, ahora egresado de ingeniería civil, fue estudiante del PAP-RSEP durante otoño-2021. Debido a su interés particular en el uso del bambú como material de construcción, se ofreció a colaborar de forma independiente con este proyecto. Se acordó su participación en el análisis estructural de la vivienda caso de estudio y de un prototipo de estructura para techo verde.



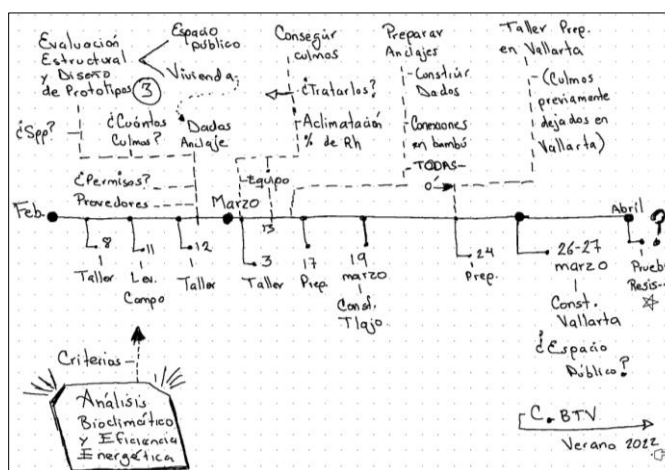
(d)

Primavera
2022

Enero

Presentación de escenario de trabajo a estudiantes del PAP-RSEP

Se presenta a los estudiantes que recién inician el ciclo primavera-2022, el escenario de trabajo dirigido por este proyecto. La presentación incluyó la descripción general del TOG y el objetivo particular al que se estaría abonando.



(e)

Febrero

Taller Bases para el Diseño de Estructuras de Bambú

Una de las responsabilidades adquiridas por parte de quien suscribe este documento fue la de impartir un taller sobre las bases de construcción de estructuras de bambú. La información del taller es producto de la investigación y los aprendizajes que, sobre el tema, se obtuvieron durante el desarrollo de la maestría. El taller tuvo seis sesiones distribuidas en los meses de febrero y marzo.



(f)

Se elaboran modelos a escala de estructuras de bambú

Como parte del aprendizaje del taller de estructuras de bambú se elaboraron modelos a escala para los diversos escenarios en los que estaba trabajando el PAP-RSEP, incluido este proyecto.



(g)



(h)

Se asignan estudiantes para trabajar en este proyecto

Se asignan tres estudiantes para trabajar en el escenario de este proyecto: a Miguel, de ingeniería civil, se le asignó el cálculo de la estructura; a José Pablo, de ingeniería civil, se le encargó el diseño del anclaje de la

estructura; y a Fernanda, de arquitectura, se le asignó el diseño arquitectónico de la planta de azotea. Los tres en conjunto, son responsables del diseño del prototipo, acompañados de sus asesores.

Se asiste al IV Congreso Mexicano del Bambú (24-26 febrero)

Se hace contacto con Bambufolia, empresa que construye con bambú con sede en el estado de Jalisco. Tienen proyectos cerca del área de estudio de Puerto Vallarta, en San Francisco, Nayarit. También, se adquiere información de casos de estudio de estructuras de bambú con cubiertas de techo verde en Colombia. Así como de proveedores de bambú en la región de Colima y Jalisco.

Primera visita a Puerto Vallarta: levantamiento de caso de estudio

En la primera sesión de trabajo de campo, estudiantes levantan información de los tres escenarios de aplicación del PAP-RSEP, incluido el de este proyecto, en el que registran las medidas necesarias para la elaboración de planos arquitectónicos.



(i)

*** Inicio de monitoreo de temperatura y humedad relativa**

Se instalan los instrumentos (Dataloggers de la marca HOBO) que registrarán la temperatura y humedad relativa en tres espacios de la vivienda caso de estudio. Este paso tiene la función de describir las condiciones actuales de la vivienda y medir los cambios que se generen con la instalación del techo verde (para futuras investigaciones).



(j)

Marzo

Práctica de conexiones de estructuras con bambú

Como parte del aprendizaje del taller de bambú se llevó a cabo una práctica de conexiones de bambúes con varilla roscada.

Cotización de proveedores de bambú

Con la ayuda de Ximena, estudiante de arquitectura, se realiza una investigación de proveedores de bambú en la Zona Metropolitana de Guadalajara. Se localiza tres proveedores.

Levantamiento de información estructural para Doddoli

Se envía a Juan Pablo Doddoli la información necesaria para el análisis estructural de la vivienda caso de estudio.

*** Se acuerda diseñar un prototipo modular**

La propuesta de los estudiantes se hará con base a un diseño modular de 3x3mts (la distancia normal entre castillos de mampostería). Se creará un diseño de planta arquitectónica para toda la azotea, pero se acuerda construir uno solo de los módulos en abril.

*** Construcción de dados en vivienda caso de estudio**

En una segunda sesión de trabajo de campo en Puerto Vallarta se construyen cuatro dados para el anclaje de la estructura de bambú.



(k)

Abril * **Compra de dos especies de bambú a dos proveedores**

Con presupuesto de este proyecto, se adquiere bambú de dos especies a dos proveedores. La especie *B. oldhamii* para el proyecto de restauración de vivienda en Tlaquepaque; y *G. angustifolia* para el proyecto de techo verde.



(l)

Retroalimentación de Bambufolia a proyectos de estudiantes

Estudiantes del PAP-RSEP presentan en clase sus propuestas de estructuras de bambú para todos los escenarios. Se tuvo la presencia virtual de la Arq. Paola, cofundadora de Bambufolia, quien realizó comentarios a las propuestas. Un resultado no esperado de esta aportación fue el desánimo de los estudiantes ante la sugerencia de abortar las conexiones propuestas con tubo galvanizado, especialmente para la estructura del techo verde. Esto les hizo sentir que tendrían que desechar un trabajo que estaban por concluir, además de que lo

percibieron como información contradictoria a la que habían recibido por parte de los asesores.



(m)

Práctica de construcción de estructura de bambú

Una meta del plan de trabajo del PAP-RSEP para primavera-2022 era la construcción del prototipo de techo verde con estructura de bambú desarrollada por estudiantes. Sin embargo, debido a problemas con la calidad de los culmos de bambú de *G. angustifolia*, así como de la inconclusión en el diseño y cálculo estructural del prototipo, se decidió hacer únicamente una práctica de construcción en sitio para adquirir experiencia en el manejo del material. Asimismo, se acordó continuar el trabajo de este proyecto en el ciclo de verano-2022, a fin de cumplir la meta de construir el prototipo.



(n)

Verano
2022

Mayo

* **Doddoli comunica los resultados del análisis estructural.**

Juan Pablo Doddoli comunica los resultados del análisis estructural realizado a la vivienda caso de estudio, así como del cálculo de la estructura de bambú para techo verde.

Junio

Nuevo grupo de estudiantes se asignan al trabajo de este proyecto

Inicia el nuevo ciclo escolar, verano-2022. Un porcentaje de estudiantes del ciclo pasado repiten en este período (Nota: es requisito cursar dos ciclos de PAP, pueden elegir el mismo proyecto o cambiar a otro). Para continuar con el escenario de este proyecto se asigna a tres estudiantes: Miguel y José Pablo, estudiantes de ingeniería civil que estuvieron encargados del cálculo estructural y anclaje de la estructura de bambú en primavera-2022; José Luis y Maximiliano, estudiantes de arquitectura, de nuevo ingreso al PAP-RSEP.

Taller de Diseño y Construcción de Estructuras de Bambú y Techos Verdes

El plan de trabajo para el ciclo de verano-2022 incluyó un taller de diseño y construcción de estructuras de bambú y techos verdes. Este taller es una adaptación del taller ofrecido en primavera-2022. Se desarrolló durante tres sesiones, en las que se revisaron los aspectos de diseño y construcción de estructuras de bambú tomando como referencia las propuestas del período anterior.

Visita a Vallarta para familiarizarse con caso de estudio

Los nuevos estudiantes asignados a este proyecto visitan la vivienda caso de estudio para familiarizarse con el trabajo previo y levantar nueva información para adecuar la propuesta.

* **Nuevas diseño de prototipo de techo verde con estructura de bambú**

Julio

En vista de que no lograron resolver el cálculo de la estructura propuesta de primavera-2022, a los estudiantes se les dio la libertad de rediseñar la estructura de bambú. Optan por diseñar una estructura para un techo verde ligero (enredaderas o trepadoras) al considerar que su construcción sería más factible, dada su experiencia en construir con bambú y del tiempo limitado con que se cuenta en verano-2022 (dos meses).

Compra de bambú a Bambufolia.

Se adquieren quince culmos de *G. angustifolia*, de 6 metros de largo por 7cm de diámetro. Los estudiantes se encargaron de recoger el material en la bodega de Bambufolia, ubicada en la Zona Metropolitana de Guadalajara. En el laboratorio de ITESO cortaron los culmos en piezas más pequeñas (3 metros de largo) para transportarlas a Puerto Vallarta.

* **Construcción del prototipo de techo verde ligero**

Los estudiantes tuvieron de dos días para realizar la construcción de su propuesta. En la construcción se sumó otro estudiante del PAP-RSEP (Rodrigo). La estructura quedó inconclusa, sin la debida cubierta y con algunas deficiencias técnicas.



(o)

Nota. Donde (a) es el modelo a escala visto sobre el plano de la azotea de la vivienda caso de estudio; en (b) se aprecia el modelo a escala sobrepuesto en la losa de azotea para apreciar la proyección de sombra; (c) es una fotografía tomada a la pizarra con los apuntes de la reunión para planificar el trabajo del ciclo primavera-2022; (d) muestra el diseño de

un vivero con estructura de bambú, elaborado por estudiantes del PAP-RSEP en otoño-2021 (tomado de *Isométrico de modulo para vivero* de Vargas Bautista et al. (2021, p.94); (e) es la ruta crítica que se les mostró a los estudiantes como parte de la presentación del escenario de trabajo de este proyecto; (f) es una fotografía de la primera sesión del taller Bases para el Diseño de Estructuras de Bambú, cortesía de Carlos Estrada Casarín; (g) muestra la elaboración de modelos a escala de estructuras de bambú; (h) es uno de los modelos a escala creados durante el proceso de aprendizaje de los estudiantes; (i) muestra a los estudiantes durante su primera visita a la vivienda caso de estudio, como parte de un ejercicio de análisis dimensional del espacio de la azotea, cada persona en la fotografía está parada en la ubicación de un castillo (la imagen es cortesía de Carlos Estrada Casarín); en (j) se observan los equipos de interior para el monitoreo de temperatura y humedad relativa, al colocarse juntos se comprueba que ambos están calibrados ya que muestran la misma medición; (k) muestra la parte inicial del proceso de construcción de los dados para anclar la estructura de bambú; en el (l) se observa el pedido recién entregado de culmos de *B. oldhamii*, colocados bajo la sombra de un árbol en la cancha sur del ITESO, se aprecia su color verde intenso; (m) captura el momento que se recibió retroalimentación por parte de Bambufolia, a través de videoconferencia; (n) muestra el resultado de la práctica de construcción con bambú que se llevó a cabo en primavera-2022; finalmente, en (o) se exhibe una imagen del proceso de construcción de la estructura de bambú propuesta por estudiantes de verano-2022.

Los títulos de los acontecimientos que se presentan en color amarillo se desarrollaron fuera de la colaboración con el PAP-RSEP. Sin embargo, se incluyeron en la línea de tiempo porque resultaron determinantes para el diseño de los prototipos de techo verde. De igual forma, con asterisco color amarillo se distinguen sucesos que se describen a mayor detalle en secciones subsecuentes del documento.

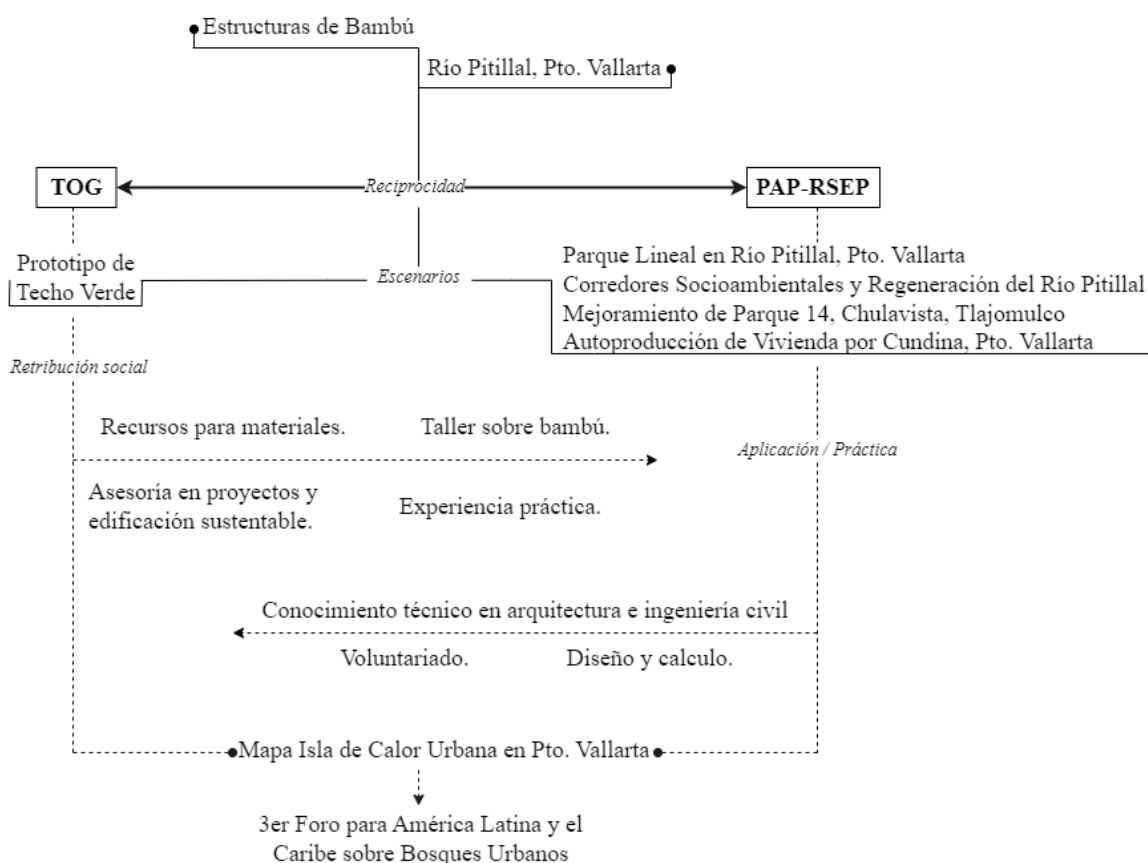
Beneficios de la Sinergia PAP-TOG

Con los sucesos narrados en la línea de tiempo de la [Figura 5.2](#), se tiene un panorama general del esquema de trabajo generado con la sinergia entre este proyecto y los proyectos del PAP-RSEP. Sin embargo, no refleja por entero la reciprocidad de beneficios entre las partes, ya que se omitió el registro de acontecimientos de dos escenarios del PAP-RSEP. Con la intención de sentar el

precedente y de reflejar de manera más amplia la realidad de lo que se vivió, a continuación, se hace una breve descripción de los beneficios mutuos alcanzados (Figura 5.3).

Figura 5.3

Reciprocidad en Sinergia TOG - PAP-RSEP



Nota. TOG es la sigla para trabajo de obtención de grado.

Durante la sinergia, el PAP-RSEP trabajó en cuatro proyectos. Tres de ellos incluyeron en sus propuestas elementos construidos con bambú. Se tiene entonces que, uno de los grandes beneficios de la sinergia fue la capacitación que los estudiantes recibieron sobre el bambú como material para la edificación de estructuras, catalogado como un material sustentable, renovable y biodegradable.

Las actividades realizadas en el escenario de este proyecto de investigación, en conjunto con los talleres de bambú, brindaron a estudiantes las herramientas y conocimientos básicos para diseñar y calcular estructuras con las especies de *G. angustifolia* y *B. olhamii*. Aprendieron de las diversas especies de bambú estructural disponibles en México; a realizar una clasificación visual de los culmos; a distinguir indicadores de calidad como la edad, el tratamiento químico y el daño por insectos; a determinar la conicidad de los elementos; de las conexiones y uniones apropiadas para el bambú; de los principios de diseño para protegerlo de la humedad del suelo y de la radiación solar; del mantenimiento; y de los límites máximos permisibles, establecidos en diversas normas de países latinoamericanos, para el cálculo estructural.

Asimismo, los estudiantes aprendieron de enfrentarse al reto de diseñar una estructura de bambú con una cubierta pesada de techo verde. De esta manera, de la sinergia también se beneficiaron de conocer los principios de diseño de un techo verde; asimilaron su composición y su aplicación como una solución pasiva al problema de sobrecalentamiento de la vivienda y de la generación del fenómeno de isla de calor urbana.

La [Figura 5.4](#) contiene algunas de las propuestas con bambú que realizaron los estudiantes del PAP-RSEP.

Figura 5.4

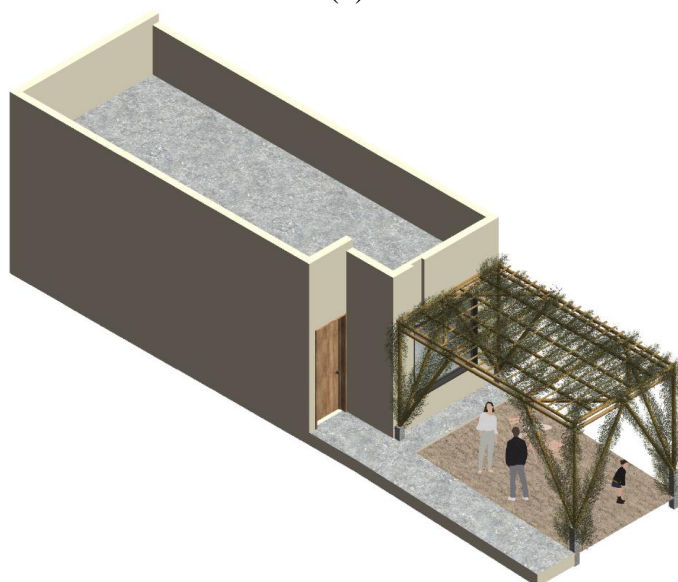
Elementos de Bambú en los Proyectos del PAP-RSEP



(a)



(b)



(c)

Nota. Donde (a) corresponde a la propuesta de diseño del ingreso a la calle Juan Aldama, en la que el bambú se propone como infraestructura viva, en el proyecto de regeneración del parque Juan Aldama del ciclo primavera-2022,

tomado de López Torres *et al.*, 2022, *Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco* (p.141); en (b) se observa la propuesta de techo verde como sistema constructivo ligero para cubierta en el proyecto de autoproducción de vivienda por cundina, del ciclo verano-2022, tomado de *Cubiertas Ligeras*, de Zárate Beas *et al.*, 2022, *Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal en Puerto Vallarta* (p.79); y (c) es la propuesta de intervención con una pérgola de bambú a una vivienda abandonada para utilizarla como espacio comunitario, del ciclo primavera-2022, tomada de *Ilustración sobre la intervención en vivienda tipo Etapa 14*, de Aldaco Velázquez *et al.*, 2022, *Gestión social y propuesta de mejoramiento para el Parque Etapa 14, Chulavista, Tlajomulco de Zúñiga* (p.57).

Con todo lo vivenciado y aprendido, estudiantes del PAP-RSEP adquirieron una base crítica sobre la implementación del bambú en el contexto del espacio público y en la vivienda social. Experimentaron las implicaciones de construir con este material, al mismo tiempo que advirtieron de las limitaciones y oportunidades que éste ofrece para ciudades Jaliscienses. Así pues, la sinergia generada significó que este proyecto funcionara como un espacio de aprendizaje y práctica; que también sirvió, en cierta medida, para ensayar las propuestas del PAP-RSEP previo a su presentación ante actores locales.

En cuanto a los beneficios para este proyecto, la sinergia significó contar con la asesoría, el conocimiento y la técnica especializada en arquitectura e ingeniería civil, necesaria para lograr el objetivo de diseñar los prototipos. La participación de estudiantes y asesores del PAP-RSEP, hizo posible generar un prototipo de estructura de bambú para techo verde con cálculo estructural⁹; además del esfuerzo que imprimieron para llevar a la práctica la construcción de un prototipo en la vivienda caso de estudio.

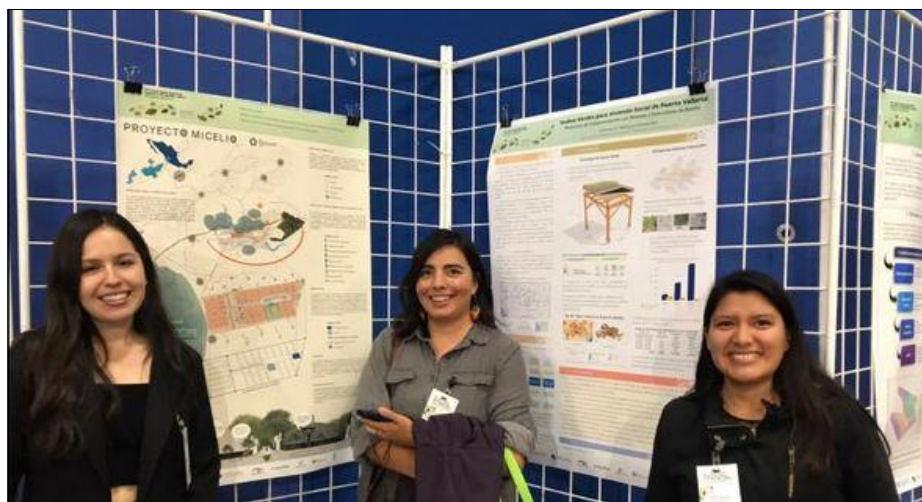
⁹ Cabe mencionar que, quién presenta este trabajo de obtención de grado, se formó en la ingeniería en recursos naturales y agropecuarios, con experiencia en ecotecnologías aplicadas a la vivienda, pero sin entrenamiento en arquitectura o ingeniería civil.

Otro beneficio recíproco fue la generación de un Mapa de Isla de Calor Urbano en Puerto Vallarta, coautoría de quien suscribe este documento y el asesor especializado del PAP-RSEP en sistemas de información geográfica, Samuel Alatorre. Este mapa valió para el análisis de este proyecto y como marco de referencia para los proyectos del PAP-RSEP.

Finalmente, quien suscribe este documento recomendó participar en el *3er Foro para América Latina y el Caribe sobre Bosques Urbanos*, al *Proyecto Micelio* de autoconstrucción de vivienda por cundina. Con esto se benefician ambas partes al completar un eslabón más de los proyectos de aplicación profesional e investigación tecno-científica: la divulgación de los resultados obtenidos. En la **Figura 5.5** se observa a las participantes junto a sus posters exhibidos durante el foro.

Figura 5.5

Participación en 3er Foro de América Latina y el Caribe sobre Bosques Urbanos



Nota. Imagen cortesía de Carlos Estrada Casarín. Se muestra a dos estudiantes del PAP-RSEP del ciclo verano-2022 y a quien suscribe este documento.

5.2 Descripción de la Vivienda Caso de Estudio

Debido a las restricciones de movilidad y contacto impuestas por la contingencia sanitaria de COVID-19, se imposibilitó la selección aleatoria de casos de estudio para el proyecto. En su lugar, se optó por considerar como único caso de estudio una vivienda de la que se tenía pleno acceso y disponibilidad para llevar a cabo los trabajos requeridos, dada la relación previa de confianza que se tenía con la propietaria.

Ubicación

La vivienda en cuestión se ubica dentro de la AGEB¹⁰ No. 2597 de la ciudad de Puerto Vallarta, en la colonia Vallarta Villas, calle Circuito Interior Capricornio #604 (Figura 5.6). Se trata de un fraccionamiento de vivienda económica/popular gestionado por el FOVISSSTE¹¹ y construida por el Consorcio de Constructores entre los años 1999 a 2000, localizado en las inmediaciones de la rivera del Río Pitillal.

¹⁰ Área Geoestadística Básica (AGEB) implementada por el INEGI para el estudio del territorio.

¹¹ Fondo de la Vivienda del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de Trabajadores del Estado.

Figura 5.6*Ubicación del Caso de Estudio*

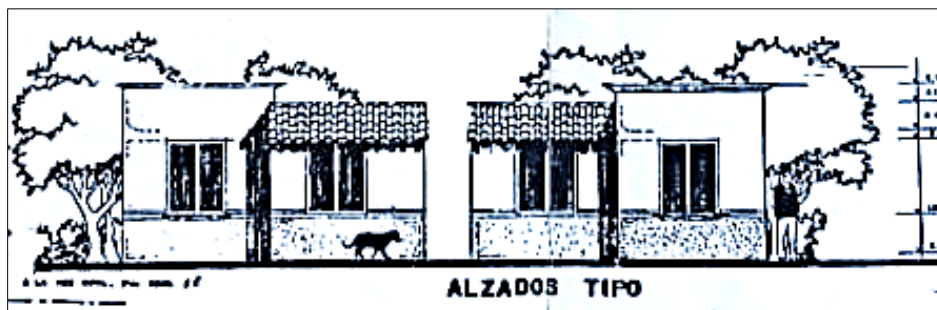
Nota. Elaborado en QGIS, con imágenes de *Google Satélite* y *Google Road*, e información del Marco Geoestadístico Nacional del INEGI-2020.

Sistema Constructivo y Alzados

Al igual que varias otras del fraccionamiento, la vivienda caso de estudio presenta un desdoblamiento. Originalmente, las viviendas se alzaron en una sola planta (Figura 5.7), construidas con sistema de mampostería de block de jalcreto, castillos de concreto armado y losa de concreto armado de 10 cm de espesor.

Figura 5.7

Alzado Tipo del Caso de Estudio

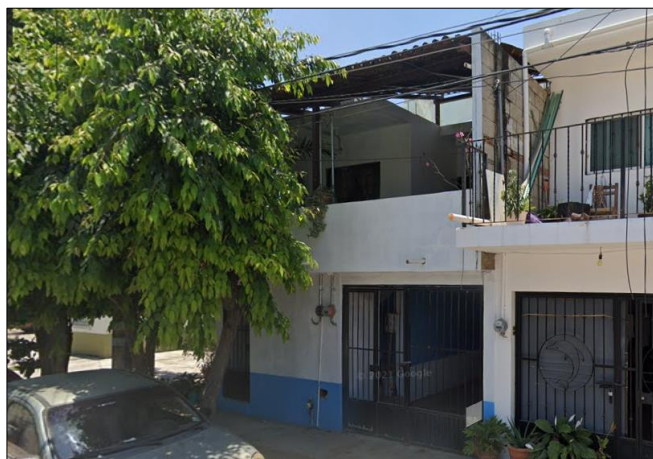


Nota. Tomado de las escrituras de propiedad de la vivienda.

Con el desdoblamiento, la vivienda caso de estudio se convirtió en dúplex (Figura 5.8). Concluida en el año 2018, la nueva construcción de la planta alta es la que se consideró para el diseño de los prototipos de techo verde. La Figura 5.9 muestra el plano arquitectónico de la vivienda en planta alta.

Figura 5.8

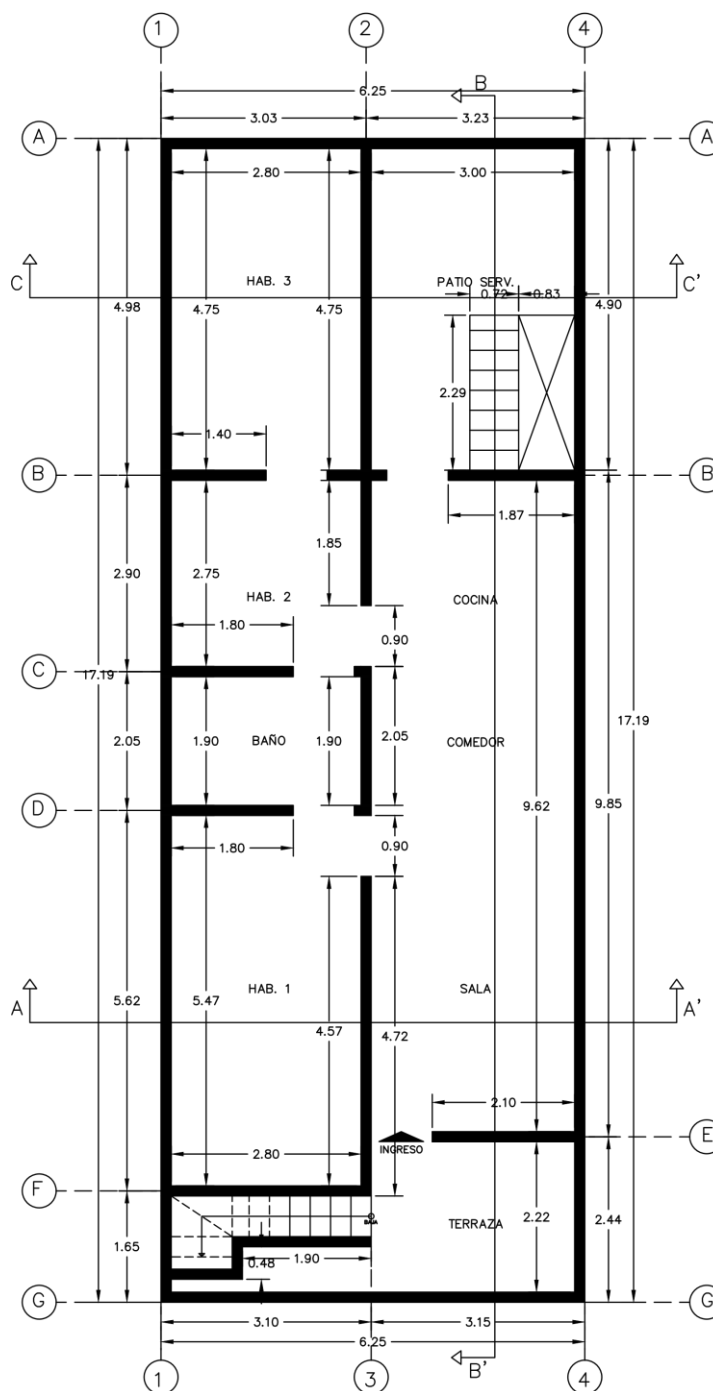
Vista de la Fachada del Caso de Estudio



Nota. La vivienda caso de estudio es la casa que se muestra a la izquierda en la imagen, pintada de blanco con cenefa azul, árboles en la banqueta y terraza techada con teja de barro en planta alta. Imagen de *Street view* de *Google Maps* (2021)

Figura 5.9

Plano Arquitectónico de la Planta Alta del Caso de Estudio



Nota. Tomado de *Planta Alta. Estado Actual*, de López Torres et al (2022, p. 128), en Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco [Reporte de PAP-RSEP], del ciclo primavera-2022, ITESO. El Norte se ubica hacia la sección G.

La vivienda de planta alta cuenta con un área de azotea de 76m², a la que se accede mediante una escalera de concreto ubicada en el patio de servicio ([Figura 5.10](#)). En total, ambas viviendas de la edificación tienen aproximadamente 104m² de construcción.

Figura 5.10

Imágenes de la Azotea del Caso de Estudio



(a)



(b)

Nota. Las imágenes se tomaron en marzo del 2021. Situados en el centro de la planta de azotea, (a) es la vista hacia el norte y (b) es la vista hacia el sur; fachada principal y patio, respectivamente.

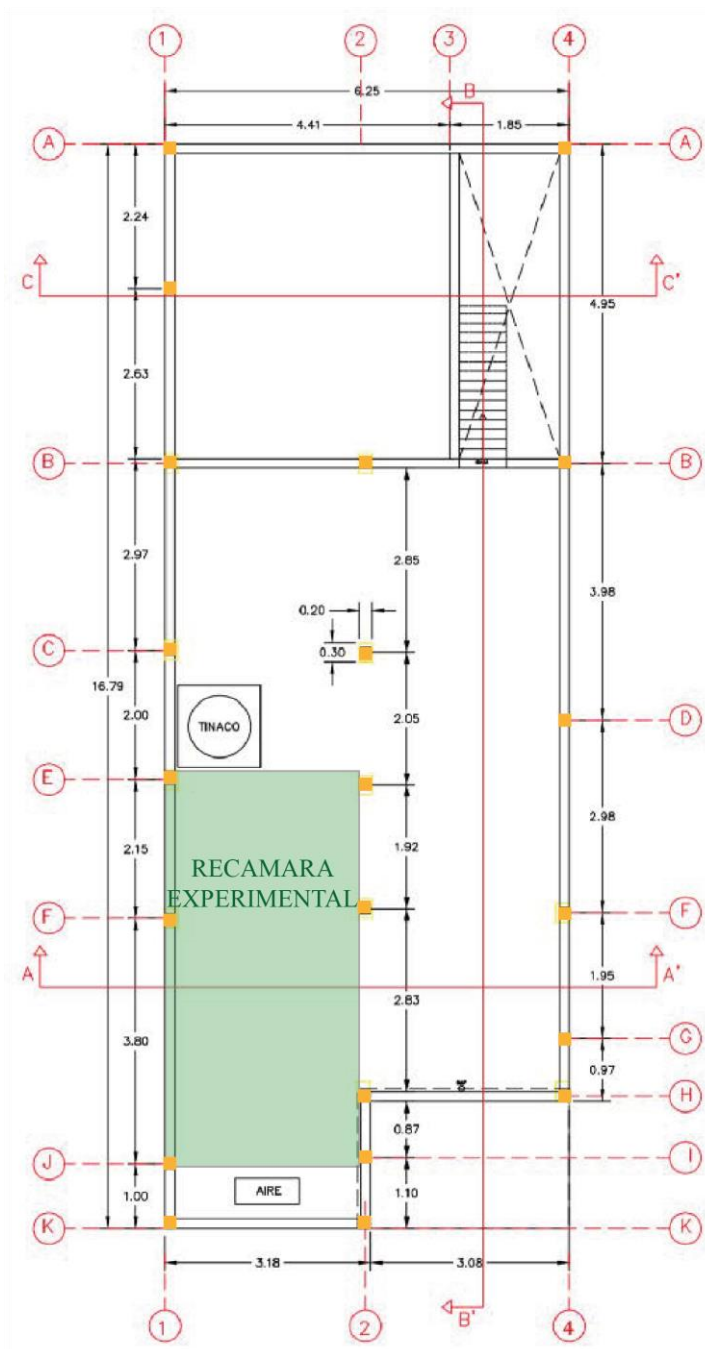
Se aprecia la ausencia de elementos de sombreado en la azotea, quedando totalmente expuesta a la radiación solar.

Elementos Estructurales

En la [Figura 5.11](#) se muestra la ubicación de los castillos (elementos estructurales) de la vivienda caso de estudio.

Figura 5.11

Plano de Elementos Estructurales del Caso de Estudio



Nota. Adaptado de *Planta de Azotea. Estado Actual*, de López Torres et al (2022, p. 129), en Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco [Reporte de PAP-RSEP], del ciclo primavera-2022, ITESO. El Norte se ubica hacia la sección K.

Los castillos registrados en el plano son los visibles, es decir, aquellos que sobresalen de la losa de azotea y que son plenamente identificables por las varillas de la armadura. Puede notarse una cierta irregularidad en el espaciamiento de los castillos, que va desde 1 metro a 3.8 metros. El recuadro verde, marcado como *recámara experimental*, indica la ubicación del área de la azotea correspondiente a la recámara principal de la vivienda, sobre la que se proyectaron los prototipos de techo verde.

Análisis Bioclimático

Acorde con las normales climáticas de la estación 14339 El Cuale de CONAGUA, ubicada en la latitud 20°35'47" N y la longitud 105°13'12" W, a una altitud de 53 metros sobre el nivel del mar; y un periodo de observación de 59 años (1951 a 2010) ([Sistema Metrológico Nacional \[SMN\]](#) y [Comisión Nacional del Agua \[CONAGUA\], 2022](#)); la clave climática de la ciudad de Puerto Vallarta se expresa con la siguiente fórmula (García, 1964):

$$Aw_2(w)(i') \quad (1)$$

Donde:

A= Cálido subhúmedo. Temperatura media anual arriba de los 22°C (22.7°C) y temperatura del mes más frío superior a 18°C (19.3°C).

w₂= Lluvias en verano. Precipitación del mes más húmedo de la mitad cálida del año (septiembre, 442.4mm) 10 veces mayor que en el mes más seco (marzo, 4mm).

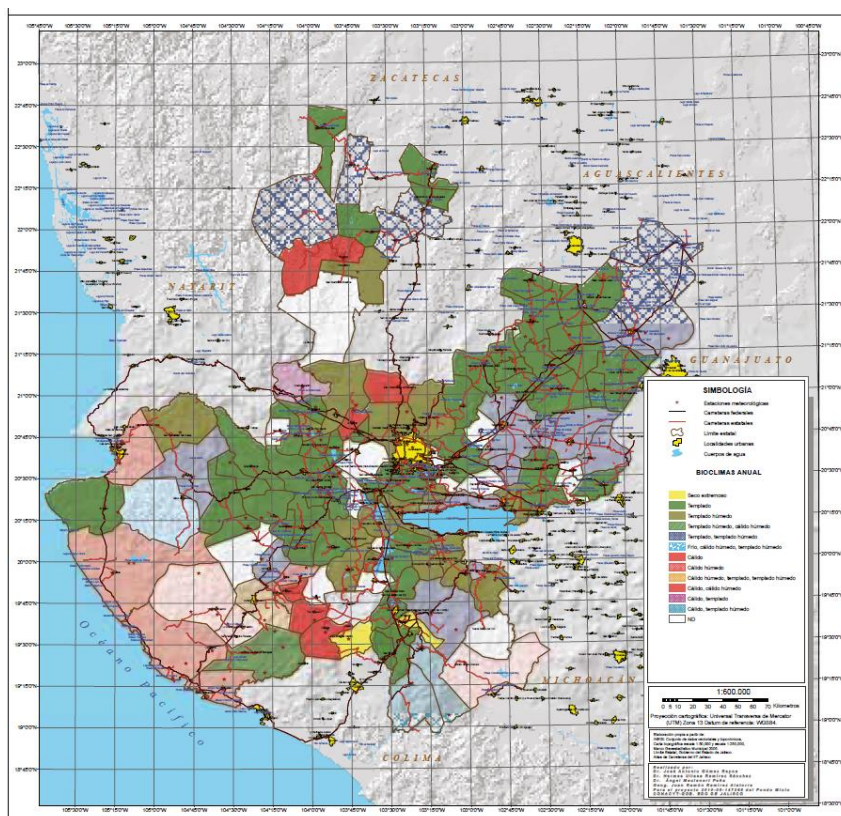
(w) = Coeficiente de precipitación/temperatura de 73.59, correspondiente a los climas más húmedos del subtipo Aw determinado por un P/T > 55.3.

(i') = Poca oscilación térmica anual, 6.4°C (entre 5°C y 7°C).

Sin embargo, debido a que la clasificación climática de Köppen modificado por García se basa en las necesidades agrícolas, esta no es del todo apta para el diseño arquitectónico (Rodríguez Viqueira y Guerrero Baca, 2004); pues no responde a las necesidades de confort higrotérmico de las personas, pues tiene entre sus variables de humedad a la precipitación, en lugar de la humedad relativa (Ramírez Sánchez *et al.*, 2013). Por ello, en el año 2009 el gobierno del estado de Jalisco, a través de la entonces Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADES), en conjunto con el INEGI, desarrollaron una calificación bioclimática compuesta de seis grupos: seco extremo; frío; templado; cálido húmedo; cálido; y templado húmedo (Figura 5.12).

Figura 5.12

Mapa Bioclimático Anual de Jalisco



Nota. Tomado de *Mapa bioclimático anual para el estado de Jalisco*, de Ramírez Sánchez *et al.* (2013, p. 90), en Actualización del Atlas Bioclimático del Estado de Jalisco, *Investigaciones Geográficas*, UNAM, 2013(82).

Como se aprecia en el mapa, el municipio de Puerto Vallarta se ubica en la zona bioclimática de *cálido húmedo*. Según Rodríguez Viqueira y Guerrero Baca (2004), este bioclima se caracteriza por una precipitación media anual mayor a 1000mm y una temperatura media de 26°C. Esto significa que las edificaciones “presentan requerimientos de enfriamiento durante todo el año y tienen regímenes muy elevados de precipitación pluvial, por lo que son muy húmedas, y su estrategia básica para lograr el confort higrotérmico es la ventilación” (Rodríguez Viqueira y Guerrero Baca, 2004, p.28).

La discrepancia entre la temperatura media de la zona bioclimática y la temperatura media con la que se determinó la clave climática de Köppen modificado por García (26°C vs 22.7°C), puede deberse a que para determinar la zona bioclimática se empleó información proveniente de más de una estación meteorológica, a diferencia de la segunda, en la que se empleó información de una sola estación.

No obstante, aun considerando los parámetros de temperatura y precipitación de la zona bioclimática, la clave climática de Köppen modificado por García no sufriría cambio alguno. Este no es el caso de la zona bioclimática, ya que puede expresarse también con una temporalidad mensual, pudiendo ser diferente a la zona bioclimática anual.

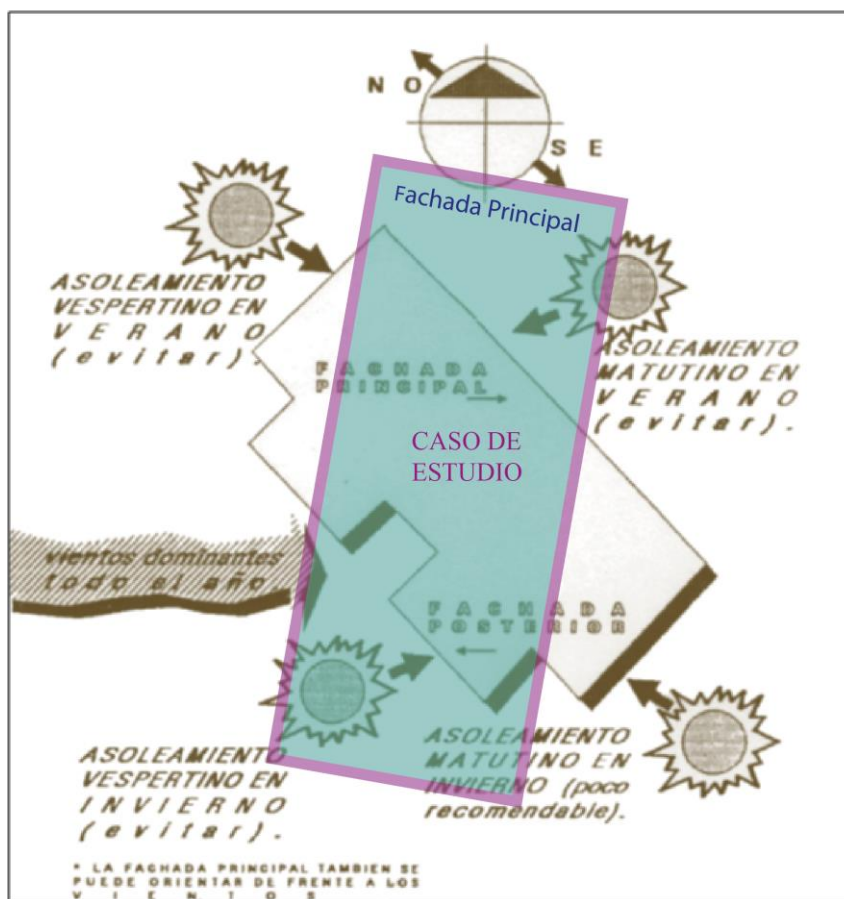
Orientación de la Vivienda

De acuerdo con la zona bioclimática de Puerto Vallarta, la mejor orientación de la vivienda para maximizar el confort higrotérmico que se puede lograr con el enfriamiento pasivo es la dirección Noroeste-Sureste para las fachadas de mayor longitud, ubicando la fachada principal en la orientación Sureste y el patio en la fachada Sur oeste (Elizondo Mata *et al.*, 2009). Como se ilustra en la **Figura 5.13**, el caso de estudio no se ajusta a estos parámetros, ya que la vivienda se orienta aproximadamente 10° hacia el este con respecto del Norte, lo que deja a las fachadas más largas

en orientaciones eminentemente Este y Oeste, con la fachada principal ubicada al Norte y el patio a el Sur.

Figura 5.13

Orientación de la Vivienda Caso de Estudio



Nota. Imagen editada de Gráfico 8. *La mejor orientación*, de Elizondo *et al* (1990, citados por Elizondo Mata *et al.*, 2009, p. 73), donde el recuadro con marco morado y relleno color azul representa la vivienda caso de estudio, comparándola con la mejor orientación para viviendas de la zona bioclimática de Puerto Vallarta, al fondo de la imagen.

A diferencia de la fachada Oeste, la fachada Este se encuentra expuesta al asoleamiento constante porque la casa contigua es de una sola planta. Asimismo, la fachada Este no presenta recubrimiento con algún mortero u otro material (Figura 5.14).

Figura 5.14

Vista de la Fachada Este del Caso de Estudio



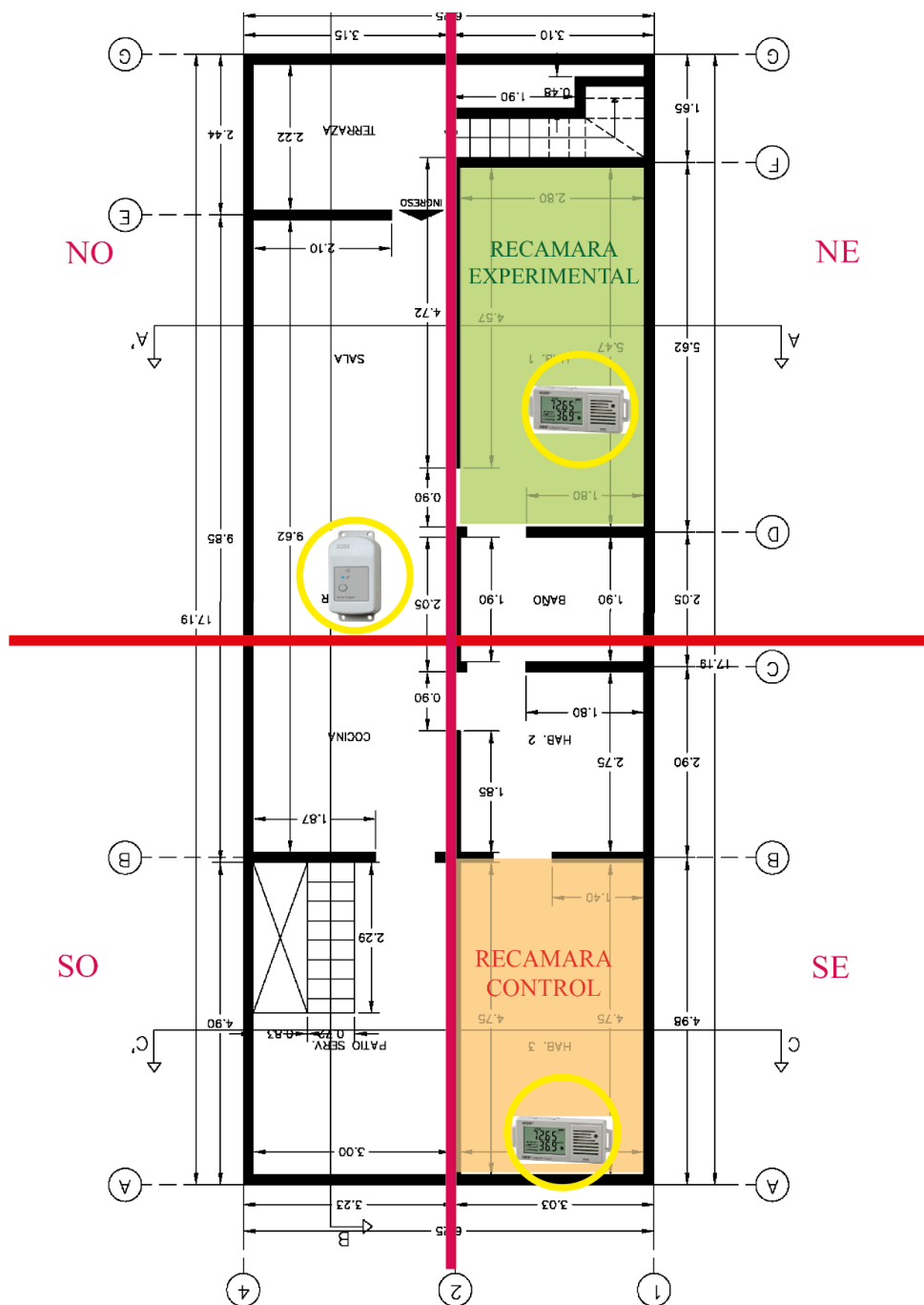
Nota. Imagen Street view de Google Maps (2019).

Monitoreo de Temperatura y Humedad Relativa

En la misma lógica de la mejor orientación bioclimática, las recámaras o espacios de usos múltiples de mayor uso deben ubicarse hacia el lado norte de la edificación (Elizondo Mata *et al*, 2009). En nuestro caso de estudio, los espacios de mayor uso son dos recámaras; la recámara principal, ubicada en el lado Noroeste de la vivienda; y una segunda recámara ubicada en el lado Sureste (Figura 5.15).

Figura 5.15

Ubicación de las Recámaras en el Caso de Estudio

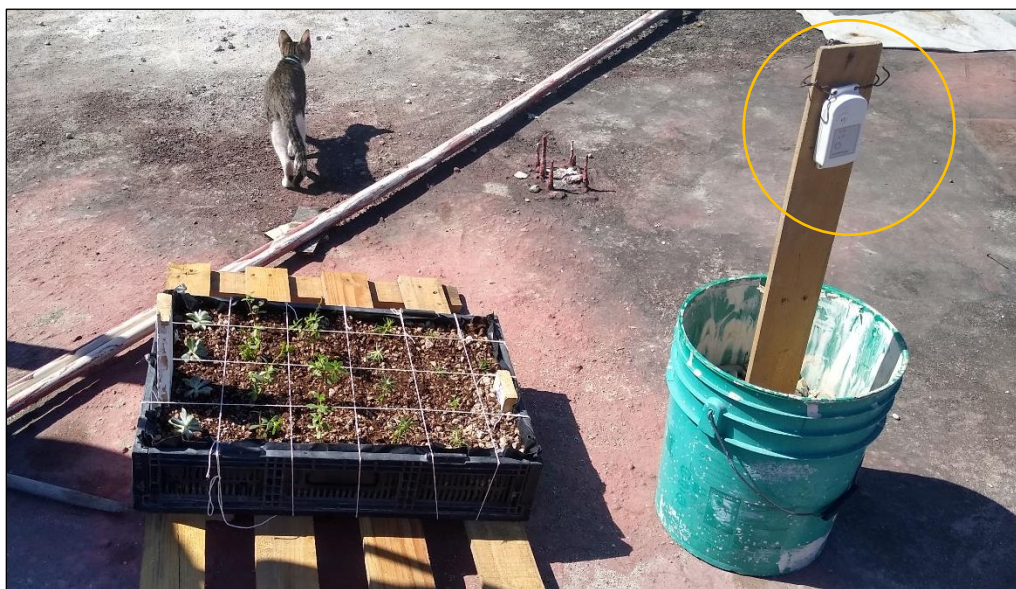


Nota. Adaptado de *Planta Alta. Estado Actual*, de López Torres *et al* (2022, p. 128), en Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco [Reporte de PAP-RSEP], del ciclo primavera-2022, ITESO.

En estas dos recámaras se colocaron dispositivos *datalogger* de monitoreo de temperatura y humedad relativa, más un dispositivo de monitoreo en la azotea (Figura 5.16). Los tres dispositivos son de la marca HOBO, modelos MX1101 para interiores y MX2301A para exteriores.

Figura 5.16

Instalación de Datalogger en Azotea



Nota. El *datalogger* se colocó a una altura de un metro sobre el nivel de la losa de azotea, sujetado sobre una tablilla de madera y orientado hacia el norte. Fotografía tomada el 6 de marzo del 2022.

Los *datalogger* comenzaron a registrar datos a partir del 06 de marzo del 2022 a las 09:00 horas. Los datos registrados permitieron evaluar el ambiente dentro de las habitaciones del caso y compararlo con la zona de confort higrotérmico, determinada a través del modelo del *Predicted Mean Vote* (PMV). La [Tabla 5.1](#) y [Tabla 5.2](#) contienen los estadísticos que resumen los registros obtenidos durante cinco meses, desde la instalación de los *datalogger* a la fecha del 8 de julio del 2022 ([Figura 5.17](#)).

Tabla 5.1*Estadísticos de Temperatura del Monitoreo*

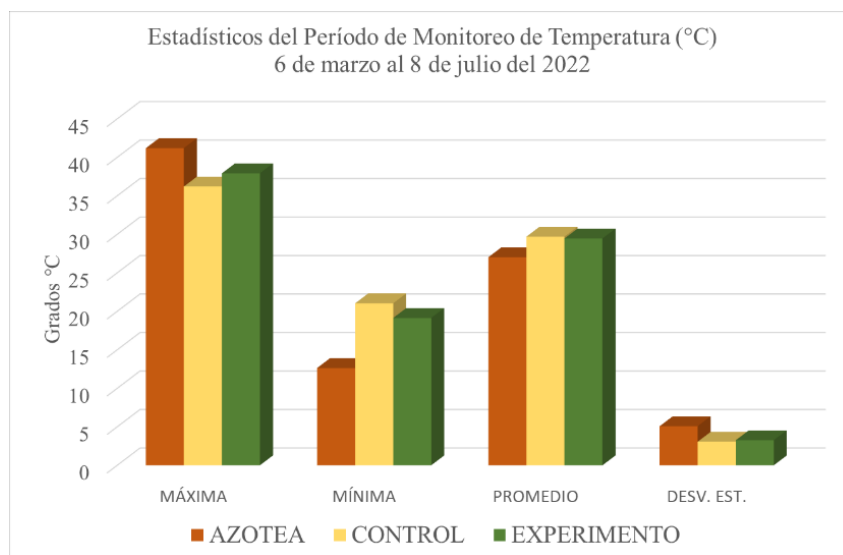
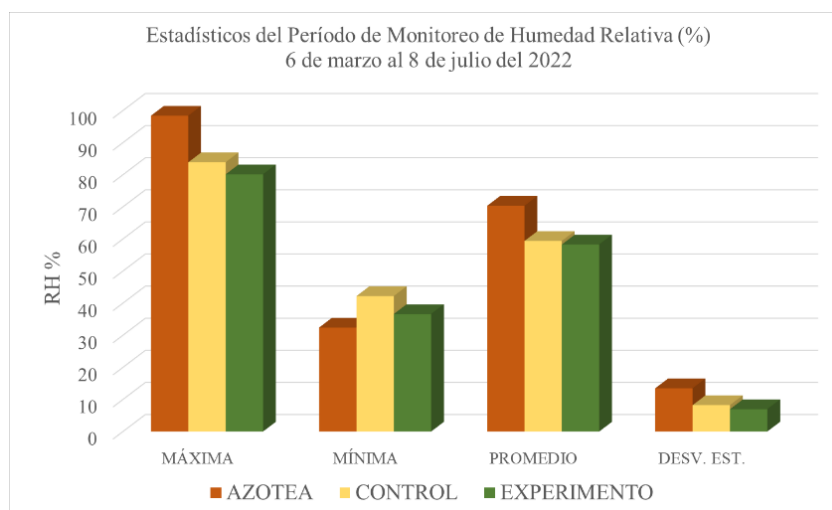
TEMPERATURA °C			
	AZOTEA	CONTROL	EXPERIMENTO
MÁXIMA	41.18	36.2	37.92
MÍNIMA	12.63	21.03	19.13
PROMEDIO	27.02	29.69	29.45
DESV. EST.	5.07	3.06	3.25

Nota. Elaborado a partir de 5975 datos registrados del 6 de marzo al 8 de julio del 2022.

Tabla 5.2*Estadísticos de Humedad Relativa del Monitoreo*

HUDEDAD RELATIVA %			
	AZOTEA	CONTROL	EXPERIMENTO
MÁXIMA	98.4	83.89	80.13
MÍNIMA	32.38	42.19	36.6
PROMEDIO	70.32	59.38	58.26
DESV. EST.	13.48	8.22	6.95

Nota. Elaborado a partir de 5975 datos registrados del 6 de marzo al 8 de julio del 2022.

Figura 5.17*Estadísticos de Monitoreo (06 de marzo a 08 julio, 2022)***(a) Temperatura****(b) Humedad Relativa**

Nota. Elaborado a partir de 5975 datos registrados.

El promedio de temperatura es menor en la azotea que en las habitaciones. Esto se debe a que existe una mayor oscilación térmica en el exterior. En la tabla 1.1 se observa que la temperatura mínima registrada en la azotea alcanza los 12.63°C, en tanto en las habitaciones el registro más bajo es de 19.13°C. Asimismo, la azotea presenta los registros más altos de temperatura, con una

máxima registrada de 41.18°C. En cuanto a la humedad relativa, se puede observar que la azotea presenta los registros de mayor valor.

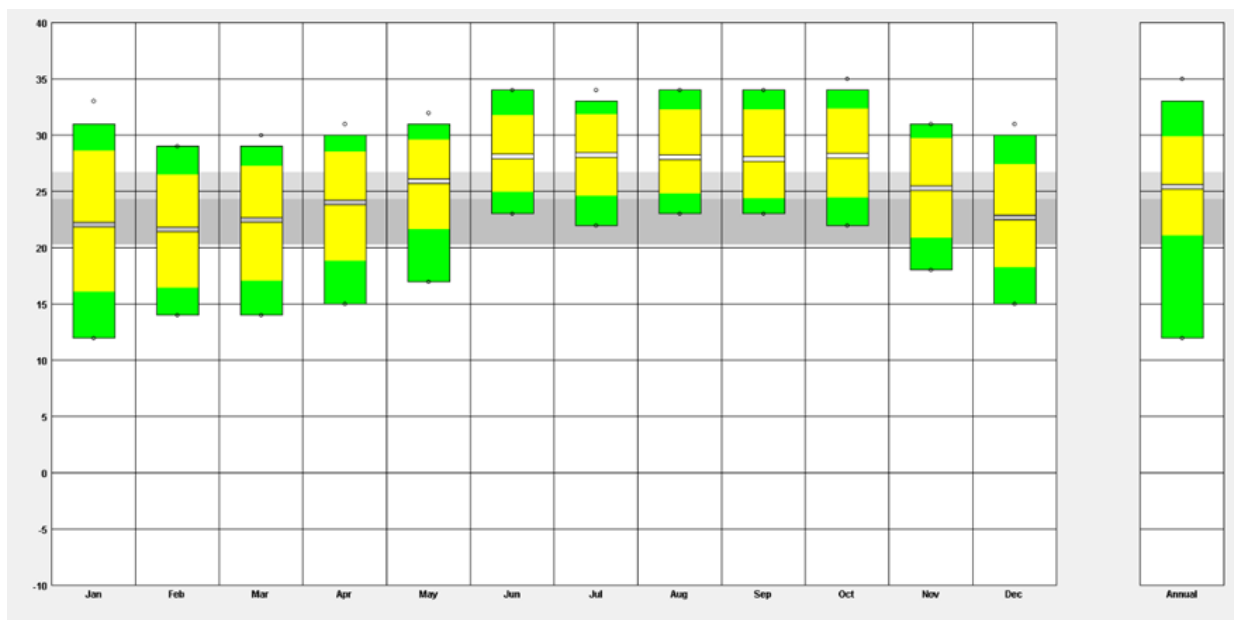
A continuación, se presentan los resultados de la zona de confort higrotérmico obtenida a través del software *Climate Consultant 6.0*.

Zona de Confort Higrotérmico

Como se mencionó anteriormente, la zona de confort higrotérmico se determinó a través del software *Climate Consultant 6.0*, que utiliza el modelo *del Predicted Mean Vote (PMV)*, que establece una zona en donde un 90% de las personas se sentirían satisfechas. Para nuestro caso de estudio, la zona de confort higrotérmico va de los 20.3°C a los 26.7°C, siendo 20.3°C a 24.3°C para el invierno y de 24.3°C a 26.7°C para el verano (Figura 5.18). En tanto, el valor máximo de humedad relativa para estar en confort es de 84.6%.

Figura 5.18

Rango de Temperatura para Zona de Confort en Puerto Vallarta



Nota. Gráfica generada por el software *Climate Consultant 6.0* (24 de septiembre del 2021)

Las franjas grises en el gráfico demarcan la zona de confort. De acuerdo con esta información, de junio a octubre la temperatura media se encuentra fuera de esta zona. No obstante, el monitoreo realizado de marzo a julio del 2022 revela que, dentro de la vivienda caso de estudio, las temperaturas promedio oscilan por encima de la zona de confort higrotérmico. En cambio, la humedad relativa se mantiene dentro de los parámetros de confort, al no rebasar el 84.6%.

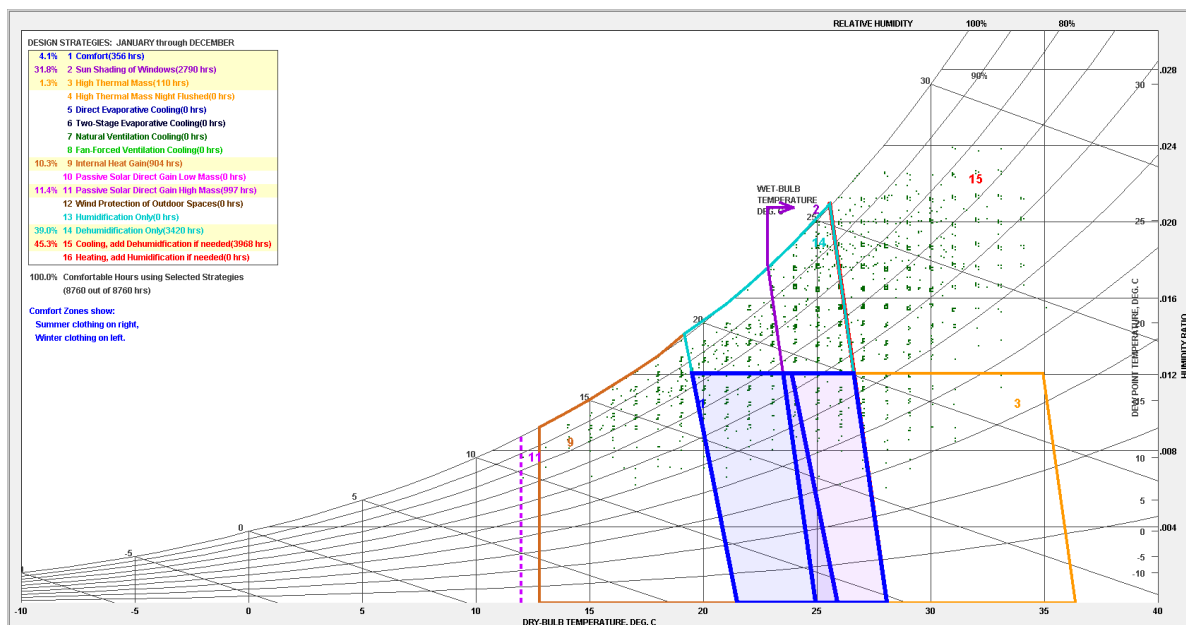
Carta Psicrométrica

La carta psicrométrica es un modelo gráfico de la zona de confort. El software *Climate Consultant 6.0* genera una carta psicrométrica que incluye estrategias de diseño para alcanzar la zona de confort. La mayoría de estas estrategias son pasivas, aunque también contempla estrategias activas (máquinas para el enfriamiento o calentamiento).

En la [Figura 5.19](#) se aprecia la carta psicrométrica para los meses de junio a octubre, con todas las estrategias de diseño sugeridas aplicadas.

Figura 5.19

Carta Psicrométrica de Puerto Vallarta (junio a octubre)



Nota. Obtenido del software *Climate Consultant 6.0* (24 de septiembre del 2021). Los polígonos de color azul rey delimitan la zona de confort. Todas las horas (representadas por puntos) fuera de este polígono necesitan intervención con alguna de las estrategias sugeridas por el mismo software. Dado que se ha aplicado las estrategias necesarias para alcanzar un 100% de horas de confort, estas se muestran en color verde, de lo contrario se mostrarían en puntos de color rojo.

Para lograr el 100% de horas dentro de la zona de confort, de dieciséis estrategias planteadas, tres son las más significativas:

1. Enfriamiento y deshumidificación (45.3%);
2. Deshumidificación (39%); y
3. Protección solar para ventanas (31.8%)

El porcentaje referido entre paréntesis corresponde al número de horas que entrarían a la zona de confort si se implementa dicha estrategia. La suma de porcentajes es mayor al 100% porque las estrategias pueden implementarse simultáneamente.

En este sentido, los techos verdes que propone este proyecto contribuyen a la estrategia número uno porque se espera la reducción del sobrecalentamiento derivado de la ganancia de calor por radiación al interior de la vivienda; con lo que no solo disminuirían las horas con necesidad de enfriamiento, sino que, el nivel de enfriamiento requerido también mermaría.

La magnitud de esta disminución es una pregunta de investigación que sobrepasa los alcances de este proyecto. Sin embargo, se han destinado recursos para responder a esta interrogante a mediano plazo.

5.3 Análisis Estructural de la Vivienda Caso de Estudio

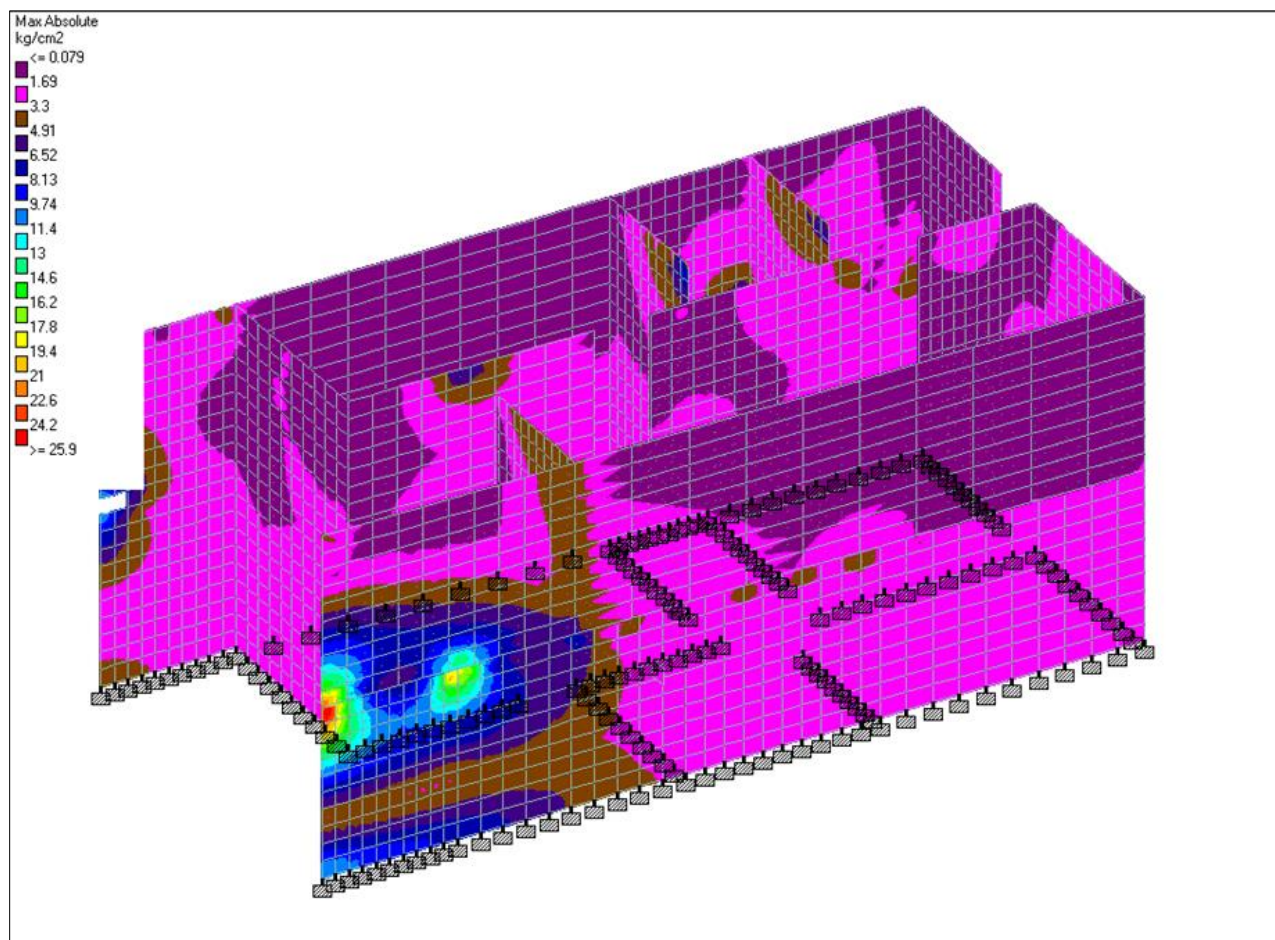
Con la finalidad de evaluar el riesgo potencial que pudiese ocasionar la instalación de un techo verde en la vivienda caso de estudio, se efectuó una revisión por carga de servicios a la estructura actual. Este procedimiento se realizó con el apoyo del ingeniero civil Juan Pablo Doddoli. En anexos se puede encontrar la memoria de cálculo completa (anexo 6). En este apartado se presentan los principales resultados.

Revisión por Carga de Servicios

La revisión por carga de servicios se analizó a través del software *STAAD Pro Connect*. El modelo indica que los muros donde se planea anclar la estructura de bambú con techo verde trabajan a compresión en 15% de su capacidad, con esfuerzos promedio de entre 1.69 a 3.33 kg/cm². De acuerdo con los parámetros establecidos en la Normas Técnicas Complementarias de Diseño por Sismo de la Ciudad de México del 2017 (NTC2017); los muros de mampostería se deben cargar máximo al 60% de su capacidad que, para la mampostería, corresponde a 27 kg/cm² de esfuerzo puro a compresión. (Figura 5.20).

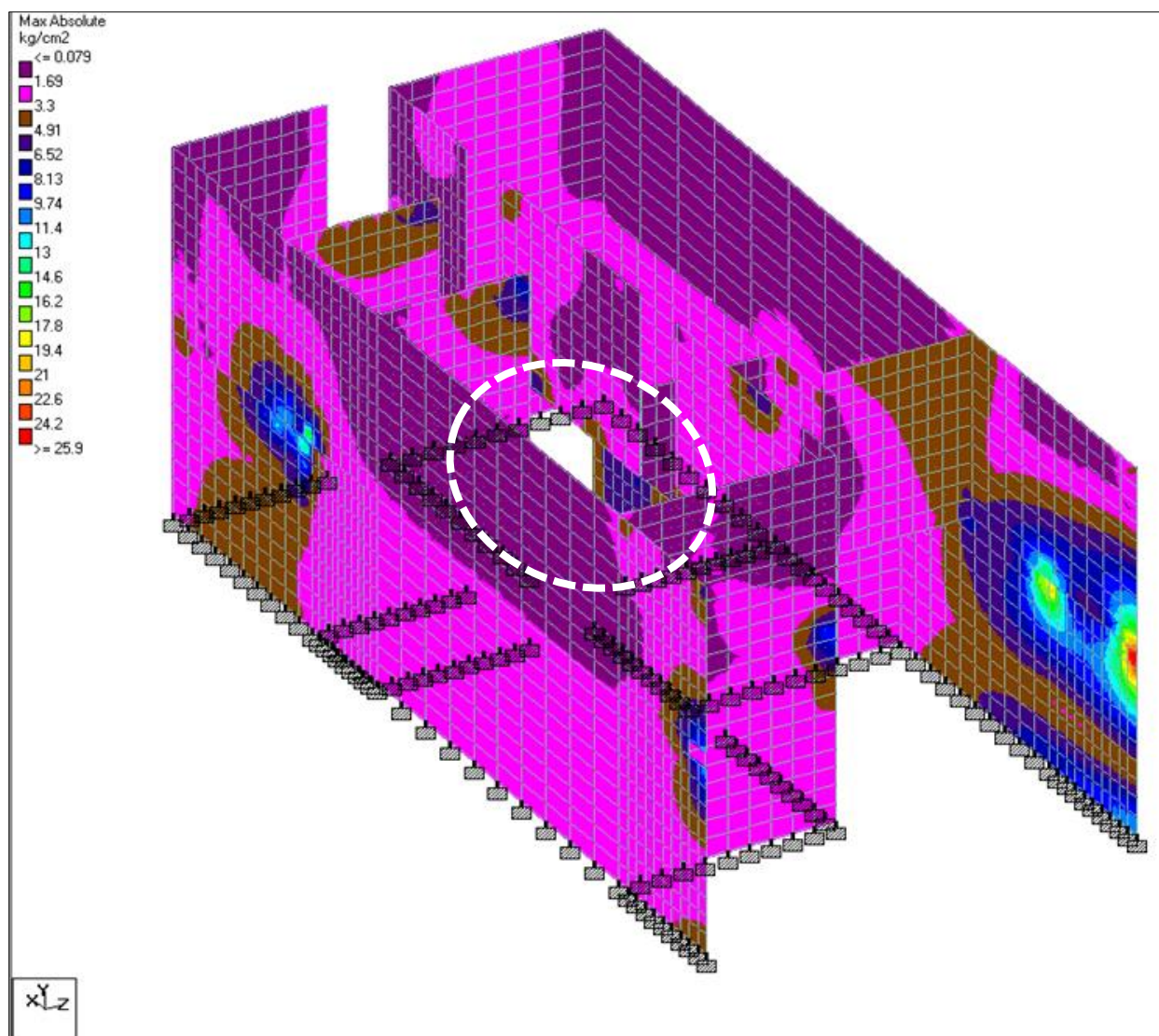
Figura 5.20

Esfuerzo a Compresión de Estructura de la Vivienda



Nota. Modelo de Vivienda Caso de Estudio en STAAD. Elaborado por Ing. Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria descriptiva del cálculo)

Los colores amarillos, naranjas y rojos denotan las partes de la estructura que trabajan con los mayores esfuerzos a compresión, alcanzado hasta el 90% de la capacidad de carga. Esto se explica por un desfase de muros entre planta alta y planta baja (Figura 5.21). Sin embargo, la carga de prototipo de techo verde no caería sobre estas zonas críticas.

Figura 5.21*Zonas Críticas de Esfuerzo a Compresión de Muros*

Nota. Modelo de Vivienda Caso de Estudio en STAAD. Elaborado por Ing. Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria descriptiva del cálculo).

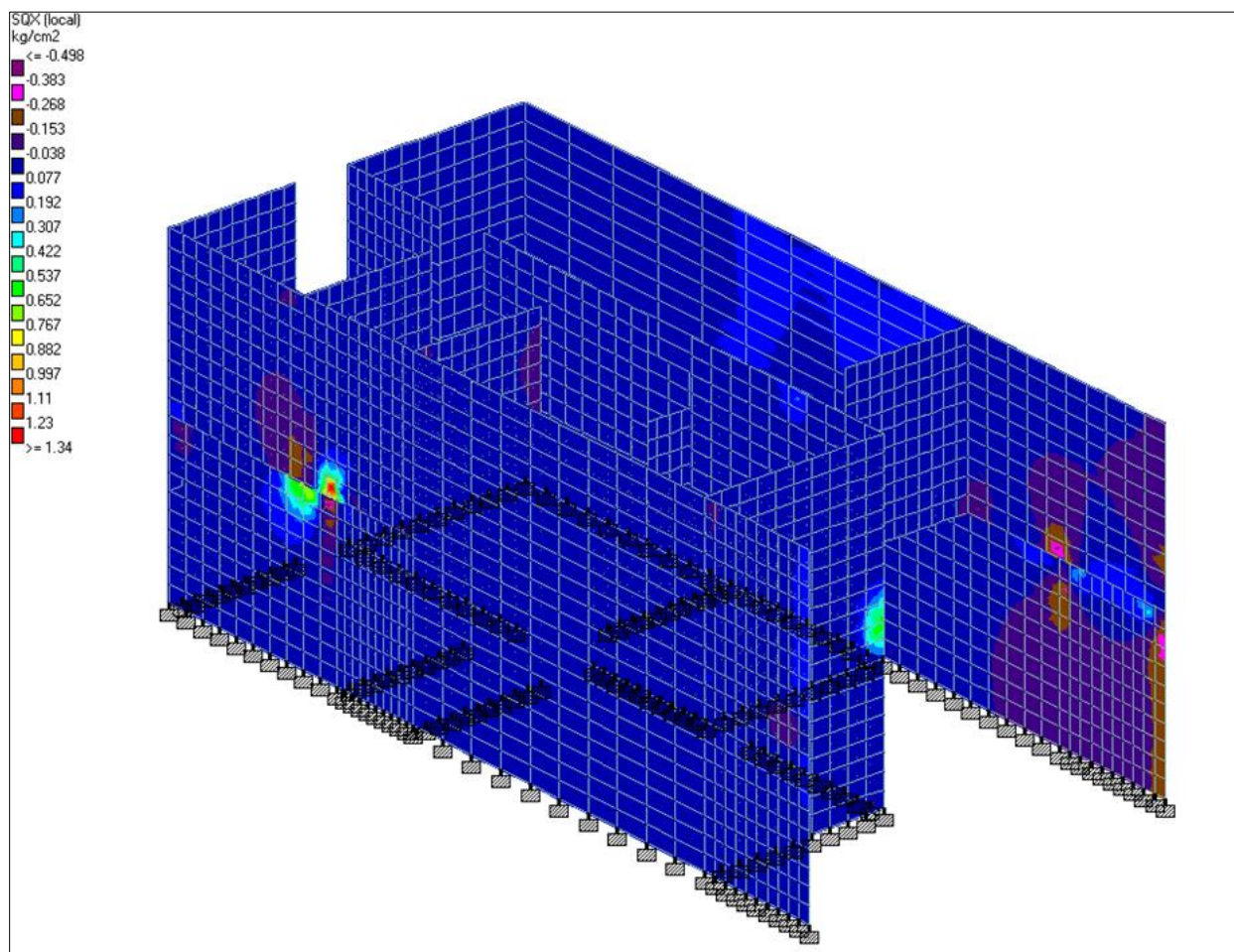
El área dentro del círculo punteado de color blanco representa el lugar donde se instalaría el prototipo de techo verde. Como se aprecia en la imagen, esta área no presenta zonas críticas de esfuerzo a compresión.

Análisis Sísmico

En una simulación por sismo, los muros trabajarían en un rango promedio de 0.077 a 0.192 kg/cm² (Figura 5.22). Este rango se ubica por debajo de los límites máximos establecidos en las Normas Técnicas Complementarias de Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de la Ciudad de México (NTC2008), tomada como referencia para este proyecto.

Figura 5.22

Simulación de Esfuerzos Producidos por Sismo



Nota. Modelo de Vivienda Caso de Estudio en STAAD. Elaborado por Ing. Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria de cálculo).

Aunque existen puntos críticos, donde se alcanzan niveles que sobrepasan en un 30% la capacidad a cortante diagonal en la vivienda, estos no significan una falla catastrófica en caso de un sismo.

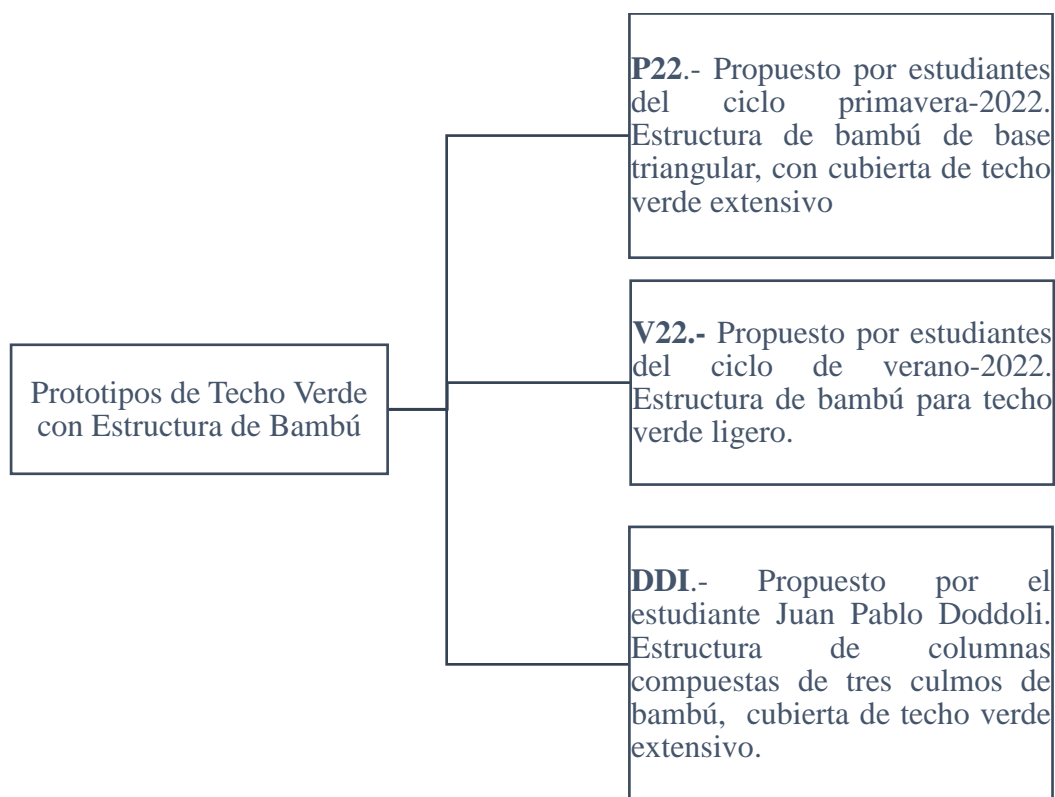
De lo anterior se puede concluir que, el estado actual de la estructura de la vivienda no representa una limitante para la instalación de una estructura de bambú con techo verde. No obstante, es conveniente realizar un análisis del comportamiento de la estructura de la vivienda considerando la carga del techo verde. Cabe mencionar que debe procurarse ubicar el techo verde en las zonas libre de puntos críticos, para mayor seguridad.

5.4 Tres Diseños de Prototipo

Como ya se alertó al lector, el diseño del prototipo de techo verde se condujo a través de un proceso de sinergia y trabajo interdisciplinario con estudiantes del PAP-RSEP. Este proceso originó tres diseños de prototipo de techo verde con estructura de bambú para la vivienda caso de estudio (Figura 5.23).

Figura 5.23

Tres Diseños de Prototipo de Techo Verde



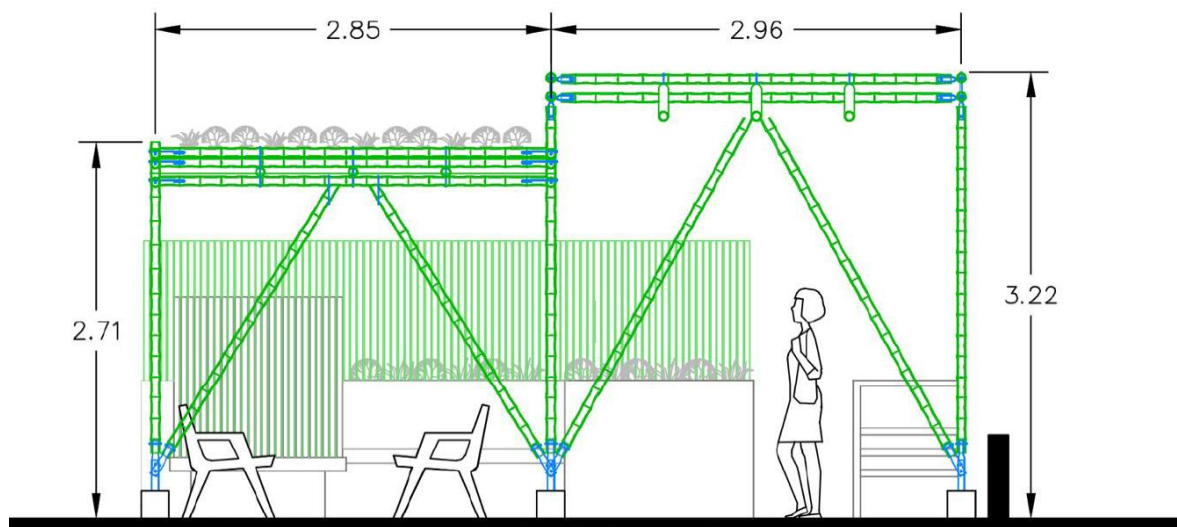
Prototipo P22

Este fue el primer prototipo que se desarrolló. Los estudiantes del PAP-RSEP, primavera-2022, que directamente trabajaron en él fueron Fernanda Ariel Cortes Barrientos, José Pablo Cobos Banda y Miguel Alejandro Navarro Flores.

El P22 es un diseño modular de 3x3 metros (aproximadamente), con cuatro bases triangulares, formadas por una columna y dos contravientos, cada elemento conformado de culmos de bambú individuales (Figura 5.24).

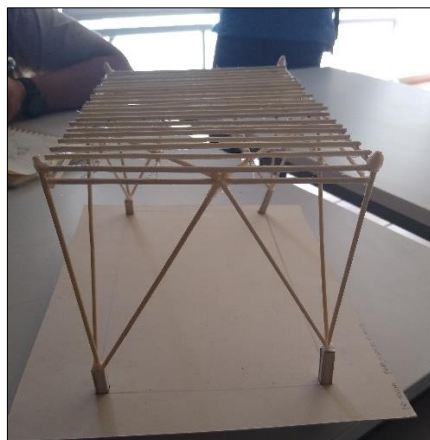
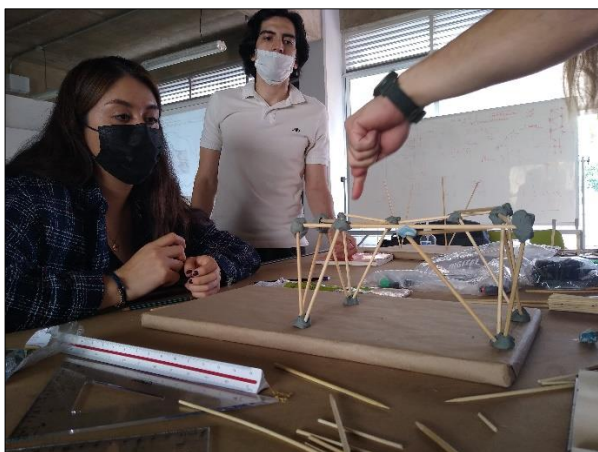
Figura 5.24

Prototipo P22

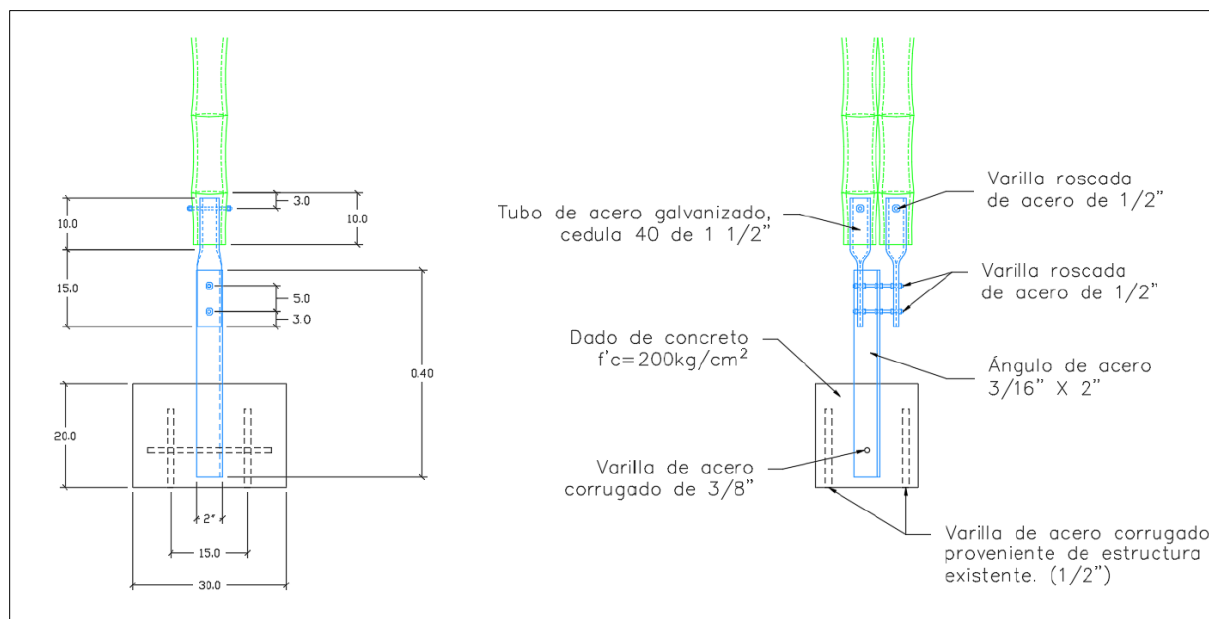


Nota. Se observa la conjunción de dos módulos del prototipo P22. Tomado de *Corte B-B.*, de López Torres *et al* (2022, p. 135), en *Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco* [Reporte de PAP-RSEP], del ciclo primavera-2022, ITESO.

En la Figura 5.25 se puede observar la evolución del modelo a escala con el que se ideó el prototipo P22.

Figura 5.25*Modelo a Escala del Prototipo P22*

Las uniones se propusieron en tubo galvanizado, con conexiones de varilla roscada sujeta con tuercas (Figura 5.26).

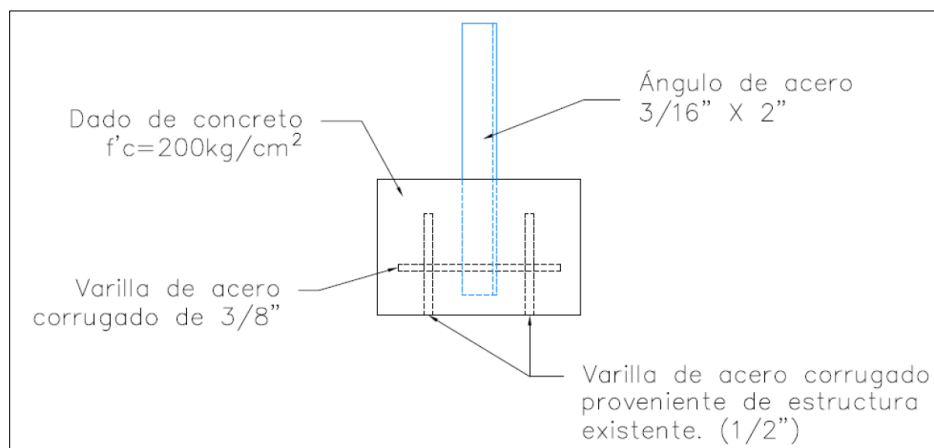
Figura 5.26*Uniones y Conexiones Propuestas en Prototipo P22*

Nota. Tomado de *Corte B-B.*, de López Torres *et al* (2022, p. 135), en Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco [Reporte de PAP-RSEP], del ciclo primavera-2022, ITESO.

Para el anclaje de la estructura del P22 se planteó la construcción de dados de cimentación de 0.20x0.30x0.30cm sobre los castillos existentes. A cada dado se le integra un ángulo de acero de 3/16" por 2", ahogado y anclado al castillo a través de varilla roscada (Figura 5.27).

Figura 5.27

Detalle de Dado de Anclaje del Prototipo P22



Nota. Tomado de *Imagen 2.0 Detalle Dado de Concreto*, de López Torres *et al* (2022, p. 111), en Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco [Reporte de PAP-RSEP], del ciclo primavera-2022, ITESO.

El diseño del P22 se guio del supuesto de que el peso saturado en agua de una cubierta de techo verde extensivo es de $250 \text{ kg}/\text{m}^2$. Con este dato los estudiantes intentaron realizar pruebas de resistencia a la estructura a través del software STAAD. Sin embargo, el cálculo estructural no se concluyó, por lo que las simulaciones realizadas son imprecisas.

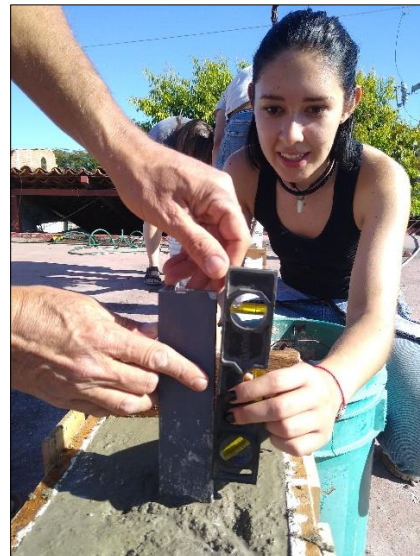
El plan de trabajo estructurado con el PAP-RSEP para primavera-2022 incluía la construcción del prototipo P22. Empero, debido a la mala calidad del material recibido, así como de la imprecisión en los cálculos de la estructura de bambú, esta parte del plan no logró concretarse.

En su lugar, como ya se narró en secciones anteriores de este documento, se construyó una estructura de práctica con ocho culmos de bambú que se consideraron rescatables.

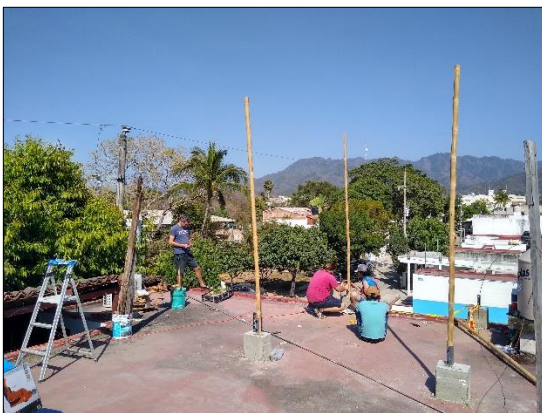
En la [Figura 5.28](#) se muestra una breve memoria fotográfica del trabajo práctico que se llevó a cabo en primavera-2022.

Figura 5.28

Construcción de Estructura de Bambú Durante el Ciclo Primavera-2022



(a)



(b)



(c)

Nota. Donde (a) muestra parte del proceso de construcción de los dados de concreto, propuestos para anclar el prototipo P22; (b) muestra la construcción de la estructura que se realizó en lugar del P22 por las razones antes mencionadas; y (c) exhibe la calidad del material recibido, la imagen de la izquierda muestra la clasificación de los culmos para seleccionar aquellos aptos para emplearse, en tanto, la imagen de la derecha es un acercamiento a los culmos de bambú, puede apreciarse las grietas, hendiduras, manchas por exposición a la radiación solar, así como daños por insectos.

La imposibilidad de construir el prototipo P22 originó que la sinergia con el PAP-RSEP se extendiera hasta el ciclo escolar de verano-2022, cuyos resultados se describen en el siguiente apartado.

Prototipo V22

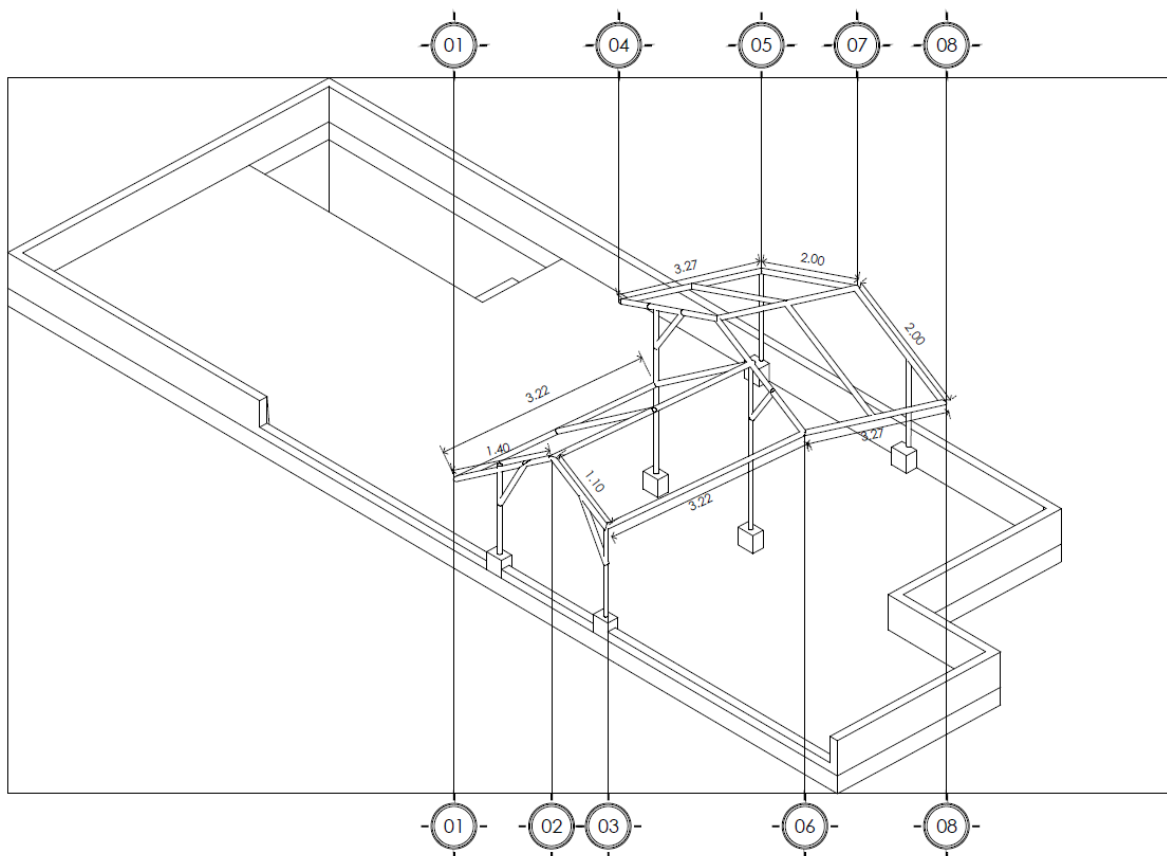
El prototipo V22 se generó con estudiantes del PAP-RSEP del ciclo verano-2022. Aquellos que trabajaron directamente en el diseño del prototipo fueron José Luis Pineda Ochoa, Maximiliano Gutiérrez González, José Pablo Cobos Banda y Miguel Alejandro Navarro Flores (estos últimos estuvieron en el equipo de trabajo de primavera-2022¹²).

¹² Los estudiantes deben cursar dos ciclos de Proyectos de Aplicación Profesional.

Debido a las complicaciones que tuvieron los estudiantes para realizar el cálculo de la estructura, así como de las recomendaciones hechas al prototipo P22 por la experta de Bambufofia durante el ciclo de primavera-2022, el nuevo equipo de estudiantes optó por proponer un nuevo diseño, en el que los principales cambios fueron:

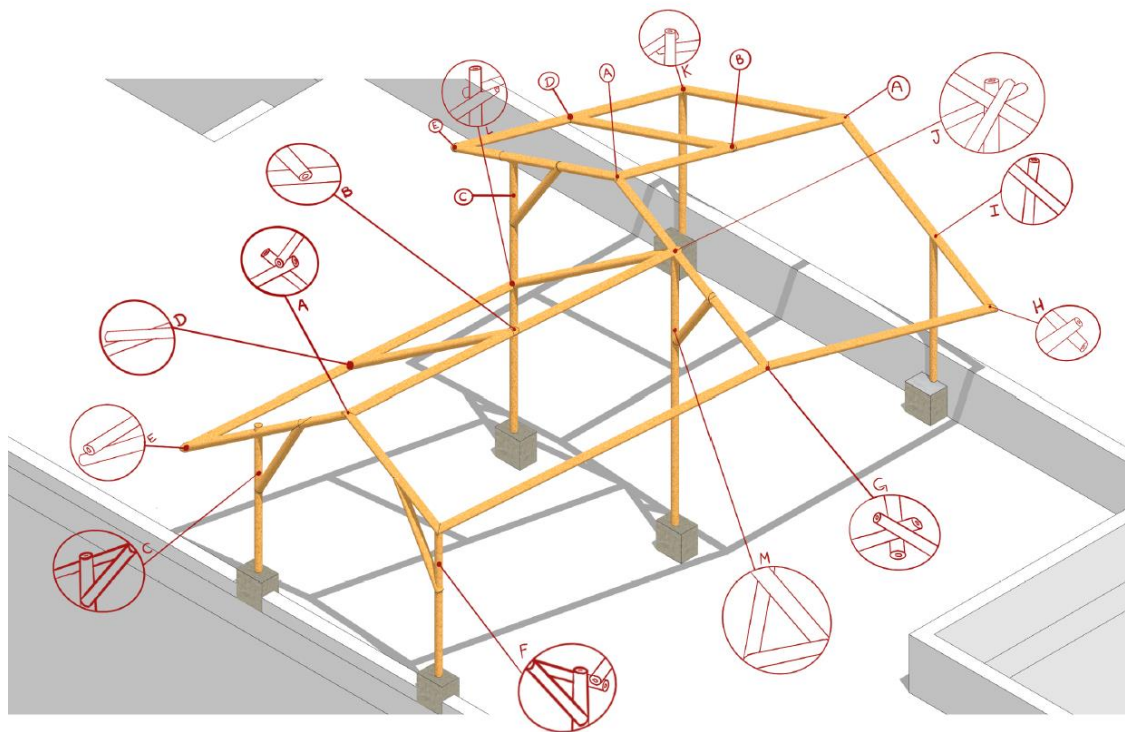
- a) La elección de una cubierta de techo verde ligero en lugar de un techo verde extensivo;
- b) Ampliación de la extensión de la estructura, dejando de lado el concepto modular;
- c) Eliminación de las uniones mediante tubo galvanizado;
- d) Modificación de la altura de anclaje de los contravientos; y
- e) Uso de cubiertas a dos aguas.

El V22 es una estructura que mide 3x6 metros aproximadamente. La cubierta es a dos aguas, presenta diferentes alturas y ángulos para favorecer la proyección de sombra sobre el área de azotea de la habitación experimental ([Figura 5.29](#)).

Figura 5.29*Prototipo V22. Isométrico con Medidas*

Nota. Tomado de *Ilustración 31. isométrico explicando las dimensiones*, de Cortes Barrientos *et al* (2022, p. 49), en *Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco. Autoconstrucción de estructuras de bambú [Reporte de PAP], ITESO.*

Las conexiones se propusieron con varilla roscada y tuercas (conexión pernada); evitaron deliberadamente el empleo de uniones típicas del bambú, como lo son: las bocas de pescado, pico de pato o flauta, por considerarlas complicadas de construir y/o prescindibles. En la [Figura 5.30](#) se aprecia gráficamente las uniones de culmos del prototipo V22.

Figura 5.30*Uniones Propuestas en Prototipo V22*

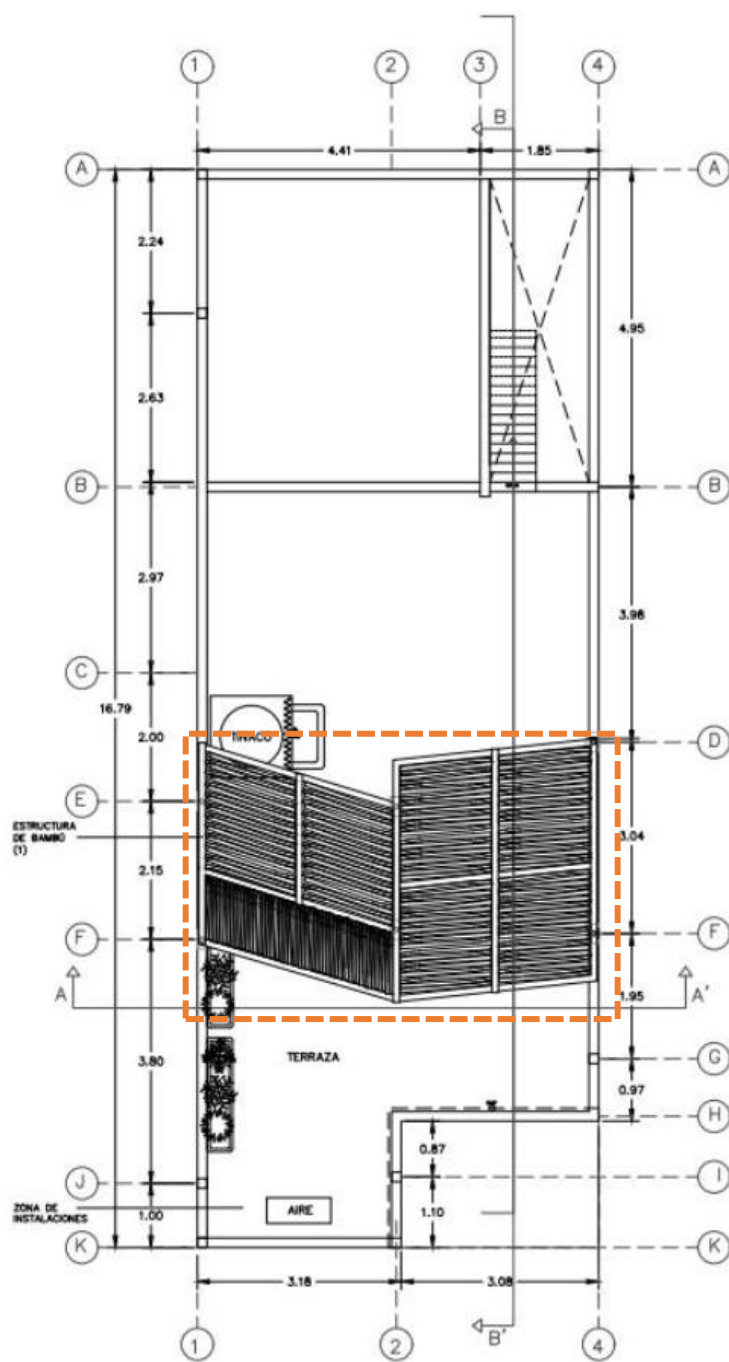
Nota. Tomado de *Ilustración 32. Isométrico explicando las dimensiones*, de Cortes Barrientos *et al* (2022, p. 50), en *Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco. Autoconstrucción de estructuras de bambú [Reporte de PAP], ITESO.*

El anclaje de la estructura se conserva igual al propuesto para el prototipo P22, con la única modificación de necesitar dos dados más.

Debido a un desfase en la ubicación de los castillos de la vivienda, la cubierta del prototipo V22 quedó con un diseño angular a lo largo de la estructura, formando una especie de flecha, vista desde arriba. En la [Figura 5.31](#) se aprecia esta particularidad de la cubierta.

Figura 5.31

Vista Desde Arriba de la Cubierta del Prototipo V22

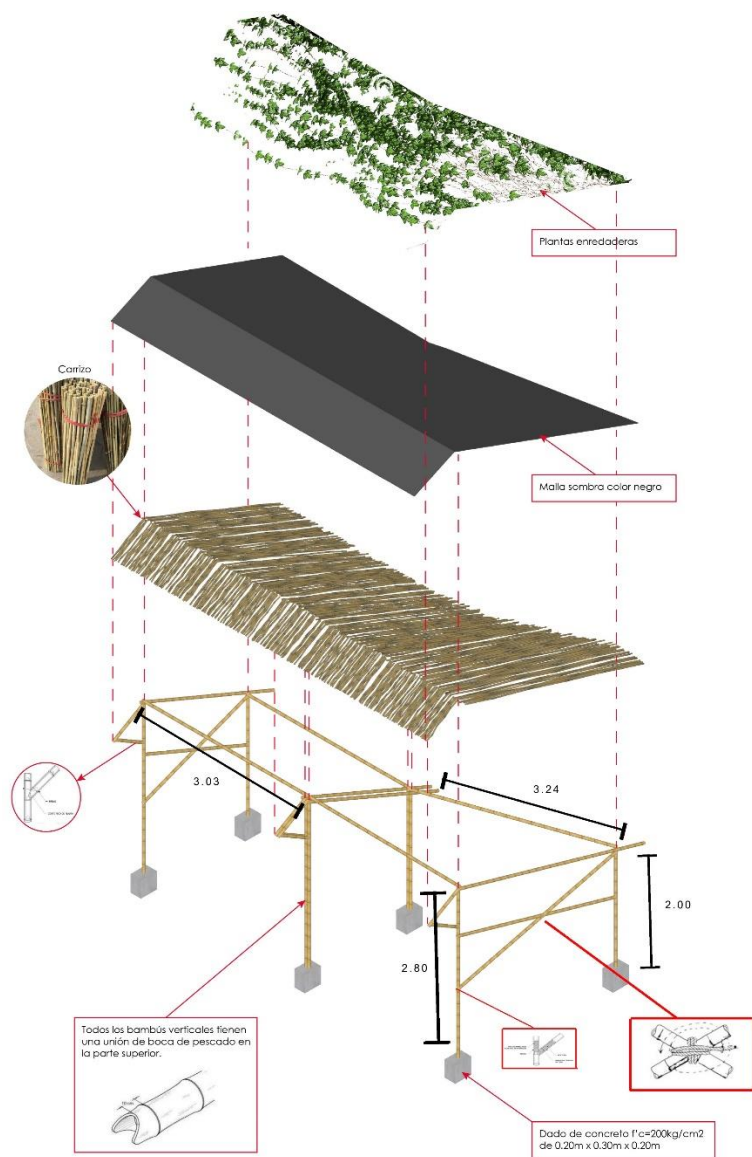


Nota. Adaptado de Ilustración 27. Propuesta arquitectónica a realizar, de Cortes Barrientos *et al* (2022, p. 45), en Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco. Autoconstrucción de estructuras de bambú [Reporte de PAP], ITESO.

Para lograr el techo verde ligero se propuso cubrir el área de la cubierta con carrizo, para que, sobre éste, se dispusiera una malla sombra o plástico *liner*, sobre el que se induciría el crecimiento de enredaderas (Figura 5.32).

Figura 5.32

Diseño del Techo Verde Ligero en Prototipo V22



Nota. Tomado de *Isométrico explotado-con anotaciones*, elaborado por estudiantes del PAP-RSEP de verano-2022.

En la siguiente imagen ([Figura 5.33](#)) se puede ver un fotomontaje del diseño terminado del prototipo V22.

Figura 5.33

Fotomontaje de Prototipo V22



Nota. Tomado de *Ilustración 33. Fotomontaje del diseño terminado*, de Cortes Barrientos *et al* (2022, p. 51), en *Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco. Autoconstrucción de estructuras de bambú [Reporte de PAP], ITESO.*

Al igual que en el ciclo de primavera-2022, se planteó la construcción del prototipo en el plan de trabajo de verano-2022. En esta ocasión, se consiguió material de mejor calidad, a través de la empresa Bambufolia. La [Figura 5.34](#) muestra el proceso de construcción del prototipo V22.

Figura 5.34*Construcción de Prototipo V22*

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)

Nota. En (a) se muestran los culmos de la especie *G. angustifolia* que se adquirieron para construir la estructura, puede apreciarse que los culmos están organizados por tamaño, éstos fueron cortados en el laboratorio de ITESO y posteriormente transportados a la ubicación de la vivienda caso de estudio por los propios estudiantes; en (b) se observa a tres de los estudiantes colocando una de las columnas de la estructura; (c) muestra las seis columnas de la estructura ya ancladas a los dados; en (d) se observa el armado de las estructuras que conformarán la cubierta, previo a su instalación; en (e) los estudiantes están colocando uno de los contravientos; (f) muestra la estructura de la cubierta que se muestra en (d), ya colocada en su sitio; finalmente, en (g) se observa el trabajo completo que realizaron los estudiantes.

Además de los cuatro miembros del equipo, el estudiante Rodrigo Padilla Arregui apoyó en la construcción de la estructura. Sin embargo, esta quedó inconclusa al faltarle por completo la cubierta de carrizo que proporcionaría sombra y protegería al bambú de la radiación solar. Por consiguiente, la capa de *liner* sobrepuesta al carrizo tampoco se instaló, esta debía proteger al bambú de la lluvia.

En conclusión, la estructura de bambú quedó expuesta a los elementos de sol y lluvia, de los que debería protegerse desde el diseño. Por otra parte, los estudiantes cometieron errores técnicos de los que se discutirá en el apartado de conclusiones.

Prototipo DDI

El prototipo DDI se desarrolló con la colaboración del egresado de ingeniería civil, Juan Pablo Doddoli. Para su elaboración se consensó con él una estructura preliminar basada en el modelo a escala que se realizó durante el taller virtual *Modelo a Escala de Bambú* (Figura 5.35).

Figura 5.35

Modelo de Referencia para el Diseño del Prototipo DDI



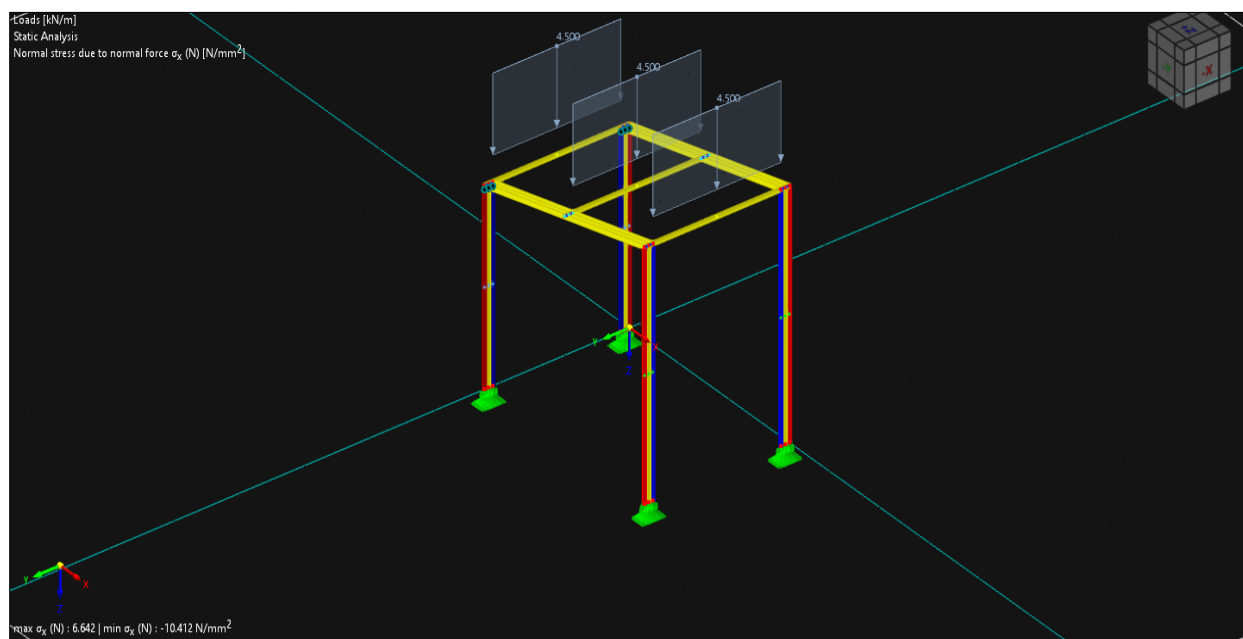
Nota. Maqueta realizada durante el *Taller Virtual Modelo A Escala de Bambú* por quien suscribe este documento, con la guía y recomendaciones de las instructoras del taller, que tuvo una duración de 32 horas y se llevó a cabo el 2, 3, 9 y 10 de octubre del 2021.

La estructura preliminar consistió en un diseño modular con una geometría básica de un claro de 2x3 metros; columnas compuestas de tres culmos de *G. angustifolia*, de 8cm de diámetro;

con una altura que va de los 2.5 metros a los 2.0 metros; traveses del mismo diámetro de un solo culmo; y una viga intermedia de la misma dimensión geométrica (Figura 5.36).

Figura 5.36

Estructura Preliminar del Prototipo DDI



Nota. Modelo de la estructura preliminar del prototipo DDI. Elaborado en el software REFEM por Ing. Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria de cálculo).

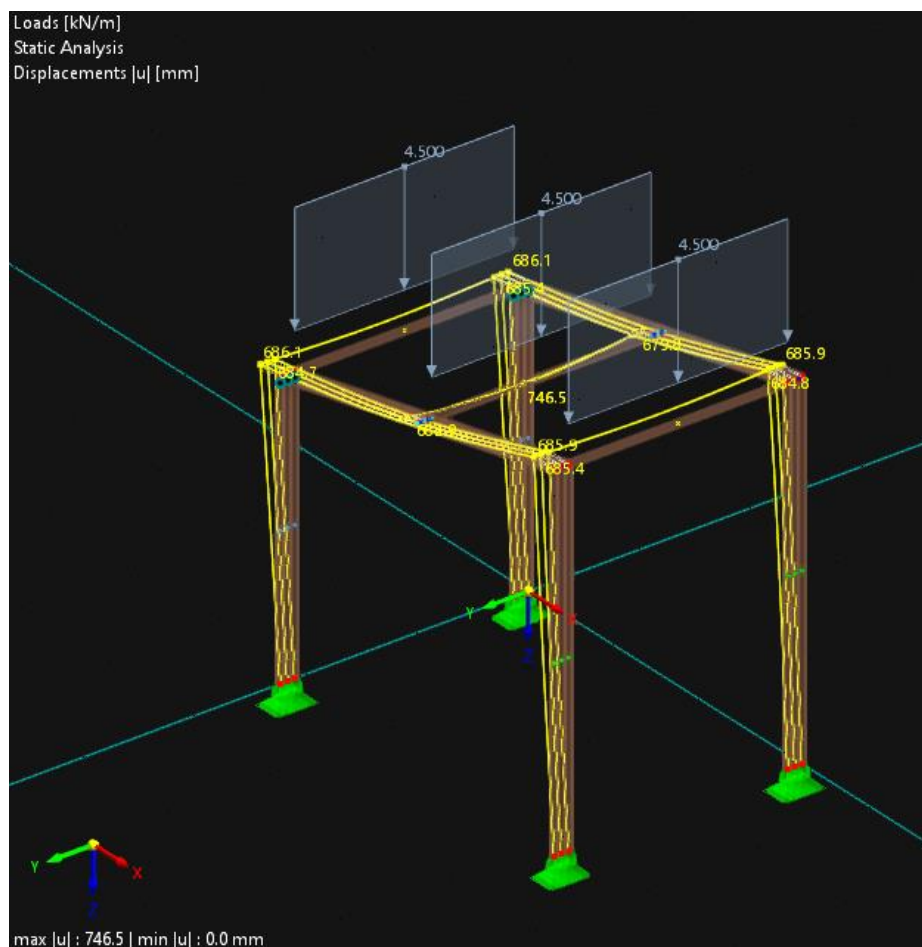
Esta primera estructura del prototipo DDI se sometió a un análisis de resistencia y deformación mediante el *software* REFEM, que permite el análisis de modelos estructurales con materiales como el bambú, que no se comportan isotrópicamente. Con los resultados alcanzados se hicieron modificaciones al diseño de la estructura hasta conseguir una propuesta final del prototipo.

Para el análisis de la estructura preliminar se aplicó una carga por servicio de 450 kg/cm^2 (44.12 N/mm^2), correspondiente al peso saturado en agua de un techo verde extensivo más carga viva. Los resultados indican que las columnas propuestas resisten un esfuerzo a compresión de

entre 106 kg/cm^2 y 67.7295 kg/cm^2 (10.42 N/mm^2 hasta 6.642 N/mm^2) (Doddoli, 2022). Estos valores se encuentran por debajo del esfuerzo máximo admisible a compresión paralela reportado para *G. angustifolia* (ver Tabla 2.4), que oscila entre 132.563 kg/cm^2 a 240 kg/cm^2 (13 N/mm^2 a 23.7 N/mm^2) (Norma Técnica E-100 Bambú, 2020; NTC-Madera, 2017; Kaminski et al, 2016; NEC-SE-Guadúa, 2016; y NSR-10 G, 2010). Sin embargo, la estructura sufre una deformación en las vigas de hasta un 90% del límite máximo permisible (Figura 5.37).

Figura 5.37

Deformación de la Estructura Preliminar de Prototipo DDI



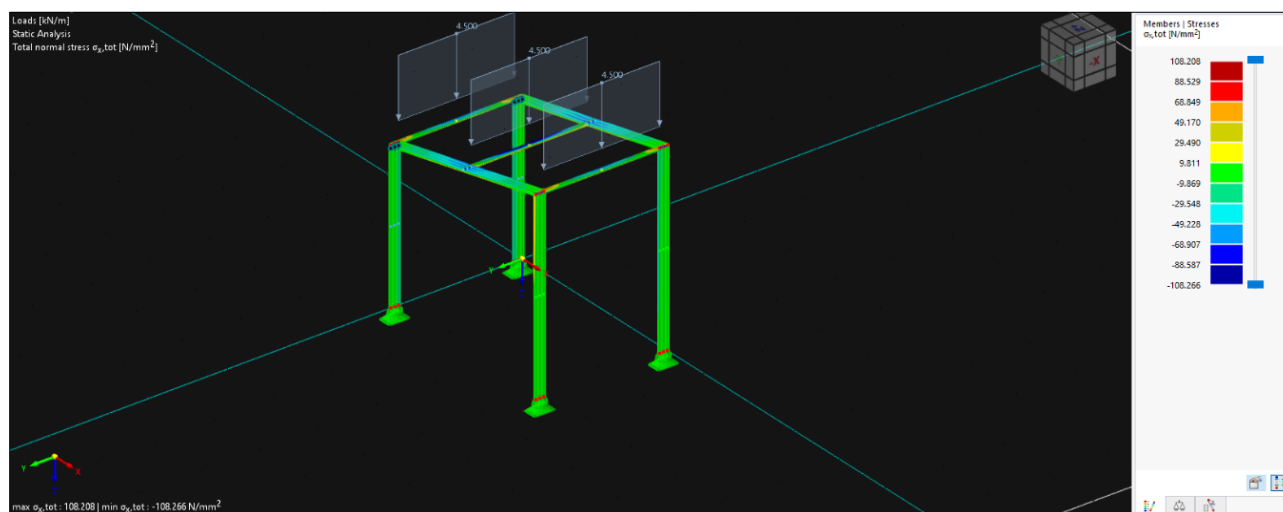
Nota. Modelo realizado en REFEM. Elaborado por Ing. Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria de cálculo). En color amarillo se aprecian los valores de la deformación en milímetros.

Como se aprecia en la imagen, la viga ubicada al centro del claro es la que presenta la mayor deformación, con 0.746 metros (Doddoli, 2022). Aunque este valor se mantiene por debajo del valor máximo permisible de 0.83 metros para un elemento de dos metros de largo, resulta conveniente, por principio de precaución, agregar elementos a la trabe y a las vigas para disminuir la deformación producida por la carga vertical del techo verde extensivo.

En cuando a los esfuerzos por deformación, se alcanzan valores de hasta $1,091 \text{ kg/cm}^2$ (106.9906 N/mm^2) en la conexión trabe/columnas (Figura 5.38) (Doddoli, 2022)., cuando el máximo permitido es de 683.21 kg/cm^2 (67 N/mm^2).

Figura 5.38

Esfuerzos por Deformación de la Estructura Preliminar del Prototipo DDI

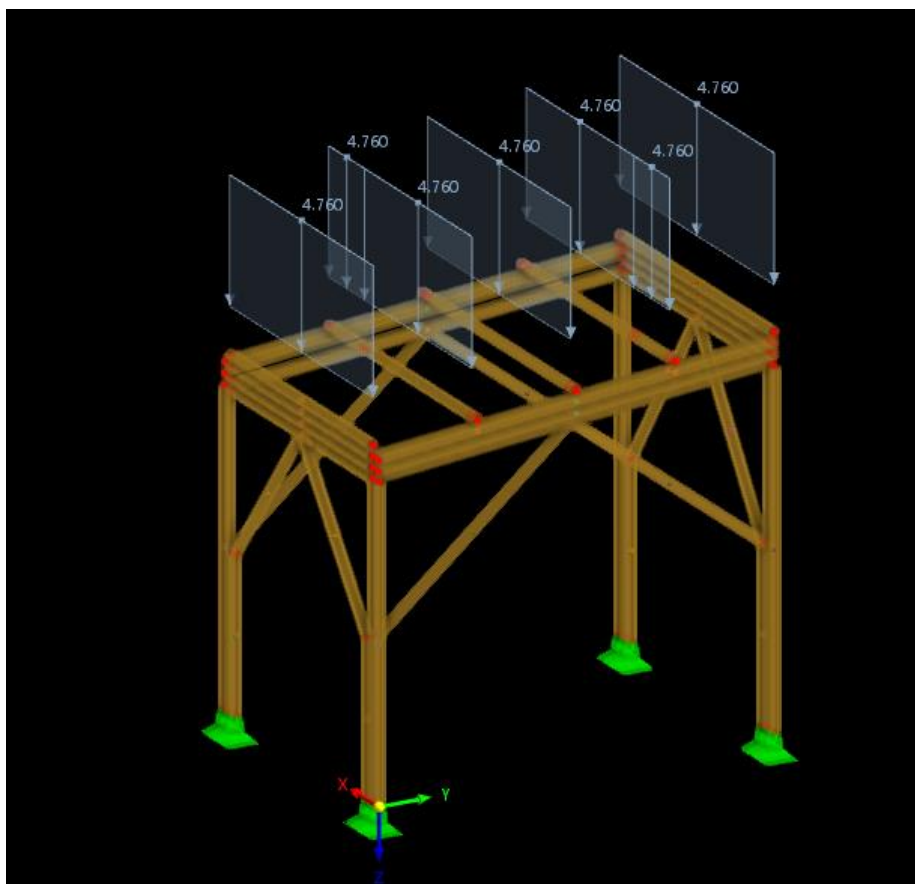


Nota. Elaborado en REFEM por Ing. Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria de cálculo)

Con estos resultados se hicieron mejoras a la estructura preliminar, consistentes en reforzar la trabe con elementos compuestos de dos culmos de bambú; así como incrementar el número de vigas de tres a cinco, para quedar equidistantes entre ellas por 0.60 metros. De igual forma, se agregaron contravientos en cada columna en dos direcciones (Figura 5.39).

Figura 5.39

Estructura Final del Prototipo DDI



Nota. Modelo realizado en REFEM por Ing. Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria de cálculo).

Revisión Estructural de la Vivienda más Prototipo DDI

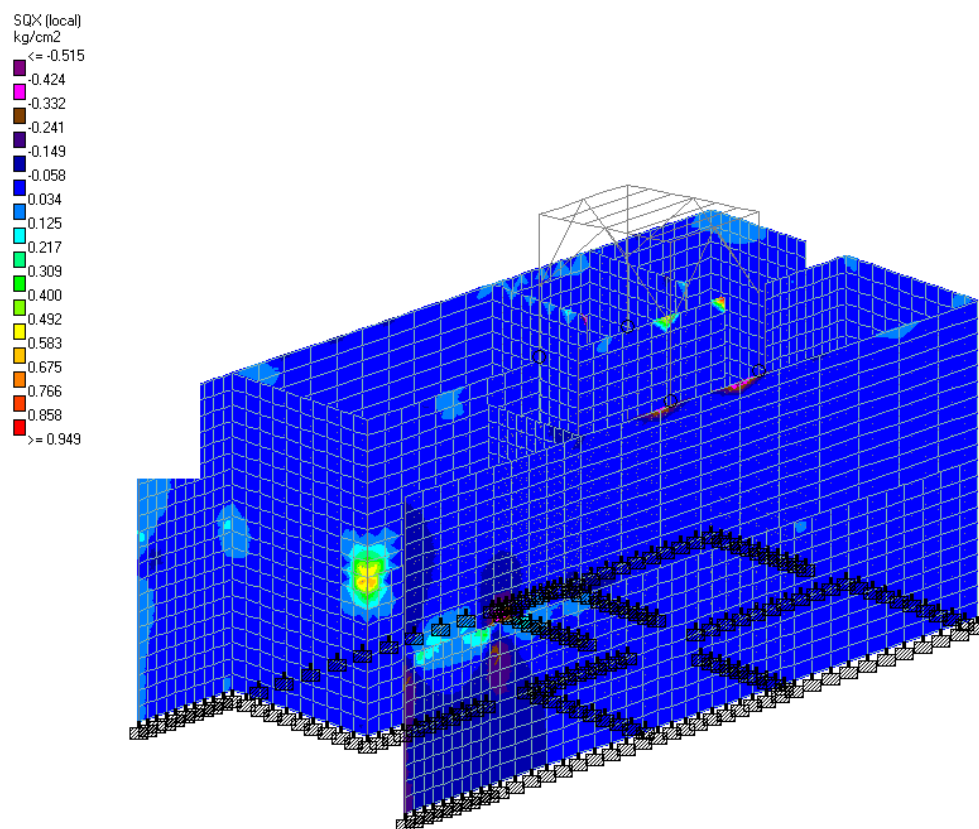
Se realizó un análisis sísmico, por viento y de carga vertical a la estructura de la vivienda caso de estudio con la adición del prototipo DDI, a través del software STAAD. Para revisar las cargas de servicio se utilizó un factor de ampliación de 1.4cm y 1.6 CV como factor de revisión. Los resultados indican que el prototipo DDI agrega un esfuerzo de carga de servicio de 6.15 kg/cm² a

la estructura de la vivienda. Esto significa que los parámetros de carga de servicio se mantienen dentro de los límites máximos permisibles (Doddoli, 2022).

En cuanto al análisis sísmico, con la adición del prototipo DDI la estructura de la vivienda incrementa el periodo, pero conserva una participación modal en cada uno de sus sentidos por arriba del 80%. Asimismo, el mayor desplazamiento durante un sismo lo obtendría el prototipo DDI debido al cambio de rigidez entre los materiales de ambas estructuras: mampostería y bambú (Figura 5.40) (Doddoli, 2022).

Figura 5.40

Aportación Sísmica del Prototipo DDI a la Vivienda



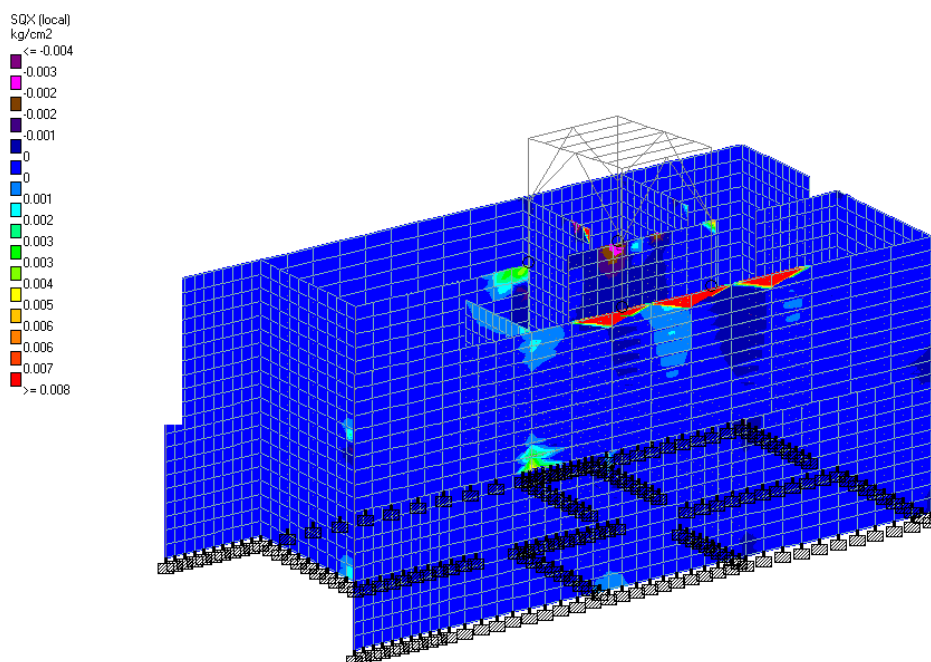
Nota. Elaborado en STADD por Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria de cálculo)

Como se puede observar en la imagen anterior, el prototipo DDI no representa un riesgo de falla catastrófica para la estructura de la vivienda, su inferencia es de poca magnitud. No obstante, cabe recordar la importancia de anclar la estructura en dados que sean extensiones de los castillos existentes para alcanzar una plena articulación (Doddoli, 2022).

Finalmente, sobre las cargas por viento, el prototipo DDI le produce a la estructura cargas por debajo de los del 0.1 kg/cm^2 , lo que resulta insignificante al considerar que la mampostería puede resistir hasta 1 kg/cm^2 en tensión (Figura 5.41) (Doddoli, 2022).

Figura 5.41

Aportación por Viento del Prototipo DDI a la Vivienda



Nota. Elaborado en STADD por Ing. Juan Pablo Doddoli (2022, se anexa memoria de cálculo).

Capítulo 6.

Zonas Prioritarias para Establecer Techos Verdes

Este capítulo se dedica a la elaboración de un mapa de Isla de Calor Urbana para la ciudad de Puerto Vallarta, desarrollado en colaboración con el geógrafo Samuel Alatorre. Asimismo, se presenta un análisis para determinar zonas prioritarias para establecer techos verdes dentro del área de estudio.

6.1 Isla de Calor Urbana en Puerto Vallarta

El fenómeno de Isla de Calor Urbana (UHI por su sigla en inglés) puede medirse usando dos tipos de temperaturas: 1). – la temperatura del aire o del ambiente; y 2). – la temperatura superficial radiante (Phelan *et al*, 2015). En nuestro caso, ambos tipos de temperatura fueron empleados para elaborar un mapa de la UHI en Puerto Vallarta, Jalisco.

Con la ayuda de sistemas de información geográfica (SIG) se elaboraron dos mapas¹³, uno por tipo de temperatura, posteriormente estos se extrapolaron y se generó un mapa único en el que lo que se ve reflejado es la *Temperatura Efectiva*, entendida como la relación entre la temperatura ambiental y la temperatura superficial. La extrapolación se realizó con la fórmula propuesta por Mayorga Cervantes (2012, p. 85):

$$te = 0.5 (ta - tr) \quad (2)$$

Donde:

te = Temperatura efectiva

ta = Temperatura ambiental o del aire

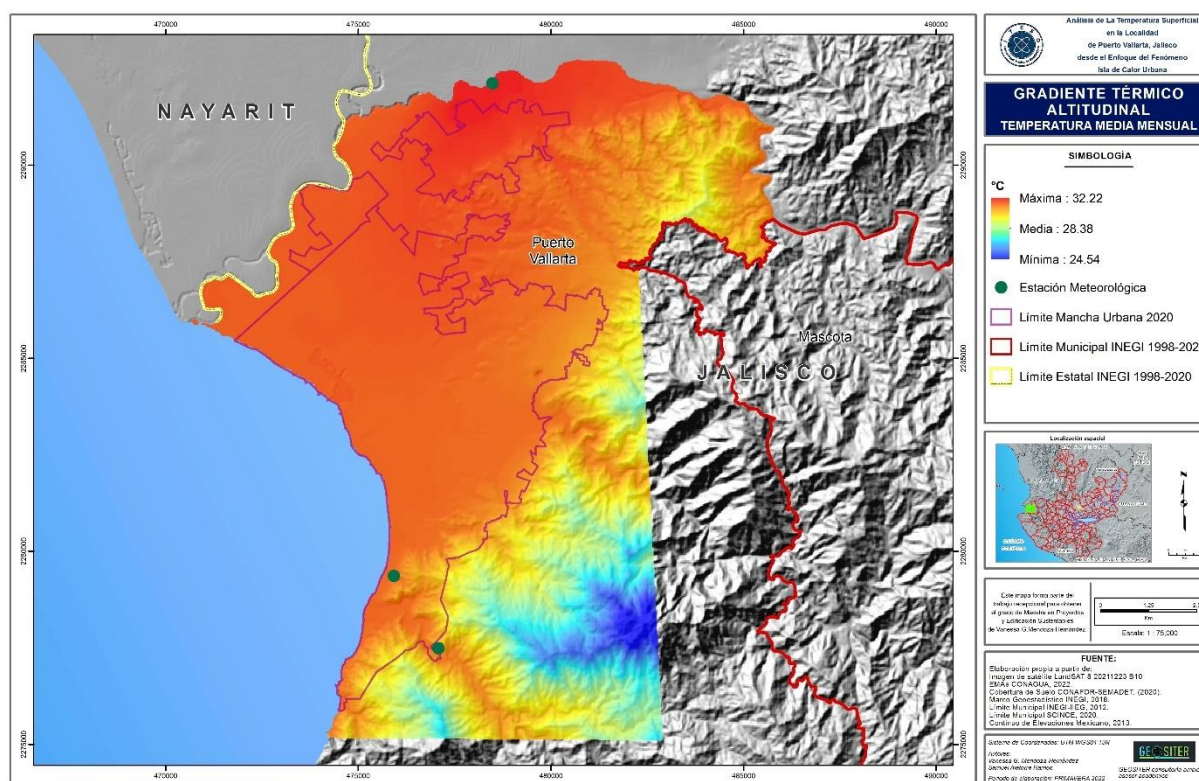
tr = Temperatura superficial radiante

¹³ Los mapas se realizaron para este proyecto en colaboración con el geógrafo Samuel Alatorre.

El mapa de temperatura ambiental se elaboró con las normales climáticas registradas por estaciones meteorológicas automatizadas (EMAs) operadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). La **Figura 6.1** muestra el mapa de *temperatura ambiental* con el gradiente de temperatura media.

Figura 6.1

Mapa de Temperatura Ambiental (ta) de Puerto Vallarta



Nota. Elaborado en colaboración con el geógrafo Samuel Alatorre.

El mapa de *temperatura ambiental* se cruzó con la variable de curvas de nivel por medio de un modelo digital de elevación. Puede observarse que las temperaturas más bajas se encuentran en las zonas de mayor altitud e incrementan conforme se acercan a los niveles del mar. Con este mapa no se comprueba fehacientemente el fenómeno de la UHI en Puerto Vallarta, ya que no se

logra distinguir variaciones de temperaturas dentro de la zona urbana y los resultados pueden atribuirse simplemente a la topografía, a la altitud y a los tipos de vegetación.

Por su parte, el mapa de *temperatura superficial radiante* se elaboró a partir de una imagen de satélite LandsAT serie 8 banda 10, con fecha del 23 de diciembre del 2021. La banda 10 de la imagen satelital detecta la radiación que emiten las superficies. Entonces, para leer esta información en términos de temperatura se utiliza la siguiente fórmula¹⁴:

$$tr = (1321.08 / \ln(774.89 / (.0003342 * "banda10.tiff" + .1)*1)) - 273.15 \quad (3)$$

Donde

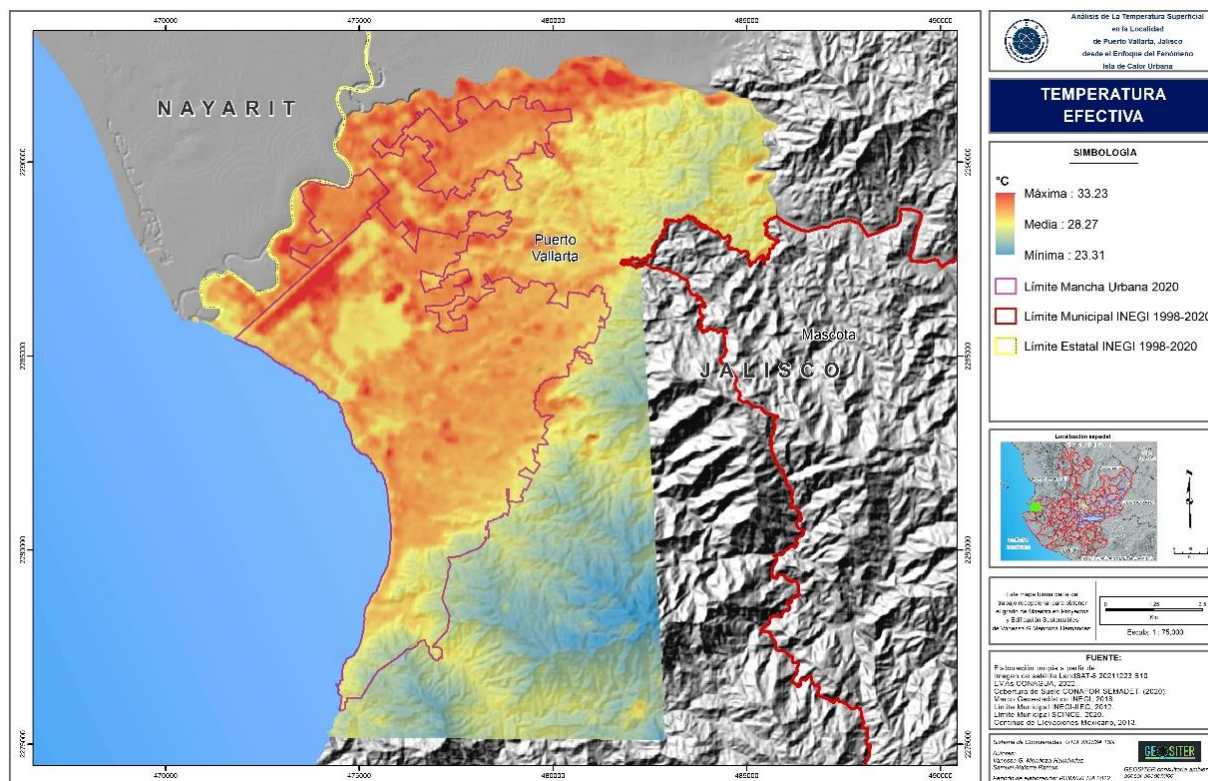
tr = temperatura superficial radiante

La **Figura 6.2** muestra el mapa resultante de la extrapolación de los mapas de *temperatura ambiental* y *temperatura ambiental radiante* para generar el mapa de UHI a través de la temperatura efectiva.

¹⁴ Para más información consultar la página https://www.usgs.gov/centers/eros/science/landsat-collection-2-data-dictionary#landsat_scene_id

Figura 6.2

Mapa de Isla de Calor en Puerto Vallarta a Través de la Temperatura Efectiva (te)

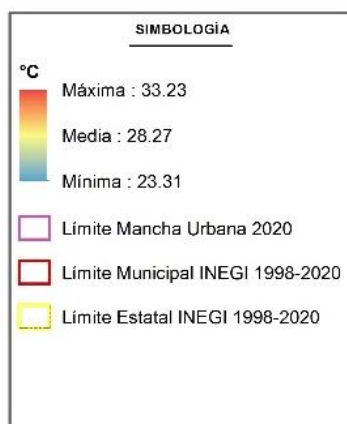
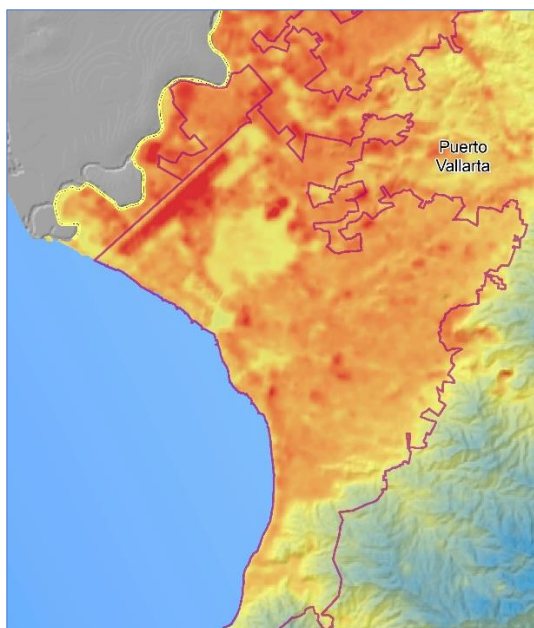


Nota. Elaborado en colaboración con el geógrafo Samuel Alatorre.

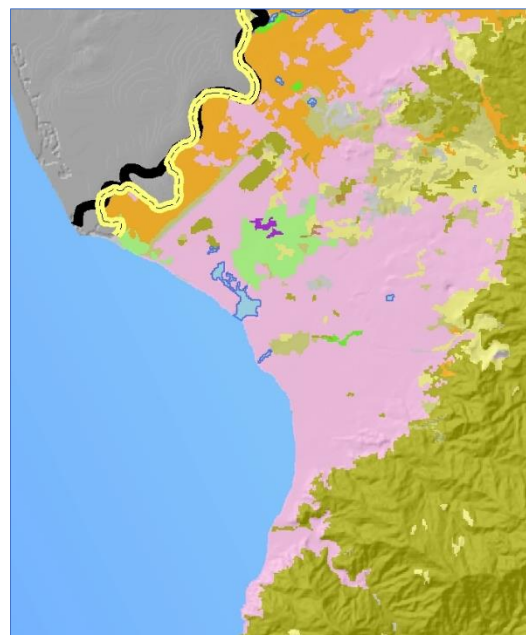
Comparado con el mapa de *temperatura ambiental*, en el mapa de *temperatura efectiva* es posible distinguir las variaciones de temperatura respecto áreas construidas y áreas verdes dentro de la ciudad y a sus alrededores. Por ejemplo, es muy claro como el área del aeropuerto demarca un rectángulo rojo en la zona noroeste de la ciudad, en cambio, el área del manglar se refleja en colores amarillos, con diferencias de al menos 5°C entre ambas áreas. Lo anterior se observa de mejor manera en la Figura 6.3, en la que se compara el mapa de *temperatura efectiva* con un mapa de cobertura de suelo y una imagen satelital.

Figura 6.3

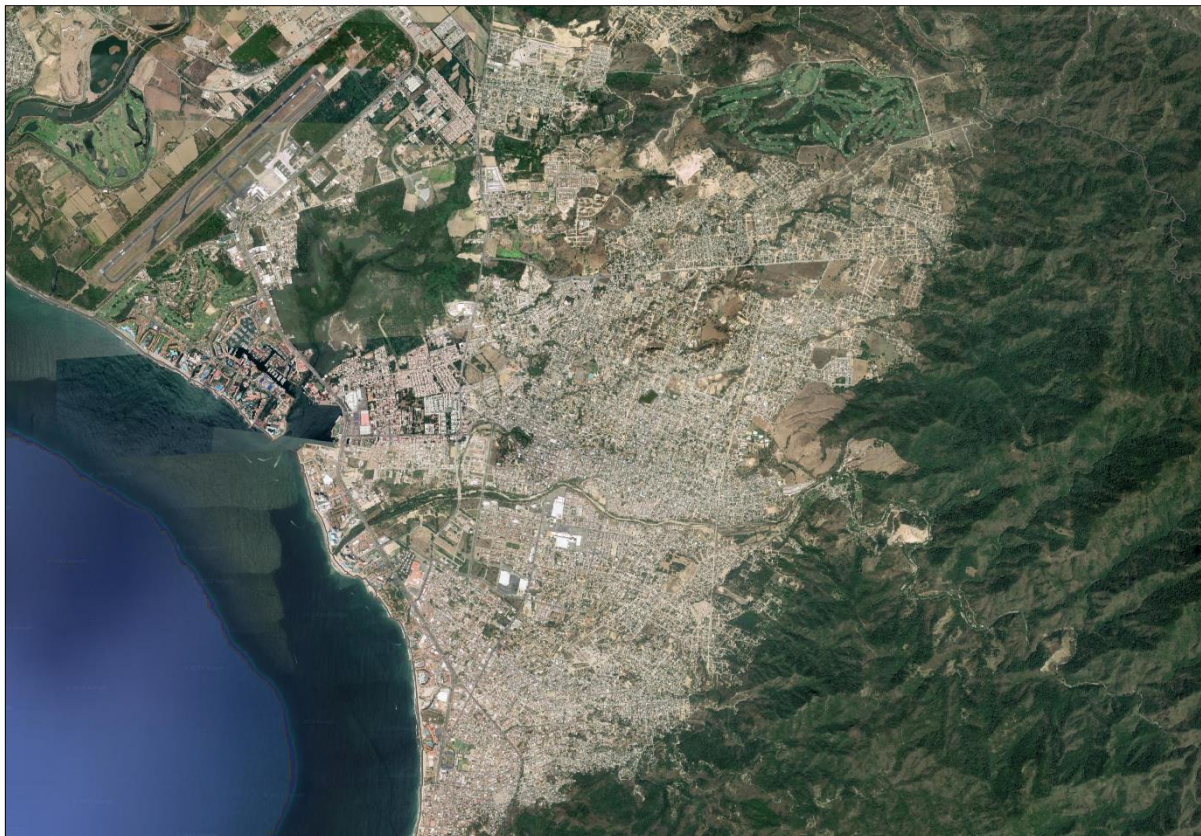
Comparación Entre Temperatura Efectiva y Cobertura del Suelo



(a)



(b)



(c)

Nota. Donde (a) es el mapa de *temperatura efectiva*, elaborado en colaboración con el geógrafo Samuel Alatorre; (b) es el mapa de cobertura del suelo, elaborado en colaboración con el geógrafo Samuel Alatorre; y (c) es una imagen satelital de *Google Earth* del año 2022.

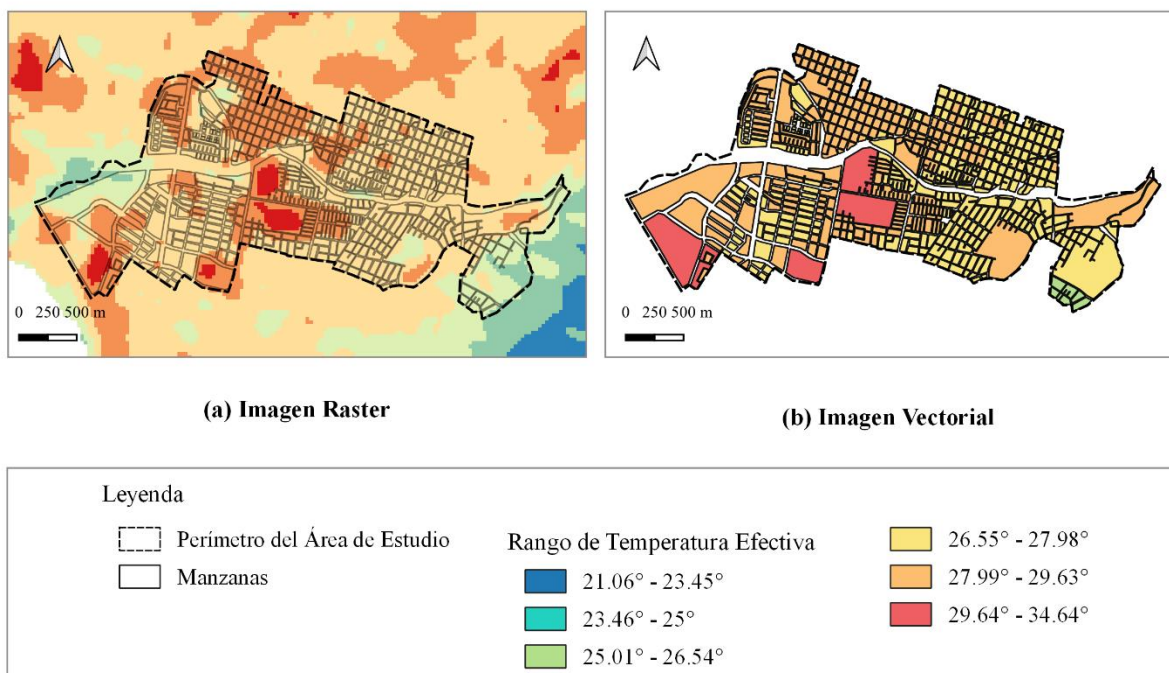
El rango de temperatura efectiva oscila entre los 23.31°C a los 33.23°C , lo que significa una diferencia de 9.92°C entre la mínima y la máxima, con una temperatura media de 28.27°C . Ahora bien, en el capítulo 1 se estableció que la UHI es un fenómeno complejo que presenta variaciones. Los datos aquí obtenidos son del mes de diciembre, en otoño, con datos de la imagen satelital recolectados el durante el día. Considerado lo anterior, podría esperarse que los rangos de temperatura de la UHI sean mayores en el mes de agosto, cuando se presentan las mayores temperaturas del año en Puerto Vallarta. Por el contrario, este rango podría ser menor durante el mes de enero, con la presencia de las temperaturas más bajas.

6.2 Rangos de Temperatura Efectiva por Manzana

El *Mapa de Isla de Calor en Puerto Vallarta a Través de la Temperatura Efectiva (te)* es una imagen ráster en la que cada píxel representa un cuadrante de 30x30 metros. Con la finalidad de determinar las zonas prioritarias para establecer techos verdes dentro del área de estudio, se convirtió el archivo ráster a archivo vectorial (*shape*) para poder establecer el rango de temperatura por manzana (Figura 6.4).

Figura 6.4

Rango de Temperatura por Manzana del Área de Estudio



Nota. Elaborado con datos del Marco Geoestadístico del INEGI (2020) y el *Mapa de Isla de Calor en Puerto Vallarta a Través de la Temperatura Efectiva (te)*.

Nótese de la imagen ráster que una misma manzana puede contener varios rangos de temperatura. Cuando era el caso, al convertir la información a *shape*, el SIG consideró el rango con las temperaturas más elevadas para caracterizar toda manzana, independientemente del área

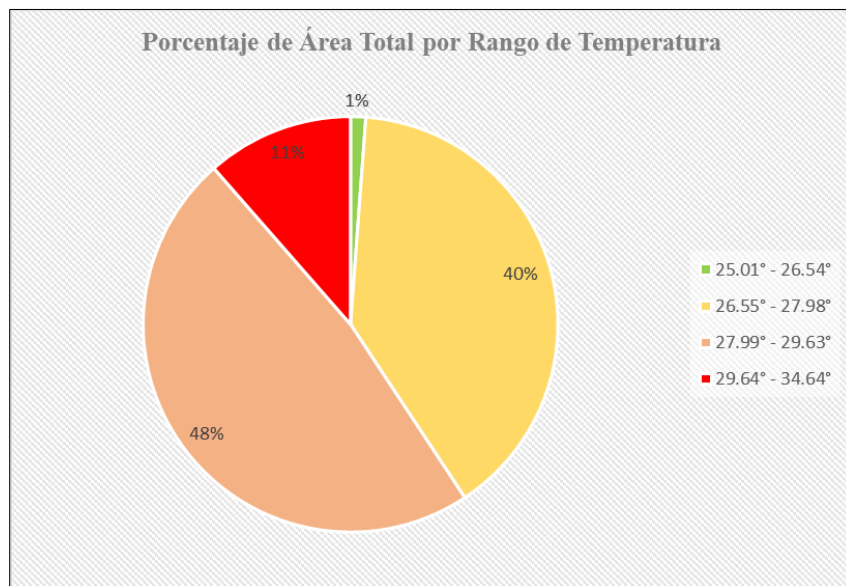
que abarcara cada rango. Si bien la resultante no es del todo precisa, de esta manera es posible realizar un análisis a partir de donde se presentan los rangos de temperatura más elevados (Tabla 6.1).

Tabla 6.1

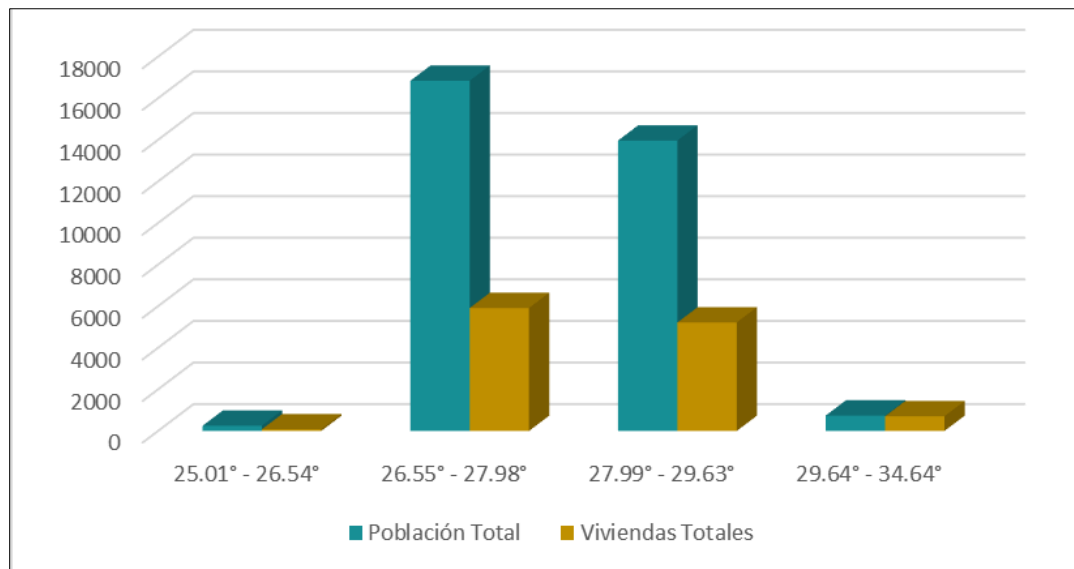
Rango de Temperatura por Manzana en el Área de Estudio

Rango de Temperatura	Manzanas	Área Total (ha)	Población Total	Viviendas Totales	Pob/Viv
25.01° - 26.54°	7	4.617638269	249	80	3.1
26.55° - 27.98°	301	154.4214485	16,838	5910	2.8
27.99° - 29.63°	232	186.8520124	13,965	5216	2.6
29.64° - 34.64°	6	44.78492582	741	707	1.0
Total	546	390.6760249	31,793	11,913	

En total, el área de estudio cuenta con 546 manzanas. Del total del área de las manzanas, (390.67 hectáreas), un 48% se ubica en el rango de los 27.99° C a 29.63°C; seguido por un 40% en el rango de los 26.55°C a los 27.98°C (ver Figura 6.5 y Figura 6.6).

Figura 6.5*Área por Rango de Temperatura*

Nota. Elaborado con datos del Marco Geoestadístico del INEGI (2020).

Figura 6.6*Población y Viviendas por Rango de Temperatura*

Nota. Elaborado con datos del Marco Geoestadístico del INEGI (2020).

6.3 Criterios para Priorizar el Establecimiento de Techos Verdes

En la determinación de zonas prioritarias para establecer techos verdes se consideraron dos criterios:

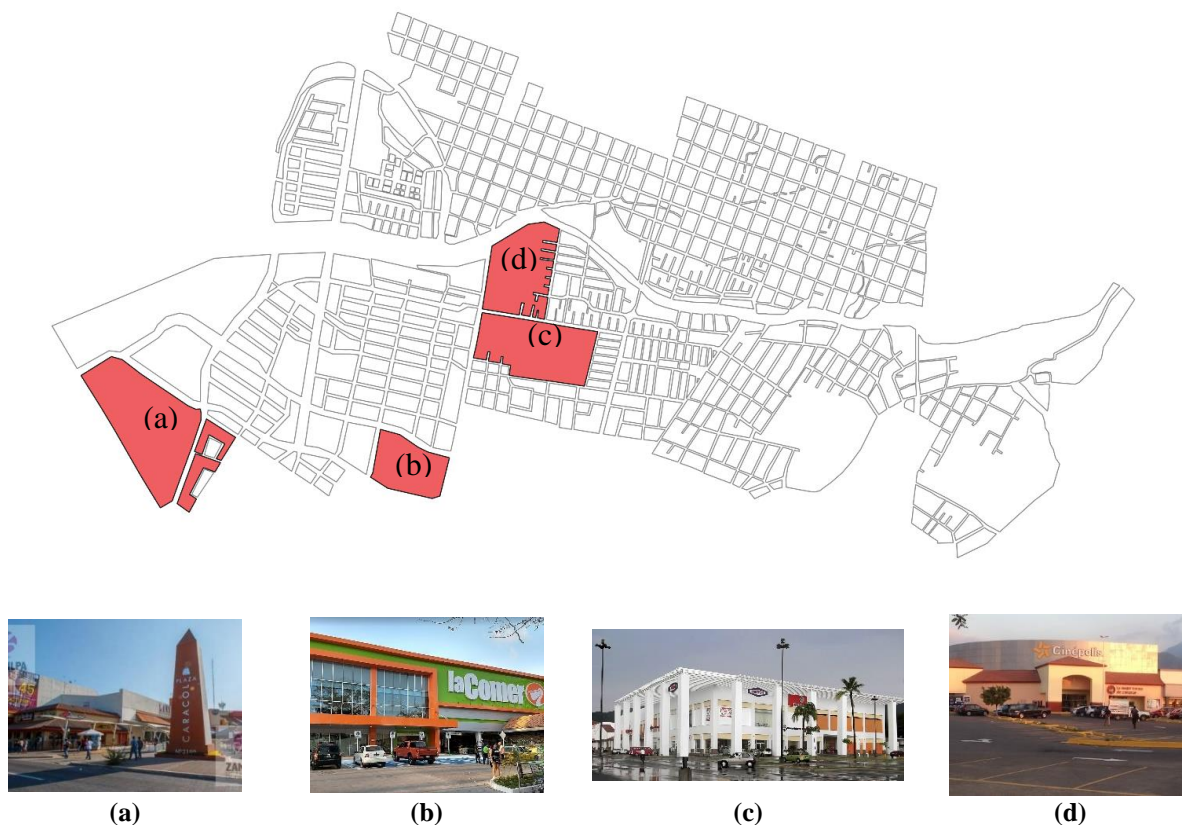
1. Manzanas con mayor rango de temperatura efectiva
2. Manzanas con mayor cantidad de población o vivienda

Manzanas con Temperatura Efectiva más Altas

El mayor rango de temperatura es de 29.64°C a 34.64°C. En este rango se ubican seis manzanas, lo que representa el 1% del total. Sería lógico colocar a estas manzanas como prioritarias, sin embargo, en ellas se encuentran la menor cantidad de población y de viviendas. Además, son manzanas ocupadas en la mayoría del espacio por plazas o centros comerciales (Figura 6.7).

Figura 6.7

Ubicación de las Manzanas con Temperatura Efectiva más Elevado (29.64°-34.64)



Nota. Elaborado con datos del Marco Geoestadístico del INEGI (2020) y el Mapa de Isla de Calor en Puerto Vallarta a Través de la Temperatura Efectiva (te). Imágenes de Google Earth Street View.

Por tanto, acotados a los prototipos de techo verde propuestos en este proyecto aparecen dos inconvenientes. El primero es que la cantidad de viviendas existentes no sea suficiente para mitigar la diferencia de temperatura ocasionada por la UHI. El segundo inconveniente, es que los prototipos se diseñaron para vivienda social y lo que se encuentra en su mayoría en estas manzanas son edificios comerciales y área de estacionamiento.

Manzanas con Mayor Cantidad de Población y/o Vivienda

La mayor cantidad de población y de viviendas se localiza en manzanas con un rango de temperatura de 26.55°C a 27.98°C, con 16,838 y 301 respectivamente (Figura 6.8); seguido muy

de cerca por el rango de los 27.99°C a 29.63°C, con 13,965 habitantes y 232 manzanas (Figura 6.9).

Figura 6.8

Ubicación de Manzanas con Temperatura Efectiva de 26.55° a 27.98°C



Nota. Elaborado con datos del Marco Geoestadístico del INEGI (2020) y *el Mapa de Isla de Calor en Puerto Vallarta a Través de la Temperatura Efectiva (te)*. Imágenes de *Google Earth Street View*.

Figura 6.9

Ubicación de Manzanas con Temperatura Efectiva de 27.99°C a 29.63°C

**(a)****(b)****(c)****(d)**

Nota. Elaborado con datos del Marco Geoestadístico del INEGI (2020) y *el Mapa de Isla de Calor en Puerto Vallarta a Través de la Temperatura Efectiva (te)*. Imágenes de *Google Earth Street View*.

La diferencia en población total y número de viviendas totales entre estos dos rangos de temperatura no parece significativa. De hecho, una mayor cantidad de población y viviendas en el rango de los 26.55°C a 27.98°C, a pesar de tener un área menor, se explica con la presencia de vivienda vertical.

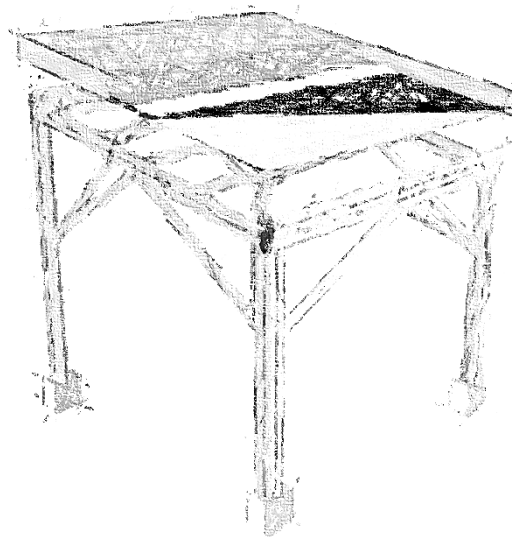
En cuanto a la tipología de vivienda, en ambos casos es heterogénea, pudiendo encontrar manzanas con vivienda de interés social y de vivienda residencial en ambos rangos. No obstante, se identifica cierta tendencia a tipologías de vivienda con respecto a la Avenida Francisco Villa como parteaguas en nuestra área de estudio, encontrando a las viviendas residenciales al lado oeste de la avenida y, a las viviendas de interés social o de producción social, al lado este. Algo similar ocurre con el Río Pitillal, en donde la mayoría de las viviendas residenciales se localizan al sur de éste, quedando en el norte la vivienda social.

Manzanas Prioritarias para Establecer Techos Verdes

Con base en lo anterior, se determina como zona prioritaria para establecer techos verdes, al área ocupada por las manzanas con el segundo rango de temperatura efectiva más elevado, de 27.99°C a 29.63°C . En este rango de temperatura se ubican las manzanas contiguas a centros comerciales, que son las zonas con el rango de temperatura más elevado (29.64°C a 34.64°C). Asimismo, al comparar el rango de temperatura de las manzanas determinadas como prioritarias, con el rango de temperatura de la zona de confort higrotérmico (20.3°C a los 26.7°C), puede verse que estas manzanas se encuentran fuera de la zona de confort por 2.93°C arriba del máximo.

Capítulo 7.

Conclusiones Generales y Propuestas de Investigación Futura



Boceto de Estructura de Bambú con Techo Verde

En esta capítulo se exponen las conclusiones generales del proyecto, organizadas por objetivo específico: 1) Seleccionar especies nativas de Puerto Vallarta que potencialmente pueden funcionar en techos verdes extensivos; 2) Definir la percepción sobre techos verdes y usos de la azotea en habitantes de vivienda social Puerto Vallarta, Jalisco; 3) Diseñar un prototipo de techo verde para vivienda social existente de Puerto Vallarta con base en un caso de estudio; y 4) Determinar zonas prioritarias para el establecimiento de techos verdes dentro del área de estudio. Asimismo, se hacen recomendaciones para futuras investigaciones.

Selección de Especies Nativas Potenciales para Techos Verdes Extensivos.

Con la elaboración del *Mapa Taxonómico de Especies Utilizadas en Techos Verdes* se comprobó que más de la mitad de las especies son exóticas para México. Más aún, el género más representativo de especies utilizadas en techos verdes, *Sedum spp.*, se encuentra pobremente representado en la flora nativa de Puerto Vallarta a pesar de que México se reconoce como un centro de diversificación de este género, con 110 especies endémicas de las 420 que existen (Aragón-Parada, 2019), ya que este género es más característico de climas templados o fríos, a altitudes mayores a 500 msnm, donde se encuentra bosque de pino-encino o bosque mesófilo de montaña (Aragón-Parada, 2019).

El método que más aportó a la lista de especies nativas potenciales fue la búsqueda en la colección de ejemplares de herbario y la asesoría de un especialista en botánica. Sin embargo, el trabajo previo de los mapas taxonómicos dio guía sobre los géneros a los que enfocar la búsqueda; asimismo, permitió determinar las características funcionales de las especies aptas para techos verdes extensivos, con lo que finalmente se fijó a las ruderales como objetivo principal de búsqueda. Este tipo de plantas se encuentran entre los géneros que arrojaron los mapas taxonómicos y son un buen ejemplo de lo que Snodgrass y Snodgrass (2010) definieron como especies exitosas para techos verdes: “plantas perennes de crecimiento bajo y raíces poco profundas que son tolerantes al calor, frío, sol, viento, sequía, sal, insectos y enfermedades” (p. 48).

Una característica con la que las ruderales podrían tener problemas es la condición de perennes, ya que muchas de ellas son anuales. Empero, al diseñar un techo verde con especies ruderales se espera crear comunidades de plantas como lo sugiere Dunnett (2015): que se autorreproduzcan y auto mantengan en el largo plazo. Es decir, que, aun siendo anuales, la planta

encuentre los medios para reproducirse año tras año en el espacio del techo verde, con la mínima o nula labor de mantenimiento.

Con un total de ochenta y tres especies, la búsqueda de especies nativas potenciales se considera fructífera. Enfocar la investigación en especies ruderales fue un acierto. No obstante, se recomienda un estudio de reproducción, sobrevivencia y cobertura de estas especies en condiciones de techos verdes. Las ruderales, aunque crecen en espacios urbanos siguen siendo especies silvestres, por lo que se necesita un trabajo de recolección de material reproductivo para realizar las pruebas pertinentes que permitan disponibilidad de las especies para su uso en techos verdes. Otra opción, es la que se describe en [Dunnett \(2015\)](#) como colonización libre, que no es otra cosa que esperar a que las plantas lleguen por sí solas, ya sea a través del viento o por aves e insectos polinizadores.

Además de las características funcionales para desarrollarse en las condiciones de un techo verde, las especies también deben probarse en función de las características que les permiten brindar en mayor o menor medida servicios ecosistémicos. Ejemplos de estas características se presentan en la [Tabla 7.1](#).

Tabla 7.1

Características de las Especies en Función de Servicios Ecosistémicos Urbanos

Tipo	Servicio / Bien	Característica de las Especies
Regulación	Disminución isla de calor urbano	Especies perennifolias, ¿anuales auto germinantes? (pastos)
	Adsorción de PMA	Especies de hojas rugosas y con tricomas

Tipo	Servicio / Bien	Característica de las Especies
	Captura de CO ₂ e	Especies de metabolismo CAM con capacidad de hacer metabolismo durante día también (¿Plasticidad?)
	Polinizadores	Plantas con flores (de acuerdo con el polinizador)
	Biodiversidad	Especies nativas, asociación de especies, policultivo.
	Ciclo del agua	Especies con capacidad de retención de agua, filtración de agua,
Provisionamiento	Producción de alimentos	Especies comestibles
	Medicina	Especies medicinales
Culturales		Plantas con flores

Un techo verde se distingue de una terraza o jardín convencional porque se diseña para cumplir con ciertos objetivos ambientales relacionados con los servicios ecosistémicos, como la gestión del agua en las ciudades o la regulación de la temperatura, por citar algunos. Por tanto, es imprescindible conocer en qué medida los atributos de las comunidades vegetales cumplirán con estos propósitos. Así pues, se requiere complementar la investigación futura sobre sobrevivencia y cobertura de las especies de la lista de potenciales, con variables relacionadas a la prestación de servicios ecosistémicos.

La prueba piloto de sobrevivencia coloca a la *Portulaca oleorasa* como especie apta para techos verdes. Se requieren más pruebas, con mayor rigurosidad científica, pero es un comienzo alentador. Recientemente se descubrió que *Portulaca oleorasa* posee la capacidad de intercambiar entre dos mecanismos de fotosíntesis según las condiciones hídricas (Moreno-Villena *et al.*, 2022). Pueden optar por el tipo C₄ (mecanismo utilizado por el maíz y el trigo), que permite realizar

fotosíntesis a altas temperaturas, pero con disponibilidad de agua, o pasar al tipo CAM (mecanismo utilizado por cactáceas) cuando el agua escasea. Este hallazgo es importante ya que anteriormente se consideraba incompatibles a estos dos mecanismos. Esto explica la ventaja que las portulacas tuvieron en la prueba piloto, pues pueden adaptarse a periodos largos sin agua como si se tratara de un cactus. Convendría analizar la posibilidad de que otras especies de la lista de potenciales tuvieran esta misma característica.

Por último, sobre el listado de especies potenciales se hace la anotación de que muchas de las especies listadas, en su mayoría seleccionadas de la colección del *Herbario Zea*, son especies que se reportan para los mismos tipos de vegetación existentes en los alrededores de Puerto Vallarta, pero a altitudes mayores a las encontradas en la ciudad. Por otra parte, la colecta de ejemplares botánicos de especies ruderales fue insuficiente, pues no se realizó de forma sistemática. Debido a lo anterior, se recomienda realizar un estudio sistemático de la diversidad y comunidades vegetales de especies ruderales de Puerto Vallarta; así como describir con mayor detalle a las especies de la lista para determinar si sus hábitos de distribución se corresponden con las características ambientales de la ciudad y, de esta manera, depurar la lista.

Percepción sobre Techos Verdes y Usos de la Azotea

El método de aplicación de la encuesta pudo haber generado sesgo en los resultados debido a que está se distribuyó mediante de la red social *Facebook*. Efecto de esto es que, quien respondió el cuestionario, lo hizo porque el tema le llamó la atención o era afín a éste. Este supuesto de sesgo podría verse evidenciado en que un 80% de las personas encuestadas ya había oído hablar sobre los techos verdes. Por tanto, no debe olvidarse que esta encuesta es un sondeo y sus resultados muestran una tendencia y no son representativos.

A causa de lo anterior, se recomienda realizar una encuesta representativa para comprobar la tendencia de agrado por los techos verdes. En esta nueva encuesta, se sugiere también priorizar la adopción de ecotecnologías conforme las necesidades de las usuarias y de los problemas ambientales que enfrenta la colonia, localidad o ciudad. Asimismo, se podría evaluar la compatibilidad entre ecotecnologías para evitar la competencia por el espacio de la azotea. Por ejemplo, la mezcla de techos verdes con paneles solares. Por otra parte, podría estudiarse un modelo de distribución de ecotecnologías en las azoteas de vivienda social para maximizar el espacio y lograr el mayor número de prestaciones. Esta nueva encuesta podría incluir como tema de análisis a los prototipos diseñados.

En cuanto a los resultados obtenidos, resulta significativo el hallazgo sobre el uso de la azotea, ya que se contradice el supuesto inicial del proyecto acerca de que este espacio era inutilizado. La tendencia muestra que el 57% de las personas encuestadas utiliza el espacio de la azotea al menos para cuatro usos: como terraza, para lavar ropa; para tender ropa; y como jardín.

Complementario al uso, el acceso a la azotea fue otro punto clave que se buscó responder con la encuesta. Este elemento surgió de la información recabada de las entrevistas hechas a expertos en techos verdes, quienes mencionaron que el acceso a la azotea es relevante, sobre todo,

para realizar el trabajo de mantenimiento. Los resultados indican que para la ciudad de Puerto Vallarta la tendencia es contar con acceso a la azotea (73%), hecho que agrega factibilidad a la propuesta de establecimiento de techos verdes.

Otro resultado destacable de la encuesta se desprende de las preguntas sobre impermeabilización. En promedio, se impermeabiliza con una periodicidad de tres años a un costo de \$3,000.00 pesos. Si se considera que un techo verde tiene una vida útil de 20 años, en ese periodo se habría impermeabilizado en siete ocasiones y se habrían invertido \$21,000.00 pesos en total. Si el montaje de un techo verde para un área de 50m² fuese igual o menor a esta cantidad, resultaría costeable su instalación para aquellas personas que impermeabilizan en periodos menores a tres años e invierten más de tres mil pesos en cada ocasión. Lo anterior es posible al considerar que con el techo verde se evitaría volver a impermeabilizar sino hasta el final de su vida útil.

Para concluir este tema, se destaca que el mayor aporte de la encuesta es atribuible a los criterios de diseño que de esta se dedujeron, estos son: los techos verdes son una ecotecnología deseable; se espera contar con más de una ecotecnología instalada en la azotea; se prefiere un techo verde tipo huerto; se tiene acceso a la azotea y se usa como terraza y lavadero de ropa; y la capacidad de carga de la cubierta no es conocimiento de dominio popular. Lo anterior condujo a concluir que el prototipo de techo verde debía favorecer el uso diversificado de la azotea, permitir la transitabilidad del espacio y contribuir al uso de la azotea como terraza, para lavar o tender ropa y como huerto; además, debía diseñarse para que la carga se articulara con el sistema estructural de la vivienda, en lugar de recaer directamente sobre la losa de azotea. Finalmente, aunque no es un criterio de diseño en sí mismo, que los techos verdes sean una ecotecnología deseada es un indicador de viabilidad de la propuesta.

Prototipos de Techo Verde para Vivienda Social de Puerto Vallarta

La sinergia generada con el PAP-RSEP fue determinante en el alcance que se logró en el diseño de prototipos de techos verdes para vivienda social existente de Puerto Vallarta. Sin esta colaboración, este objetivo hubiese tenido que replantearse debido a la escasa habilidad en el diseño arquitectónico de quien suscribe este documento. Es aquí donde reluce el carácter interdisciplinario que ofrece la Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables del ITESO; además, es una muestra de retribución social que, cualquier estudiante becada, ineludiblemente debe realizar. De nueva cuenta, se agradece a estudiantes y asesores del PAP-RSEP, con quienes se diseñaron tres prototipos de los que se discutirá a continuación.

Los tres prototipos, denominados P22, V22 y DDI, cumplen con los criterios de diseño derivados de la encuesta. Todos permiten la diversificación del uso del espacio de azotea y se basan en un anclaje articulado al sistema estructural de la vivienda, con lo que se evita la carga directa a la losa de azotea. Sin embargo, ninguno de los prototipos se completó a detalle, en los tres quedó pendiente trabajo de representación arquitectónica o de cálculo estructural. Véase la [Tabla 7.2](#) para comparar los productos que se generaron para cada prototipo.

Tabla 7.2*Productos Generados para Cada Prototipo*

Etapa del Diseño Arquitectónico / Tipo de Producto	P22	V22	DDI
<i>Diseño Conceptual</i>			
Planos de medidas de la azotea.	✓	*	*
Alzados de la estructura de bambú	✓	✓	
Planos de propuesta arquitectónica de la azotea.	✓	✓	
<i>Anteproyecto</i>			
Plano arquitectónico de la estructura de bambú	✓	✓	
Isométricos con dimensiones de la estructura de bambú.		✓	
Modelo a escala (Maqueta) de la estructura de bambú.	✓	✓	
Modelo 3D de la estructura de bambú		✓	✓
<i>Proyecto</i>			
Cálculo estructural de bambú y techo verde.			✓
Cálculo estructural de la vivienda.			✓
Corte B-B de la estructura de bambú y la vivienda	✓	✓	
Detalles arquitectónicos de conexiones de la estructura de bambú.		✓	
Detalle de diseño del techo verde.		✓	
Fotomontaje del diseño terminado		✓	
<i>Proyecto ejecutivo</i>			
Plano de detalle arquitectónico de dados de anclaje.	✓	*	*
Plano de Despiece de la estructura de bambú			
Cotización de la estructura de bambú			✓
<i>Operativo</i>			
Construcción del prototipo		✓	

Nota. Algunos de los productos se incluyeron en el Capítulo 5 de este proyecto. Otros se pueden consultar en Torres López *et al.* (2022) y Cortes Barrientos *et al.* (2022). El asterisco (*) significa que se utilizó el producto generado para el prototipo P22.

Como se aprecia en la Tabla 7.2, existen diferencias en la cantidad de productos generados para cada prototipo. Esto es así, en parte, porque el trabajo realizado se trató de un proceso continuo

y colaborativo, no así de una competencia. Por ejemplo, el plano de las medidas de la azotea, así como el plano de detalle arquitectónico de los dados de anclaje, generados para el prototipo P22, fueron los mismos usados para los prototipos V22 y DDI. Por otra parte, el alcance conseguido se debe a las habilidades y experiencia que cada estudiante puede aportar al proyecto. Un buen ejemplo de esto es el modelo 3D, para el que había una persona con la habilidad de realizarlos en *softwares* especializados (*SketchUp*, *Revit Autodesk*, u otro) en los equipos de los prototipos V22 y DDI.

El Prototipo DDI es la Mejor Propuesta

El gran reto de diseño al que los estudiantes del PAP-RSEP se enfrentaron fue concebir una estructura con un material con el que no estaban familiarizados, el bambú; y un sistema de cubierta del que tampoco tenían conocimiento previo, el techo verde. Desafortunadamente, el proceso de aprendizaje no alcanzó para lograr realizar el cálculo estructural de los prototipos P22 y V22. Por lo que, al menos en el prototipo P22, no existe la plena seguridad de que la estructura es capaz de recibir la carga de una cubierta de techo verde extensivo (se recordará que el V22 propone un techo verde ligero) sin padecer de una falla catastrófica o de serias deformaciones. Por tanto, el prototipo DDI se convierte en la mejor propuesta al lograr resolver esta parte.

El mayor obstáculo para lograr el cálculo de las estructuras de bambú fue que los estudiantes de ingeniería civil, próximos a titularse, no estaban familiarizados ni con el cálculo de estructuras de madera, material que más se parece al bambú. De parte de quien suscribe este documento, les fue proporcionado la información pertinente sobre el método con el que se debía calcular: máximos límites permisibles; así como diversas normas que describen el método de cálculo y los valores máximos permisibles y módulos de elasticidad.

A pesar de recibir esta información, los estudiantes encargados de realizar el cálculo se sintieron irresolutos. Situación que pudo haberse corregido de haber conseguido instrucción especializada en el tema, esto es, asesoría profesional de quién ya ha hecho cálculos para estructuras de bambú; sin embargo, estos especialistas son escasos y fuera del alcance de los recursos de este proyecto. No obstante, se percibe que, la diferencia con el prototipo DDI, fue la determinación personal de Juan Pablo Doddoli de aprender a realizar el cálculo de estructuras de bambú.

Así pues, los cálculos estructurales faltantes se atribuyen a la inexperiencia en el tema; a la falta de asesoría profesional especializada; y a la escasa autodeterminación de los estudiantes encargados de diseñar los prototipos P22 y V22. Dicho lo anterior, se recomienda generar oportunidades de aprendizaje sobre el cálculo de estructuras de madera y bambú, que estén disponibles de forma periódica o continua; toda vez que estos materiales están en boga de la arquitectura sustentable.

Como ya se anunció, el DDI es la mejor propuesta de prototipo que se logró para este proyecto. La ausencia de planos arquitectónicos se debe a la ausencia de arquitecto(a) en el equipo de trabajo. Cabe recordar que este prototipo fue generado por quien suscribe este trabajo en colaboración con Juan Pablo Doddoli, esto forma un equipo de ingeniera en recursos naturales y agropecuarios (maestrante en proyectos y edificación sustentable) con ingeniero civil.

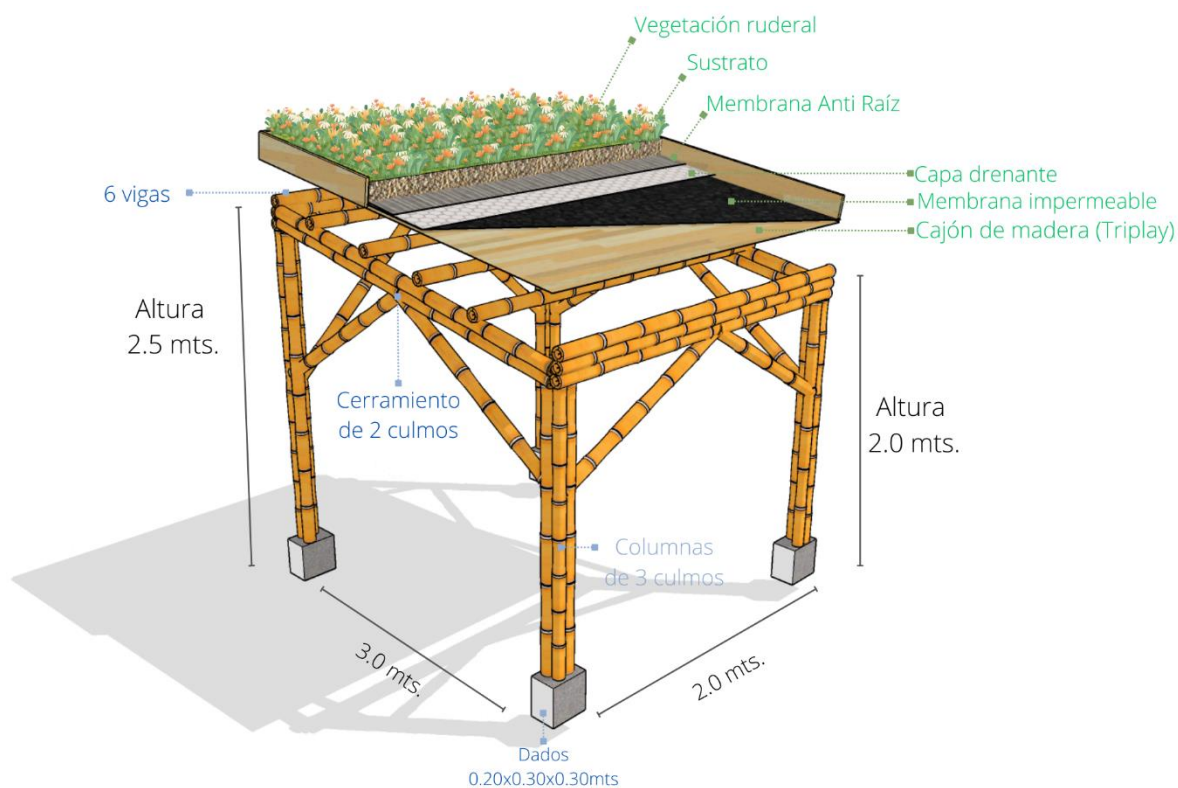
Los resultados del cálculo estructural, realizados a través del *software* RFEM, indican que el prototipo DDI es viable porque no compromete sísmicamente a la vivienda; asimismo, las deformaciones que ésta pudiera sufrir por sismo o por viento se mantienen dentro de los límites máximos establecidos en normativa. Sin embargo, la estructura se calculó con base a esfuerzos máximos permisibles y módulos de elasticidad de la norma colombiana de bambú, cuyos

parámetros pueden diferir con valores de la guadua producida en México. Como consecuencia, la estructura puede estar sobrevalorada o subvalorada. Con la finalidad de incrementar la certeza y la eficiencia en el diseño de estructuras con bambú, es necesario realizar un estudio de los esfuerzos máximos permisibles y de los módulos de elasticidad de las guaduas producidas en México, en el particular interés de este proyecto, de los proveedores más cercanos a Puerto Vallarta.

En la **Figura 7.1** se exhibe un modelo 3D del prototipo DDI que incluye el diseño de la cubierta de techo verde extensivo.

Figura 7.1

Modelo 3D de Prototipo DDI



Nota. Elaborado en SketchUp.

El diseño del techo verde es el convencional para uno de tipo extensivo, con las cinco capas mínimas que se requieren: membrana impermeable, capa drenante, membrana anti-raíz, sustrato y vegetación. Se recomienda para futuras investigaciones el estudio costo-beneficio y viabilidad de autoproducción o producción social que incluya a otros tipos de techo verde, como el sistema modular o el techo verde ligero.

Desde otra perspectiva, el prototipo DDI se diseñó y probó para un caso de estudio particular, por lo que es necesario realizar estudios de afectación estructural a un número más amplio de viviendas. Lo anterior con la finalidad de determinar la replicabilidad del prototipo en el universo de vivienda social construida en el área de estudio. Realizar un estudio de este tipo resulta relevante también para un plan de gestión de riesgos en la ciudad. Puerto Vallarta se localiza en una zona altamente sísmica en la que resulta pertinente evaluar el riesgo de derrumbe de edificaciones.

En Puerto Vallarta Existen los Insumos para Elaborar Sustrato para Techo Verde

De la prueba piloto de sobrevivencia, que se realizó con las especies *G. paraguayensis*; *P. pilosa* y *P. oleracea*, se pudo comprobar que en Puerto Vallarta existen los insumos para construir un sustrato de techo verde; con jal, fibra de coco y humus de lombriz como componentes. De acuerdo con Beattie y Berghage (2004, citados por Snodgrass y Snodgrass, 2010), “el sustrato ideal para techos verdes extensivos se compone de 75% a 90 % de elementos inorgánicos”. En nuestro caso, se elaboró un sustrato con una proporción de 50% de elementos inorgánicos y 50% de elementos orgánicos. Por lo que el sustrato utilizado en la prueba piloto se aleja de la proporción ideal. Al respecto, Ordoñez López *et al.* (2012) probaron una combinación de cuatro proporciones de contenido mineral en sustrato elaborado con perlita, vermiculita y humus de lombriz (Tabla 7.3).

Tabla 7.3*Sustratos para Techo Verde Probados por Ordoñez López et al (2012)*

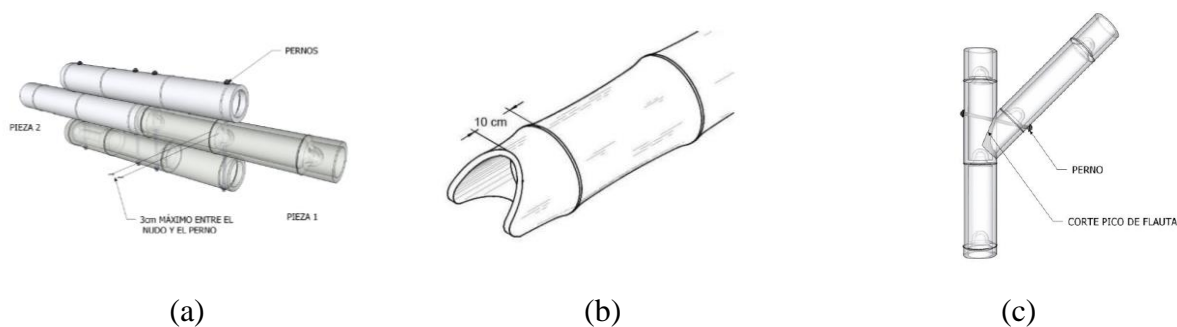
Sustrato	Perlita %	Vermiculita	Humus	Peso seco (kg/m3)	Peso saturado (kg/m3)	Costo Relativo %
1	45	45	10	251.3	630.2	89
2	40	40	20	386	780.6	92
3	35	35	30	508.5	939.3	96
4	30	30	40	639.3	1016.1	100

Nota. El costo relativo se refiere a cuál mezcla de sustrato tuvo el mayor costo en su elaboración; puede verse que el sustrato número 4, con la mayor proporción de contenido orgánico, tiene el mayor costo; y el sustrato 1, con el menor contenido de materia orgánica, cuesta un 11% menos. Ordoñez López *et al* (2012) no mencionan cifras.

Los autores concluyeron que el contenido orgánico no marcó diferencia en la respuesta a la sobrevivencia de la composición de plantas con las que experimentaron; por ello, lo más conveniente era utilizar el sustrato tipo 1 porque este resulta más liviano y menos costoso. Derivado de lo anterior, se recomienda probar sustratos con mayores proporciones de jal para probar que se obtienen resultados similares a los obtenidos por Ordoñez López *et al* (2012) y a lo recomendado por Beattie y Berghage (2004, citados por Snodgrass y Snodgrass, 2010).

Falta Experiencia en la Construcción de Estructuras con Bambú

Retomando el tema de la estructura de bambú del prototipo DDI, se proponen conexiones pernadas, con uniones de boca de pescado y pico de flauta (Figura 7.2).

Figura 7.2*Conexiones Propuestas para Prototipo DDI*

Nota. Donde (a) muestra el detalle de unión de culmos de bambú para vigas compuestas, tomado de Norma Técnica E.100 BAMBÚ (2020); (b) muestra el corte de boca de pescado utilizado para uniones perpendiculares, tomado de NSR-10 G (2010); y (c) muestra el corte de pico de flauta, utilizado para uniones de ángulos diagonales, diferentes de 0° y 90° , tomado de Norma Técnica E.100 BAMBÚ (2020).

Las uniones y conexiones son la parte medular de las estructuras diseñadas en bambú. De la experiencia que se tuvo en la construcción con bambú, primero de una estructura provisional durante el ciclo de primavera-2022, luego del prototipo V22 en el ciclo de verano-2022, se puede concluir que la curva de aprendizaje no es corta. El equipo de verano, por ejemplo, subestimó el trabajo que se requería para construir su prototipo, como resultado, la estructura quedó incompleta y con deficiencias técnicas, tales como: aplastamiento de los culmos por apretar de más la rondana; pernos colocados a distancias mayores a 10cm desde el entrenudo; conexiones flojas por no utilizar pernos en las dos direcciones; pernos que sobresalen por casi 20 cm de los límites del culmo; por mencionar las más notables.

Además, como ya se mencionó en el Capítulo 5, los prototipos P22 y V22 no incluyen uniones de boca de pescado o de pico de flauta, al recibir los estudiantes la advertencia de un asesor del PAP-RSEP de que estas son complicadas de ejecutar. Afirmación que fue confirmada por los expertos en construcción con bambú de Bambufoia y Bambuterra, quienes afirmaron por

experiencia que no les resulta fácil conseguir personas que elaboren con la calidad necesaria este tipo de uniones. Ni hablar de la herramienta especializada que se requiere, que existe, pero su disponibilidad es baja.

Con todo lo anterior, es de suponer que hay una falta de mano de obra especializada en la construcción con bambú. Para todos los que participaron en la construcción de estructuras de bambú en este proyecto, ahora este dato es un conocimiento vivido. Se requiere de mayor tiempo de aprendizaje y práctica para dominar la construcción con bambú que para la construcción de dados de concreto, por ejemplo. Por ello, se advierte la necesidad de invertir en la generación de especialistas en la construcción, tanto o más, que especialistas en el diseño y cálculo. Se sugiere que esta propuesta se lleve a cabo a través del Congreso Mexicano del Bambú, de la mano de las empresas e instituciones que actualmente laboran con este material.

Control de Calidad Deficiente en el Bambú Estructural

En el mercado mexicano del bambú estructural parece inexistente un mecanismo de control de calidad. Al menos eso sugiere la experiencia que se tuvo sobre este aspecto. Para el diseño de todas las estructuras de bambú que se produjeron en la sinergia con el PAP-RSEP, se eligió a dos especies de bambú estructural: *Bambusa oldhami* (bambusa) y *Guadua angustifolia* (guadua). La bambusa se empleo en las propuestas que se hicieron para el proyecto de rehabilitación de vivienda en Chulavista, municipio de Tlajomulco de Zúñiga. En tanto, la guadua se utilizó para todas las estructuras que tenían como zona de estudio a Puerto Vallarta. En ambos escenarios se practicó la construcción de las estructuras con bambú, por lo que fueron adquiridos culmos de ambas especies. Lamentablemente, de dos de los tres proveedores a los que se acudió para la compra de bambú, se recibió material de mala calidad.

De acuerdo con información de Lucila Aguilar Arquitectos y Selvazama (2020) y el IV Congreso Mexicano de Bambú Colima 2022, en México existen aproximadamente veintinueve proveedores de bambú, 86% son productores y 14% son comerciantes (distribuidores). Los proveedores más cercanos a las zonas de estudio son un productor localizado en Colima y dos comerciantes localizados en Guadalajara y Zapopan. No obstante, fue posible contactar a dos proveedores fuera de los registros de las fuentes antes mencionadas, ubicados más cerca de las zonas de estudio: uno en Tlajomulco de Zúñiga y otro en Puerto Vallarta.

La cercanía a las zonas de estudio de estos proveedores incentivó que la primera experiencia de compra se realizara con ellos. De esta manera, se reducía la huella de carbono por transportar el material al lugar de construcción y, además, se ahorraría en el costo del flete por transporte del bambú, ya que, a diferencia de los otros proveedores, este cargo no iba a ser necesario. En ambos casos se recibieron culmos que no cumplían con la calidad esperada y pactada.

Por ejemplo, el proveedor de bambusa entregó el material en verde, por lo que hubo que esperar a que éste perdiera humedad, retrasando quince días la práctica de construcción en Tlajomulco. Por otra parte, en una inspección posterior a la entrega se pudo constatar que los culmos no tenían la madurez necesaria. Al mismo tiempo, la inexperiencia en el proceso adecuado de secado del bambú provocó que más del 50% de los culmos se agrietaran en secciones superiores al 20% del largo (Figura 7.3).

Figura 7.3*Calidad de Culmos de Bambusa oldhami***(a)****(b)****(c)**

Nota. En (a) se aprecia el color verde intenso de los culmos que se recibieron; en (b) se muestra como luce el corte de la pared de un culmo cuando este no tiene la madurez suficiente (4 años) para ser utilizado en construcción; y (c) muestra cómo es que debería lucir el corte de un culmo maduro: corte liso, poros pequeños, con una textura parecida a la madera, sin rasgaduras.

En cuanto al proveedor de guadua de Puerto Vallarta, los culmos no solo no tenían el diámetro de 7 cm pactado, sino que presentaban daños serios por insectos, rajaduras y hendiduras; así como manchas por exposición prolongada a la radiación solar e indicios de que no tenían la madurez requerida (Figura 7.4).

Figura 7.4

Calidad del Bambú Guadua del Proveedor de Puerto Vallarta



(a)



(b)



(c)



Nota. Donde (a) muestra una rajadura en la sección central que atraviesa un entrenudo, así como un orificio hecho por insecto; en (b) se observan varios culmos con daños similares a la imagen (a); y en (c) se muestra los diámetros promedio que presentaban los treinta culmos del pedido.

En este caso hubo que devolver más del 70% del material recibido. Cabe recordar que es inaceptable utilizar bambú que presente: aplastamiento o rajaduras que abarquen más de dos entrenudos; plagas u hongos; culmos recién cortados, sin proceso de secado y tratamiento químico; una pared menor a 8 mm; culmos inmaduros, menores de 4 años; con pudrición; o con agrietamientos iguales o superiores al 20% de su longitud (Norma Técnica E-100 Bambú, 2020; Lucila Aguilar Arquitectos, 2019; NTC-Madera, 2017; NEC-SE-Guadúa, 2016; y NSR-10 G, 2010; CONAFOR, 2002).

Para el ciclo de verano-2022 se optó por intentar con un nuevo proveedor. En esta ocasión la experiencia fue positiva. Se recibieron los culmos con la calidad y las especificaciones pactadas, prácticamente al mismo costo que con los anteriores proveedores, salvo un cargo extra por costo de flete (Figura 7.5).

Figura 7.5*Calidad de los Culmos de Proveedor de Zapopan*

Nota. Culmos de *Guadua angustifolia* de 7 cm de diámetro.

En un intento por tratar de explicar las causas de la mala y la buena experiencia en la calidad del bambú que se adquirió, se describirán las circunstancias bajo las que operan los tres proveedores. El proveedor de bambusa es comerciante, se dedica a comprar y vender culmos de bambú de diferentes especies, pero su especialidad son las especies de ornato o para elaboración de muebles y artesanías, por lo que tenía poca o ninguna experiencia en vender bambú estructural. Por otro lado, el proveedor de guadua de Puerto Vallarta tiene cualidad de productor al contar con

una hectárea de plantación y, aunque tiene experiencia en el uso del bambú estructural, él no seleccionó los culmos que fueron entregados, sino que delegó la actividad a un ayudante. En cuanto al proveedor de Zapopan, se trata de un comerciante con experiencia no solo en la venta de bambú estructural, sino también en el diseño y edificación de estructuras de bambú. De hecho, se puede encontrar su trabajo en los alrededores de Puerto Vallarta.

En conclusión, se recomienda adquirir el bambú estructural con proveedores que posean experiencia en la venta de bambú estructural. Sobre todo, es ampliamente recomendable que el proveedor también tenga experiencia en diseño y construcción; ya que una selección de culmos realizada por ellos mismos actuará como una garantía de calidad del material. Asimismo, no está demás recomendar el desarrollo de estudios para incrementar la calidad del bambú que se produce en los alrededores de Puerto Vallarta; así como para instaurar un sistema de control de calidad y puntos de venta, que coadyuben a reducir la huella de carbono del ciclo de vida del este material.

Costo de Instalación del Prototipo DDI

Los precios de los culmos de bambú estructural varían según la especie, el largo y el diámetro. Las longitudes habituales de venta son 3 y 6 metros; y los diámetros suelen ser de 7cm a 15cm. Culmos de la especie *Guadua angustifolia*, de 6 metros de largo por 7cm de diámetro, producidos en Michoacán y comercializados en Zapopan, fueron adquiridos a un costo unitario de \$459.00 pesos IVA incluido. Considerando este precio se calculó el costo en material de la estructura del prototipo DDI (Tabla 7.4).

Tabla 7.4

Costo de la Estructura de Bambú del Prototipo DDI (Materiales)

	Cantidad	Unitario	Total
Culmos de Guadua (6m x 7cm)	15	\$ 459.00	\$ 6,885.00
Varillas roscadas, tuercas, rondanas			\$ 1,200.00
Cemento, arena, grava			\$ 500.00
Total			\$ \$8,585.00

Nota. Los precios de las varillas, tuercas, rondanas, cemento, arena y grava se estimaron de los gastos efectuados en las experiencias de construcción de la estructura provisional en primavera-2022y del prototipo V22 en verano-2022.

El material para construir le prototipo DDI tendría un costo estimado de \$8,585.00 pesos. Cabe mencionar que este valor no incluye el costo de mano de obra ni de flete o transporte del bambú de Zapopan a Pto. Vallarta, ni los costos de la cubierta de techo verde.

La estructura cubre un área de 6m², para abarcar toda el área de la habitación experimental en la vivienda caso de estudio (18m²), se requeriría una inversión en material de \$16,388.00 pesos. Ya que la estructura es modular, se reduce en un 30% la cantidad de culmos necesarios para cubrir un área del triple del prototipo (32 culmos en total). Este valor tampoco incluye el material para construir el techo verde extensivo.

Si se compara este costo, con el costo del sistema modular *Ecotejado*, disponible a la venta en Jalisco, se encontrará que el costo es bastante similar (Tabla 7.5).

Tabla 7.5

Comparación de Costos entre Prototipo DDI y Sistema Ecotejado

	Prototipo DDI	Ecotejado
Costo de material por 18m2	\$16,388.00 pesos	\$20,160.00
Incluye plantas	No	Si
Incluye Sustrato	No	Si
Incluye membranas	No	Si
Incluye mano de obra	No	No

Nota. Los costos del sistema *Ecotejado* se estimaron de los datos proporcionados por R. Huber, presidente de *Plántica*, en una comunicación personal el 19 de noviembre del 2020, cuando se le entrevistó como experto en techos verdes.

Está claro que la ventaja en costos del prototipo DDI sobre el sistema *Ecotejado* no es certera, considerando que falta incluir los costos de los materiales para construir el techo verde: membranas, sustrato, plantas, etcétera; pudiendo incluso resultar ser mayor.

La razón por la que se compara el DDI con el *Ecotejado* es porque este último se encuentra disponible a la venta, siendo un referente local de los costos de instalación de un techo verde. No obstante, lo justo hubiese sido comparar los costos del prototipo DDI empleando materiales convencionales para construir estructuras, como el acero o el aluminio. Se recomienda para futuras investigaciones realizar un análisis costo-beneficio, en el que se incluyan al menos tres dimensiones de la sustentabilidad: económico, social y ambiental. La metodología del ciclo de vida puede ser útil, así como el método de precios hedónicos, y los servicios ecosistémicos.

Cabe mencionar que, mediante la producción social y la autoproducción puede lograrse una reducción significativa de los costos de inversión para el prototipo DDI. Los rubros en los que

potencialmente se tendrían mayores ahorros son la producción de planta, la producción del sustrato y en la producción del bambú. Por ejemplo, producir la planta puede reducir en un 30% el costo por este rubro en la construcción de un techo verde (comunicación personal de Arq. Paulina Robles, experta en techos verdes de la empresa Plántica). Nótese también los resultados de la prueba piloto de sobrevivencia; en donde de una sola maceta de portulaca, con un costo en vivero de \$40.00 pesos, se pueden obtener esquejes para veinte o más macetas. Aunque se recomienda implementar también la reproducción por semilla para favorecer la diversidad genética. Asimismo, el componente orgánico puede fabricarse en casa u obtenerse del vivero municipal. En fin, las posibilidades para reducir los costos existen, solo hace falta estudiarlas y evaluarlas con mayor rigurosidad.

Por otro lado, mecanismos gubernamentales de subsidios pueden favorecer la asequibilidad o recuperación de la inversión. Al respecto, la encuesta de percepción sobre techos verdes y usos de la azotea en Puerto Vallarta arrojó una tendencia del 63% de improbabilidad para instalar un techo verde que cueste de \$20,000.00 a \$60,000.00; sin embargo, la probabilidad incrementa conforme se suman financiamientos a la ecuación, tales como: créditos, subsidios y retornos de inversión. De nueva cuenta, las investigaciones que a futuro se realicen sobre costo/beneficio pueden aportar a este tema.

Además de lo anterior, debe evaluarse también las prestaciones del prototipo DDI al interior de la vivienda. Al no estar diseñado para funcionar como una capa más de la losa de azotea, su comportamiento no puede asimilarse igual que para los techos verdes extensivos convencionales, para los que se reporta una reducción de la temperatura al interior de la vivienda de entre 3°C a 10°C (Ordóñez López y Pérez Sánchez, 2015; Aragón Moreno y Espitia González,

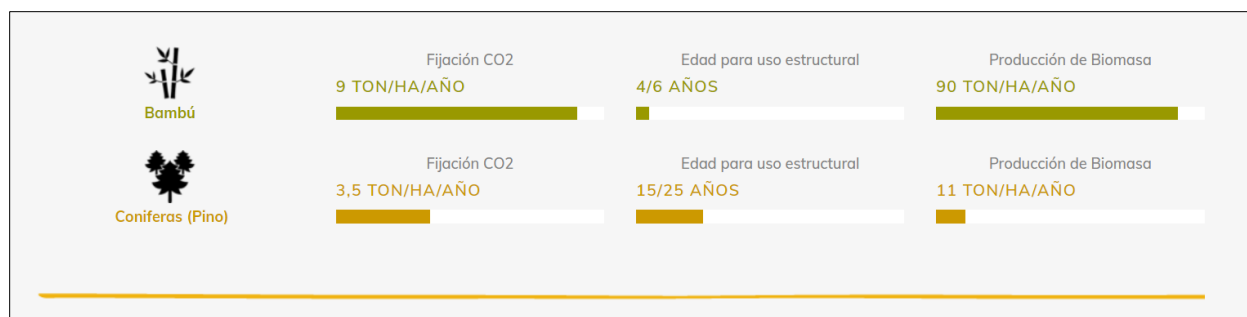
2017). Con este fin fueron instalados equipos de monitoreo de temperatura y humedad relativa en la vivienda caso de estudio.

Potencial de Captura de CO₂

Se eligió al bambú como material de construcción por las cualidades ecológicas del material. Se trata de un material orgánico, renovable, reciclable, y que captura CO₂. Ante todo, es un material con buen desempeño estructural, al grado de ser llamado el acero vegetal. Si se compara con la madera, el bambú también presenta algunas ventajas (Figura 7.6).

Figura 7.6

Ventajas Ambientales del Bambú sobre la Madera de Coníferas



Nota. Tomado de *Comparativa de Características Ambientales Bambú/Coníferas*, de Bambusa (s.f.), en <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/>.

Por hectárea de plantación, el bambú captura CO₂ casi tres veces más que los pinos. Alcanzan la madurez estructural diez años antes y producen ocho veces más toneladas de biomasa.

A través de una extrapolación de datos, se realizó un estimado del potencial de captura de carbono de la cantidad de bambú que emplea en el prototipo DDI (Tabla 7.6).

Tabla 7.6*Aproximación al Potencial de Captura de Carbono del Prototipo DDI*

Concepto	Dato	Fuente
Promedio de Carbono en Partes Aéreas (Mg C/ha)	69.9	Yuen et al, (2017)
Toneladas de Fijación de CO ₂ al año	9	https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/ .
Culmos por cepa de bambú/año	10	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP] (2022)
Densidad de plantación de bambú (por hectárea)	400	Expansión (2011)
Culmos de guadua por hectárea de plantación	4000	De 10 metros de altura en promedio cada uno (Lucila Aguilar Arquitectos y Selvazama, 2020; Minke, 2012; y CONAFOR, 2002).
Carbono promedio de los 15 culmos utilizados para el prototipo DDI (Mg C/15 culmos)	0.157275	
CO ₂ Capturado por el prototipo DDI (Kg/15 culmos/4 años)	81	

Nota. El promedio de carbono en partes aéreas (Mg C/ha) esta reportados para Bolivia, Colombia, Ecuador. Los culmos de las plantaciones se consideran de 20 metros de largo. La densidad de plantación de bambú por hectárea es una referencia de un productor en Colombia. Los culmos por cepa de bambú se reportan en un rango de 10 a 20 y hasta 100 por planta al año, se asume que estos tienen una altura de 20 metros en promedio.

Dado que la cantidad de culmos por hectárea de plantación de bambú están referidos a su altura total promedio (10 metros), un equivalente en metros de la cantidad de culmos que se usaron para el prototipo DDI sería de 9. Es decir, 15 culmos de 6 metros de largo son equivalentes a 9 culmos de 10 metros de largo (90 metros = 90 metros). Con esta equivalencia, se aplicó una regla

de tres para obtener los Mg de carbono contenido en el bambú del prototipo DDI, dando como resultado: 0.157275 Mg. Esta sería la cantidad de carbono que quedaría secuestrado en la estructura de bambú por su tiempo de vida útil (20 años, al menos el mismo tiempo de duración de un techo verde).

De manera similar, se estimó que los 15 culmos de bambú del prototipo DDI capturaron 81 kg de CO₂ durante los cuatro años que estuvieron vivos en la plantación, esto es, antes de ser cosechados. Tomando en cuenta que, los 1000 kw/h/año que adicionalmente se consumen en zonas cálidas, generan 600 kg de emisiones de CO₂ (CONAVI, 2008), la estructura de bambú del DDI contribuiría a mitigar en su primer año de instalación, el 13.5% de estas emisiones. Conjuntamente, se espera una mitigación mayor de emisiones de CO₂ a través del sistema de techo verde y de la reducción del consumo adicional de kw/h/año al reducir la ganancia de calor por radiación al interior de la edificación.

Estas estimaciones parecen insignificantes al lado de la cantidad de emisiones de CO₂ que se requiere mitigar o reducir. No obstante, comparado con la cantidad de CO₂ que el acero o el aluminio capturan, es un gran avance. Sin embargo, cabe recordar que los datos aquí presentados son vagos. No se encontró alguna referencia de investigación que revele el potencial de captura y secuestro de carbono para el bambú producido en México. Por tanto, esta es otra línea de investigación potencial que puede ayudar a develar el costo/beneficio de utilizar bambú como material de construcción. La misma recomendación puede hacerse para los techos verdes.

El Bambú no es Apto para Techos Verdes Ligeros

La experiencia con el prototipo V22 lleva a concluir que el bambú es inapropiado para la construcción de techos verdes ligeros. La necesidad de proteger al bambú desde el diseño, contra la exposición a la radiación solar y el agua, hacen que las ventajas de un techo verde ligero se desvanezcan.

Por ejemplo, la estructura del prototipo V22, construida en verano-2022, quedó totalmente expuesta al sol y la lluvia. En dos meses que se regresó a revisar la estructura, los culmos ya presentaban hongos y manchas solares (Figura 7.7).

Figura 7.7

Daños por Exposición a Sol y Lluvia del Prototipo V22



(a)



(b)

Nota. En (a) se aprecia el ennegrecimiento de las paredes de los culmos, así como colonias de moho creciendo la pared interior. En (b) se muestra el proceso de mantenimiento que le dio a la estructura, se limpió el moho negro de las paredes y se aplicó una capa de aceite de linaza.

Una estructura de bambú expuesta debe recibir mantenimiento cada tres meses. El mantenimiento consiste en aplicar una capa de aceite de linaza, que rehidrata el material y le confiere una capa de protección. Con esto se alcanza un tiempo de vida útil de seis a diez años. Esto para estructuras de cubiertas ligeras. Para una estructura de cubierta pesada (de techo verde extensivo), el tiempo sería aún menor considerando los esfuerzos a los que se somete la estructura, así como del riesgo de falla catastrófica por degradación del material.

Por tanto, un techo verde ligero, compuesto de plantas enredaderas o trepadoras, haría necesario que la estructura de bambú recibiese mantenimiento cuatro veces al año, incrementando el costo y el trabajo requerido, al mismo tiempo que reduce el tiempo de vida útil. Una persona con los medios y el conocimiento puede decidir hacerlo de esta manera, con la plena conciencia de que tendrá que reemplazar la estructura en seis años. Aunque, otra opción es diseñar una cubierta de protección para la estructura de bambú y, sobre esta, inducir el crecimiento de las plantas; con el respectivo incremento en costo de materiales que si solo se acomodan cables o redes de apoyo para las plantas.

Zonas Prioritarias para el Establecer Techos Verdes

El mapa de isla de calor urbana permitió definir las manzanas por rango de temperatura, con lo que se logró saber que, prácticamente, todas presentan temperaturas por arriba del rango de confort higrotérmico (20.3°C - 26.7°C), con excepción de un 1% del total de manzanas (Figura 7.8).

Figura 7.8

Manzanas con Temperaturas Superiores a la Zona de Confort Higrotérmico



Se recomienda como zona prioritaria para establecer techos verdes a las manzanas con rango de temperatura efectiva de 27.99°C a 29.63°C. La recomendación está condicionada a la propuesta de techo verde para vivienda social que se hace en este proyecto. Las manzanas con rango de temperaturas más elevados (29.64°C a 34.64°C) son centros comerciales con grandes áreas de estacionamiento pavimentado, con poca o ninguna vivienda. No obstante, es prioritario intervenir estas manzanas con algunas de las alternativas para reducir el fenómeno de isla de calor urbana, incluyendo otros sistemas de techo verde.

El trabajo realizado en este proyecto sobre la UHI es un buen acercamiento al entendimiento de la afectación de este fenómeno para los habitantes de Puerto Vallarta. Sin embargo, dado que se trata de un fenómeno dinámico, se recomienda ampliar el análisis de la UHI

con la generación de mapas para diferentes estaciones del año. Así como incluir en el análisis la configuración urbana y los flujos de viento. Un mayor entendimiento de la UHI ayudará a tomar mejores decisiones respecto a la forma de mitigar este fenómeno.

Referencias

- Aldaco Velázquez, J. A., Arias Rivera, V. L., Dávalos Soto, J. O., Montoya Rodríguez, E. X. y Navarro Flores, M. A. (2022). *Gestión social y propuesta de mejoramiento para el Parque Etapa 14, Chulavista, Tlajomulco de Zúñiga* [Reporte de Proyecto de Aplicación Profesional en Regeneración Social del Espacio Público]. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, A.C.
- Álvaro Ibarra, J., Yáñez Romero, O. A., Zavala Reyna, A. G., & Velázquez Contreras, L. E. (2017). Módulo de prueba para cubierta ecológica en clima árido-seco. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 21(62), Mayo-Agosto, pp. 61-66.
http://www.utm.mx/edi_anteriores/temas62/T62_2Nota_Modulo%20de%20prueba%20para%20cubierta%20ecologica.pdf
- Alvarado Palencia, E. P. (2014). *Análisis Comparativo del Comportamiento Térmico de una Cubierta Verde Extensiva en el Parque Temático Biouniverzoo de Chetumal, Quintana Roo* (Trabajo de Grado). Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo.
<http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/484>
- Apaluche, M. G., Moreno, H., Ochoa, L. M. y Marincic, I. (2010). Análisis Térmico De Viviendas Económicas En México Utilizando Techos Verdes. *Estudios Sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto*, 3(3), 59-67.
- Aragón Moreno, J. A., & Espitia González, J. D. (2017). Evaluación Térmica De La Sustitución del Material de la Capa de Drenaje en Techos Verdes por Llantas Usadas - Análisis Experimental en el II Periodo Húmedo Climático del 2016. *Investigación en Ingeniería*, (14), 21-36. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6684762>

- Aragón-Parada, J., Carrillo-Reyes, P., Rodríguez, A. y Munguia-Lino, G. (2019). Diversidad y distribución del género *Sedum* (Crassulaceae) en la Sierra Madre del Sur, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(2019) e902921, pp. 1-17.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rmbiodiv/v90/2007-8706-rmbiodiv-90-e902921.pdf>
- Balvanera, P.; Quijas, S.; Karp, D. S.; Ash, N.; Bennett, E. M.; Boumans, R.; Brown, C.; Chan, K. M. A.; Chaplin-Kramer, R.; Halpern, B. S.; Honey-Rosés, J.; Kim, C.; Cramer, W.; Martínez-Harms, M. J.; Mooney, H.; Mwampamba, T.; Nel, J.; Polasky, S.; Reyers, B.; Roman, J.; Turner, W.; Scholes, J.; Tallis, H.; Thonicke, K.; Villa, F.; Walpole, M. y Walz, A. (2017). Ecosystem services [Capítulo 3.]. En M. Walters y R. J. Scholes (Ed). *The Geo Handbook and on Biodiversity Observation Networks* (2017, pp. 39-78). Springer Nature.
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-27288-7_3
- Bambusa. (2010). Paraboloide en Bambú y Techo Verde. Bambusa Estudio.
https://bambusa.es/portfolio_page/paraboloide-en-bambu-y-techo-verde/
- Bambusa. (s.f.). *Características del bambú*. <https://bambusa.es/caracteristicas-del-bambu/>
- Bambuterra. (2021). *Generalidades del Bambú_5 mitos*. [Presentación de *Power Point*]. Taller Virtual Modelo a Escala de Bambú: 2,3,9 y 10 de octubre.
- Bambuterra. (s.f.) *Modelo a Escala. Taller virtual de Bambú*. Bambuterra.
<https://www.bambuterra.com.mx/tallermodelovirtual>
- Bambuterra y Kaltia. (2016). *Aula Verde*. BAMBUTERRA.
<https://www.bambuterra.com.mx/aula-verde>

- Barahona Sánchez, T. (2011). *Evaluación de la tecnología de techos verdes como agentes ahorradores de energía en México* [Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico]. Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM].
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/3512206>
- Barragán, A. (4 de julio del 2020). *La vida en las azoteas de Ciudad de México*. Lo Mejor de Verne, Ediciones El País.
https://verne.elpais.com/verne/2020/07/04/mexico/1593822394_876666.html
- Beltrán Melgarejo, A. (2013). *Techos Verdes Y El Confort Térmico En Angostillo, Veracruz* [Trabajo de Grado]. Colegio de Posgraduados.
- Berardi, U.; Ghaffarian H., A. H. y Ghaffarian H., A. (2014). State of the Art Analysis of the Environmental Benefits of Green Roofs. *Applied Energy*, 115(2014), pp. 411-428). DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.10.047
- Boff, L., (2013). *La sostenibilidad. Qué es y qué no es*. (p. 41-77). Sal Terrae.
- Bolaños-Silva, T. y Moscoso-Hurtado, A. (2011). Consideraciones y selección de especies vegetales para su implementación en ecoenvolventes arquitectónicos: una herramienta metodológica. *Nodo Arquitectura*, 5(10), 5-20.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3736189>
- Consejo Estatal de Población [COEPO]. (2010). *Jalisco en Cifras. Una Visión desde los Resultados del Censo de Población 2010 y Desde los Programas Públicos*. Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco.
<https://iieg.gob.mx/contenido/PoblacionVivienda/LibroJaliscoenCifras.pdf>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (s.f.a). *Ficha técnica de Ixophorus unisetus.*

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/ixophorus-unisetus/fichas/ficha.htm>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (s.f.b). *Ficha técnica de Euphorbia hirta L.*

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/euphorbiaceae/euphorbia-hirta/fichas/ficha.htm>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad [CONABIO]. (s.f.c). *Ficha técnica de Portulaca oleracea L.*

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/portulacaceae/portulaca-oleracea/fichas/ficha.htm>

Comisión Nacional Forestal [CONAFOR]. (2002). *Manual para la Construcción Sustentable con Bambú.* SEMARNAT, CONACYT-CONAFOR, Instituto de Ecología A.C.

https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/MANUAL_PARA_LA_CONSTRUCCION_SUSTENTABLE_CON_BAMBU.PDF

Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI] (2008). *Programa Específico Desarrollo Habitacional Sustentable ante el Cambio Climático.* CONAVI.

Comisión Estatal del Agua en Jalisco [CEA]. (s.f.). *Cuencas en Jalisco.*
https://www.ceajalisco.gob.mx/contenido/cuencas_jalisco/

Contreras Rodríguez, S.H.; Frías Castro, A.; Gonzáles Castro, S. I.; Ávila Ramírez, B. O.; Macías Rodríguez, M. A. y Bugarín Navarro, L. F. (2014). Flora del Estero el Salado. En J. L.

- Navarrete-Heredia; S. H. Contreras-Rodriguez y S. Guerrero-Vázquez (Editores). Biodiversidad del estero El Salado. Prometeo Editores. https://www.researchgate.net/publication/315677403_Vegetacion_y_flora_del_estero_El_Salado
- Cortes Barrientos, A. F., Cobos Banda, J. P., Arias Flores, V. L., Navarro Flores, M. A., Sandoval Pelayo, C., Gutiérrez González, M., Padilla Arregui, R. y Pineda Ochoa, J. L. (2022). *Mejoramiento del parque Juan Aldama-Autoconstrucción de techo verde de bambú en vivienda social, Puerto Vallarta, Jalisco* [Reporte de Proyecto de Aplicación Profesional en Regeneración Social del Espacio Público]. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, A.C. <https://hdl.handle.net/11117/8323>
- Cortés Sosa, K. A (2019). *Análisis Del Comportamiento Térmico, Beneficios Y Costos, De Dos Tipos De Techos Verdes En Sistema Modular, En Poza Rica, Veracruz* [Trabajo de Grado]. Universidad Veracruzana.
- Costanza, R., d'Arge, R., Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, G., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R., Sutton, P., Belt, M., & Belt, H. (1996). The value of the world's ecosystem services and natural capital. Report of Workshop organised by NCEAS, Santa Barbara, Calif. *Nature*, 387, 253-260. https://www.esd.ornl.gov/benefits_conference/nature_paper.pdf
- Costanza, R., Groot, R., Braat, L., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., y Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>

De Buen R., O.; Hernández P., F. y Navarrete B., J. I. (2016). *Análisis de la Evolución del Consumo Eléctrico del Sector Residencial entre 1982 y 2014 e Impactos de Ahorro de Energía por Políticas Públicas*. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). Cuadernos de la CONUEE No. 1. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98316/CuadernosConueeNo1.pdf>

De Groot, R. S., Wilson, M. A., y Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3), 393-408. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(02\)00089-7](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(02)00089-7)

Doddoli, J. P. (2022). *Análisis Estructural del Estado Actual de la Casa Habitación, Adicionando Cargas Debido a Ampliaciones en Nivel de Azotea con Terraza de Bambú con Cubierta Denominada como Techo Verde* [Memoria de Cálculo]. Anexa a este documento.

Dunnett, N. (2015). Ruderal Green Roofs [Chapter 10]. En R. K. Sutton (Ed). *Green Roof Ecosystems* (Ecological Studies, Analysis and Synthesis, Volume 223, pp. 223-256). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-14983-7>

Dvorak, B. y Volder, A. (2010). Green roof vegetation for North American ecoregions: A literature review. *Landscape and Urban Planning*, 96 (2010), 197–213. [doi:10.1016/j.landurbplan.2010.04.009](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.04.009)

Ecoosfera (27 de mayo del 2021). *Mexicanos Crean Hermosos Techos Verdes para Refrescar el Ambiente* [Publicación web]. Ecoosfera. <https://ecoosfera.com/medio-ambiente/mexicanos-crean-techos-verdes-ligeros-refrescan/>

Elizondo Mata, M. F.; Alcántara Lomelí, A. y Gómez Amador, A. (2009). Edificaciones Ambientalmente Adecuadas y Energéticamente Sensatas en Ciudades Medias de Jalisco:

- el Caso de Puerto Vallarta. En M. R. Del Toro Gaytan (Coordinadora). *Edificación Sustentable en Jalisco* (2009, pp. 62-76). Secretaria de Medio Ambiente para el Desarrollo Sustentable de Jalisco (SEMADES).
<https://www.researchgate.net/publication/273003260> Atlas Bioclimatico de jalisco
- Estrada Casarín, C. E. (2023). *Guía de Aprendizaje PAP 1102 Regeneración Social del Espacio Público* (primavera 2023). Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, A.C.
- Expansión. (20 de septiembre del 2011). *El acero vegetal*. Expansión, Revista Digital.
<https://expansion.mx/expansion/2011/09/14/el-acero-vegetal#:~:text=Guillaumin%20explica%20que%20en%20una,%2C%20es%20decir%2C%20unas%202%2C700>.
- El Contribuyente. (s.f.). *UMA, ¿Qué es y cuánto vale la Unidad de Medida y Actualización?*
<https://www.elcontribuyente.mx/uma/>
- Feliz Santana, K. (2016). *Estudio de Factibilidad de la Implantación de Techos Verdes en un Clima Tropical Como el de la República Dominicana* [Trabajo de Grado]. Universidad Politécnica de Cataluña. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/84099?locale-attribute=es>
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. [CEA]. (10 de julio del 2022). *Derecho Humano al Agua y Saneamiento* [Entrada de Página Web]. Portal del Agua.
<https://agua.org.mx/tus-derechos-sobre-el-agua/#contexto-internacional>

- García, E. (1964). *Modificación al Sistema de Clasificación Climática de Koppen (Para adaptarlo a las Condiciones de la Republica Mexicana)*. Offset Larios S.A.
<https://www.igg.unam.mx/geoigg/biblioteca/archivos/memoria/20190917100949.pdf>
- García, L. (6 de septiembre del 2018). *Islas de Calor, un Fenómeno de las Ciudades* [Publicación web de divulgación científica]. Ciencia UNAM. Dirección General de Divulgación de la Ciencia (DGDC). Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
<https://ciencia.unam.mx/leer/779/islas-de-calor-un-fenomeno-de-las-ciudades>
- Garzón-Molina, M., Parrilla González, M., Laich, F. y Jaizme-Vega, M. C. (21 a 23 de noviembre del 2018). *Calidad de la Planta y Salud de los Agrosistemas. Aplicación de los hongos formadores de micorrizas en el cultivo del aguacate* [Presentación]. Jornadas Técnicas sobre Aguacate, Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Gobierno de Canarias.
<https://www.icia.es/icia/download/Aguacate/02.pdf>
- Gleason Espíndola, J. A., Díaz Núñez, V. L., Córdoba Canela, F., Martínez Rodríguez, A. J., Herbiet Santos, L., Lomnitz Climent, E., Serrano Silva, S., Vargas Vogel, D. M. y García Velázquez, H. (2021). *Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia. Una Introducción*. J. A. Gleason Espíndola (Coordinador). Editorial Trillas. ISBN 978-607-17-4162-2
- Giacomello, E. (2021). *Green Roofs, Facades, and Vegetative Systems. Safety Aspects in the Estándards*. Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-817694-8.
- Gómez-Baggethun, E, y De Groot, R. (2007). Capital natural y funciones de los ecosistemas: Explorando las bases ecológicas de la economía. *Ecosistemas*, 2007(3), 1-12.
<https://edepot.wur.nl/40353>

- Gómez-Baggethun, Erik, Gren, Å., Barton, D. N., Langemeyer, J., McPhearson, T., O'Farrell, P., Andersson, E., Hamstead, Z., & Kremer, P. (2013). Urban Ecosystem Services [Capítulo 11]. En T. Elmqvist, M. Fragkias, J. Goodness, B. Güneralp, P. J. Marcotullio, R. I. McDonald, S. Parnell, M. Schewenius, M. Sendstad, K. C. Seto, & C. Wilkinson (Eds.), *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment* (pp. 175-251). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1_11
- González Velasco, S. (s.f.). Azotea. *Glosario Ilustrado de Arte Arquitectónico*. Recuperado el 07 de febrero del 2023. <https://www.glosarioarquitectonico.com/glossary/azotea/>
- Guzmán Mejía, R. y Anaya Corona, C. (2009). *Puerto Vallarta: Desde Dónde Vienes, Hacia Dónde Vas*. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Altos. 137 p. ISBN 978-970-764-612-4
- Haro Carbajal, E. T. (2009). Comportamiento de dos Tipos de Cubiertas Vegetales, como Dispositivos de Climatización, para Climas Cálidos Subhúmedos [Tesis para obtener el grado en Maestra en Arquitectura]. Universidad de Colima
- Herrera-Cáceres, C. y López-Bernal, O. (2017). Techo Plantado Como Dispositivo De Climatización Pasiva En El Trópico. *Revista de Arquitectura*, 19(1), 42-69 <https://doi.org/10.14718/revarq.2017.19.1.1109>
- Herrera-Gómez, S. S.; Quevedo-Nolasco, A. y Pérez-Urrestarazu, L. (2017). The role of green roofs in climate change mitigation. A case study in Seville (Spain). *Building and Environment*, 123 (2017), 575-584. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.036>

H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, Jalisco (2018). *Reglamento de Construcción de Puerto Vallarta, Jalisco*. Publicado en la Gaceta Oficial el 7 de febrero del 2018, Año 3, Número 20. Gobierno Municipal 2015-2018.

H. Ayuntamiento Constitucional de Puerto Vallarta, Jalisco. (2020). *Programa Municipal de Cambio Climático de Puerto Vallarta, Jalisco 2020-2030*. Publicado en la Gaceta Municipal de Puerto Vallarta el 29 de abril del 2020, Año 2, Número 12.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2018). *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares: ENCEVI*. INEGI. <https://www.inegi.org.mx/programas/encevi/2018/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2020). *Resultados del Censo de Población y Vivienda 2020. Principales resultados por AGEB y manzana urbana 2020*. <https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=10>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (09 de mayo del 2021) *Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas (SIATL v4)*. https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias [INIFAP]. (23 de mayo del 2022). *Plantaciones de bambú como alternativa de producción rural* [Entrada de Blog]. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/plantaciones-de-bambu-como-alternativa-de-produccion-rural?idiom=es>

ITESO. (2022, julio 15). *¿Qué son los PAP?* [Publicación web en página oficial]. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, A.C. https://pap.iteso.mx/web/general/detalle?group_id=3088784

- IV Congreso Mexicano de Bambú Colima [4CMB]. (2022). *Página web del 4CMB*.
<https://4cmb.netlify.app/>
- Kaminski, S., Lawrence, A., Trujillo, D., Feltham, I. y López, L. F. (2016). Structural use of bamboo Part 3: Design values. *The Institution of Structural Engineer*, Diciembre(2016), pp. 42-45. [https://www.istructe.org/journal/volumes/volume-94-\(2016\)/issue-12/structural-use-of-bamboo-part-3-design-values/](https://www.istructe.org/journal/volumes/volume-94-(2016)/issue-12/structural-use-of-bamboo-part-3-design-values/)
- Kavle, S. (2011). *Las Entrevistas en la Investigación Cualitativa*. Ediciones Morata S.L.
<https://www-digitaliapublishing-com.pbidi.unam.mx:2443/visor/24037>
- Kasten-Paredes, K. (2016). *Atributos y Criterios de Diseño Sustentable para el Desarrollo de un Módulo de Azotea Verde Extensivo/Mixto en Zapopan*. Repositorio Institucional del ITESO. <https://rei.iteso.mx/handle/11117/3552>
- Lara Martínez, L. (2018). Catálogo de vegetación mexicana para su uso en la naturación de azoteas del Valle de México. *De los Métodos y las Maneras*, 2018 (3), 115-124.
<http://hdl.handle.net/11191/6138>
- Lucila Aguilar Arquitectos. (2016). LA CEIBA [Lucila Aguilar Arquitectos]. Lucila Aguilar.
<https://lucilaaguilar.com/proyecto/la-ceiba/>
- Lucila Aguilar Arquitectos. (2019). *Manual para la construcción con Bambú*. Elaborado para UMABAL Agroforestal. XII Bienal Habana, Factoría Habana 2019.
<https://lucilaaguilar.com/wp-content/uploads/2021/04/01-Manual-General-de-Bambu%CC%81.pdf>

- Lucila Aguilar Arquitectos y Selvazama. (2020). *Catálogo de Bambú en México*. Lucila Aguilar Arquitectos. <https://lucilaaguilar.com/wp-content/uploads/2021/05/Cata%CC%81logo-de-Bambu%CC%81-en-Me%CC%81xico-Lucila-Aguilar-2020.pdf>
- López Machado, N. A.; Domínguez González, C. G.; Barreto, W.; Méndez, N.; López Machado, L. J.; Soria Pugo, M. G.; y Montesinos, V. (2020). Almacenamiento de agua de lluvia en medios urbanos utilizando techos verdes. *La Granja Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 54-71. DOI: <https://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.05>
- López Silva, D. V. (2020). Comparación de plantas con diferente metabolismo en el desempeño térmico de techos verdes extensivos [Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencias]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.
- López Torres, K. V., Cupul Ramírez, N. B., Cortes Barrientos, F. A., Galván Portoni, M. y Cobos Banda, J. P. (2022). *Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal, Puerto Vallarta, Jalisco* [Reporte de Proyecto de Aplicación Profesional en Regeneración Social del Espacio Público]. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, A.C.
- Mang, P., Haggard, B., y Regenesis. (2016). *Regenerative Development and Design: A Framework for Evolving Sustainability*. John Wiley & Sons, Inc. <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.iteso.mx/ehost/ebookviewer/ebook/bmxlYmtfXzEzMzYzNjNfX0FO0?sid=9143b534-0ccf-4e6f-bce2->
- Martínez, L. L. (2018). Catálogo de Vegetación Mexicana para su Uso en la Naturación de Azoteas del Valle de México. *De los Métodos y las Maneras*, (3), pp. 115-124. ISBN versión electrónica 978-607-28-1333-5. <http://hdl.handle.net/11191/6138>

- Martínez-De la Cruz, I., Vibrans, H., Lozada-Pérez, L., Romero-Manzanares, A., Aguilera-Gómez, L. I., & Rivas-Manzano, I. V. (2015). Plantas ruderales del área urbana de Malinalco, Estado de México, México. *Botanical Sciences*, 93(4), 907-919. <https://doi.org/10.17129/botsci.213>
- Martínez Pedraza, E. R. (2012). Efecto del pasto San Agustín (*Stenotaphrum secundatum*) en la disminución de la isla de calor mediante las azoteas verdes en un aula [Trabajo para acreditar el programa educativo en Ingeniería Ambiental]. Universidad Veracruzana.
- Mayorga Cervantes, J. R. (2012). *Arquitectura y Confort Térmico. Teoría, Cálculo y Ejercicios*. Plaza y Valdés Editores. ISBN 978-607-402-458-6
- McCormik, K. (Ed.). (2020). *Cities, Nature and Innovation: New Directions*. Land University. https://portal.research.lu.se/portal/files/75255308/Urban_Nature_Compendium.pdf
- Millennium Ecosystem Assessment [MEA]. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Minke, G. (2012). *Building with Bamboo: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. EBSCOhost. Birkhäuser. <https://web-p-ebsohost-com.ezproxy.iteso.mx/ehost/command/detail?vid=9&sid=5e8b270c-dd6f-4b46-993b-0da128e7be16%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZlJnNjb3B1PXNpdGU%3d#AN=603819&db=nlebk>
- Morales, Y. (17 de junio del 2021). *Domotej, Una Techo Verde Capaz de Refrescar Hasta 17 Grados el Interior de una Vivienda* [Publicación web]. Chiapas Paralelo.

<https://www.chiapasparalelo.com/trazos/tecnologia/2021/06/domotej-un-techo-verde-capaz-de-refrescar-hasta-17-grados-el-interior-de-una-vivienda/>

Moreno-Villena, J. J., Zhou, H., Gilman, I. A., Tausta, S. L., Cheung, C. Y. M. y Edwards, E. J. (2022). Spatial resolution of an integrated C₄+CAM photosynthetic metabolism. *Science Advances*, 8(31), pp. 1-14. DOI: 10.1126/sciadv.abn2349

[Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2017, que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en la Ciudad de México \[NADF-013-RNAT-2017\]. Publicado en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México el 30 de noviembre del 2018. \[http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/Respuesta_Comentarios_NA_DF_013_RNAT_2017.pdf\]\(http://data.sedema.cdmx.gob.mx/sitios/conadf/documentos/Respuesta_Comentarios_NA_DF_013_RNAT_2017.pdf\)](#)

Norma Ecuatoriana de la Construcción. Estructuras de Guadua (GaK) [NEC-SE-GUADÚA]. (2016). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/NEC-SE-GUADUA-VERSION-FINAL-WEB-MAR-2017.pdf>

Normas Técnicas Complementarias de Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería de la Ciudad de México [NTC2008]. (2008). Gobierno de la Ciudad de México. <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/745.pdf>

Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras con Madera de la Ciudad de México [NTC - Madera]. (2017). Publicado en el Diario Oficial de la Ciudad de México el 15 de diciembre del 2017.

<https://www.smig.org.mx/archivos/NTC2017/normas-tecnicas-complementarias-reglamento-construcciones-cdmx-2017.pdf>

Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo [NTC2017] (2017). Gobierno de la Ciudad de México. <http://cgservicios.df.gob.mx/prontuario/vigente/739.pdf>

Norma Técnica E.100 BAMBÚ. (2020). Reglamento Nacional de Edificaciones. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción – SENCICO. Perú. ISBN: 978-612-48427-8-8. <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/#>

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2 de mayo del 2021). *Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles*. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (24 de abril del 2021). Degradación del Suelo. Portal de Suelos de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>

Organización Internacional para el Bambú y el Ratán [INBAR]. (10 de mayo del 2022). *Acerca de INBAR*. INBAR. <https://www.inbar.int/es/about-inbar/>

- Ordóñez López, E. E. y Pérez Sánchez, M. M. (2015). Comparación Del Desempeño Térmico De Techos Verdes Y Techos Blancos Mediante Técnicas IR. *Acta Universitaria*, 25(5), 11-19. doi: 10.15174/au.2015.782
- Ortegón, E.; Pacheco, J. F. y Prieto, A. (2005). *Metodología del Marco Lógico para la Planificación, el Seguimiento y la Evaluación de Proyectos y Programas*. CEPAL-SERIE Manuales. Naciones Unidas. ISSN electrónico 1680-8878. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5607/S057518_es.pdf
- Osuna Motta, I., Herrera Cáceres, C., & López Bernal, O. (2017). Techo plantado como dispositivo de climatización pasiva en el trópico. *Revista de Arquitectura*, 19(1), 42-55. Universidad Católica de Colombia. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/1251/125153396006/html/index.html>
- Phelan, P. E.; Kaloush, K.; Miner, M.; Golden, J.; Phelan, B.; Silva III, H. y Taylor, R. A. (2015). Urban Heat Island: Mechanism, Implications, and Possible Remedies. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(november 2015), pp. 285-307. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102014-021155>
- Pinzón G., L. M. (2017). *Propagación Vegetativa De Tres Especies Nativas De Páramo En Dos Sustratos, Para Su Posible Uso En Techos Verdes*. Convención Internacional sobre Medio Ambiente y Desarrollo. VI Congreso sobre manejo de ecosistemas y biodiversidad. Ciudad de la Habana, Cuba. <https://www.researchgate.net/publication/332898771>
- Placitelli, C. (2022). *Curso de Cubiertas Vegetales* [Presentación de power point]. Curso virtual del 16 de febrero a 9 de marzo. Bioconstrucción Futura. <https://bioconstruccionfutura.com/courses/cubiertas-vegetales/>

Plantica-Ciudades Vivas (30 de noviembre del 2020). Cómo Comenzó.

<https://www.plantica.mx/nuestrahistoria>

Portal Ambiental. (15 de julio del 2022). *Holandeses Inventan Tejas Verdes que Mejoran la Eficiencia Energética y Aumenta la Biodiversidad*. Portal Ambiental. <https://portal-ambiental.com/ecologia/holandeses-inventan-tejas-verdes-que-mejoran-la-eficiencia-energetica-y-aumenta-la-biodiversidad/>

Ramírez Delgadillo, R. y Cupul Magaña, F.G. (1999). Contribución al conocimiento de la flora de la Bahía de Banderas, Nayarit-Jalisco, México. *Ciencia Ergo Sum*, 6(2), julio-octubre, 135-146. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10401506>

Ramírez Sánchez, H. U.; Meulenert Peña, A. R. y Gómez Reyna, J. A. (2013). Actualización del Atlas Bioclimático del Estado de Jalisco. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 2013(82), pp. 66-92. ISSN 0188-4611. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112013000300006

Ravanelli, R.; Nascetti, A.; Cirigliano, R.V.; Rico, C.; Monti, P. y Crespi, M. (2018). Monitoring Urban Heat Island Through Google Earth Engine: Potentialities and Difficulties in Different Cities of the United States. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII(3), pp. 1467–1472. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-1467-2018>

Real Academia Española (s.f.). Azotea. En *Diccionario de la Lengua Española*. Recuperado del 07 de febrero del 2023. <https://dle.rae.es/azotea?m=form>

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10. Título G- Estructuras de Madera y Estructuras de Guadua [NSR-10 G]. (2010). Asociación Colombiana de

Ingeniería

Sísmica.

<https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Rodríguez Viqueira, M., y Guerrero Baca, L. F. (2004). *Introducción a la arquitectura Bioclimática*. UAM Azcapotzalco, Departamento de Medio Ambiente para el Diseño. Editorial Limusa. Pp. 204. ISBN: 968-18-6212-0

Ruiz-Sánchez, E. R. (2019). Los Bambúes de México: Diversidad, Conservación y Uso. *Biodiversitas*, 143, 13-16. <https://www.researchgate.net/publication/335989474>

Ruiz-Sánchez, E., Tyrrell, C. D., Londoño, X., Oliveira, R. P., & Clark, L. G. (2021). Diversity, distribution, and classification of Neotropical woody bamboos (Poaceae: Bambusoideae) in the 21st Century. *Botanical Sciences*, 99(2), 198-228. <https://doi.org/10.17129/botsci.2722>

Rzedowski, G. C. y Rzedowski, J. (2004). *Manual de Malezas de la Región de Salvatierra, Guanajuato*. Instituto de Ecología, A.C. <https://doi.org/10.21829/fb.162.2004.XX>

[Sahagún Godínez, E. \(2011\). *Estudio descriptivo de la flora y de la vegetación nativa en la parte este y oeste de Los Jardines Botánicos de Vallarta, Cabo Corrientes, Jalisco. Vallarta Botanical Gardens A.C.* <http://www.vbgardens.org/pdf/Estudio-Floristico.pdf>](http://www.vbgardens.org/pdf/Estudio-Floristico.pdf)

Sánchez, N. (2007). El Marco Lógico. Metodología para la Planificación, Seguimiento y Evaluación de Proyectos. *Visión Gerencial*, 2(julio-diciembre), pp. 328-343. Universidad de los Andes, Venezuela. ISSN: 1317-8822. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=465545876012>

- Schiappacasse, F., Rodríguez, E., Nektarios, P. A., Gaete, K. M., & Maturana, L. A. (2017). Growth of the Chilean plants *Haplopappus macrocephalus* and *Selliera radicans* on an extensive modular green roof system under three irrigation regimes. *Idesia*, 35(3), 31-39. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000203>.
- Schindler, B. Y., Blaustein, L., Lotan, R., Shalom, H., Kadas, G. J., & Seifan, M. (2018). Green roof and photovoltaic panel integration: Effects on plant and arthropod diversity and electricity production. *Journal of Environmental Management*, 225, 288-299. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.017>
- Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA]. (2018). *Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2017, que Establece las Especificaciones Técnicas para la Instalación de Sistemas de Naturación en la Ciudad de México*. https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/5308292ce3f31d0cd148599c20c8a423.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2010). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-059-SEMARNAT-2010. <http://www.gob.mx/profepa/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-059-semarnat-2010>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2015). Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2020). Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.

- Sero, K. C., Parnell, S., & Elmqvist, T. (2013). A Global Outlook on Urbanization [Capítulo 1]. En T. Elmqvist, M. Fragkias, J. Goodness, B. Güneralp, P. J. Marcotullio, R. I. McDonald, S. Parnell, M. Schewenius, M. Sendstad, K. C. Seto, y C. Wilkinson (Eds.), *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities* (pp. 1-12). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7088-1>
- Service des Parcs et Domaines de la Ville de Lausanne (SPADOM). (2019). Toitures Végétalisées. Guide de Recommandations. Pourquoi et comment accueillir la nature sur son toit? Ville de Lausanne. <https://www.reseau-idee.be/outils-pedagogiques/4811>
- Silva, J. F. (27 de septiembre del 2017). La Restauración Ecológica Revisitada. *Sustentabilidad y Desarrollo*. <https://sustentabilidadydesarrollo.wordpress.com/tag/restauracion-ecologica/>
- Sistema Nacional de Información e Indicadores de Vivienda [SNIIV]. (2021). *Glosario SNIIV*. Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, Comisión Nacional de Vivienda [CONAVI]. <https://sistemas.sedatu.gob.mx/repositorio/proxy/alfresco-noauth/api/internal/shared/node/FbR2jXfZReirHW6feb3o4Q/content/GLOSARIO%20SNIIV.pdf>
- Sistema Metrológico Nacional [SMN] y Comisión Nacional del Agua [CONAGUA]. (22 de enero del 2022). *Normales Climatológicas por Estado. Estación El Cuale en Puerto Vallarta*. Servicio Meteorológico Nacional. <https://smn.conagua.gob.mx/es/informacion-climatologica-por-estado?estado=jal>
- Studio Cardenas Conscious. (2019). *Inbar Garden Pavilion—2019 Beijing International Horticultural Exhibition*. Studio Cardenas Conscious Design.

<https://www.studiocardenas.it/index.php/en/2015-03-23-13-47-22/work-in-progress/154-inbar>

Snodgrass, E.C. y Snodgrass, L. L. (2010). *Green Roof Plants. A resource and Planting Guide* (Cuarta Impresión). Timber Press.

Soto, M. S.; Barbaro, L.; Coviella, M. A. y Stancanelli, S. (2014). Catálogo de plantas para techos verdes. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Gobierno de Argentina.
<https://inta.gob.ar/documentos/catalogo-de-plantas-para-techos-verdes>

Sutton, R. K. (2015) *Introduction to Green Roof Ecosystems* [Chapter 1]. En R. K. Sutton (Ed.). *Green Roof Ecosystems. Ecological Studies, Volume 223* (pp. 1-26). Springer. ISSN 0070-8356. DOI 10.1007/978-3-319-14983-7

Susca, T.; Gaffin, S. R. y Dell'Osso, G. R. (2011). Positive Effects of Vegetation: Urban Heat Island and Green Roofs. *Environmental Pollution*, 159 (2011); pag. 2119-2126.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>

TeleSUR, (26 de agosto del 2020). ¿Qué es la pitahaya o fruto del dragón? [Nota periodística].
<https://www.telesurtv.net/multimedia/pitahaya-fruto-dragon-propiedades-medicinales-20200826-0055.html>

Toche, N. (3 de marzo del 2015). *La Azotea Verde Más Grande de América Latina* [Publicación web]. El Economista. <https://www.economista.com.mx/arteseideas/La-azotea-verde-mas-grande-de-AL-20150303-0147.html>

Tovar Jiménez, E. I. (2011). *Manejo bioclimático de vegetación nativa de México, de raíz autoadherente, en envolventes arquitectónicas como dispositivo de control térmico,*

- aplicado a un modelo de casa habitación en la Ciudad de México* [Tesis para obtener el grado de Maestro en Diseño]. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/5604>
- Tovar Jiménez, E. I.; Figueroa Castrejon, A. y Gordon Sánchez, M. (2014). Criteria for selection of plant species for its deployment in thermally efficient architectural green roofs in the Metropolitan Area of Mexico City: methodological guidelines. *Energy Procedia* 57 (2014), 1798– 1807. doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.043
- Vargas Bautista, K., Bravo Torres, I. A. y Doddoli Rodríguez, J. P. (2021). Escenario: corredores ambientales, parque Corregidora, Pto. Vallarta, Jalisco [Reporte de Proyecto de Aplicación Profesional en Regeneración Social del Espacio Público]. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, A.C. <https://hdl.handle.net/11117/8324>
- Vibrans, H. (13 de abril del 2011). *Malezas de México Evolución y diversidad Nativas y exóticas Beneficios y costos* [Presentación en Simposio]. Simposio Organismos Genéticamente Modificados con Tolerancia a Herbicidas, Organismos Genéticamente Modificados con Tolerancia a Herbicidas. https://www.academia.edu/28610246/Malezas_de_M%C3%A9xico_Evoluci%C3%B3n_y_diversidad_Nativas_y_ex%C3%B3ticas_Beneficios_y_costos
- Wang, X.; Li, H. y Sodoudi, S. (2022). The Effectiveness of Cool and Green Roofs in Mitigating Urban Heat Island and Improving Human Thermal Comfort. *Building and Environment*, 217(2022) 109082, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109082>
- Weiss M., A. (s.f.). *La quinta fachada, una nueva perspectiva sobre la ciudad*. La Casa de Juana. <https://lacasadejuana.cl/la-quinta-fachada-una-nueva-perspectiva-la-ciudad/>

- Yeromans Reyna, F. S., Almada Navarro, D. V., & Martínez Márquez, R. (14-16 de agosto de 2013). *Evaluación de los Efectos de Techo Verde en el Nivel de Confort Térmico en Vivienda de Interés Social* [Conferencia]. 11th Latin America and Caribbean Conference for Engineering and Technology (LACCEI-2013), Cancún, México.
<http://www.laccei.org/LACCEI2013-Cancun/RefereedPapers/RP298.pdf>
- Yuen, J. Q., Fung, T. y Ziegler, A.D. (2017). Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. *Forest Ecology and Management*, 393(2017), pp. 113-138.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.01.017>
- Zárate Beas, F. S., Romo Reynoso, H. C., Iñiguez Romo, H. O., Galván Portoni, M., García Amador, B., López Torres, K. V. y Muñoz Román, D. A. (2022). *Corredores socioambientales para la regeneración del Río Pitillal en Puerto Vallarta* [Reporte de Proyecto de Aplicación Profesional en Regeneración Social del Espacio Público]. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, A.C.
<https://hdl.handle.net/11117/8322>
- Zuarq, C. (2016). *Casa Vacío. ZUARQ. Diseño y Arquitectura en Guadua*.
<https://www.zuarq.co/casa-vacio/>

Anexos

Índice de Anexos

1. Cartas de Vinculación Social	239
2. Ponencia en CIDSER-2021	247
3. Ponencia en 3 ^{er} Foro para América Latina y el Caribe sobre Bosques Urbanos	251
4. Cartografía	253
5. Instrumentos de Investigación	261
Guía de Encuesta	262
Guía de Entrevista	285
6. Memoria de Cálculo del Prototipo DDI	298

1

Cartas de Vinculación Social





Asunto: Carta de Vinculación

Tlaquepaque, Jalisco a 20 de abril del 2022

A Quién Corresponda

Programa de Becas Nacionales

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Anteponiendo un cordial saludo, me complace informar del vínculo que se tiene con la Ing. **Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández**, estudiante de la *Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables* del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en relación con su trabajo de obtención de grado.

Dicho vínculo consiste en la inclusión de la mencionada como asesora invitada para la asignatura de nivel licenciatura "*Proyecto de Aplicación Profesional en Regeneración Social del Espacio Público*". En la cual, se conformó un equipo interdisciplinario entre asesores (as) y estudiantes. Esta sinergia fue posible debido a objetivos en común. A ambos nos interesa explorar materiales de construcción locales y alternativos, como el bambú, para proponer soluciones e impulsar la regeneración del espacio público y de la vivienda con eficiencia energética y criterios sustentables.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos de la colaboración tienen aplicación potencial en dos procesos comunitarios de regeneración que acompañamos actualmente: uno para el parque de la Etapa 14, en el fraccionamiento Chulavista del municipio de Tlajomulco de Zúñiga; y otro más para el parque Juan Aldama, en la colonia Independencia en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco. En ambos los estudiantes trabajan en proyectos para la producción social de estructuras ligeras y mobiliarios de bambú con la asesoría y el seguimiento de los asesores participantes y la participación activa de los vecinos y habitantes.

Sirva la presente para los efectos que la interesada considere convenientes y me despido

Atentamente

M. Arq. Carlos E. Estrada Casarín

Profesor Líder de Proyecto de Aplicación Profesional en Regeneración Social del Espacio Público

PAP 1102 Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente Universidad Jesuita de Guadalajara



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE LA COSTA SUR
 DIVISIÓN DE DESARROLLO REGIONAL
 DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA Y RECURSOS NATURALES - IMECBIO

Asunto: Carta de Vinculación

A Quién Corresponda
Programa de Becas Nacionales
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Anteponiendo un cordial saludo, me complace informar del **vínculo** que se tiene con la **C. Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández**, estudiante de la *Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables* del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en relación con el proyecto de tesis: “Techos verdes con Especies nativas: Una apuesta para crear azoteas regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta”, que representa su Trabajo de Obtención de Grado (TOG).

Dicho vínculo consiste en tener acceso al *Herbario Zea* del Departamento de Ecología y Recursos Naturales (DERN), para entrevistas de asesoramiento, identificación de plantas y revisión de listados de especies nativas, potenciales para implementar en techos verdes y que se pretenden proponer para la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco.

Antes de despedirme, quisiera expresar sincero interés por el trabajo de la mencionada. Así como constatar la relevancia de los objetivos de su TOG. Considero importante apoyar investigaciones de este tipo, que buscan contribuir a mitigar la pérdida de servicios ecosistémicos a causa de la urbanización.

A t e n t a m e n t e

“Piensa y Trabaja”

***“2022 Guadalajara, hogar de la Feria Internacional del libro y
 Capital Mundial del libro”***

Autlán de Navarro, Jalisco, abril 08 de 2022


M en C. José Arturo Solís Magallanes

Profesor Investigador Titular C

Departamento de Ecología y Recursos Naturales

asolis@cucsur.udg.mx



GEOSITER S.A. de C.V.
Geosoluciones Integrales del Territorio

Guadalajara, Jalisco a 6 de abril de 2022

Asunto: Carta de Vinculación

**PROGRAMA DE BECAS NACIONALES
CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
P R E S E N T E**

Anteponiendo un cordial saludo, me complace informar del vínculo que se tuvo con la C. Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández, estudiante de la Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en relación con su trabajo de obtención de grado (TOG).

Dicho vínculo se generó en el marco de un ejercicio académico. En el cual, se le brindó asesoría especializada en Sistemas de Información Geográfica (SIG). Al mismo tiempo, se trabajó de forma interdisciplinaria con la mencionada para la producción de cartografía y datos estadísticos desde una perspectiva espacial (geográfico-territorial) referida al análisis de la temperatura superficial de la localidad de Puerto Vallarta, Jalisco desde el enfoque del fenómeno de Isla de Calor Urbana. Lo anterior se desarrolló de manera holística, usando técnicas de teledetección y metodologías cuali-cuantitativas a través de herramientas digitales, específicamente software de SIG y hojas de cálculo.

Sin otro particular, me despido quedando de usted.

Geog. Samuel Alatorre Ramos
Coordinador General
GEOSITER S.A. de C.V.

Contacto

geositer1@gmail.com
Teléfonos
Fijo (33) 1525 0148

www.geositer.com



Geositer



geositer_

Móvil 333 598 9321

*GEOSITER S.A. de C.V.
Geosoluciones Integrales del Territorio
Consultoría ambiental con especialidad en estudios de riesgo*

*"La naturaleza determina, el individuo decide y la geografía integra"
Froilan Portugal, 2013*



Contacto: Geog. Samuel Alatorre Ramos
Teléfono 333-598-9321

geositer1@gmail.com



Geositer



geositer_

Guadalajara, Jalisco a 12 de mayo del 2022

Asunto: Carta de Vinculación

A Quién Corresponda
Programa de Becas Nacionales
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Anteponiendo un cordial saludo, me complace informar del vínculo que se tiene con la Ing. **Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández**, estudiante de la *Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables* del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en relación con su trabajo de obtención de grado (TOG).

Dicho vínculo se originó siendo yo estudiante de la carrera de Ingeniería Civil en el ITESO, en el marco de la asignatura *Proyectos de Aplicación Profesional-Regeneración Social del Espacio Público*, en el período Otoño-2021. El cual, se extendió posterior a mi egreso como estudiante y se mantiene vigente a la fecha.

Para mí ha resultado beneficioso el trabajo interdisciplinario que estamos realizando en materia de diseño y cálculo de estructuras de bambú con techos verdes debido a que es un material que ha tenido auge en tendencias de construcción actuales, buscando generar algo más que estructuras convencionales de acero y concreto, apostando por reducir las huellas de carbono tanto en proceso constructivo, como a lo largo de la vida útil de la estructura. De igual forma, estos procesos suman en mi formación profesional ya que es un material poco mencionado en contenido y desarrollo de cálculos en la rama de la ingeniería civil tanto a nivel estatal como a nivel nacional.

Atentamente,



Ing. Juan Pablo Doddoli Rodriguez

Egresado de Ingeniería Civil en 2021 del
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente
Tlaquepaque, Jalisco



Oficio: DIR/JISOC/63/2022
 Mascota, Jalisco. 11 de mayo del 2022
 Asunto: Carta de Vinculación.

A Quién Corresponda
Programa de Becas Nacionales
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Anteponiendo un cordial saludo, me complace informar del vínculo que se tuvo con la **C. Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández**, estudiante de la *Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables* del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en relación con su trabajo de obtención de grado, titulado *Techos Verdes con Especies Nativas: Una Apuesta para Crear Azoteas Regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta, Jalisco*.

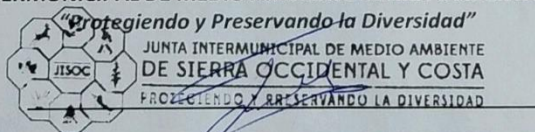
A solicitud de la interesada, por considerar del interés de la Junta Intermunicipal de Medio Ambiente Sierra Occidental y Costa (JISOC), el pasado 18 de marzo del 2021 sostuvimos una reunión ejecutiva con ella. En la cual nos presentó los objetivos que persigue su proyecto de grado. Asimismo, discutimos acerca de los alcances de su TOG y los relacionamos con los alcances de esta organización.

A manera de despedida, quisiera mencionar que, si bien no se generó un vínculo de colaboración directo entre la JISOC y la Ing. Vanessa Mendoza, para la organización que represento resulta valioso las conclusiones a las que pueda llegar con su trabajo de grado. Estas conclusiones pueden convertirse potencialmente en aportes para la labor ambiental dentro de los municipios que conforman la junta.

Agradeciendo de antemano su atención, me despido enviándole un cordial saludo.

Atentamente:

JUNTA INTERMUNICIPAL DE MEDIO AMBIENTE SIERRA OCCIDENTAL Y COSTA



ING. CLAUDIO FABRICIO FLORES MORALES
DIRECTOR GENERAL DE LA JISOC

Página 1 | 1

JUNTA INTERMUNICIPAL DE MEDIO AMBIENTE DE SIERRA OCCIDENTAL Y COSTA

ORGANISMO PÚBLICO DESCENTRALIZADO

Calle Ponciano Arriaga #45 Mascota, Jalisco, México C.P. 46900 Tel. 388 386 0440 www.jisoc.org.mx



Universidad Nacional
Autónoma de México



Jardín Botánico

Asunto: Carta de Vinculación

A Quién Corresponda
Programa de Becas Nacionales
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Anteponiendo un cordial saludo, me complace informar del vínculo que se tuvo con la **C. Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández**, estudiante de la *Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables* del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en relación con su trabajo de obtención de grado, titulado *Techos Verdes con Especies Nativas: Una Apuesta para Crear Azoteas Regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta, Jalisco*.

Dicho vínculo consistió en una entrevista que la interesada me solicitó con motivo de mi experiencia en azoteas verdes. A la cual, con el gusto de colaborar en un tema de mi entero interés, accedí a su aplicación el día 29 de octubre del 2020.

Entre otros asuntos, durante la entrevista se abordó las implicaciones técnicas de la instalación de azoteas verdes; costos de instalación y subsidios gubernamentales; materiales empleados en el sustrato; casos de azoteas verdes en vivienda social; especies nativas potenciales para el clima de Puerto Vallarta; e importancia de la instalación de azoteas verdes en el contexto actual de cambio climático y pérdida de servicios ecosistémicos en las urbes.

Atentamente,

“Por mi Raza Hablará el Espíritu”

Ciudad de México a 11 de abril del 2022

Biól. Panuncio Jerónimo Reyes Santiago

Responsable del Programa de Azoteas Verdes

Instituto de Biología

Universidad Nacional Autónoma de México

Asunto: Carta de Vinculación

A Quién Corresponda
Programa de Becas Nacionales
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Anteponiendo un cordial saludo, me complace informar del vínculo que se tuvo con la **C. Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández**, estudiante de la *Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables* del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en relación con su trabajo de obtención de grado, titulado *Techos Verdes con Especies Nativas: Una Apuesta para Crear Azoteas Regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta, Jalisco*.

Dicho vínculo consistió en una entrevista que la interesada me solicitó con motivo de mi participación en la publicación titulada *Comparación del Desempeño Térmico de Techos Verdes y Techos Blancos Mediante Técnicas IR*, publicado en 2015. A la cual, con el gusto de colaborar en un tema de mi interés, accedí a su aplicación el día 19 de marzo del 2021.

Atentamente,

Mérida, Yucatán a 12 de abril del 2022



Dra. María Milagrosa del Carmen Pérez Sánchez

Profesora Investigadora de la Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Yucatán

2

Ponencia en CIDSER-2021



CONGRESO INTERNACIONAL DE DESARROLLO SUSTENTABLE Y ENERGÍAS RENOVABLES

La Asociación Latinoamericana de Desarrollo Sustentable y
Energías Renovables (ALDESER)

Otorga el presente

RECONOCIMIENTO

a:

Vanessa Mendoza-Hernández, Francisco Álvarez-Partida, Marinés De la Peña-Domene.

Por la presentación del trabajo:

**Tendencia en la percepción sobre techos verdes y usos de la azotea
en Puerto Vallarta.**



4, 5 y 6 de Noviembre de 2021

Dr. Luis Carlos Sandoval Herazo
ALDESER

Orizaba, Veracruz, México

Tendencia en la percepción sobre techos verdes y usos de la azotea en Puerto Vallarta

Vanessa Mendoza-Hernández¹, Francisco Álvarez-Partida², Marín De la Peña-Domene³

¹Estudiante de la Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables del ITESO, Tlaquepaque, Jalisco, México

²Profesor-investigador del Departamento del Habitat y Desarrollo Urbano del ITESO, Tlaquepaque, Jalisco, México

³Profesora-investigadora del Centro Interdisciplinario para la Formación y Vinculación Social del ITESO, Tlaquepaque, Jalisco, México

Desarrollo Sustentable. Ponencia Virtual.

Recibido: Aceptado: Publicado:

Palabras clave: techos verdes; percepción social; uso de azotea; servicios ecosistémicos urbanos; Zona Metropolitana de Puerto Vallarta

Introducción. Los techos verdes son potencialmente útiles para proveer servicios ecosistémicos urbanos, por ejemplo: mitigar el cambio climático (Osuna et al, 2017); reducir el efecto de isla de calor (Herrera-Gómez et al, 2017); y gestionar la escorrentía pluvial (López et al, 2019). Sin embargo, estos no son la única ecotecnología que compite por el espacio de la azotea. Además, demandan la revisión detallada de aspectos arquitectónicos, como la capacidad de carga, el acceso a la azotea y una correcta impermeabilización y protección de la cubierta (SEDEMA, 2018). Talantes que incrementan su costo y limitan su accesibilidad para familias que habitan en vivienda social. Por otra parte, aunque en climas tropicales la instalación de techos verdes ofrece un alcance mayor de ahorro en el consumo eléctrico por enfriamiento artificial en la vivienda (Barahona, 2011), la apropiación de nuevas ecotecnologías está condicionada al contexto local (Ortiz et al, 2014). Por ello, este trabajo aporta elementos para evaluar la pertinencia de los techos verdes en el contexto de Puerto Vallarta.

Materiales y Métodos. Se realizó una encuesta no representativa en el Área Metropolitana de Puerto Vallarta -AMPV- (Figura 1). La encuesta exploró dos temas: techos verdes y usos de la azotea. El tamaño de la muestra se estableció en un mínimo de 100 encuestados.



Figura 1. Metodología

Resultados. Si bien el techo verde es la segunda ecotecnología más votada como deseable, es la de menor presencia (Figura 2). Para hacer más fresca la vivienda se opta por la instalación de aire acondicionado. Ello se ve reflejado en que la mitad de las encuestadas paga mensualmente entre \$500 a \$8000 pesos de electricidad, convirtiendo a los paneles solares en la ecotecnología más instalada. Si bien, tanto los techos verdes como los paneles solares ocupan un espacio amplio en la azotea, estas pueden coexistir. De hecho, se reporta que los primeros incrementan la eficiencia y durabilidad de los paneles solares (Schindler et al, 2018).

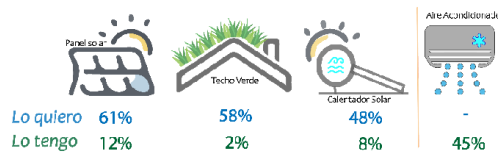


Figura 2. Ecotecnologías: existentes y anheladas

El 73% de las encuestadas reportaron contar con acceso a la azotea, y de estos, la mitad hace uso de ella (Figura 3). El uso parece estar condicionado por el tipo de escalera, puesto que dos tercios de los que reportan hacer uso de la azotea cuentan con escalera recta o de caracol. Empero, el porcentaje de escalera portátil es similar en ambos casos. Por otra parte, a pesar de hacer un uso, se ignora la capacidad de carga de la cubierta (77% de encuestadas lo ignora).

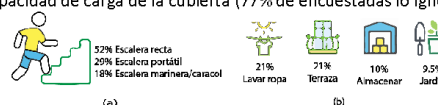


Figura 3. Acceso y Uso de Azotea: (a) Tipo de escalera para acceder a la azotea y (b) Tipos de uso de azotea

Las cinco razones más votadas para instalar un techo verde en la vivienda (Figura 4) se relacionan con servicios ecosistémicos de regulación y provisionamiento, dejando en sexto lugar servicios culturales como belleza escénica. Esto es consistente con el 80% de encuestadas que afirmó que probablemente instalaría un techo verde en su vivienda con especies nativas, aunque este careciera de belleza estética. Asimismo, para dos tercios de las personas encuestadas es importante que las especies utilizadas en la instalación de techos verdes sean nativas.



Figura 4. Razones para instalar un techo verde

Antes que el costo de instalación y mantenimiento, la mayor preocupación percibida acerca de instalar un techo verde son los problemas de humedad que este pudiera causar a la vivienda, así como daños a la estructura.

Conclusiones. La encuesta indica que los techos verdes son una ecotecnología conocida para los habitantes del AMPV puesto que el 80% afirmó conocerlos previamente. Por otra parte, debido al desconocimiento de la capacidad de carga de la cubierta, a los usos existentes de la azotea y a posibles problemas de humedad, resulta pertinente pensar la instalación del techo verde sobre una estructura apoyada en elementos estructurales de la edificación (tipo tejaban), en lugar de instalarse directo sobre la cubierta. Además, es necesario determinar cuáles especies nativas del AMPV poseen las características funcionales necesarias para desarrollarse en un techo verde. Así mismo, la posibilidad de cultivar alimentos es una idea asociada a la instalación de techos verdes. Todo lo anterior indica que se debe trabajar en una estrategia integral del uso de la azotea para optimizar este espacio.

Bibliografía.

Barahona Sánchez, T. (2011). *Evaluación de la Tecnología de Techos Verdes como Agentes Ahorradores de Energía en México* (Trabajo de Grado). Facultad de Ingeniería, UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/evaluacion-de>

- la tecnología de techos verdes como agentes ahorradores de energía en México-35122067c-yNz8pe&d=false&q=*:*&i=3&v=1&b=search_0&as=0
- Herrera-Gómez, S. S., Quevedo-Nolasco, A. y Pérez-Urrestarazu, L. (2017). The role of green roofs in climate change mitigation. A case study in Seville (Spain). *Building and Environment*, 123 (2017), 575-584. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.036>
- López Machado, N. A., Domínguez González, C. G., Barreto, W., Méndez, N., López Machado, L. J., Soria Pugo, M. G., ... & Montesinos, V. (2020). Almacenamiento de agua de lluvia en medios urbanos utilizando techos verdes. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 54-71.
- Ortiz Moreno, J. A., Macera Cerutti, O. R. y Fuentes Gutiérrez, A. L. (2014). *La Ecotecnología en México*. Unidad de Ecotecnologías del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelia. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/La-Ecotecnolog-a-en-M-xico-ENE-2015-BR.pdf>
- Osuna-Motta, I., Herrera-Cáceres, C., & López-Bernal, O. (2017). Techo plantado como dispositivo de climatización pasiva en el trópico. *Revista de Arquitectura*, 19(1), 42-55. doi: <http://dx.doi.org/10.14718/RevArg.2017.19.1.1109>
- Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (2018). Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-013-RNAT-2017, que Establece las Especificaciones Técnicas para la Instalación de Sistemas de Naturación en la Ciudad de México. https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/5308292ce3f31d0cd14859c20c8a423.pdf
- Schindler, B. Y., Blaustein, L., Lotan, R., Shalom, H., Kadas, G. J., & Seifan, M. (2018). Green roof and photovoltaic panel integration: Effects on plant and arthropod diversity and electricity production. *Journal of environmental management*, 225, 288-299.

3

Ponencia en 3^{er} Foro para América Latina y el Caribe sobre Bosques Urbanos



3er Foro para América Latina y el Caribe sobre Bosques Urbanos
Techos Verdes para Vivienda Social de Puerto Vallarta:
 Propuesta de Implementación con Malezas y Estructuras de Bambú
 Vanessa G. Mendoza-Hernández
 Egresada de la Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables, ITESO

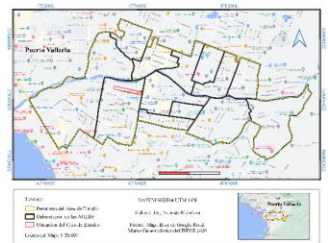
1. Introducción

La azotea es un espacio estratégico para alcanzar la sustentabilidad en los hábitats urbanos.
 Este espacio representa la mayor ganancia de calor por radiación en la vivienda, aunado al desuso de aislantes térmicos (INEGI, 2018), se invierte energía adicional de 1,000 kw/h/año, lo que representa una emisión de 600 kg CO2 (CONAVI, 2008).
 Los techos verdes son eficaces para disminuir el consumo energético. Sin embargo, su valor más significativo radica en su capacidad de regenerar servicios ecosistémicos de regulación de la temperatura y del ciclo del agua.
 Las especies nativas son la mejor opción para la implementación de techos verdes, pero la información disponible es limitada o inexistente.
 Por otra parte, la capacidad de carga de la losa de azotea de vivienda social existente es insuficiente para soportar el esfuerzo de un techo verde extensivo.

Objetivo General

Proponer un sistema de techo verde extensivo con especies nativas para vivienda social existente en Puerto Vallarta, Jalisco, que convierta a la azotea en un elemento regenerativo desde el cual se provean servicios ecosistémicos urbanos.

Área de Estudio - Pto. Vallarta, Jalisco



2. Metodología

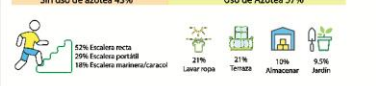
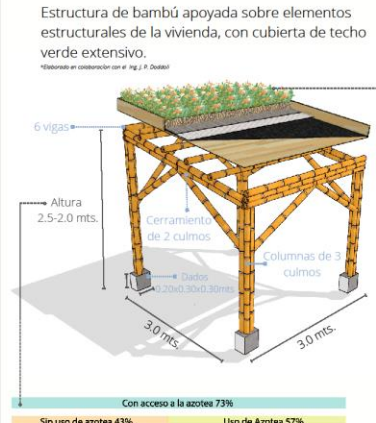
Cuatro objetivos específicos delimitaron la metodología de este proyecto:



El diseño del prototipo de techo verde se desarrolló mediante sinergia con asesores y estudiantes de licenciatura de la asignatura *Proyectos de Aplicación Profesional - Regeneración Social del Espacio Público* del ITESO.
 El caso de estudio sobre el cual se diseñó el prototipo es una vivienda económica/popular ubicada en la colonia Vallarta Villas, de la ciudad de Pto. Vallarta, Jalisco.

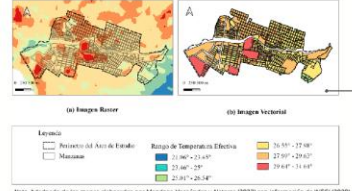
3. Resultados

Prototipo de Techo Verde



La altura de la estructura hace compatible la existencia del techo verde con la tendencia de uso del espacio de la azotea.
 Se exploró al bambú (*Guadua spp.* y *Bambusa spp.*) como material sustentable para la estructura, debido a que es un material renovable, contribuye a la captura de CO2.

Isla de Calor Urbano en Área de Estudio



78 Especies Nativas Potenciales



Especies de malezas ruderales colectadas en la ciudad y/o identificadas en el catálogo del Herbario Zea.

Se encontró cinco coincidencias de especies ya utilizadas en techos verdes con especies de la flora nativa de Puerto Vallarta.



El 88% del área de estudio se ubica en un rango de los 26.55 °C a los 29.63 °C.

Rango de Temperatura por Manzana en el Área de Estudio

Rango de Temperatura (°C)	No. de Manzanas	Total Población Viviendas
25.01° - 26.54°	7	249
26.55° - 27.98°	301	16,838
27.99° - 29.63°	232	13,955
29.64° - 34.64°	6	741
Total	546	31,793

Las manzanas con el mayor rango de temperatura corresponden a centros o plazas comerciales con áreas de estacionamiento pavimentada.

4. Conclusiones

- Por sus características funcionales, las malezas ruderales son ideales para techos verdes. Se debe proseguir la investigación y efectuar pruebas de reproducción, sobrevivencia, cobertura y efectividad en la provisión de servicios ecosistémicos.
- La encuesta arrojó criterios relevantes para realizar un diseño de techo verde centrado en las personas. Al ser una encuesta no representativa, se recomienda realizar otra encuesta con muestra estadística en la que se incluya un apartado para validación social del prototipo.
- Un análisis estructural con software especializado revela que el prototipo de techo verde no compromete estructuralmente a la vivienda.
- Del proceso colaborativo con el PAP-Regeneración Social del Espacio Público se concluye que uno de los mayores obstáculos para el uso del bambú es la calidad de los culmos, seguido de desconfianza generada por la inexperiencia o desconocimiento en el cálculo de estructuras de bambú.
- Se considera como zona prioritaria para establecer techos verdes, al área ocupada por las manzanas con rango de temperatura efectiva de 27.99°C a 29.63°C

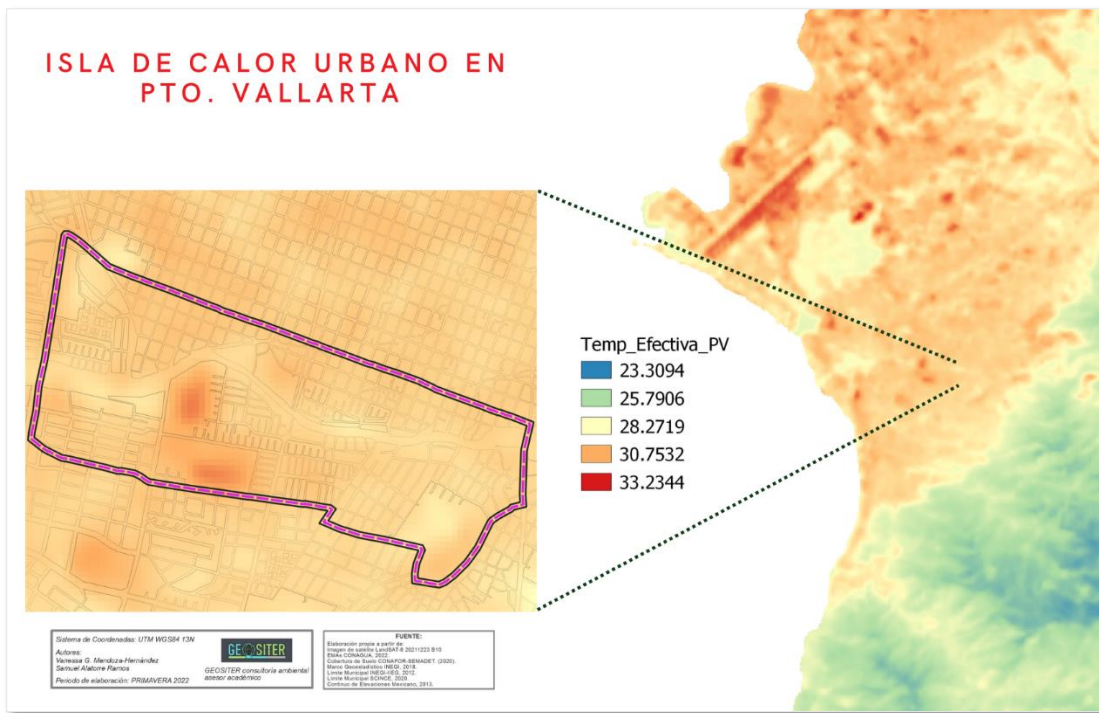
5. Referencias

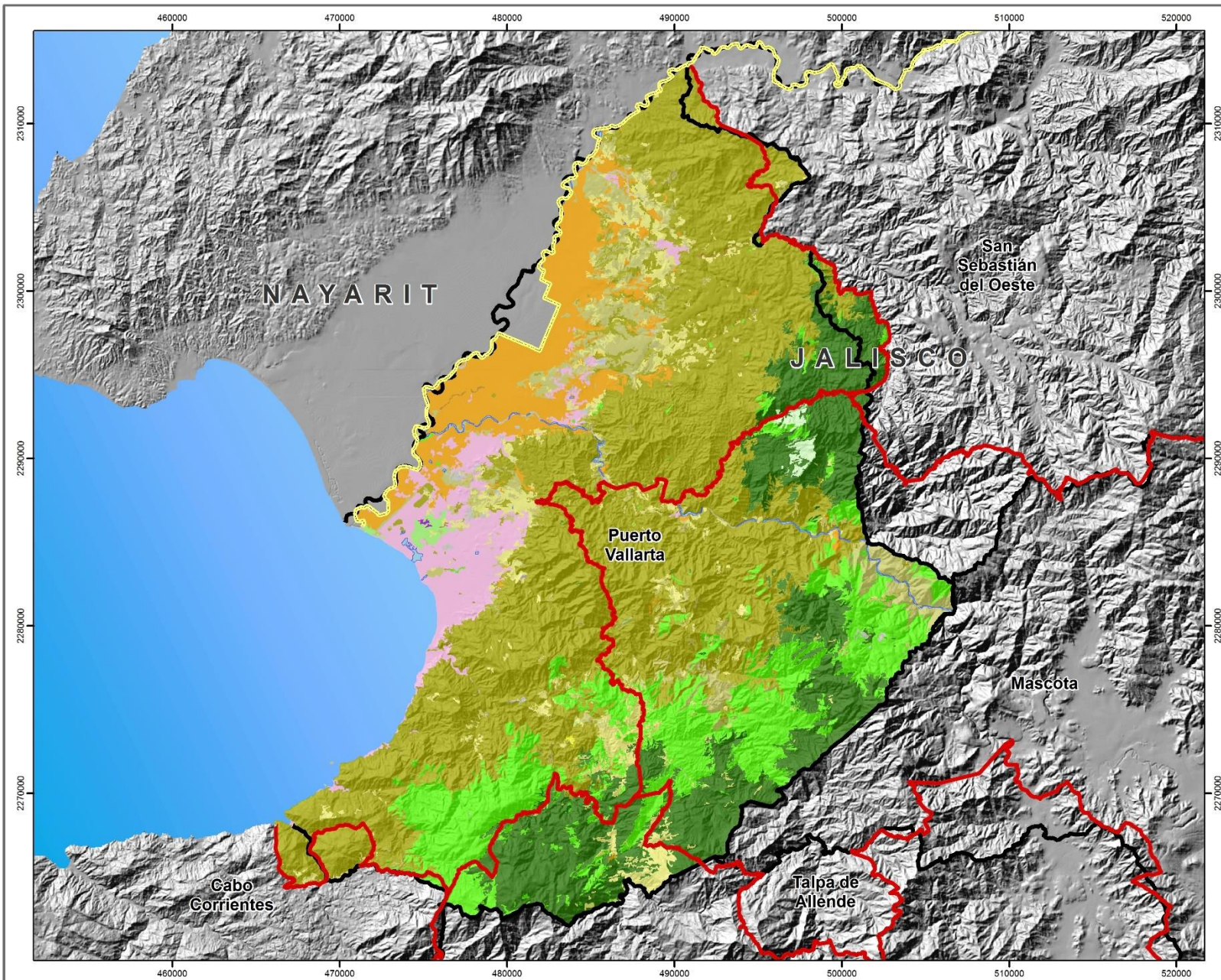
Consultar referencias en QR



4

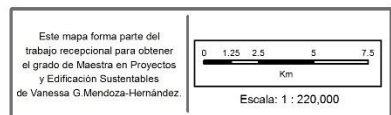
Cartografía



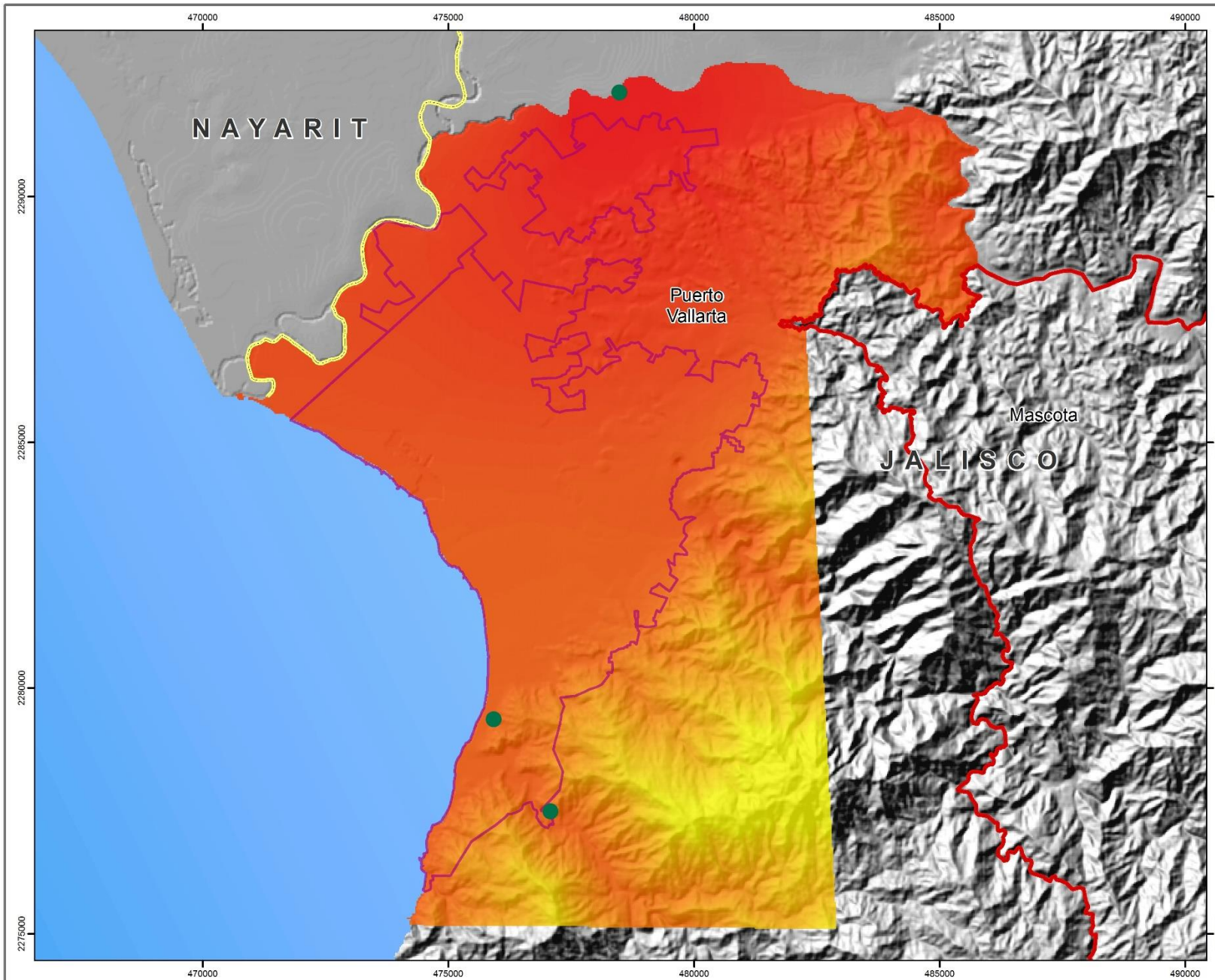


COBERTURA DE SUELO

SIMBOLOGÍA	
■	Agua
■	Bosque Cultivado e Inducido
■	Bosque Mesófilo
■	Bosque de Coníferas
■	Bosque de Encino-Galería
■	Manglar
■	Pastizales Cultivados e Inducidos
■	Pastizales Naturales
■	Selva Baja Caducifolia
■	Selva Mediana Subcaducifolia
■	Selva Mediana Subperennifolia
■	Suelo Desnudo
■	Tierras Agrícolas Cultivos Anuales
■	Tular
■	Urbano y Construido
	Límite Municipal INEGI 1998-2020
	Límite Municipal INEGI-IIEG 2012



FUENTE:
 Elaboración propia a partir de:
 Imagen de satélite LandSAT-8 20211223 B10
 EMAS CONAGUA, 2022.
 Cobertura de Suelo CONAFOR-SEMADET. (2020).
 Marco Geostatístico INEGI, 2018.
 Límite Municipal INEGI-IIEG, 2012.
 Límite Municipal SCINCE, 2020.
 Continuo de Elevaciones Mexicano, 2013.








Análisis de La Temperatura Superficial en la Localidad de Puerto Vallarta, Jalisco desde el Enfoque del Fenómeno Isla de Calor Urbana

GRADIENTE TÉRMICO ALTITUDINAL
TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL

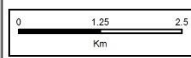
SIMBOLOGÍA

°C
 Máxima : 39.41
 Media : 34.78
 Mínima : 30.14

 Estación Meteorológica
 Límite Mancha Urbana 2020
 Límite Municipal INEGI 1998-2020
 Límite Estatal INEGI 1998-2020



Este mapa forma parte del trabajo recepcional para obtener el grado de Maestra en Proyectos y Edificación Sustentables de Vanessa G. Mendoza-Hernández.

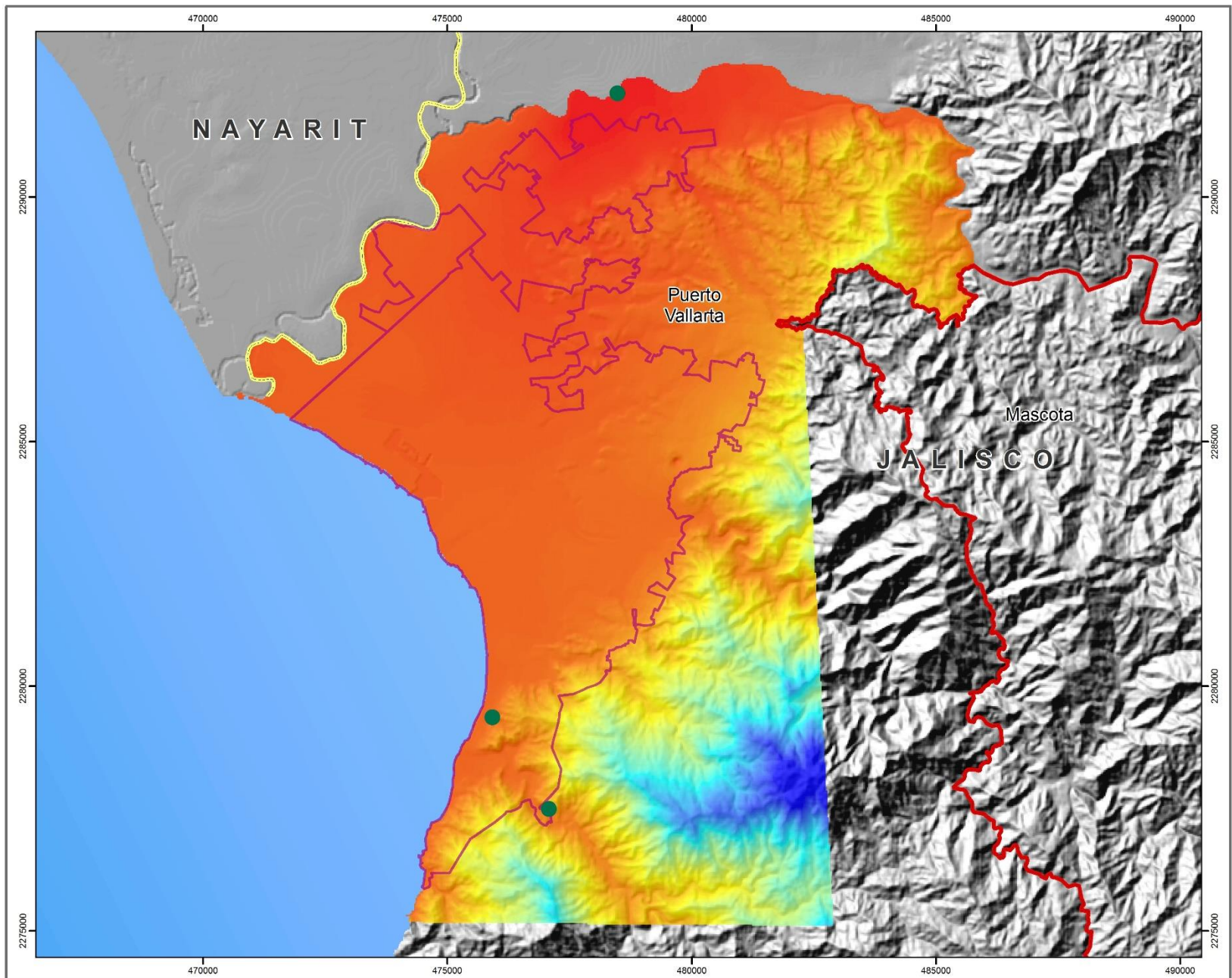

 Escala: 1 : 75,000

FUENTE:

Elaboración propia a partir de:
 Imagen de satélite LandsAT-8 20211223 B10
 EMAs CONAGUA, 2022.
 Cobertura de Suelo CONAFOR-SEMADET. (2020).
 Marco Geoestadístico INEGI, 2018.
 Límite Municipal INEGI-IEG, 2012.
 Límite Municipal SCINCE, 2020.
 Continuo de Elevaciones Mexicano, 2013.

Sistema de Coordenadas: UTM WGS84 13N
 Autores:
 Vanessa G. Mendoza-Hernández
 Samuel Alatorre Ramos
 Periodo de elaboración: PRIMAVERA 2022



 GEOSITER consultoría ambiental asesor académico







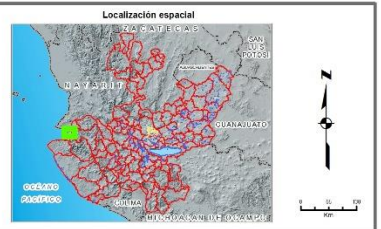

Análisis de La Temperatura Superficial en la Localidad de Puerto Vallarta, Jalisco desde el Enfoque del Fenómeno Isla de Calor Urbana

GRADIENTE TÉRMICO ALTITUDINAL
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL

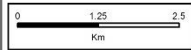
SIMBOLOGÍA

°C

 Máxima : 32.22
 Media : 28.38
 Mínima : 24.54

 Estación Meteorológica
 Límite Mancha Urbana 2020
 Límite Municipal INEGI 1998-2020
 Límite Estatal INEGI 1998-2020



Este mapa forma parte del trabajo recepcional para obtener el grado de Maestra en Proyectos y Edificación Sustentables de Vanessa G. Mendoza-Hernández.


 Escala: 1 : 75,000

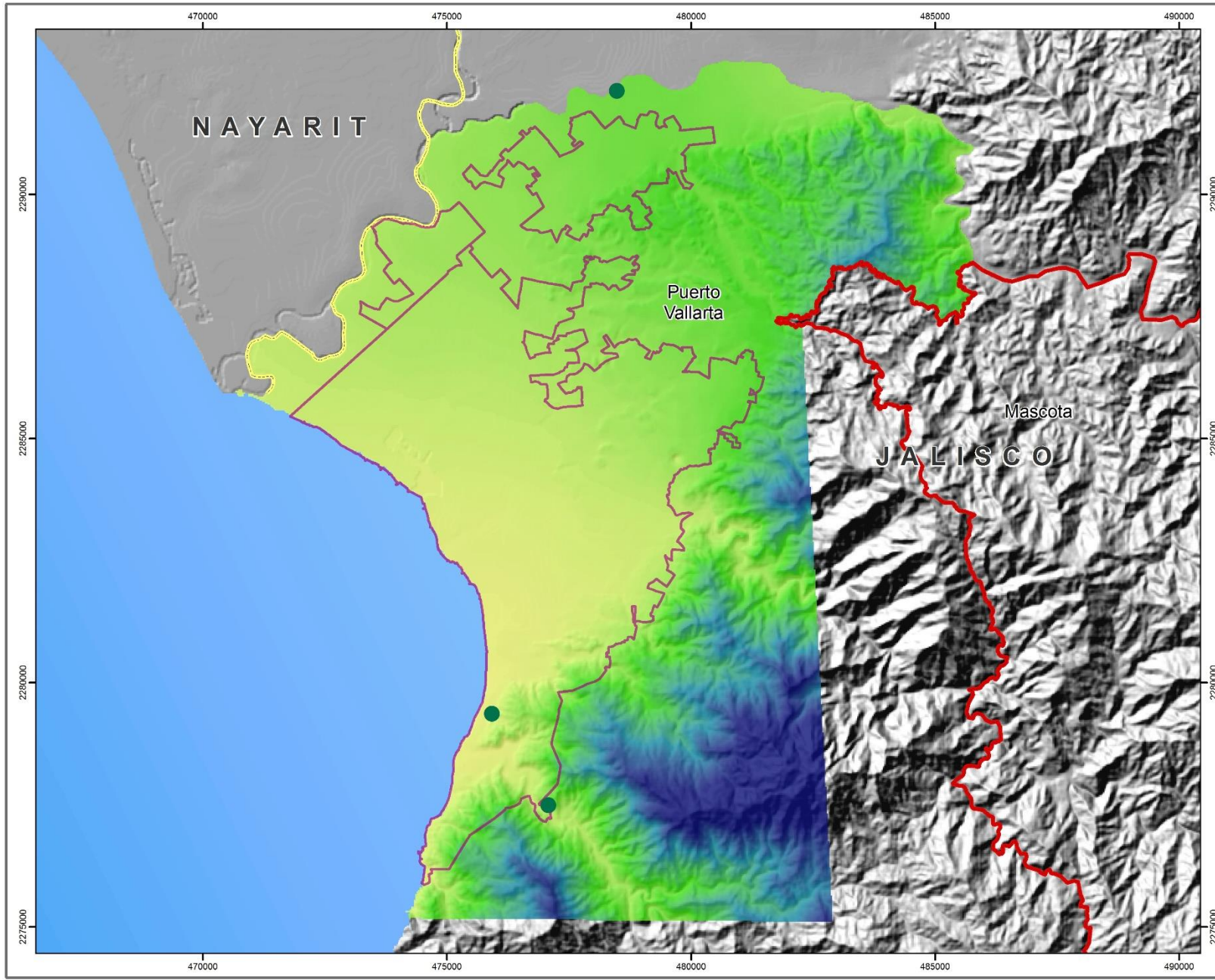
FUENTE:

Elaboración propia a partir de:
 Imagen de satélite LandSAT-8 20211223 B10
 EMAs CONAGUA, 2022.
 Cobertura de Suelo CONAFOR-SEMADET. (2020).
 Marco Geoestadístico INEGI, 2018.
 Límite Municipal INEGI-INEG, 2012.
 Límite Municipal SCINCE, 2020.
 Continuo de Elevaciones Mexicano, 2013.

Sistema de Coordenadas: UTM WGS84 13N
 Autores:
 Vanessa G. Mendoza-Hernández
 Samuel Alatorre Farnes


 GEOSITER consultoría ambiental
 asesor académico

Periodo de elaboración: PRIMAVERA 2022






Análisis de La Temperatura Superficial en la Localidad de Puerto Vallarta, Jalisco desde el Enfoque del Fenómeno Isla de Calor Urbana

GRADIENTE TÉRMICO ALTITUDINAL
TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL


SIMBOLOGÍA


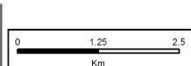
°C

 Máxima : 26.23
 Media : 22.53
 Mínima : 18.83

 Estación Meteorológica
 Límite Mancha Urbana 2020
 Límite Municipal INEGI 1998-2020
 Límite Estatal INEGI 1998-2020

Localización espacial



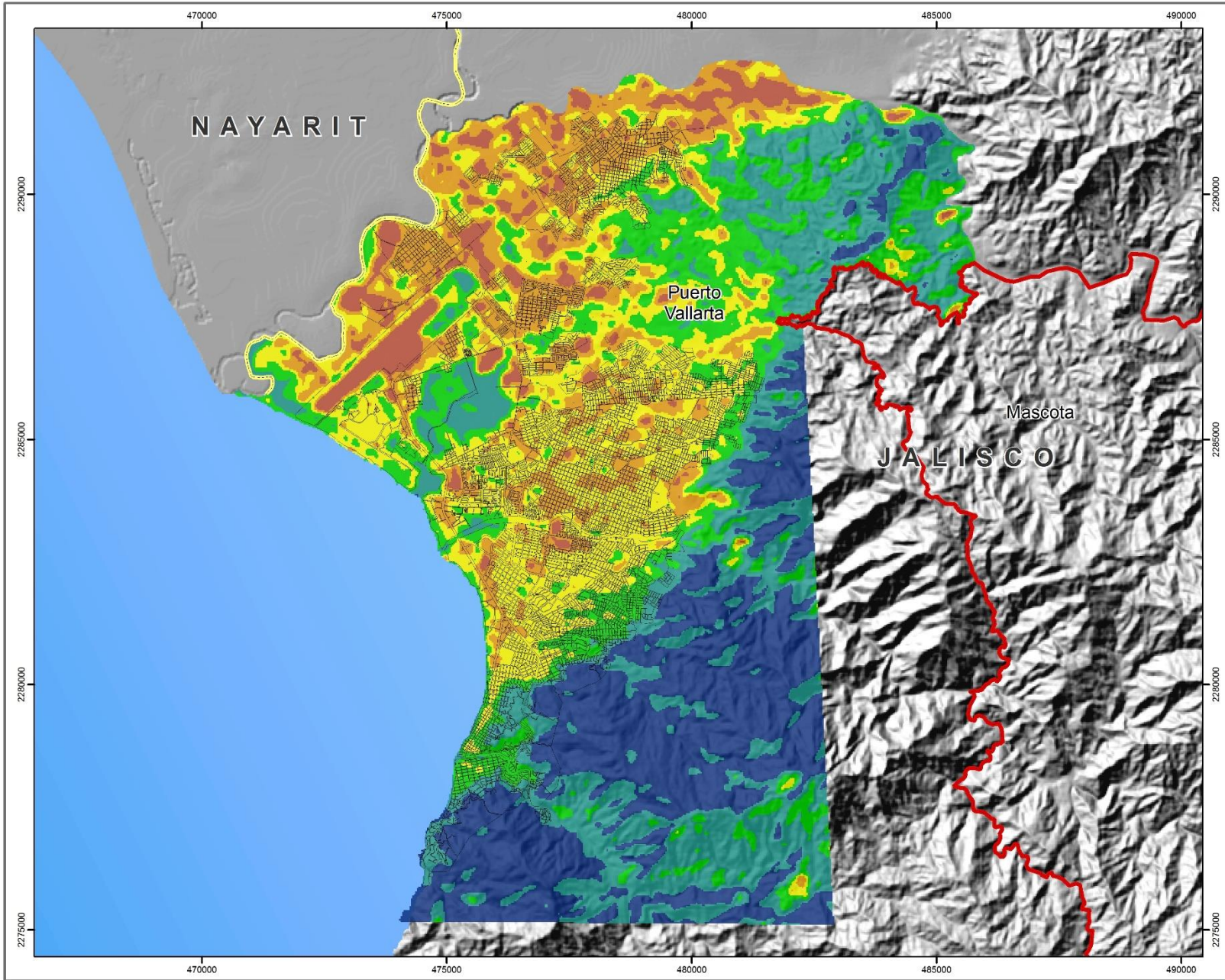


 Escala: 1 : 75,000

Este mapa forma parte del trabajo recepcional para obtener el grado de Maestra en Proyectos y Edificación Sustentables de Vanessa G. Mendoza-Hernández.

FUENTE:
 Elaboración propia a partir de:
 Imagen de satélite LandSAT-8 20211223 B10 EMAs CONAGUA, 2022.
 Cobertura de Suelo CONAFOR-SEMADET. (2020).
 Marco Geoestadístico INEGI, 2018.
 Límite Municipal INEGI-INEG, 2012.
 Límite Municipal SCINCE, 2020.
 Continuo de Elevaciones Mexicano, 2013.

Sistema de Coordenadas: UTM WGS84 13N
 Autores:
 Vanessa G. Mendoza-Hernández
 Samuel Alatorre Ramos
 Periodo de elaboración: PRIMAVERA 2022


 GEOSITER consultoría ambiental
 asesor académico



Análisis de La Temperatura Superficial
 en la Localidad
 de Puerto Vallarta, Jalisco
 desde el Enfoque del Fenómeno
 Isla de Calor Urbana

**RANGOS DE
 TEMPERATURA SUPERFICIAL**

SIMBOLOGÍA

- °C
- 21.06 - 23.45
 - 23.46 - 25
 - 25.01 - 26.54
 - 26.55 - 27.98
 - 27.99 - 29.63
 - 29.64 - 34.64
 - Traza Urbana 2020
 - Límite Municipal INEGI 1998-2020
 - Límite Estatal INEGI 1998-2020



Este mapa forma parte del
 trabajo recepcional para obtener
 el grado de Maestra en Proyectos
 y Edificación Sustentables
 de Vanessa G Mendoza-Hernández.

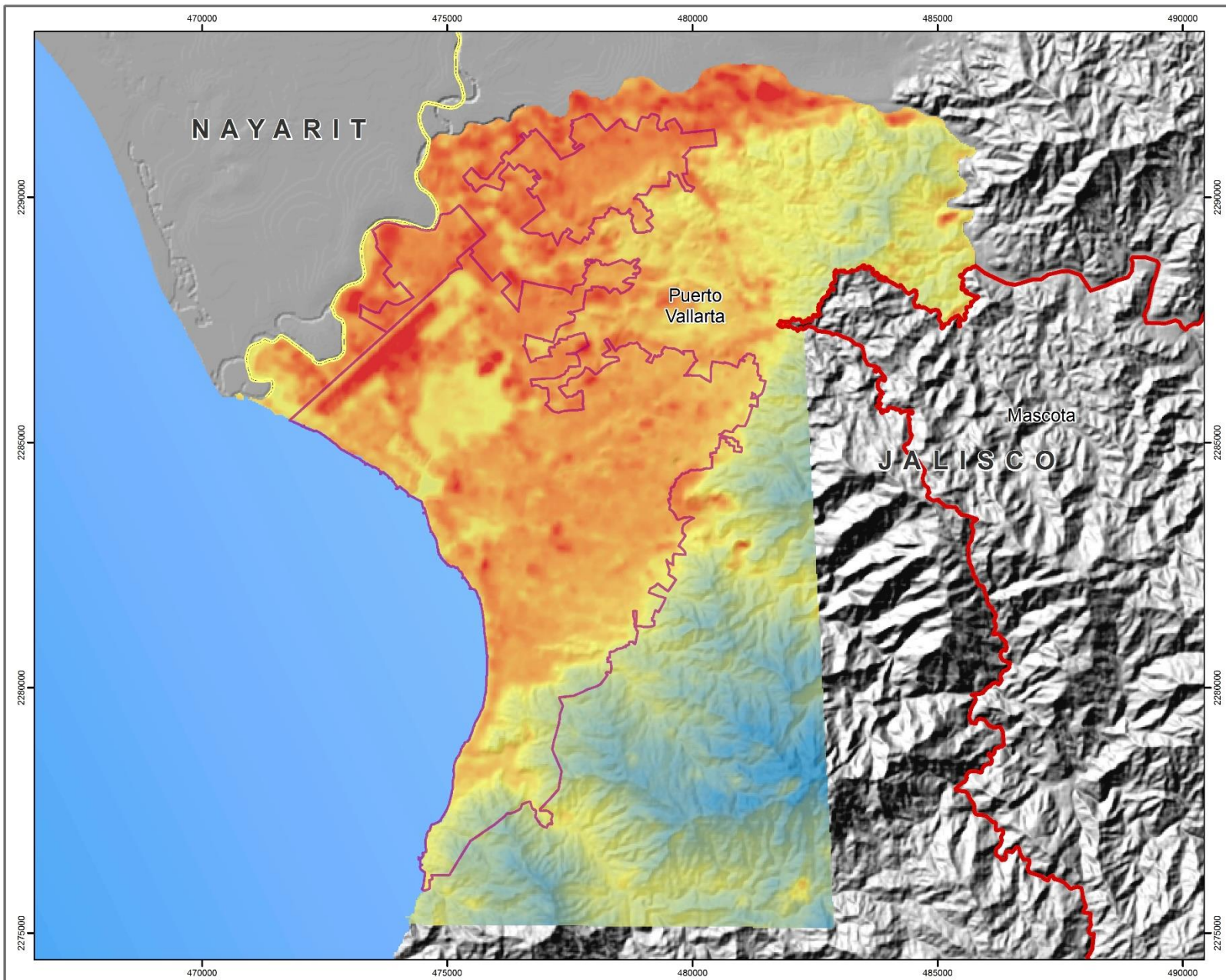
0 1.25 2.5
 Km
 Escala: 1 : 75,000


FUENTE:
 Elaboración propia a partir de:
 Imagen de satélite LandSAT-8 20211223 B10
 EMAS CONAGUA, 2022.
 Cobertura de Suelo CONAFOR-SEMADET. (2020).
 Marco Geoestadístico INEGI, 2018.
 Límite Municipal INEGI-INEG, 2012.
 Límite Municipal SCINCE, 2020.
 Continuo de Elevaciones Mexicano, 2013.

Sistema de Coordenadas: UTM WGS84 13N
 Autores:
 Vanessa G. Mendoza-Hernández
 Samuel Alatorre Ramos
 Periodo de elaboración: PRIMAVERA 2022



GEO SITER consultoría ambiental
 asesor académico





**Análisis de La Temperatura Superficial
en la Localidad
de Puerto Vallarta, Jalisco
desde el Enfoque del Fenómeno
Isla de Calor Urbana**

TEMPERATURA EFECTIVA

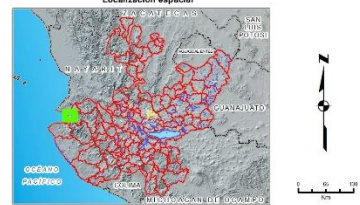
SIMBOLOGÍA

°C

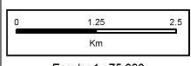
- Máxima : 33.23
- Media : 28.27
- Mínima : 23.31

- Límite Mancha Urbana 2020
- Límite Municipal INEGI 1998-2020
- Límite Estatal INEGI 1998-2020

Localización espacial



Este mapa forma parte del trabajo recepcional para obtener el grado de Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables de Vanessa G. Mendoza-Hernández.




Escala: 1 : 75,000

FUENTE:

Elaboración propia a partir de:
 Imagen de satélite LandsAT-8 20211223 B10
 EMAs CONAGUA, 2022
 Cobertura de Suelo CONAFOR-SEMADET. (2020).
 Marco Geoespacial INEGI, 2018
 Límite Municipal INEGI-IIEG, 2012.
 Límite Municipal SCINCE, 2020.
 Continuo de Elevaciones Mexicano, 2013.

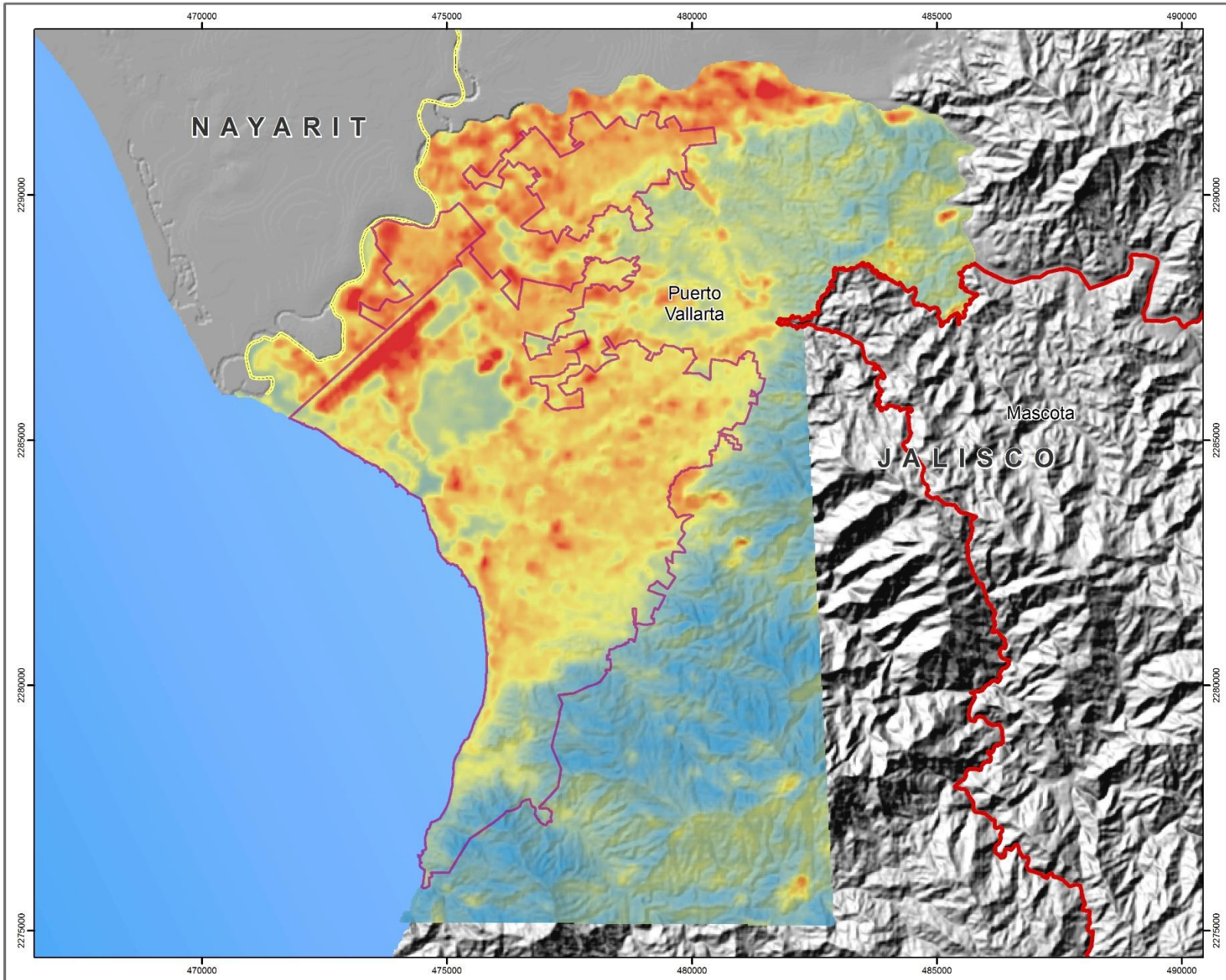
Sistema de Coordenadas: UTM WGS84 13N

Autores:
 Vanessa G. Mendoza-Hernández
 Samuel Alatorre Ramos



GEO SITER consultoría ambiental
asesor académico

Periodo de elaboración: PRIMAVERA 2022.




Análisis de La Temperatura Superficial en la Localidad de Puerto Vallarta, Jalisco desde el Enfoque del Fenómeno Isla de Calor Urbana

TEMPERATURA SUPERFICIAL

SIMBOLOGÍA

°C

 Máxima : 34.64

 Media : 27.85

 Mínima : 21.06

Límite Mancha Urbana 2020
 Límite Municipal INEGI 1998-2020
 Límite Estatal INEGI 1998-2020




Este mapa forma parte del trabajo recepcional para obtener el grado de Maestra en Proyectos y Edificación Sustentables de Vanessa G. Mendoza-Hernández.

Escala: 1 : 75,000

FUENTE:

Elaboración propia a partir de:
 Imagen de satélite Landsat-8 20211223 B10
 EMAs CONAGUA, 2022.
 Cobertura de Suelo CONAFOR-SEMADET. (2020).
 Marco Geoestadístico INEGI, 2018.
 Límite Municipal INEGI-IEG, 2012.
 Límite Municipal S/INCE, 2020.
 Continuo de Elevaciones Mexicano, 2013.

Sistema de Coordenadas: UTM WGS84 13N
 Autores:
 Vanessa G. Mendoza-Hernández
 Samuel Alatorre Ramos
 Periodo de elaboración: PRIMAVERA 2022


 GEOSITER consultoría ambiental
 asesor académico

5

Instrumentos de Investigación



Técnica de Investigación:

LA ENCUESTA

V.3.1 - *LITE*

Proyecto de Obtención de Grado:

**Techos Verdes con Especies Nativas: Una Apuesta para Crear Azoteas
Regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta, Jalisco**

Estudiante: Vanessa G. Mendoza Hernández

Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

MCE2375A – Investigación, Desarrollo e Innovación II

Dra. Mara Alejandra Cortés Lara

Primavera 2021

12 de abril

DISEÑO CONCEPTUAL DE LA ENCUESTA

La presente encuesta abonará al **objetivo específico número dos del TOG**, que dice: “Realizar un sondeo sobre la perspectiva y el uso de la azotea en habitantes de Puerto Vallarta, Jalisco”.

I. Título de la Encuesta

Percepción sobre Techos Verdes en la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta.

II. Objetivos de la Encuesta

II.I. Objetivo General

Conocer la percepción, disposición y preferencias de habitantes de la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta, Jalisco acerca de los techos verdes como una eco-tecnología que pueden instalar en sus viviendas.

II.II. Objetivos Específicos de la Encuesta

- 1) Recabar información acerca de los usos y el mantenimiento de las azoteas.
- 2) Conocer cuál es el sentir y la aptitud hacia la instalación de un techo verde en sus viviendas.
- 3) Conocer la valoración que usuarios de vivienda social dan a su vivienda en relación con el confort térmico.

III. Temas que Explorara la Encuesta

1. Usos de la Azotea

- 2.1. Acceso a la azotea
- 2.2. Ecotecnologías presentes y deseadas para la azotea
- 2.3. Gastos asociados a mantenimiento de la azotea
- 2.4. Características estructurales de la azotea

2. Techos Verdes

- 3.1. Conocimiento previo sobre la existencia de los techos verdes
- 3.2. Razones para instalar un techo verde
- 3.3. Disponibilidad de pago para la instalación de techos verdes
- 3.4. Servicios ecosistémicos y techos verdes
- 3.5. Interés por temas de cuidado del medio ambiente (estilo de vida)

3. Confort Térmico

- 1.1. Satisfacción del usuario acerca del confort térmico de su vivienda
- 1.3. Gasto de energía eléctrica por uso de aparatos de enfriamiento artificial

IV. Población Objetivo, Cobertura y Desglose Geográfico

Población objetivo: jefas y/o jefes de familia de viviendas social horizontal, unifamiliar o dúplex.

Unidad de selección: vivienda habitada.

Unidad de análisis: la vivienda y sus integrantes.

Cobertura geográfica: Zona Metropolitana de Puerto Vallarta, Jalisco

V. Estrategia de Captación

Método de recolección: cuestionario electrónico difundido a través de redes sociales y correo electrónico.

Instrumento de captación: la información de la encuesta se captará a través de un cuestionario titulado de la misma manera que la encuesta. El cuestionario tiene cinco secciones y 44 preguntas.

Tipo de cuestionario: semiestructurado, multitemático

Periodo de Levantamiento: primer semestre del 2021, en los meses de marzo a junio.

Mecanismo de levantamiento: se lanzará invitación por redes sociales y a través de redes de vecinos de vivienda social para la aplicación del cuestionario. Un cuestionario por vivienda. Se solicitará que el cuestionario sea respondido por una persona adulta con poder de toma de decisiones sobre la vivienda.

Informante adecuado: es el jefe(a) o el cónyuge del jefe(a) o una persona de 18 años o más que conozca la información de la encuesta (INEGI, 2018, p. 13).

VI. Diseño Estadístico y Muestra

Muestreo no probabilístico por conveniencia.

Muestra mínima de 100 cuestionarios aplicados a personas mayores de 18 años, que sea propietarias o arrendatarias de vivienda social y que puedan tomar decisiones respecto a la vivienda, o en su caso, que habite la vivienda y conozca la información de la encuesta.

VII. Conceptos Básicos

Confort Térmico

Enfriamiento

Azotea

Techo Verde

Ecotecnologías

Eficiencia Energética

VIII. Justificación de Variables

La información recaba en la encuesta aportará elementos para identificar retos y oportunidades para la instalación de techos verdes en vivienda social. Permitirá conocer la percepción de usuarios potenciales acerca de los techos verdes y, con ello, tener un acercamiento a la viabilidad social del proyecto.

VIII.I. Variables

Confort Térmico

- Percepción de satisfacción
- Cambios en la percepción de satisfacción debido a Covid-19

Azotea

- Envolvente (Aislante térmico, Techo)
- Usos de la azotea (Tendedero, Terraza, Tinaco, Gas Estacionario, Ecotecnologías)
- Capacidad de carga

- Impermeabilizante
- Material de construcción de la azotea

Ecotecnologías

- Calentadores solares
- Paneles Solares
- Captación de Agua de Lluvia
- Huerto
- Techo verde

Techo Verde

- Eficiencia energética (Temperatura que se reduce en el interior de la vivienda)
- Costos (Instalación y Mantenimiento)
- Prototipo modular con especies nativas
- Inversión

IX. Secciones del Cuestionario, Cantidad de Preguntas

Sección	No. de Preguntas
I. Perfil de la Persona Encuestada	2
II. Información General de la Vivienda	8
III. Usos y Descripción de la Azotea	11
IV. Percepción sobre Techos Verdes	21
V. Confort Higrotérmico	2
TOTAL	44

IX.I. Plataforma

Google Forms

IX.II. Cuestionario

Se anexa cuestionario.

Encuesta

Percepción sobre de la Instalación de Techos Verdes en la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta

Bienvenid@

Este cuestionario obedece a un proyecto de investigación que realiza la Ing. Vanessa Mendoza como parte del programa de Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables del ITESO. El estudio propone la implementación de techos verdes con especies nativas como una alternativa para mitigar la pérdida de servicios ecosistémicos.

Responder el cuestionario te tomará alrededor de 15 minutos. La información obtenida será de utilidad para evaluar la viabilidad de la instalación de techos verdes en vivienda social de la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta.

Si tienes alguna duda o comentario acerca del cuestionario o del proyecto de investigación, puedes escribir al correo vanessa.mendoza@iteso.mx.

¡Gracias, tu participación es muy valiosa!

Aviso de Privacidad y Ética del Uso de Datos

La información del cuestionario se recopilará a través de la plataforma Question Pro, diseñada para realizar encuestas en línea. No se utilizará tu nombre como parte del estudio. El acceso a la información obtenida en el cuestionario será exclusivo para la investigadora, con fines académicos, de investigación y de divulgación del conocimiento, únicamente se analizará los resultados obtenidos. Los datos personales recopilados serán utilizados para el análisis demográfico de las respuestas. Tu información personal de identificación no podrá ser transferida, usada o vendida para fines comerciales ni tampoco será publicada en el informe de resultados ni difundida por cualquier otro medio. Tus datos personales serán guardados y protegidos durante y posterior al trabajo de investigación.

I. Perfil de la Persona Encuestada

Este cuestionario está dirigido a personas que cumplan con los siguientes criterios:

- a) De nacionalidad mexicana
- b) Habitantes de la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta por al menos tres años (Puerto Vallarta y Bahía de Banderas)
- c) Mayores de 18 años

1. *¿Cuál es tu rango de edad?*

18-29

30-39

40-49

50-59

>60

2. *¿Cuál es tu género?*

Femenino

Masculino

II. Información General de la Vivienda

En esta sección responderás preguntas para describir el tipo de vivienda en que resides actualmente. La información recabada nos permitirá organizar los resultados de la encuesta y comparar entre tipos de vivienda y ubicación geográfica.

3. *Selecciona el municipio donde resides*

Puerto Vallarta, Jalisco

Bahía de Banderas, Nayarit

4. Indica la localidad donde vives:

Puerto Vallarta

Ixtapa

Las Juntas

Valle de Banderas

San Vicente

San José del Valle

Otra:

5. Nombre de la colonia o fraccionamiento en que resides

6. ¿Cuánto tiempo llevas residiendo en tu vivienda?

0 a 1 año

2 a 5 años

6 a 10 años

>10 años

7. ¿De qué tipo es tu vivienda?

Un nivel (un piso)

Dos niveles (dos pisos)

Casa Dúplex (dos casas en un mismo predio, una arriba sobre otra)

Departamento (torre de departamentos) (se acaba la encuesta)

Otra

8. *¿Tu vivienda se adquirió con crédito INFONAVIT?*

Si

No

No sé

9. *Aproximadamente, ¿Cuántos años de antigüedad tiene tu vivienda?*

0 a 1

2 a 5

6 a 10

>10 años

10. *Aproximadamente, ¿Cuántos metros cuadrados de construcción tiene tu vivienda?*

40 m²

50 m²

60 m²

80 m²

90 m²

100 m²

120 m²

Otro: _____m²

III. Usos y Descripción de la Azotea

Esta sección es para conocer acerca de los usos que das a tu azotea y de tu sentir sobre este espacio de tu vivienda. Asimismo, se busca conocer algunas de las características de la azotea que son importantes para un proyecto de techo verde. La información proporcionada permitirá evaluar el potencial de propuestas ecológicas de intervención de la vivienda que involucran a la azotea.

11. *¿Tienes acceso a la azotea de tu vivienda?*

Si (pasa a pregunta 12)

No (pasa a la pregunta...14)

12. *¿Cómo accedes a la azotea de tu vivienda?*

Escalera recta (tradicional)

Escalera marinera

Escalera de caracol

Escalera portátil

Otra:

13. De los siguientes usos o actividades, ¿Cuáles realizas en tú azotea?
Selecciona todos los que apliquen

Lavar la ropa

Tendedero de ropa

Terraza

Jardín

Almacenar cosas

Otro:

La capacidad de carga se refiere al peso que puede soportar una superficie construida sin riesgo de deformarse o derrumbarse.

14. ¿Cuál es la capacidad de carga de tu azotea?
>90 kg/m²

100 kg/m²

150 kg/m²

200 kg/m²

250 kg/m² o más

Otro:

15. *¿De qué color es el impermeabilizante utilizado en la azotea de tu casa?*

Rojo

Blanco

Otro:

16. *¿Con qué periodicidad se impermeabiliza la azotea?*

Cada año

Cada dos años

Cada tres años

Cada cinco años

Otra:

17. *¿Cuál fue el costo de la última vez que se impermeabilizó la azotea?*

500 – 1000

1001-3000

3001- 5000

>5000

Otro

18. *¿Tu vivienda tiene problemas de filtración de agua por la azotea?*

Si

No

19. *De las siguientes tecnologías, ¿cuáles tienes instaladas en tu azotea?*

Tinaco

Gas estacionario

Calentador solar de agua

Paneles solares de electricidad

Sistema de captación de agua de lluvia

Sistema de aire acondicionado

Huerto

Techo verde

Otro:

20. *De las siguientes ecotecnologías ¿Cuál te gustaría instalar en tu azotea?*

Calentador solar de agua

Paneles solares de electricidad

Sistema de captación de agua de lluvia

Huerto

Techo verde

Ninguna

Otra

21. *¿Consideras que tener acceso a la azotea representa un riesgo de seguridad?*

Muy en desacuerdo

En Desacuerdo

De acuerdo

Totalmente de acuerdo

IV. Percepción sobre Techos Verdes

En esta sección te haremos preguntas sobre temas relacionados con la implementación de techos verdes, así como de tu percepción acerca de esta ecotecnología.

22. *¿Consideras que tu colonia tiene suficientes áreas verdes?*

Muy De acuerdo – Muy en Desacuerdo

23. *¿Tu vivienda cuenta con un espacio de jardín o área verde?*

Si No

24. *¿Qué tan importante para ti es contar con un área verde o jardín dentro de tu vivienda?*

No tan importante

Ligeramente importante

Moderadamente importante

Muy importante

Extremadamente importante

Un techo verde es la incorporación de una capa de sustrato y **vegetación** en la **azotea** de un edificio o vivienda.

25. *Antes de este cuestionario, ¿Ya habías escuchado sobre de los techos verdes?*

Si

No

Un techo verde se puede diseñar para albergar diferentes tipos de plantas y para cumplir diversas funciones.

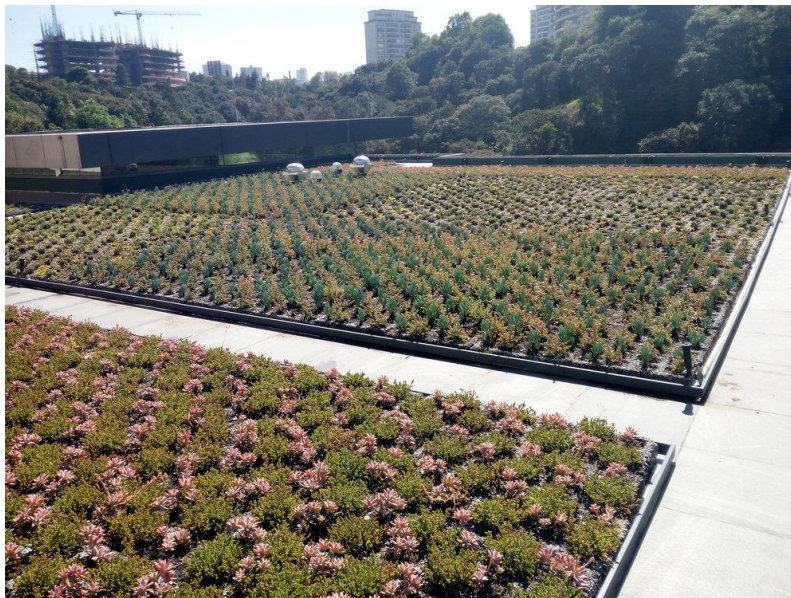
26. *¿Cuál de los techos verdes mostrados en las imágenes te llama más la atención?*

Imagen 1. Techo verde con plantas silvestres



<https://physicsworld.com/a/computer-model-picks-which-roofs-to-make-green/>

Imagen 2. Techo verde extensivo modular, con suculentas



<https://www.plantica.mx/qu-ofrecemos>

Imagen 3. Techo verde - Huerto en la Azotea



<https://www.pinterest.com.mx/pin/701928291898638629/>

Imagen 4. Techo verde y paneles solares



<https://www.4vientos.net/en-marcha-primer-estudio-sobre-funcionamiento-de-techos-verdes-en-ensenada/>

27. Explica brevemente por qué te llamó la atención

28. *De las siguientes razones para instalar un techo verde, ¿Cuáles te parecen más atractivas?*
Selecciona tres opciones

Mejorar la calidad del aire

Incrementar las áreas verdes en la colonia

Embellecer la azotea y tener un jardín en la casa

Incrementar el valor monetario de la vivienda

Hacer más fresca la vivienda / aislamiento térmico

Consumir menos electricidad

Mitigar el cambio climático

Conservar de la biodiversidad

Cultivar alimentos en casa

Gestionar el agua de lluvia

Otra:

29. *Con lo que sabes sobre techos verdes ¿Te gustaría instalar uno en tu vivienda?*

SÍ (pase a pregunta 31)

NO (pase a pregunta 30)

30. *Por qué no te gustaría instalar un techo verde*

La casa no es propia

No me gusta cuidar plantas

No tengo acceso a la azotea

No me alcanza el dinero (pase a pregunta...)

31. *¿Qué tipo de plantas te gustaría tener en el techo verde?*
Selecciones tres opciones

32. *Se le llama especies nativas a aquellas que son propias de la región o ecosistema de un lugar determinado. Optar por el uso y manejo de especies nativas contribuye a la conservación de la biodiversidad ¿Qué tan importante es para ti que las plantas seleccionadas para el techo verde sean especies nativas?*

No tan importante

Ligeramente importante

moderadamente importante

Muy importante

Extremadamente importante

33. *¿Estarías dispuesta(o) a instalar un techo verde con especies nativas aunque careciera de belleza estética?*

Muy improbable

Improbable

Probable

Muy probable

34. *¿Cuánto tiempo podrías invertir al cuidado y mantenimiento del techo verde?*
Horas por semana

35. Indica que cantidad es la que estarías dispuesta(o) a pagar por la instalación de un techo verde en toda el área de la azotea:

Selecciona el costo más alto que te parece aceptable

\$15,000	\$20,000	\$40,000	\$80,000
----------	----------	----------	----------

36. Sobre los rangos de costo del techo verde, mencionados en las dos preguntas anteriores, indica que tan probables son las siguientes afirmaciones:

Los rangos de costos son aceptables y puedo pagarlo

Si pudiera pagar a crédito el techo verde, lo instalaría

Si la inversión se recupera en menos de 10 años y el techo verde dura por lo menos 20 años, me animaría a instalar el techo verde

Si recibiese subsidios o apoyos del gobierno para costear una parte del techo verde, lo instalaría

Si el techo verde mejorará la calidad del medio ambiente y con ello mi calidad de vida, lo instalaría

No hay forma en que yo quiera instalar el techo verde

37. Si pudieras adquirir un techo verde a crédito, ¿cuál sería tu capacidad de pago al mes?

Considera tu situación financiera real al momento de responder la encuesta

< \$200	\$200 - \$500	\$501- \$1000	>\$1000
---------	---------------	---------------	---------

38. ¿Hay algo que te preocupe acerca de instalar un techo verde en tu vivienda?

Si (pase a pregunta 39)

No (pase a pregunta 40)

39. *¿Qué te preocupa de instalar un techo verde en tu vivienda?*

Las horas de mantenimiento que se requieren

El costo de instalación

Daños a la estructura de azotea

Problemas de humedad dentro de la vivienda

El consumo de agua para riego

El acceso a la azotea

40. *¿Qué tan importante es para ti realizar acciones en favor del medio ambiente?*

Mucho Poquito Nada

41. *¿Cuáles estrategias de ahorro energético y cuidado del medio ambiente implementas en tu vivienda?*

Marca todas las opciones que apliquen

Plantas de ornato al interior de tu vivienda	
Focos ahorradores	
Regaderas ahorradoras	
Llaves de agua ahorradoras	
Compostero	
Separación de residuos para reciclaje	
Re-uso de aguas grises para riego	
Huerto, hierbas de olor o árboles frutales	
Otra	

Los servicios ecosistémicos son beneficios que la humanidad recibe de los ecosistemas, por ejemplo: provisión de alimentos, recarga de acuíferos, belleza paisajística, regulación de la temperatura, recreación y relajación, entre muchos otros servicios esenciales para la vida.

42. *¿Estarías dispuesto(a) a instalar un techo verde en tu vivienda por el solo hecho de contribuir con la conservación de servicios ecosistémicos?*

Muy probable – poco probable

V. Confort Térmico

El confort térmico es la sensación de satisfacción o comodidad que percibes de acuerdo con la temperatura y la humedad dentro de tu vivienda: mucho calor o mucho frío.

43. *En términos generales, sin considerar el uso de aparatos o sistemas de enfriamiento o calentamiento artificial, ¿qué tan satisfecho(a) estas con el **confort térmico** que te ofrece tu vivienda?:*

Muy Satisfecho Satisfecho Satisfecho Satisfecho

44. *En promedio, ¿Cuánto pagas por consumo de electricidad?*

Cantidad promedio por bimestre de los últimos dos años

<200	200-500	500-1000	1000-2000
------	---------	----------	-----------

Invitación a Participar en Proyecto de Investigación

Estamos buscando colaboradores locales para el desarrollo de la investigación. Necesitamos levantar información sobre características arquitectónicas de la azotea de 12 viviendas de interés social en la Zona Metropolitana de Puerto Vallarta, con el fin de evaluar la viabilidad de la instalación de techos verdes.

¿Te gustaría aplicar para que tu vivienda fuese una de las seleccionadas para el muestreo de información arquitectónica? Si la respuesta es sí, por favor déjanos tus datos de contacto para comunicarnos contigo en las siguientes etapas del proyecto.

Si tienes dudas sobre la presente encuesta o te gustaría conocer más del proyecto puedes escribir a vanessa.mendoza@iteso.mx.

Técnica de Investigación:

ENTREVISTA

versión 2.0

Proyecto de Obtención de Grado:

**Techos Verdes con Especies Nativas: Una Apuesta para Crear Azoteas
Regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta, Jalisco**

Estudiante: Vanessa G. Mendoza Hernández

Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente

MCE2375A – Investigación, Desarrollo e Innovación II

Dra. Mara Alejandra Cortés Lara

Primavera 2021

21 de febrero

GUÍA DE ENTREVISTA

La presente guía de entrevista se construyó para contribuir con la recolección de información para el Trabajo de Obtención de Grado denominado: *Techos Verdes con Especies Nativas: Una Apuesta para Crear Azoteas Regenerativas en Vivienda Social de Puerto Vallarta, Jalisco*, de la Maestría en Proyectos y Edificación Sustentables.

Las entrevistas abonarán principalmente al **objetivo específico número uno del TOG**, que dice: definir cuáles especies nativas de la Costa de Jalisco son óptimas para su uso en techos verdes.

Objetivo General de las Entrevistas

El objetivo general de las entrevistas es que, a través de la experiencia de expertos y expertas, conocer los antecedentes en México (Jalisco) acerca de la implementación de techos verdes con especies nativas en vivienda social (horizontal) de clima cálido-húmedo (zonas costeras); así como el obtener datos técnicos e información clave para el desarrollo del tema de investigación del TOG.

Tipo de Entrevista y Método de Análisis

La entrevista será de tipo semiestructurada y exploratoria¹⁵. El método de análisis planteado es mixto (cuantitativo y cualitativo).

Medio de Aplicación de las Entrevistas:

El medio de aplicación de la entrevista será virtual, en cualquiera de las siguientes plataformas: *Google Meet; Microsoft Teams; Webex; y Zoom*. Las entrevistas también podrán

¹⁵ En una entrevista exploratoria, “el entrevistador introduce un problema, un área que deba estudiar con atención o un problema complejo que se deba sacar a la luz; profundiza en las respuestas del sujeto, y busca nueva información sobre el asunto y nuevos ángulos desde los que considerarlo” (Kavle, 2011, p. 64).

ejecutarse por llamada telefónica. Debido a la emergencia sanitaria del Covid-19, no se recomienda ejecutar las entrevistas de manera presencial.

Temas de Interés y Perfil del Entrevistado(a)

La Tabla 1 describe por tema de interés, el perfil de las entrevistadas:

Tabla 7.7. Perfil del Entrevistado(a) por Tema de Interés

Tema de Interés	Perfil de la Persona Entrevistada
1. Techos Verdes 1.1. Techos verdes en clima cálido-húmedo de zonas costeras 1.2. Techos verdes en vivienda social 1.3. Sistema modular de techos verdes	Profesionales o investigadores en el diseño y construcción de techos verdes en el estado de Jalisco, Colima, Veracruz y la Cd. de México. Profesionales o investigadores en arquitectura bioclimática (incluida vivienda social) Arquitectos o desarrolladores de vivienda social.
2. Especies Nativas (spp. nat.) 2.1. Spp. nat. de la costa de Jalisco con potencial para uso en techos verdes 2.2. Catálogos de spp. nat. actualmente utilizadas en techos verdes 2.3. Listados florísticos de la vegetación de la costa de Jalisco. 2.4. Producción de planta de spp. nat.	Profesionales o investigadores en el diseño y construcción de techos verdes en el estado de Jalisco. Profesional o investigador de botánica sistemática con experiencia en la costa de Jalisco. Viveristas, jardines botánicos y/o arquitectos paisajistas. Instituciones de gobierno (SEMADET) y Juntas Intermunicipales. Universidades (con herbarios y museos de ciencias). Asociaciones de silvicultores de Jalisco.
3. Marco Legal 3.1. Marco legal de aplicación de techos verdes en Jalisco y Puerto Vallarta. 3.2. NADF_013_RNAT_2017 3.3. Normas o estándares internacionales de calidad sobre techos verdes	Profesionales o investigadores en el diseño y construcción de techos verdes en la Cd. de México. Instituciones de gobierno (SEMADET) y Juntas Intermunicipales. Ayuntamiento de Puerto Vallarta, Jalisco.

Objetivos Específicos de las Entrevistas

La Tabla 2 describe los objetivos específicos de las entrevistas según el tema de interés:

Tabla 7.8. Objetivos Específicos de las Entrevistas

Tema	Objetivos Específicos
1	<p>Conocer la experiencia y obtener datos técnicos sobre el diseño y construcción de techos verdes en:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Vivienda social b) Clima cálido-húmedo de zonas costeras <p>Identificar proveedores de insumos para la construcción de techos verdes modulares.</p> <p>Recoger la opinión de las personas entrevistadas sobre los retos y oportunidades en la implementación de techos verdes en México.</p> <p>Detectar sinergias entre los objetivos del TOG y los objetivos profesionales de las entrevistadas.</p>
2	<p>Recabar información acerca de las especies nativas de México que actualmente se usan en techos verdes.</p> <p>Conseguir recomendaciones para la búsqueda de especies nativas de la costa de Jalisco para su implementación en techos verdes.</p>
3	<p>Conocer la experiencia en la aplicación de la NADF_013_RNAT_2017, así como las implicaciones de esta norma para el sistema modular de techos verdes.</p> <p>Indagar acerca de la existencia de normas o estándares internacionales sobre techos verdes.</p> <p>Identificar la legislación del estado de Jalisco y del municipio de Puerto Vallarta, implicada en la construcción de techos verdes.</p>

Duración de la Entrevista:

La duración de cada entrevista se prevé de 40 minutos.

Entrevistador

La autora del TOG realizará las entrevistas: Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández.

Número de Entrevistas

A la fecha, se ha identificado a doce entrevistados(as) potenciales. Como mínimo, se entrevistará a dos personas por tema de interés, lo que hace un total de seis entrevistas como mínimo.

Fecha Estimada de Ejecución

En octubre y noviembre del 2020 se ejecutaron tres entrevistas piloto. A dos de los entrevistados pilotos se les solicitará una segunda entrevista. De esta manera, resta ejecutar cuatro entrevistas más para alcanzar la cantidad mínima planteada, de marzo a mayo del 2021.

Identificación de Entrevistados (as) Potenciales

La Tabla 3 enlista a las personas de interés para realizarles una entrevista; fueron identificadas a través de una investigación sobre el tema de “techos verdes en México” a través de internet y por recomendación:

Tabla 7.9. Listado de Entrevistados(as) Identificados

Entrevistados Identificados				
#	Entrevistado	Perfil	Datos de Contacto	Estatus
1	Ulises Martines Generación Verde (Cd. de México)	Empresa de instalación y diseño de techos verdes		No realizada
2	Paulina González Ecotejado (Jalisco)	Empresa de instalación y diseño de techos verdes Plantica	██████████	Parcialmente realizada el 22 de marzo del 2021

Entrevistados Identificados				
#	Entrevistado	Perfil	Datos de Contacto	Estatus
3	Jerónimo Reyes Santiago Jardín Botánico de la UNAM (Cd. de México)	Biólogo, investigador, académico y encargado de techos verdes	Tel. (55) 5622 8976 jreyes@ib.unam.mx	Ejecutada (29 de octubre a las 13:00). Transcripción pendiente
4	Marcos Gómez Vinagrillo Diseñador de los Jardines del Museo Regional de Ciencias Ambientales	Biólogo, profesionista, comunicador de la ciencia con conocimiento en paletas vegetales	[REDACTED] [REDACTED]	Ejecutada (26 de octubre del 2020). Transcripción pendiente
5	Gabriela Vaca Secretario General del Museo Regional de Ciencias Ambientales	Academia, educación ambiental,	[REDACTED] [REDACTED]	Solicitud de entrevista enviada (vía e-mail)
6	Secretaria de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET)	Gobierno del Estado de Jalisco		No realizada
7	Antonio Vázquez Taxónomo botánico del CUCBA, UdeG	Taxónomo botánico, investigador, academia, encargado de herbario.		No realizada
8	José Guadalupe Chávez Taxónomo botánico del CUCSUR, UdeG	Taxónomo botánico, investigador, academia	[REDACTED]	Realizada: 28 de septiembre de 2021
9	Jardín Botánico de Puerto Vallarta	Jardín Botánico	322-223-6182 o 322-223 6184 info@vbgardens.org	Realizada: 2 de marzo del 2021
10	Eduardo Ernesto Ordóñez López y María Milagrosa Pérez Sánchez	Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Investigación sobre techos verdes en Mérida, Yucatán.	Av. de Ind. no Contaminantes, Periférico Norte s/n, Mérida, Yucatán, México, C.P. 97203. Tel.: (999) 930-0550, ext.: 1053. Correos electrónicos: eduardo.ordonez@uady.mx; sperez@uady.mx eduardo.ordonez@correo.uady.mx sperez@correo.uady.mx	Realizadas: 23 marzo 2021
11	Sergio Natan González Rocha	Universidad Veracruzana: Poza Rica, Veracruz, MX Barcelona Supercomputing Center: Barcelona, ES 2014-11-11 to present Postdoctoral Researcher (Earth Sciences)	Tel: +52 7828227363 ext. 42126 Fax: +52 7828227363 ngonzalez@uv.mx Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Químicas Prolongación de la avenida Venustiano Carranza sn Col.	No respondió

Entrevistados Identificados				
#	Entrevistado	Perfil	Datos de Contacto	Estatus
			Revolución. Poza Rica, Ver., México C.P. 93290	
12	Efecto Verde A.C. (Cd. de México)	Venden sistema modular de ¿techo verde o huerto?	██████████ ██████████ ██████████ https://efectoverde.com/	
13	Mtro. Arturo Solís Magallanes. Botánico del Herbari Zea del CUCSURR, UdeG.	Botánicos especialistas en flora de la costa de Jalisco	asolis@cucsur.udg.mx	Realizadas el 07 de octubre del 2021 y durante mayo del 2022.
14		Usuarios de techos verdes en edificios residenciales		No se realizó contacto
15		Viveros		No se realizó contacto

Guía de Entrevista

Se anexa guía para ejecutar las entrevistas.

Guía de Entrevista

	Folio: _____
Entrevistado: _____	
Fecha: / / <u>2021</u>	Hora Inicio: _____ Hora Fin: _____
Tema de Interés: _____	Perfil: _____
Ocupación: _____	Edad: _____ Sexo: _____
Institución/Empresa: _____	
Datos de Contacto: _____	
Medio de Aplicación: _____	
Entrevistador: Vanessa Guadalupe Mendoza Hernández	

Tema de Interés 1. Techos Verdes

Perfil: profesionalista o investigador en techos verdes

1. ¿Cuál es su experiencia con los techos verdes (años y área de experiencia)?
2. ¿Cuál es el objetivo u interés de la institución donde laboras sobre los techos verdes?
3. ¿Dónde se construyen techos verdes en México?
4. ¿Cuentas con experiencia en el diseño e implementación de techos verdes para vivienda social en México?
5. ¿Aspectos técnicos relevantes para la construcción de techos verdes en vivienda social?
6. ¿Aspectos técnicos relevantes para la construcción de techos verdes en clima cálido-húmedo?
7. ¿Casos de estudio que conozcas acerca de techos verdes en clima cálido-húmedo?
8. ¿Consideras relevante la implementación de techos verdes en México? ¿Por qué? ¿Bajo qué contexto?
9. ¿Qué obstáculos, retos u oportunidades percibes en la implementación de techos verdes en México?

10. De acuerdo con tu experiencia ¿Cuál sistema de techo verde consideras el más apropiado para el contexto de vivienda en la costa de Jalisco: intensivo, extensivo, ¿modular?
11. ¿Conoces de materiales locales o alternativos de Jalisco para la construcción de techos verdes?
12. ¿Qué tipo de sustrato recomiendas usar?
13. ¿Cuál es el costo de instalación y mantenimiento de los techos verdes extensivos y modulares?
14. Existen incentivos gubernamentales para la implementación de techos verdes (tipos, programas, publico).
15. Función de los techos verdes para generar oxígeno y secuestro de CO₂ u otros beneficios y servicios ecosistémicos ¿cuáles consideras más relevantes y por qué? catalogo
16. ¿Desempeño térmico de un techo verde? ¿En tu experiencia, cuántos grados se disminuye dentro del edificio comparación con el exterior?
17. ¿Tienes datos sobre el potencial de captura de carbono?
18. ¿Has hecho estudios o conoces alguno acerca de modelación de servicios ecosistémicos de un techo verde en México?
19. ¿Cuáles son las características que las especies deben tener para adaptarse a las condiciones de un techo verde de tipo extensivo/modular?

Perfil: arquitecto(a) y/o desarrolladora de vivienda social

20. ¿Experiencia de construcción de vivienda social en clima cálido-húmedo? ¿Puerto Vallarta?
21. ¿Sistema constructivo de la vivienda social?
22. ¿Capacidad de peso muerto y vivo de la cubierta?
23. ¿Considera viable la instalación de techos verdes en vivienda social? ¿Es apropiada la estructura de la vivienda social?
24. ¿Qué se debe considerar si se quiere instalar un techo verde en vivienda social?
25. ¿La vivienda social se construye con criterios bioclimáticos? ¿De qué tipo? ¿En qué lugares?
¿Desde cuándo?
26. ¿Conoce la eficiencia energética de la vivienda?

27. ¿Se construye con criterios sustentables? ¿cuáles? ¿Experiencia o estudios de caso que pueda mencionar?
28. ¿Conoce de alguna experiencia de vivienda social con techos verdes? ¿en dónde? ¿cuál o cómo fue su experiencia y participación?
29. ¿Se construye vivienda social en Puerto Vallarta con aislante térmico en la envolvente (incluyendo la cubierta)? ¿de qué tipo?
30. ¿La vivienda social de Puerto Vallarta es comfortable?
31. ¿Cumple con la NOM-008-ENER-2001?

Tema de Interés 2. Especies Nativas

Perfil: profesionalista o investigador en techos verdes

32. ¿Usas especies nativas de México para la instalación de techos verdes? ¿Cuáles? ¿Cuál es tu experiencia en el uso de especies nativas?
33. ¿Catálogo de especies nativas que ya se usan en techos verdes?
34. ¿Has construido techos verdes con objetivos de conservación de la biodiversidad? ¿Cómo seleccionaste a las especies? ¿Cuál fue tu experiencia?
35. ¿Es fácil disponer de las especies nativas? ¿En dónde o quién las produce? ¿Dónde consigues los ejemplares? ¿Cuál es su costo?
36. ¿En cuáles géneros de plantas recomiendas prestar atención en la búsqueda de especies nativas de la costa de Jalisco para su implementación en techos verdes?
37. ¿Conoce o maneja algún catálogo de especies nativas de Jalisco, particularmente de la costa, que se puedan implementar en techos verdes?
38. ¿Conoces listados florísticos de la Costa de Jalisco que puedan ser consultados?

Perfil: profesionalista o investigador sin experiencia en techos verdes

39. ¿Conoces o has escuchado hablar sobre techos verdes? Si la respuesta es sí, ¿qué sabes sobre techos verdes y las especies que en ellos se usan?
40. ¿Conoces listados florísticos de la Costa de Jalisco que puedan ser consultados?

41. ¿Qué especies de plantas conoces que son originarias de la costa de Jalisco y que están disponibles en el mercado para la venta?
42. ¿Cuál es el costo y disponibilidad de las plantas que identificaste?
43. ¿Cuáles especies de crasuláceas conoces son nativas de Jalisco y se venden en viveros? ¿sabes su precio?
44. ¿Cuáles especies de agaváceas conoces son nativas de Jalisco y se venden en viveros? ¿sabes su precio?
45. ¿Cuáles especies de nopales conoces son nativas de Jalisco y se venden en viveros? ¿sabes su precio?
46. ¿Cuáles especies de euforbiáceas conoces son nativas de Jalisco y se venden en viveros? ¿sabes su precio?
47. ¿Conoces productores de estas especies nativas de Jalisco?
48. ¿Qué especies de Jalisco conoces que resisten mucha insolación, periodos largos sin agua, sustratos más o menos pobres y son perennes?
49. ¿Qué especies de Jalisco conoces que son muy resistentes al trasplante, sobreviven y crecen relativamente rápido y forman una cobertura total del suelo?
50. ¿Cuáles de las especies que mencionaste en la pregunta anterior son las más bonitas o estéticas o se venden más?
51. ¿Cuáles de estas especies las puedo encontrar a la venta en Puerto Vallarta o sus alrededores?

Perfil: institución de gobierno (SEMADET) y juntas intermunicipales

52. ¿Conoces o has escuchado hablar sobre techos verdes?
53. (Si la respuesta es no, explicar qué es un techo verde)? ¿Este tema se ha tratado o es considerado en algún punto dentro de la política pública del estado/municipio?
54. ¿Objetivos de conservación de la biodiversidad en el estado/municipio?
55. ¿Presupuesto y estrategias de conservación de la biodiversidad? ¿Qué proyectos?
56. ¿Considera que los techos verdes pueden contribuir con los objetivos de desarrollo sustentable del estado/municipio? ¿De qué manera?
57. ¿Existen iniciativas regulatorias o de incentivos fiscales sobre techos verdes en el estado/municipio?

- 58. ¿Base de datos (listados florísticos) de especies nativas?
- 59. Planes de acción climática existentes en el municipio

Tema de Interés 3. Marco Legal

Perfil: profesional o investigador en techos verdes de la Cd. de México

- 60. ¿Se requiere permiso o autorización para construir un techo verde?
- 61. ¿Está familiarizado con la NADF_013_RNAT_2017?
- 62. ¿Cuál es su experiencia en la aplicación de la NADF_013_RNAT_2017?
- 63. ¿Qué tanto aplica la NADF_013_RNAT_2017 para el sistema modular de techos verdes porque lo menciona muy poco? ¿Qué implica para un sistema de techo verde modular las características arquitectónicas y especificaciones técnicas establecidas en la NADF_013_RNAT_2017?
- 64. ¿Existe incongruencias de la NADF_013_RNAT_2017 con otras normas o reglamentos?
- 65. ¿Áreas de mejora de la NADF_013_RNAT_2017?
- 66. ¿Conoce normas o estándares internacionales sobre techos verdes? ¿Cuáles? ¿Dónde se consultan? ¿Usted los aplica?
- 67. ¿Qué otra normatividad se debe tener en cuenta para la instalación de un techo verde?

Perfil: profesional o investigador en techos verdes de Jalisco y otras áreas

- 68. ¿Conoce la NADF_013_RNAT_2017? ¿Esta familiarizado con ella, la ha aplicado en algún punto de su actividad profesional?
- 69. ¿En su municipio o estado, existe alguna norma que regule a los techos verdes? ¿Sabe si existe alguna en proceso de elaboración o publicación?
- 70. ¿Qué normas o reglamentos toma en consideración para la instalación de un techo verde y por qué?

Perfil: institución de gobierno estatal y municipal

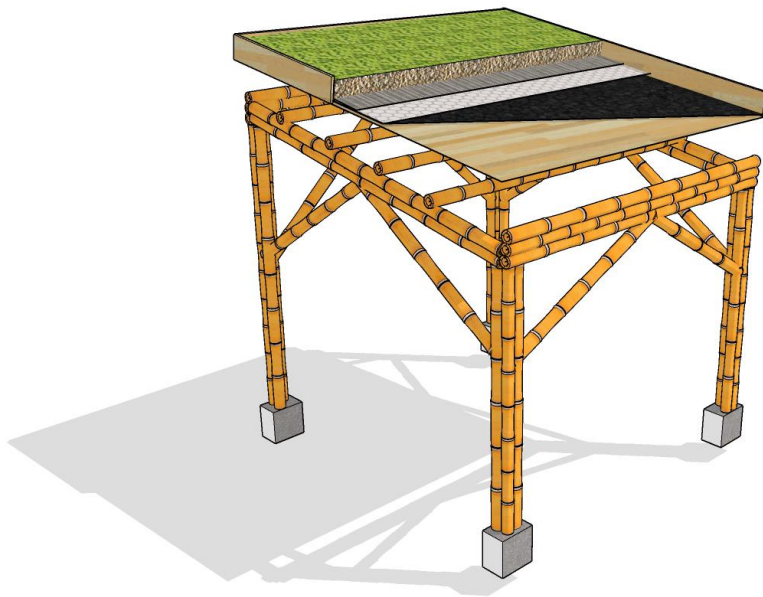
71. ¿Conoces o has escuchado hablar sobre techos verdes? Si la respuesta es sí, ¿qué sabes sobre techos verdes?
72. ¿Qué normatividad existe en torno a los techos verdes?
73. ¿Se requiere permiso o autorización para construir un techo verde? ¿Qué institución sería o es la encargada? ¿Cuáles son los requisitos? ¿Costo del trámite? ¿Tiempo de autorización?
74. ¿En Puerto Vallarta, la construcción de un techo verde se consideraría un cambio en la estructura de la edificación?
75. ¿Qué normar o reglamentos tendrían aplicación para la construcción de un techo verde?
76. ¿Existen iniciativas regulatorias sobre techos verdes en el estado/municipio?
77. ¿Existen restricciones normativas para la construcción de un techo verde? ¿Cuáles?

1.1 Referencias

Kavle, S. (2011). *Las Entrevistas en la Investigación Cualitativa*. Ediciones Morata S.L.
<https://www-digitaliapublishing-com.pbidi.unam.mx:2443/visor/24037>

6

Memoria de Cálculo del Prototipo DDI



MEMORIA DE CÁLCULO

ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL ESTADO ACTUAL DE CASA HABITACIÓN, ADICIONANDO CARGAS DEBIDO A AMPLIACIÓN EN NIVEL DE AZOTEA CON TERRAZA DE BAMBU CON CUBIERTA DENOMINADA COMO “TECHO VERDE”

Ing. Juan Pablo Doddoli

Arquitectura y Geometría

El proyecto arquitectónico consiste en una casa habitación ubicada en Puerto Vallarta, Jalisco. En la planta baja se cuenta con recibidor, un baño completo, sala, comedor, cocina y patio, mientras que en la planta alta se tienen dos recámaras compartiendo un baño completo y una recámara principal con clóset. La casa cuenta con una dimensión total de construcción en tanto en su primer nivel como segundo nivel de aproximadamente 104.56m^2

La vivienda ha tenido remodelaciones al pasar los años, siendo que se inició con una casa de una sola planta de mampostería confinada, teniendo como cubierta un sistema aligerado de vigueta y bovedilla. Al transcurrir el tiempo de su uso y el aumento de las necesidades de una ampliación, se tuvieron diferentes modificaciones en su primer nivel, en donde se agregan muros en la zona trasera de la casa con columnas aisladas para ampliar todo el nivel, al igual que se cambia el sistema de losa para este mismo a un sistema de losa llena. Cambiando de forma considerable las condiciones de carga y peso de la estructura.

La casa cuenta y cumple con las condiciones de regularidad estipuladas en las Manual de Diseño Sísmico de la Comisión Federal de Electricidad. (MDSCFE 2015), siendo solamente crítica su geometría a falta de muros en su dirección longitudinal X.

Estructura

Descripción General

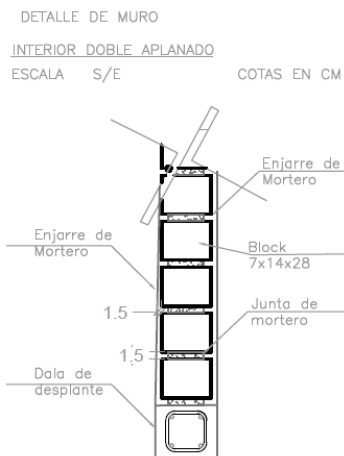
Para el diseño correspondiente ante cargas sísmicas, se consideraron los siguientes parámetros: Factor de importancia Grupo B, grado 1. De acuerdo con su zona geográfica de ubicación se considera una Zona Sísmica D, con tipo de suelo II. Cimentación a base de mampostería de piedra braza. Edificación a base de mampostería confinada de block de concreto convencional de 15 x 20 x 40 cm con mortero Tipo II a base de cemento y arena. Altura máxima de muros de 2.70m y un espesor de 14 cm con un aplonado cemento arena de 1.5 cm. Las losas del primer nivel se consideran aligerada con bloques de jalcreto de 20 x 20 x 40 cm apoyadas en su mayoría sobre los muros de mampostería. Se contempla reacciones transmitadas por el prediseño de traveses y cerramientos de confinamiento como parte de las cargas que se aportará hacia la estructura de mampostería. De igual forma, se consideran las reacciones y peso transmitido por la losa llena en la losa del segundo nivel.

Para la estructura de bambú, se tiene considerado un material ligero por los mismos perfiles de materiales, siendo de aproximadamente 15 kg/m² de construcción de esta. A ello, se le suma 465 kg/m² debido a su cubierta denominada como “techo verde”.

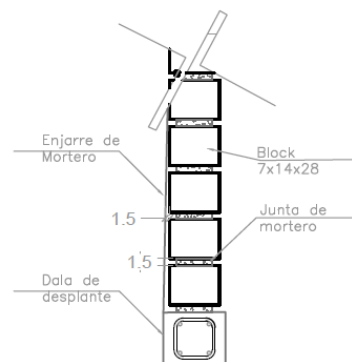
Resumen de cargas vivas y muertas

Carga muerta losa de entrepiso, unidireccional, con capa de compresion de 5cm. Sistema de losa vigueta y vobedilla.

Material	Cantidad de material	Peso del material	W(kg/m ²)
1.- Vitropiso			20.00
2.- Pegapiso	0.01	1470.00	14.70
3.- Hormigon	0.05	1200.00	60.00
4.- Concreto reforzado Sistema de losa vigueta y vobedilla	0.05	2400.00	120.00
5.- bovedilla			230.00
6.- Mortero	0.03	2100.00	63.00
7.- Iluminacion			5.00
8.- Instalaciones			10.00
	Sobrecarga		40.00
		ΣCM	562.70
		ΣCM Final	563.00
		CV	190.00
		Cv Accidental	100.00

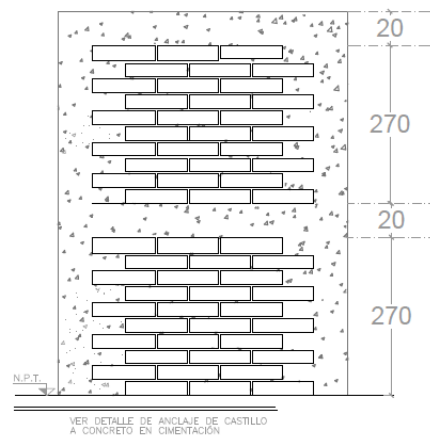


DETALLE DE MURO
PERIMETRAL UN APLANADO
ESCALA S/E COTAS EN CM



Carga muerta losa llena de azotea, con impermeabilización de ladrillo de azotea y 10cm de espesor

Material	Cantidad de material	Peso del material	W(kg/m ²)
1.- Impermeabilizante	1	1.34	1.34
2.- Pso de azotea	0.02	1655.06	24.83
3.- Entortado de azotea	0.04	2100.00	84.00
4.- Hormigon pendiente de 1.5% promedio	0.11	1200.00	132.00
5.- Losa de concreto	0.10	2400.00	240.00
6.- Mortero	0.03	2100.00	63.00
7.- Iluminacion			5.00
8.- Instalaciones			10.00
	Sobrecarga		40.00
		ΣCM	600.17
		ΣCM Final	600.00
		CV	100.00
		Cv Accidental	70.00



DETALLE ALTURAS MÁXIMAS DE MURO
S/ESCALA COTAS EN CM

Muro de block de concreto enjarrado por dos caras

Material	Cantidad de material	Peso del material	W(kg/m ²)
1.- Block	0.14	1500	210.00
2.- Aplanado	0.03	2100.00	63.00
		Σ CM	273.00
		Σ CM Final	273.00

Muro de block de concreto enjarrado por una cara

Material	Cantidad de material	Peso del material	W(kg/m ²)
1.- Block	0.14	1500	210.00
2.- Aplanado	0.02	2100.00	31.50
		Σ CM	241.50
		Σ CM Final	242.00

Filosofía de Diseño

En el presente proyecto se considera como base de diseño la filosofía DFEP “*Diseño por Factores de Esfuerzos Permisibles*” conocida por sus siglas en inglés como ASD.

El diseño con apego a las disposiciones de dicha filosofía de *Diseño con Factores de Esfuerzos Permisibles* satisface los requisitos normativos toda vez que cada componente estructural presenta una resistencia igual o mayor a la resistencia requerida determinada con base en las combinaciones de carga de este método.

Las combinaciones de carga empleadas para la satisfacción y cumplimiento de los principios enunciados en líneas anteriores son las siguientes:

1. CASOS DE CARGA BÁSICOS

LOAD 1 CARGA MUERTA (CM)

LOAD 2 CARGA VIVA (CV)

LOAD 3 SISMO X (SIS X)

LOAD 4 SISMO Z (SIS Z)

LOAD 5 VIENTO X (VIE X)

LOAD 6 VIENTO -X (VIE -X)

LOAD 7 VIENTO Z (VIE Z)

LOAD 8 VIENTO -Z(VIE -Z)

2. COMBINACIONES PARA LA REVISIÓN POR ESFUERZOS PERMISIBLES

LOAD COMB 100 CM + CV

LOAD COMB 101 1.0 CM + 0.75(CV + SIS X)

LOAD COMB 102 1.0 CM + 0.75(CV - SIS X)

LOAD COMB 103 1.0 CM + 0.75(CV + SIS X + 0.30 SIS Z)

LOAD COMB 104 1.0 CM + 0.75(CV + SIS X - 0.30 SIS Z)

LOAD COMB 105 1.0 CM + 0.75(CV - SIS X + 0.30 SIS Z)

LOAD COMB 106 1.0 CM + 0.75(CV - SIS X - 0.30 SIS Z)

LOAD COMB 107 1.0 CM + 0.75(CV + SIS Z)

LOAD COMB 108 1.0 CM + 0.75(CV - SIS Z)

LOAD COMB 109 1.0 CM + 0.75(CV + SIS Z + 0.30 SIS X)

LOAD COMB 110 1.0 CM + 0.75(CV + SIS Z - 0.30 SIS X)

LOAD COMB 111 1.0 CM + 0.75(CV - SIS Z + 0.30 SIS X)

LOAD COMB 112 $1.0 \text{ CM} + 0.75(\text{CV} - \text{SIS Z} - 0.30 \text{ SIS X})$

LOAD COMB 113 $0.6 \text{ CM} + \text{VIE X}$

LOAD COMB 114 $0.6 \text{ CM} + \text{VIE -X}$

LOAD COMB 115 $0.6 \text{ CM} + \text{VIE Z}$

LOAD COMB 116 $0.6 \text{ CM} + \text{VIE -Z}$

Análisis Sísmico

Condiciones del Proyecto

En el Capítulo de Diseño por Sismo del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE del año 2015, se consideran tres niveles de importancia estructural: convencional (B), importante (A) y muy importante (A+). Para el caso del proyecto es preciso clasificar la estructura dentro del grupo de importancia estructural **B clase 1** ya que se requiere un grado de seguridad convencional y se considera que la falla estructural ocasionaría la pérdida de un número reducido de vidas y pérdidas económicas moderadas.

Dada la ubicación geográfica del proyecto, en función a la regionalización sísmica actual de la República Mexicana, se determina que la zona sísmica que ahora nos corresponde

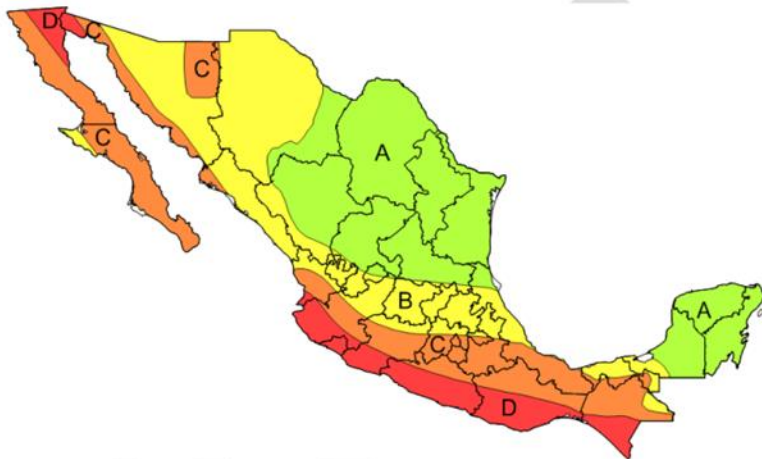


Figura 1.2 Regionalización sísmica de la República Mexicana.

Para determinar la zona sísmica se sigue el criterio simple basado en el valor de la aceleración máxima en roca, a_0^r , para el nivel de referencia dado en el ER, obtenido con el programa PRODISIS.

Tabla 1.3 Regionalización sísmica.

Aceleración máxima en roca, a_0^r (cm/s^2), correspondiente al nivel de referencia ER	Zona	Intensidad sísmica
$a_0^r \geq 200$	D	Muy Alta
$100 \leq a_0^r < 200$	C	Alta
$50 \leq a_0^r < 100$	B	Moderada
$a_0^r < 50$	A	Baja

Programa PRODISIS

La Comisión Federal de Electricidad ha diseñado para sus amplios efectos la aplicación PRODISIS, que permite conocer para un sitio con coordenadas geográficas definidas, la información relacionada con el enfoque probabilista dada por el peligro sísmico para la condición de roca. Ingresando al programa la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco el programa permite conocer lo siguiente.

Espectros Regionales

$a_0^r = 351.22 \text{ cm/s}^2$ $c^r = 767.31 \text{ cm/s}^2$

Zona sísmica : D Importancia estructural B1

Caracterización del terreno de cimentación

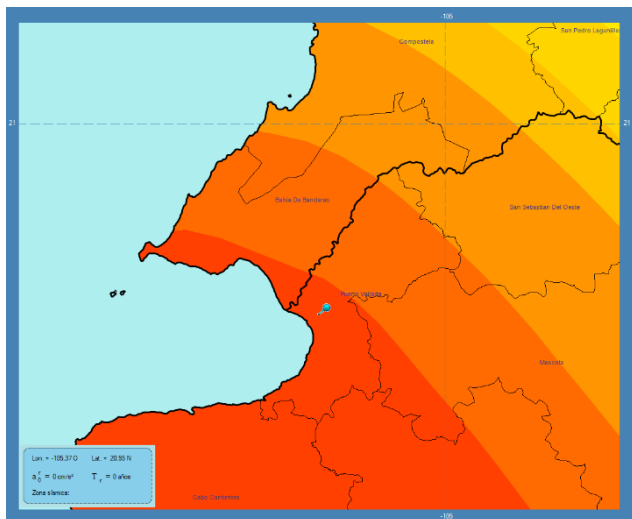
$v_s = 400 \text{ m/s}$ $H_s = 40 \text{ m}$ $T_s = 0.40 \text{ s}$

Estratigrafía Tipo de suelo II

Parámetros espectrales para estructuras A2 y B1

$F_{\text{Sit}} = 1.84$ $F_{\text{Res}} = 3.10$

$a_0 = 645.99 \text{ cm/s}^2$ $c = 2000.00 \text{ cm/s}^2$



Para estructuras B1 se determinan los parámetros dinámicos del depósito de suelo idealizado como un manto homogéneo equivalente, es decir, el periodo dominante, la velocidad de propagación de ondas de corte y el

espesor.

Los parámetros del espectro de diseño se calculan con base en las siguientes tablas:

Factor de sitio para diferentes zonas y tipos de terreno:

	Terreno Tipo I	Terreno Tipo II	Terreno Tipo III
Zona A	$F_{Sit} = 1.0$	$F_{Sit} = 2.6$	$F_{Sit} = 3.0$
Zona B	$F_{Sit} = 1.0$	$F_{Sit} = 2.6 - 0.2 \left(\frac{a_0^r - 50}{50} \right)$	$F_{Sit} = 3.0 - 0.3 \left(\frac{a_0^r - 50}{50} \right)$
Zona C	$F_{Sit} = 1.0$	$F_{Sit} = 2.4 - 0.3 \left(\frac{a_0^r - 100}{100} \right)$	$F_{Sit} = 2.7 - 0.4 \left(\frac{a_0^r - 100}{100} \right)$
Zona D	$F_{Sit} = 1.0$	$F_{Sit} = 2.1 - 0.5 \left(\frac{a_0^r - 200}{290} \right)$	$F_{Sit} = 2.3 - 0.6 \left(\frac{a_0^r - 200}{290} \right)$

Factor de respuesta para diferentes zonas y tipos de terreno:

	Terreno Tipo I	Terreno Tipo II	Terreno Tipo III
Zona A	PRODISIS*	$F_{Res} = 3.8$	$F_{Res} = 4.2$
Zona B	PRODISIS*	$F_{Res} = 3.8 - 0.2 \left(\frac{a_0^r - 50}{50} \right)$	$F_{Res} = 4.2 - 0.3 \left(\frac{a_0^r - 50}{50} \right)$
Zona C	PRODISIS*	$F_{Res} = 3.6 - 0.2 \left(\frac{a_0^r - 100}{100} \right)$	$F_{Res} = 3.9 - 0.3 \left(\frac{a_0^r - 100}{100} \right)$
Zona D	PRODISIS*	$F_{Res} = 3.4 - 0.5 \left(\frac{a_0^r - 200}{290} \right)$	$F_{Res} = 3.6 - 0.6 \left(\frac{a_0^r - 200}{290} \right)$

Restricción de los valores máximos de aceleración en la roca, aceleración del terreno y aceleración espectral:

	Terreno I	Terreno II	Terreno III
a_0^r	$32 \leq a_0^r \leq 490$	$80 \leq a_0 \leq 690$	$94 \leq a_0 \leq 752$
c	$80 \leq c \leq 1,225$	$320 \leq c \leq 2,000$	$390 \leq c \leq 2,256$

Valores de los periodos característicos y exponentes que controlan las ramas descendentes de los espectros de diseño:

Zona	Tipo de terreno	$T_a(s)$	$T_b(s)$	$T_c(s)$	k	r	Zona	Tipo de terreno	$T_a(s)$	$T_b(s)$	$T_c(s)$	k	r
A	I	0.1	0.6	2.0	1.5	1/2	C	I	0.1	0.6	2.0	1.5	1/2
	II	0.2	1.4	2.0	1.0	2/3		II	0.2	1.4	2.0	1.0	2/3
	III	0.3	2.0	2.0	0.5	1		III	0.2	2.0	2.0	0.5	1
B	I	0.1	0.6	2.0	1.5	1/2	D	I	0.1	0.6	2.0	1.5	1/2
	II	0.2	1.4	2.0	1.0	2/3		II	0.1	1.4	2.0	1.0	2/3
	III	0.3	2.0	2.0	0.5	1		III	0.1	2.0	2.0	0.5	1

Es así como con estos valores es posible obtener el espectro de diseño empleando las siguientes fórmulas:

$$a_0 = \frac{a_0^r F_{sit}}{g}$$

$$c = a_0 F_{res}$$

Bajo las consideraciones y metodología implícita dentro del Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE de 2015, los espectros de diseño se manejan en gales, pero para el cálculo de fuerzas sísmicas es preciso representarlos como fracción de la gravedad:

$$a = \frac{Sa}{g}$$

Donde

a es la ordenada espectral normalizada

g es la aceleración de la gravedad (981 cm/s²).

Especificaciones para la determinación de los espectros de diseño:

Estructuras	Espectro de respuesta en roca	Revisión de fallas activas	Exploración dinámica del terreno	Caracterización del terreno	Espectros de diseño
A+	EPR EMC ER x 1.75	Sí	Detallada	Medio estratificado	Específicos de sitio
A1	EPR EMC ER x 1.5	Sí	Detallada	Medio estratificado	Específicos de sitio
A2	ER x 1.5	No	Básica	Tipo I, II y III	Regionales
B1	ER	No	Básica	Tipo I, II y III	Regionales
B2	ER	No	No requerida	Suelo general	Constante con T _e

De la tabla anterior se desprende que el espectro regional para estructuras tipo B1, como es el caso que ahora ocupa, corresponde a un espectro de diseño regional.

Espectro de diseño transparente

Con base en los presupuestos anteriormente expresados, se calcula las ordenadas del espectro de diseño transparente con efectos de sitio y de amortiguamiento con la siguiente forma paramétrica:

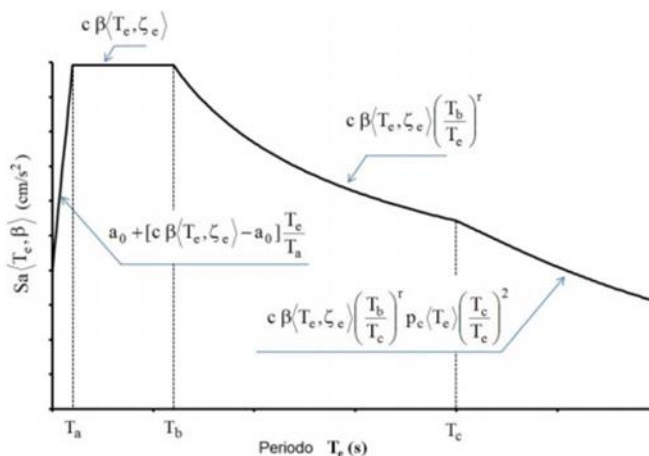


Figura 1.4 Espectro de diseño sísmico.

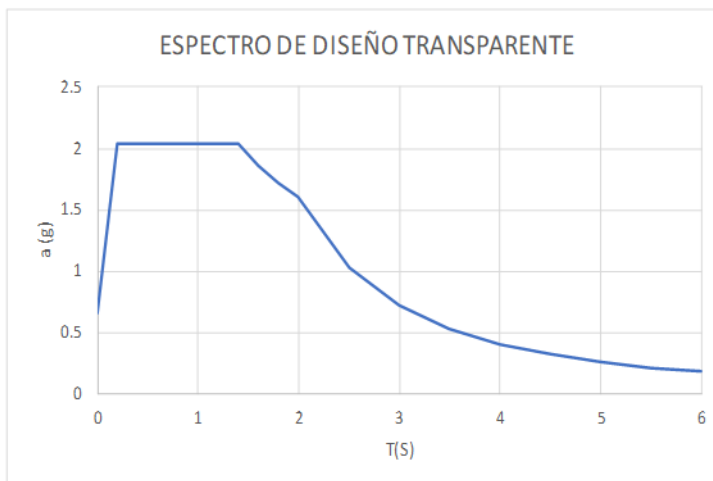
$$Sa(T_e, \beta) = \begin{cases} a_0 + [c \beta(T_e, \zeta_e) - a_0] \frac{T_c}{T_a} & \text{si } T_e < T_a \\ c \beta(T_e, \zeta_e) & \text{si } T_a \leq T_e < T_b \\ c \beta(T_e, \zeta_e) \left(\frac{T_b}{T_c}\right)^r & \text{si } T_b \leq T_e < T_c \\ c \beta(T_e, \zeta_e) \left(\frac{T_b}{T_c}\right)^r p_c(T_e) \left(\frac{T_c}{T_e}\right)^2 & \text{si } T_e \geq T_c \end{cases} \quad (1.8)$$

donde

- a_0 es la aceleración máxima del terreno (cm/s^2)
- c es la aceleración máxima espectral (cm/s^2)
- T_a es el límite inferior de la meseta del espectro de diseño (s)
- T_b es el límite superior de la meseta del espectro de diseño (s)
- T_c es el periodo de inicio de la rama descendente en que los desplazamientos espectrales tienden correctamente al desplazamiento del terreno (s)
- T_e es el periodo estructural en la dirección del análisis (s)
- $\beta(T_e, \zeta_e)$ es el factor de amortiguamiento. Para un amortiguamiento estructural $\zeta_e = 5\%$, el valor de $\beta(T_e, 0.05) = 1$. Este factor se define en el inciso 3.2.3
- r es el parámetro que controla la caída de las ordenada espectrales para $T_b \leq T_e < T_c$

Es así como el espectro de diseño transparente queda definido de la siguiente manera:

ESPECTRO	
T(s)	a (g)
0	0.658726
0.2	2.039432
1.4	2.039432
1.6	1.865727
1.8	1.72483
2	1.607835
2.5	1.029014
3	0.714593
3.5	0.525007
4	0.401959
4.5	0.317597
5	0.257254
5.5	0.212606
6	0.178648



El espectro calculado inicialmente no sufre variaciones por correcciones ya que el factor β obtenido del amortiguamiento es de 1.

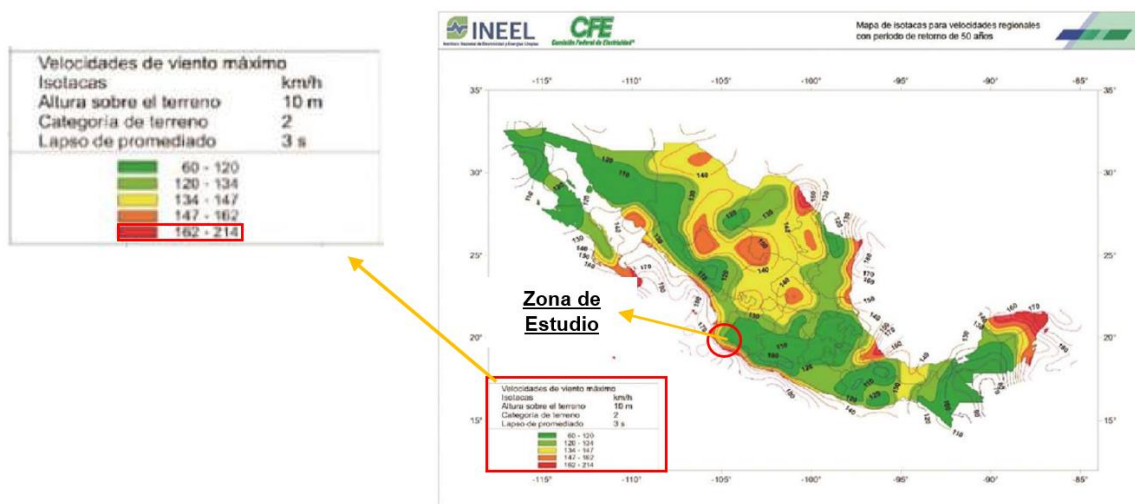
Diseño Eólico Terraza

Para iniciar con el diseño por viento, se debe de catalogar a la estructura con referencia la normativa, reglamento o manual con el que se diseñara. En este caso, para el diseño por viento, se hizo uso del Manual de Diseño de Obras Civiles-Diseño por viento de la Comisión Federal de Electricidad edición 2020. De acuerdo con la sección 4.1.3 del presente manual, la estructura del proyecto esta considera como estructura del tipo B. Existen dos formas de realizar el análisis de viento,

dependiendo de ciertas condiciones que marca el mismo manual. Estos métodos puede ser un método estático o un método dinámico. Ambos métodos tienen sus limitaciones, teniendo un mayor número de ellas el método estático.

Velocidad regional para un periodo de retorno fijo

Con base al capítulo 4.2.2.1 del manual, se establece que para las estructuras del tipo B, se deberán de considerar 200,50 y 10 años como tiempo de retorno para las estructuras. En este ejercicio, se usará un tiempo de retorno de 50 años en la planeación de esta construcción. Este tiempo de retorno se encuentra definido como T . Existe una velocidad regional para cada uno de los estados en el país, sin embargo; el manual cuenta con un mapa de isotacas que muestra de forma gráfica las velocidades regionales por zona, siendo este de mayor ayuda gráfica y generalizada de la zona en donde se busque obtener la velocidad regional. En seguida, se anexa la Imagen el mapa de isotacas propuesto por el manual con un periodo de retorno de 50 años.



Como se puede observar en el mapa y en la tabla adicional al mapa, se presenta un rango de velocidades entre 162km/hr y 214 km/hr, generando incertidumbre sobre cuál es la velocidad de diseño a utilizar. En este mismo manual, en la sección de anexo, se encuentra una tabla en donde se proponen velocidades regionales para algunos municipios de México, dando la velocidad exacta para un tiempo de retorno estimado. Con base a este anexo, la velocidad regional con la que se diseñará será de 145.71 km/hr.

Determinación del factor de exposición

Para fines de este trabajo, se tomará en cuenta que es un terreno tipo 3, de acuerdo con las categorías realizadas por el manual en la sección 4.2.1. En la tabla 4.2.1 se hace mención que este tipo de terrenos son aquellos cubiertos por numerosas obstrucciones y estrechamente espaciados, siendo este uno de los panoramas más críticos, considerando que en las especificaciones del plano se tiene colindancia en 3 de sus cuatro sentidos. En seguida, se anexa la imagen, con la tabla propuesta por el manual.

Tabla 4.2.1 CATEGORÍA DEL TERRENO SEGÚN SU RUGOSIDAD

Cat.	Descripción	Ejemplos	Limitaciones
1	Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua	Franjas costeras planas, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor, superficies nevadas planas.	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor.
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas.	Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 10 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar.
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas	Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas.	Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la nueva construcción, la que sea mayor.
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas	Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados.	Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la nueva construcción.

El factor de exposición local denominado como Fr_z , establece la variación de la velocidad del viento con altura, en función con la categoría del terreno. Este factor se obtiene de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} \quad \text{si } z \leq 10$$

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} \left(\frac{z}{10}\right)^{\alpha'} \quad \text{si } 10 < z \leq 200$$

$$F'_{rz} = 0.702\bar{b} \left(\frac{\delta}{10}\right)^{\alpha'} \quad \text{si } z \geq \delta$$

Donde:

z = es la altura por encima del terreno natural, a que se desea conocer la velocidad de diseño, en m.

\bar{b} = coeficiente adimensional Tabla siguiente.

a' = exponente de la variación de la velocidad con la altura para cada categoría de rugosidad del terreno.

d = altura medida a partir del nivel de terreno de desplante, por encima del que la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante; a esta altura se le conoce como altura gradiente.

Estas expresiones corresponden a las ecuaciones a, b y c, de la sección 4.2.2.1 de dicho manual. El valor de d , se puede encontrar en la tabla 2.2 del manual, que a roja un valor de 410 m, con relación a la categoría de terreno 3. Los valores de \bar{b} y a' se encuentran definidos en la tabla 4.1 de dicho manual. En este caso, para el proyecto fue utilizado el valor de acuerdo con la categoría del terreno 3. En seguida, se anexa tabla de donde fueron obtenidos los valores d , \bar{b} y a' .

Tabla 2.2 Valores de c , α y δ .

Categoría del terreno	c	α	δ (m)
1	1.142	0.061	280
2	1.000	0.095	350
3	0.832	0.140	410
4	0.668	0.192	470

Tabla 4.1 Valores de \bar{b} y a' .

Categoría del terreno	\bar{b}	a'
1	1.17	0.10
2	1.00	0.14
3	0.82	0.19
4	0.61	0.26

Factor de topografía F_T

El factor de topografía toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura. Esto, con respecto a la sección 4.2.4 del presente manual. Este factor cambia dependiendo si la construcción se encuentra en laderas, o colinas, al igual que se si encuentra en un sitio muy plano con respecto al terreno en sus alrededores. En esta ocasión y de acuerdo con las especificaciones del proyecto, se considerará que el terreno se encuentra en una zona norma, siendo este un terreno prácticamente plano. En seguida, en la tabla se encuentran los valores del factor F_T , para el tipo de terreno en donde se tiene planeado el proyecto. Por lo tanto, el valor de $F_T = 1.0$

Tabla 4.2.4 FACTOR DE TOPOGRAFÍA LOCAL, F_T

Sitios	Ejemplos de topografía local	F_T
Protegidos	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano: Campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%.	1.0
Expuestos	Promontorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas.	Véanse las ecuaciones (4.2.6) a (4.2.8)
	Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas.	

Determinación de la velocidad media, $V'D$

La velocidad media, corresponde a un tiempo de premediación de diez minutos y se aplica para poder obtener el factor de respuesta dinámica, así como en los vórtices de inestabilidad aerodinámica. La fórmula usada para la obtención de $V'D$ se presenta a continuación. Corresponde a la ecuación 4.4.1 del manual.

$$V'_D = \frac{F_T F'_{rz} V_R}{3.6}$$

Donde:

V_R = es la velocidad regional de ráfaga establecida en el inciso 4.2.2, en km/h

F_T = el factor de topografía definido en el inciso 4.2.4

F'_{rz} = el factor de exposición para la velocidad media; se determina según el inciso 4.2.2.1

Presión dinámica de base, q_z

La presión dinámica de basa es dato fundamental para el inicio del diseño por viento de cualquier edificio. Esta presión dinámica de base está definida como la presión que ejerce el viento sobre una estructura. La presión que ejerce el flujo del viento sobre la superficie plana perpendicular al plano de la dirección del viento, se le denomina la presión dinámica de base, también definida en el manual como q_z . Para obtener esta presión dinámica de base, con relación a unidades equivalentes en el sistema que se manejará todo el proyecto, se hizo uso de la ecuación 4.2.9 del manual, que se representa de la siguiente forma:

$$q_z = .0048GV_D^2$$

Donde:

V_D = es la velocidad básica de diseño, km/h definida en el inciso

G = es el factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar, adimensional.

El valor de G se obtiene de la expresión 4.2.10 del manual. Se expresa de la siguiente forma:

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + \tau}$$

Donde:

Ω = es la presión barométrica, en mm Hg

τ = la temperatura ambiental, en C°

Con base a las especificaciones de la zona presentadas en la sección de este documento se tiene que la temperatura promedio anual de este municipio es de 26°C, mientras que su altura es de 12 m.s.n.m. Debido a que no se tiene un valor estimado específico para la altura del terreno en donde se encuentra el proyecto, se realiza un interpolación línea con base a la tabla propuesta en la sección 4.2.5 del presente manual. A continuación, se anexa la tabla con la que se realizó la interpolación. Tomando como punto de partida la presión en el nivel cero y la presión a 2000 m.s.n.m

Tabla 4.2.5 RELACIÓN ENTRE LA ALTITUD Y LA PRESIÓN BAROMÉTRICA

Altitud, h_m (msnm)	Presión barométrica, Ω (mm de Hg)
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

Con base a esta interpolación, obtenemos que el valor de Ω a utilizar el proyecto será de 759.04 mm Hg. Sustituyendo los valores en la fórmula, se obtiene que:

$$G = \frac{0.392(759.04)}{273 + (28)}$$

$$G = 1.04$$

Presión exteriores P_e

La presión exterior para una construcción abierta se obtiene con respecto a la ecuación 4.3.2 de dicho manual:

$$p_e = C_{pe} k_A K_L q_z$$

Donde:

C_{pe} = es el coeficiente de presión exterior, adimensional

k_A = el factor de reducción de presión por tamaño de área, adimensional

K_L = el factor de presión local, adimensional

q_z = la presión dinámica de base del viento, calculada anteriormente

Existen diferentes tipos de coeficientes de expresión exterior, ya sea para el caso de los muros de barlovento, sotavento, muros laterales y la cubierta.

Coeficientes para cubierta

Debido a que la cubierta del proyecto cuenta con un ángulo definido por el manual como $\gamma = 8.29^\circ$ y siendo este mismo menor que 10° , se puede hacer uso de la tabla 4.3.3(b) del manual, donde se estiman los valores correspondientes de C_{pe} para este tipo de cubiertas y sus casos. A continuación, se presenta en la imagen, se presenta la tabla propuesta por el manual.

Tabla 4.3.3(b) COEFICIENTE DE PRESIÓN EXTERIOR, C_{pe} , PARA ZONAS DE TECHOS DE CONSTRUCCIONES CON PLANTA RECTANGULAR CERRADA. CUBIERTA DE BARLOVENTO (CB) Y CUBIERTA DE SOTAVENTO (CS) PARA $\gamma < 10^\circ$. CUBIERTAS TRANSVERSALES (CT) DE TECHOS A UNA O DOS AGUAS Y CUALQUIER ÁNGULO γ .

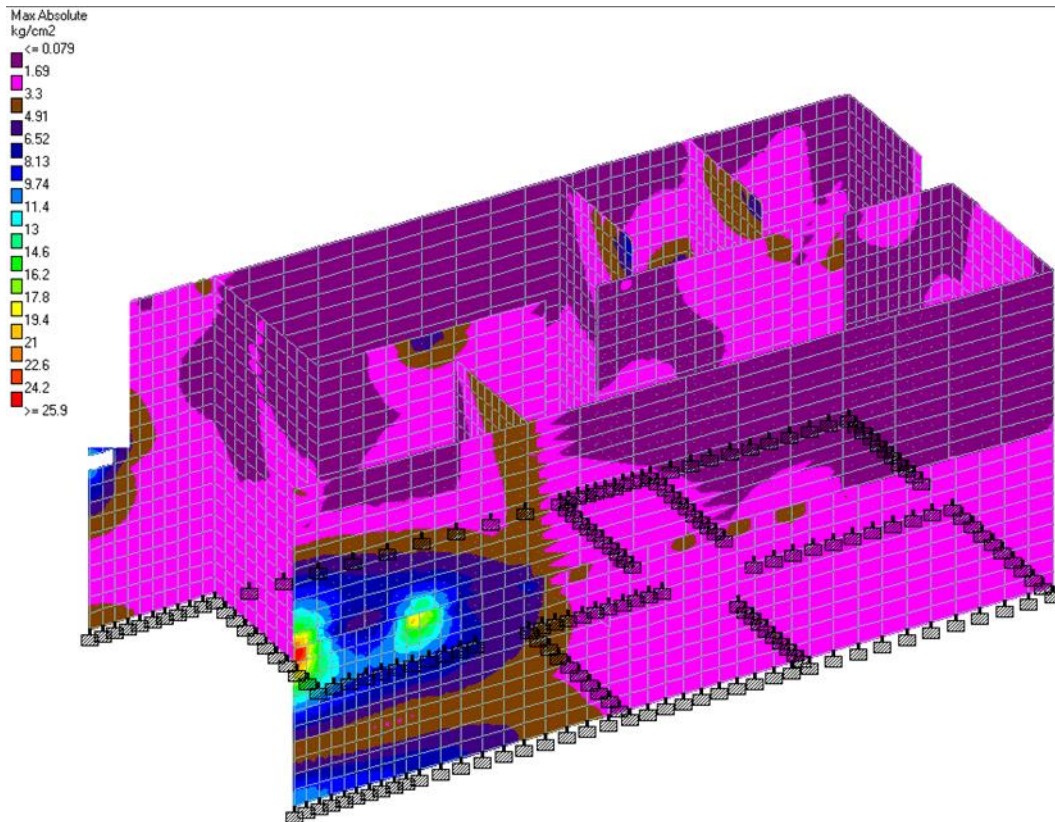
Zona e inclinación del techo		Relación \bar{h}/d	Distancia horizontal sobre el techo medida a partir de la arista superior del muro de barlovento	C_{pe}	
Cubierta transversal (CT) de techos a una o dos aguas γ'	Cubierta de barlovento (CB) y sotavento (CS) γ			Caso 1	Caso 2
Cualquiera	$\gamma < 10^\circ$	≤ 0.5	0 a $0.5\bar{h}$	-0.9	-0.4
			$0.5\bar{h}$ a $1\bar{h}$	-0.9	-0.4
			$1\bar{h}$ a $2\bar{h}$	-0.5	0
			$2\bar{h}$ a $3\bar{h}$	-0.3	0.1
			$> 3\bar{h}$	-0.2	0.2
		≥ 1.0	0 a $0.5\bar{h}$	-1.3	-0.6
			$0.5\bar{h}$ a $1\bar{h}$	-0.7	-0.3
			$1\bar{h}$ a $2\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3) ⁽¹⁾
			$2\bar{h}$ a $3\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3)
			$> 3\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3)

Análisis de resultados

Tomando en consideraciones los aspectos de diseño anteriormente mencionados, se realizó un modelo dentro del programa staad pro connect para poder llevar este análisis de un forma más dinámica y explícita posible antes los eventos que se puedan presentar tanto sismo como viento y el estado actual de la estructura en referencia a las cargas verticales.

Revisión por cargas de Servicio de la estructura en general.

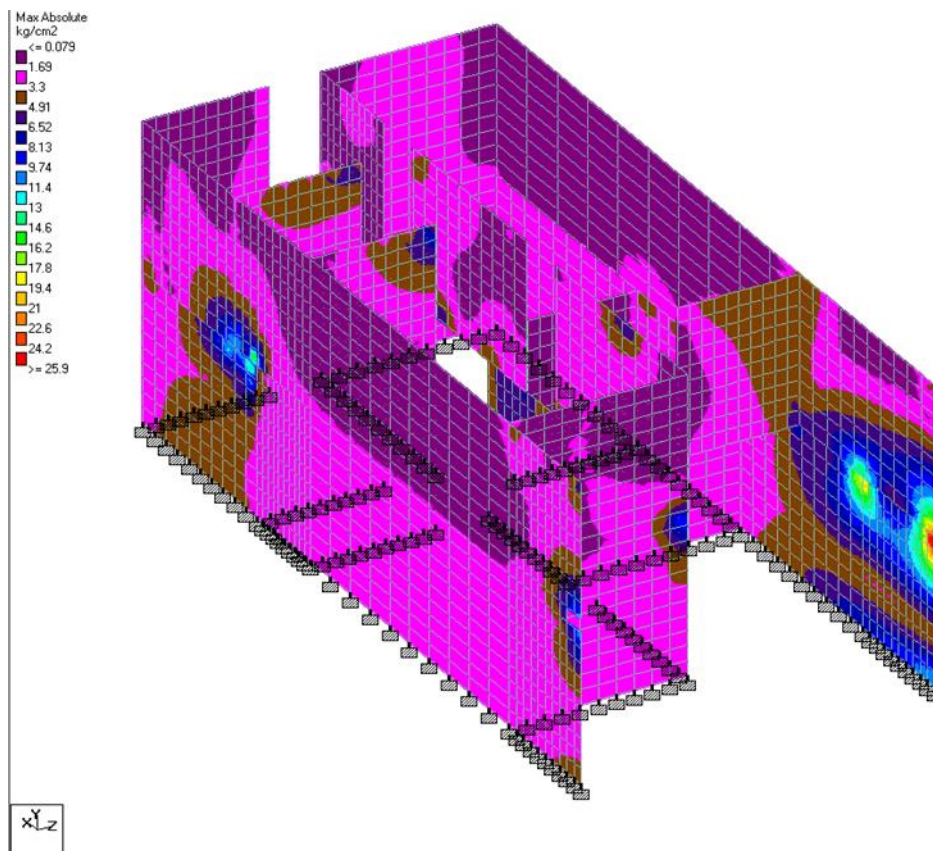
Como se mencionó anteriormente, dentro del programa, se metieron los parámetros indicados para cada uno de los materiales y análisis de carga correspondientes. Una vez ingresado estos datos, fue posible realizar un análisis por medio de placas dentro del programa. La primera revisión para realizar es en relación con la estructuración actual y sus cargas por servicio. A continuación, se presenta el modelo de revisión en cargas de servicio.



Como se puede observar en la imagen anterior, la estructura se encuentra en un promedio de esfuerzo a compresión de 1.69 y 3.33 kg/cm², lo que equivale a un 15% aproximado de trabajo, tomando como referencia que la resistencia en base a la NTC2017 permite el 60% de la resistencia a compresión en base al material, para lo que el 60% corresponde a 27 kg/cm² de esfuerzo puro a compresión.

De igual forma, como se puede observar en la misma imagen, se tiene muros críticos en base a las condiciones de estructuraciones actuales, así como las modificaciones realizadas en crecimiento de vivienda. Se puede observar en la siguiente imagen, muros con un porcentaje de esfuerzo elevado. Esto, teniendo como consideración un diseño conservador al igual que, en base a la estructuración actual,

se tienen traveses y losa directamente conectados a esos muros, en donde inicialmente, el diseño estructural no los tenía considerados en el diseño.



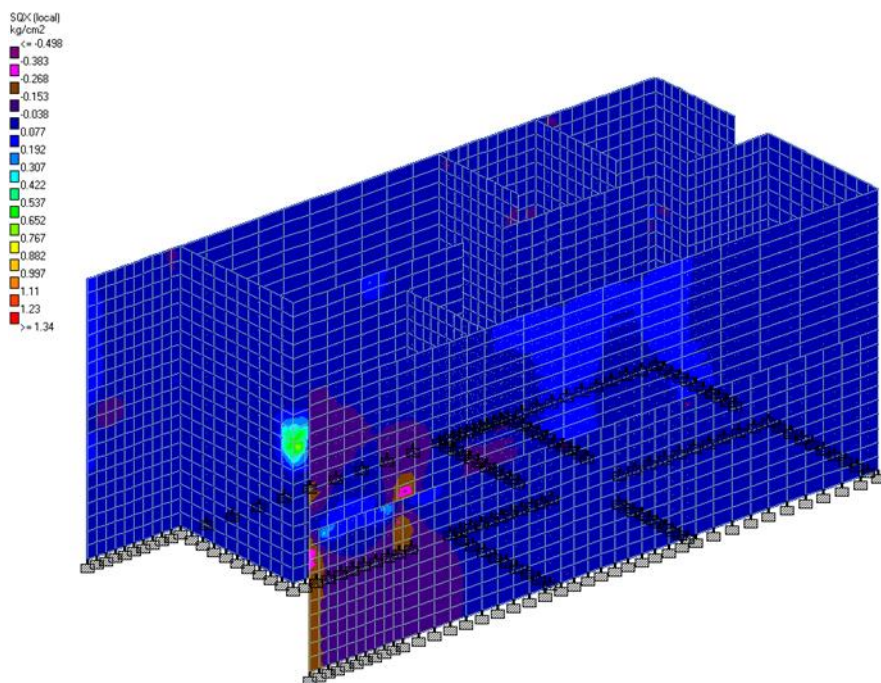
Estos muros en donde se pueden detonar colores más fuertes como rojos, azules, amarillos y verdes, tienden a tener un porcentaje de trabajo de alrededor del 90%, siendo que en esa zona de la estructura se encuentra un desfase de muros de planta alta y planta baja, aporte directo de losa maciza de concreto, traveses de entrepiso sin llegar a un castillo concretamente. Afortunadamente, la zona en la que se busca construir la terraza, por lo visto en la primer imagen, se encuentra extensa de una capacidad de carga elevada. En base a esto, se recomienda realizar una

propuesta de refuerzo o nuevo levantamiento para las consideraciones de apoyo vertical sobre la estructura.

Análisis sísmico estructura actual.

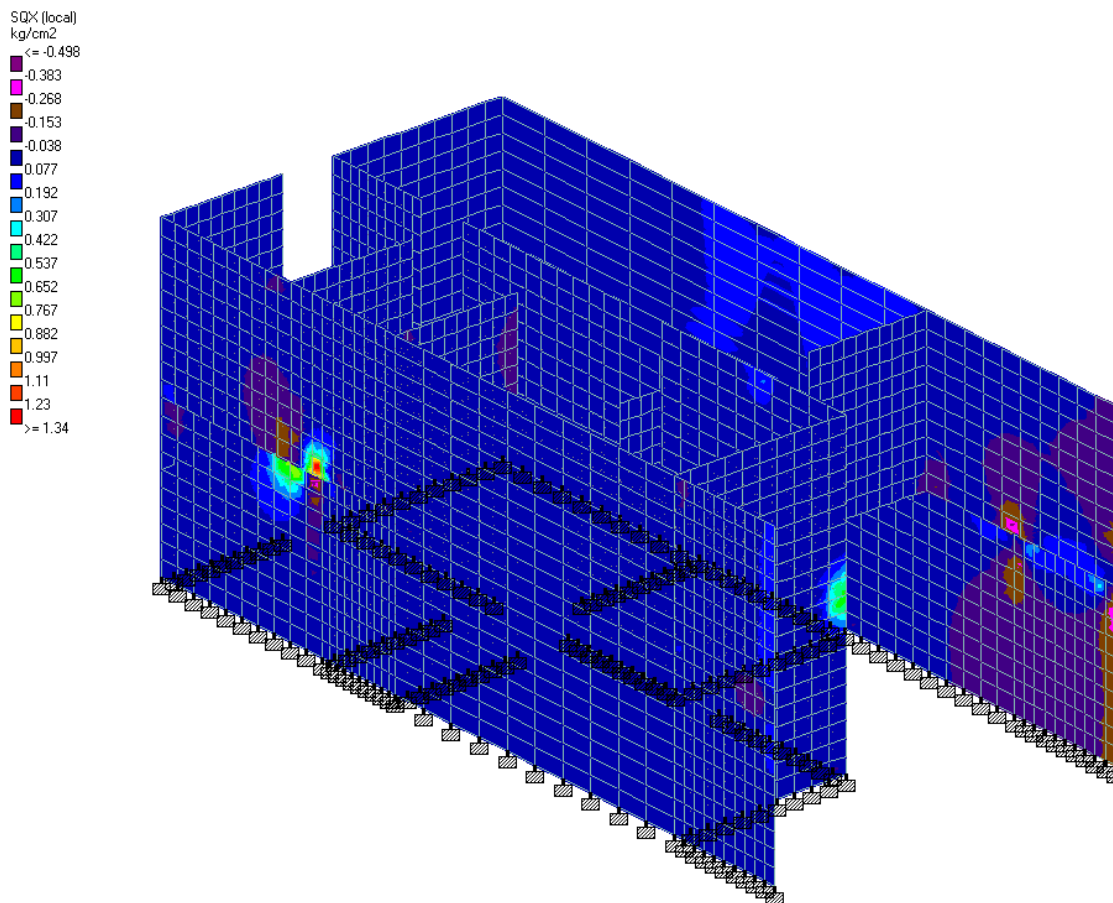
A si mismo, utilizando los parámetros iniciales del espectro de diseños y peso de la estructura, dentro de estas mismas simulaciones, es posible obtener un parámetro de esfuerzos producidos por sismo. Dando de alta el espectro de diseño dentro del software staad y, distribuyendo las cargas de la estructura, fue posible obtener los siguientes resultados.

La estructura se comporta de forma regular, siendo que cumple con criterios de regularidad obligatorios mencionados en la NTC2017, es así, como se puede observar que modos de vibrar y partición modal es regular dentro de los primeros 6 modos. Al igual que cumple con una participación modal más del 80% en cada una de las direcciones de la estructura.



Como se puede observar en la imagen anterior, el promedio de trabajo en la mayor parte de los muros de la vivienda se encuentra en un rango de .077 y .192, considerando que en las NTC2008 de la ciudad de Mexico, se considera que el esfuerzo cortante diagonal permitida por la mampostería es $0.7*(0.5*V_m*At+0.3)$ que de igual forma, esto se puede traducir al $0.7*(0.5*V_m)$ en donde V_m es la resistencia a compresión de la mampostería y en este caso, en criterios conservadores, se considerara un valor de 3 kg/cm² de resistencia de la misma. Se obtiene que el valor máximo puede ser de 1.05 kg/cm². Por lo que, en su mayoría, los muros cumplen con esta consideración.

Sin embargo; como se presenta en la siguiente imagen, existen muros que por la discontinuidad de los elementos en su parte superior y cargas extra por elementos que no generan continuidad, se tienen esfuerzos por arriba de los permisibles. Situación similar ocurrida en los esfuerzos por carga vertical de la vivienda.



En esta imagen, se puede observar que existen puntos en donde se supera esta capacidad a cortante diagonal de la vivienda. Estando elevados en un 30% su capacidad de carga en el mayor punto. Para ello, se recomienda de igual forma realizar un nuevo estudio y análisis de las zonas propensas a falla, así como extracción de corazones de material para poder determinar la capacidad real de la misma. Esta falla no significa que la estructura falle en cualquier sismo, lo que puede llegar a suceder es que, con el paso del tiempo y la acumulación de eventos sísmicos, la vivienda tenga un nivel de desgaste y se empiecen a presentar grietas de tensión diagonal, por lo que es de fundamental importancia de igual forma realizar una

inspección visual en los puntos indicados para poder valorar una posible rehabilitación de la vivienda.

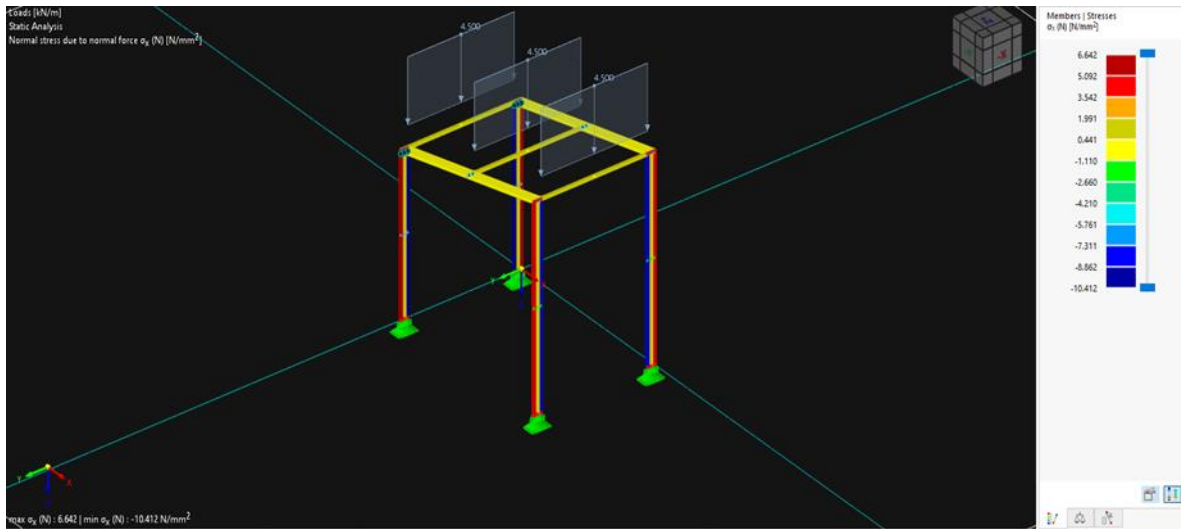
Por el momento, con relación a la estructura actual y la zona en donde se busca proponer la terraza, no se cuenta visiblemente con algún problema que se pueda detonar sísmicamente.

Revisión Estructural Terraza Bambú

Para la revisión y propuesta de la terraza de bambú, se hizo uso de un software llamado RFEM, de la empresa Dlubal. Este software permite analizar materiales que no se comportan isotrópicamente y otorga un análisis más aproximado de los esfuerzos a los que estará sometida la estructura.

Como parte del ejercicio para poder determinar las consideraciones estructurales y resistencia de los materiales. Se realizó un modelo básico de cómo se busca proponer la estructura. En este modelo, se dieron de alta solamente las cargas por servicio a las que estaría sometida la estructura y se buscaría una aproximación de resultados en relación con la propuesta final estructural. La carga con la que fue analizada la estructura fue de 450 kg/cm², carga previamente analizada.

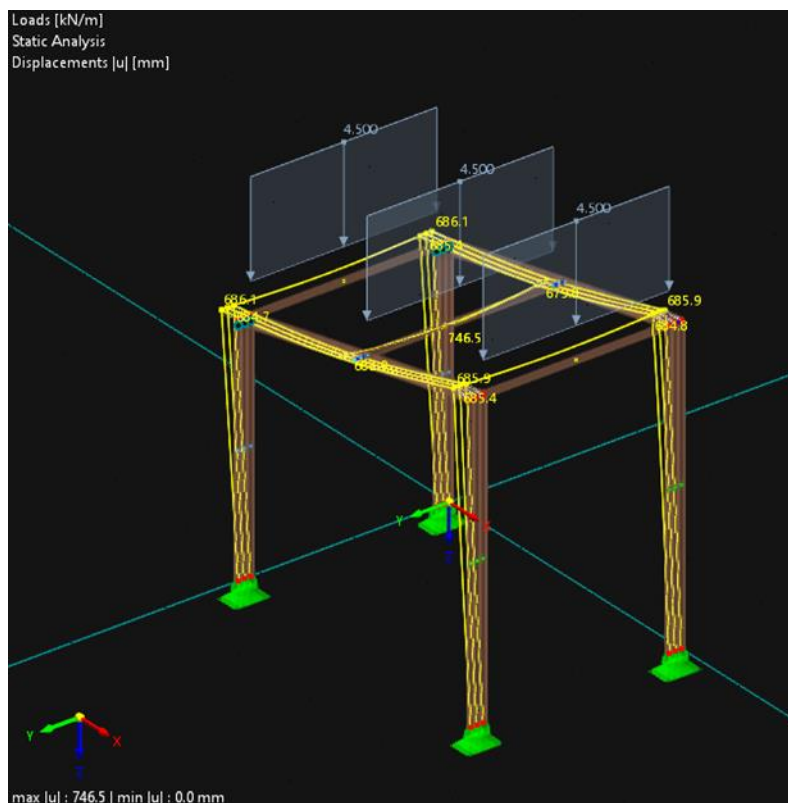
En la siguiente imagen, se puede apreciar la estructura propuesta como consideración básica. Se tienen 3 culmos de columnas con 8 cm de diámetro cada uno, se forma un marco básico de culmos de bambú como traveses del mismo diámetro, y una viga intermedia de la misma dimensión geométrica.



Una vez realizado el análisis, es posible obtener estos esfuerzos a compresión en cada uno de los elementos. Como se puede observar, las columnas son aquellos elementos que resisten el mayor aporte a la compresión, alcanzado valores de 10.42 hasta 6.642 N/mm², lo que significa un valor aproximado de 106 kg/cm² 67.7295 kg/cm². Tomando como referencia la Norma Técnica de Construcción en Maderas propuesta por el gobierno y colegios de Colombia, ellos manejan resistencias de Guadua de hasta 250kg/cm² sin embargo; la calidad de la misma y diámetros para los que fueron probados, son mayores. De igual forma, en diferentes estudios realizados por el mismo ente, se encuentran datos de variación de entre 150 kg/cm² y 180 kg/cm², por lo que se puede decir que la estructura propuesta, en relación con la capacidad de carga permisible, se encuentra dentro de los rangos y variaciones propuestas.

Otro punto importante para considerar es la deformación que puede tener la estructura y los momentos generados por la misma. La deformación es algo

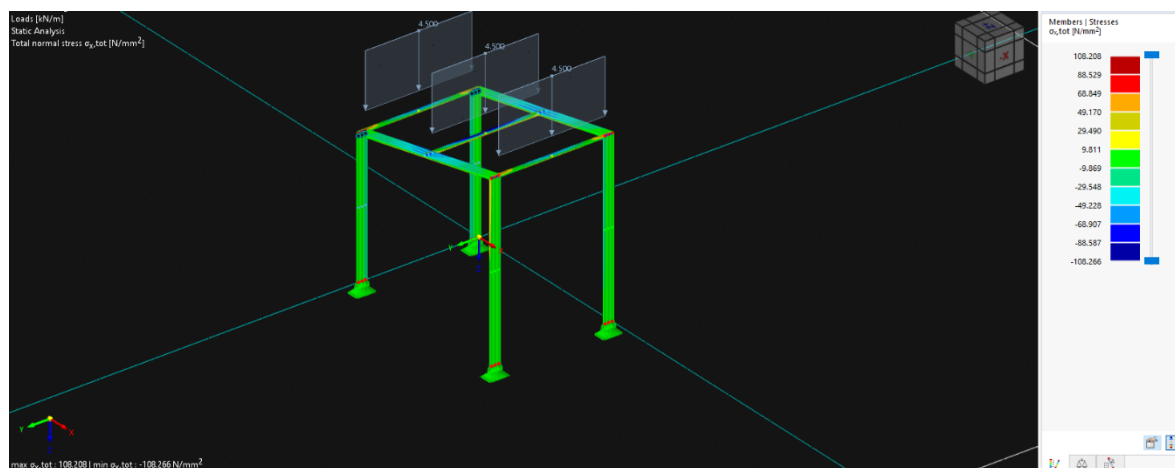
fundamental. En este caso las deformaciones que se encuentran en la estructura por esta carga vertical se presentan en la siguiente imagen.



Se puede observar que la máxima deformación se presenta en la viga a mitad del claro, alcanzado una deformación de .746 m. En base a reglamentos locales, la deformación permisible se debe considerar $L/240$, siendo que la longitud de esa trabe es de 2m y sustituyéndola en su fórmula, la deformación permisible es de .83m por lo que se encuentra dentro de lo permitido, sin embargo, como cuestión de seguridad, se propondrá una doble vigería, con el fin de garantizar un mejor comportamiento.

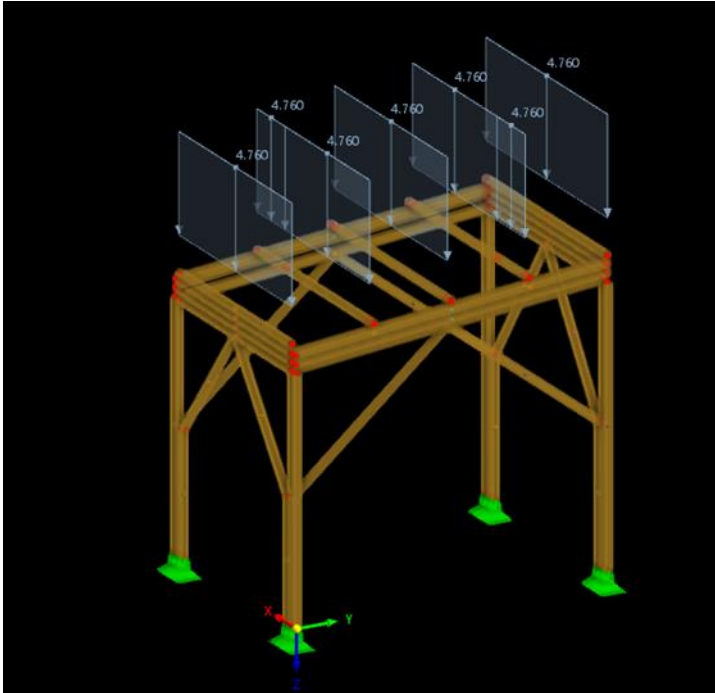
Por último, se presentan los momentos generados por esta misma estructura. En base a la misma norma mencionada anteriormente, se considera que el esfuerzo

a flexión máximo permitido puede rondar alrededor de los 67 MPa, equivalente a 683.21 kg/cm². A continuación, se presenta el análisis obtenido para los esfuerzos producidos por la deformación.



Como se puede observar, las vigas y en la parte superior de las columnas, se alcanzan valores de esfuerzo que rondan la magnitud de 1091 kg/cm², lo que permite visualizar que tanto la conexión trabe/columna, se debe de capacitar para resistir estos esfuerzos, al igual que, de aumentar a una doble sección de trabes, sumadas en cada una sus valores de resistencia, es posible lograr y alcanzar estos valores de esfuerzo.

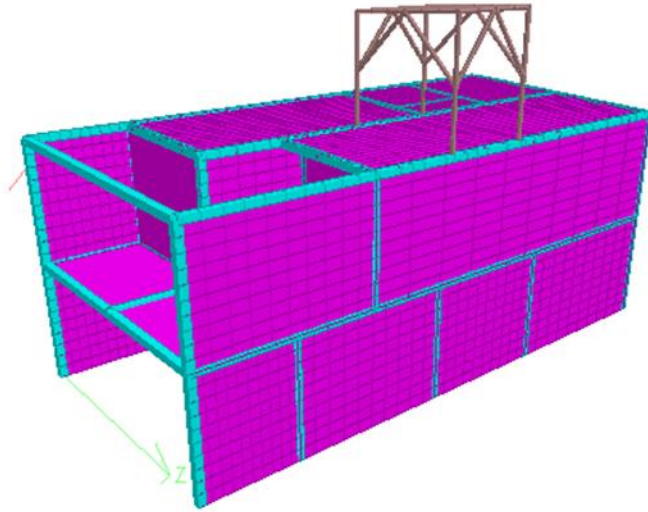
Después de analizar estos datos, se busca proponer la siguiente estructura, que además de soportar las cargas verticales, sea capaz de soportar las cargas sísmicas. En este caso, no fue posible realizar los cálculos necesarios por sismo y esfuerzos debido a limitaciones en el software de estudio. Sin embargo; se hizo uso del primer modelo para la estructuración de este mismo.



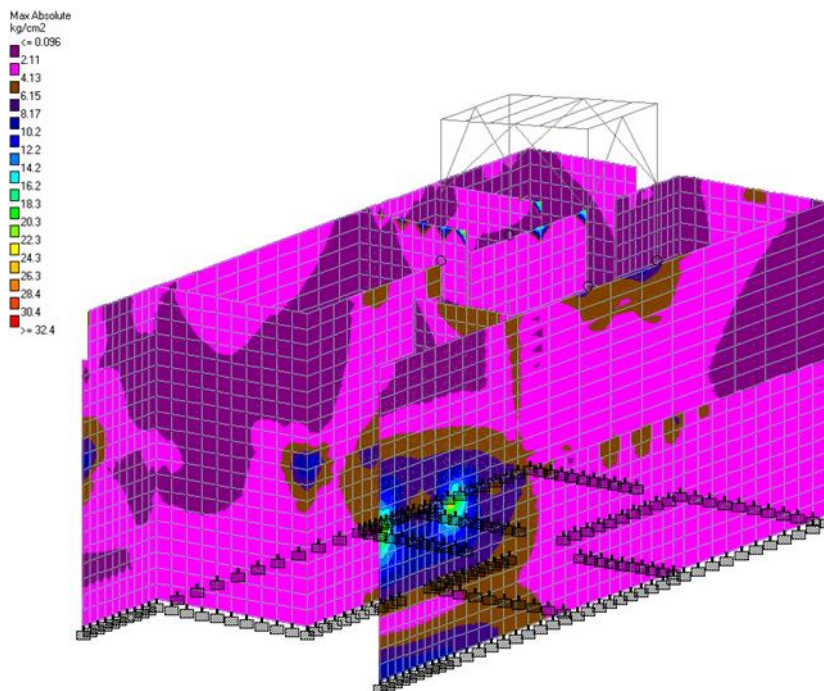
Se puede observar como se realiza la propuesta de una doble vigería y trabe en cada uno de sus marcos, con el fin de satisfacer los elementos mecánicos presentados con anterioridad. De igual forma, es importante destacar que el apoyo se busca realizar como articulación. Esto quiere decir que la fuerza cortante y momento transmitido tanto por las cargas de viento y sismo, afecten de la menor manera posible a la estructura actual.

Revisión Estructura Actual y Terraza

De igual forma que se menciona anteriormente, se volvió a realizar un análisis de carga vertical, sísmico y por viento de la terraza más la estructura actual.



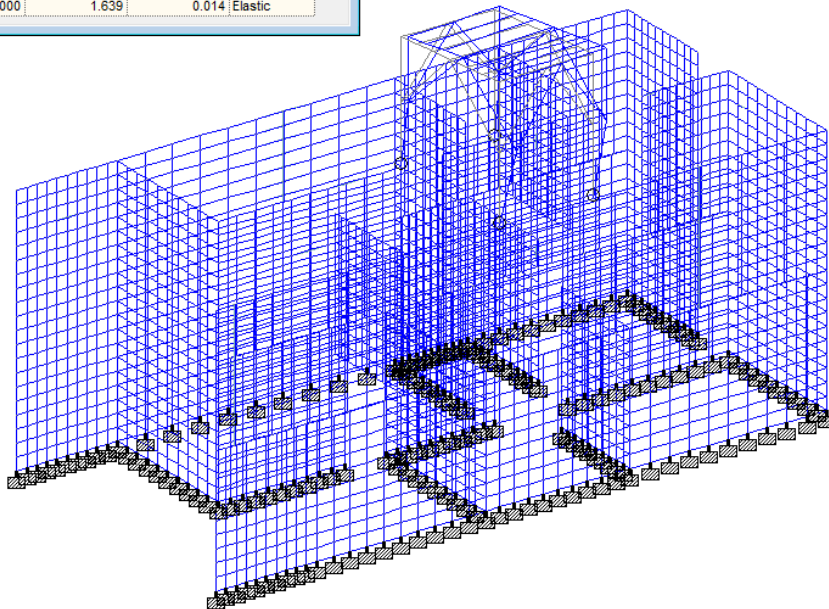
A continuación, se presenta un análisis por cargas de servicio, lo que quiere decir que se presenta el análisis por carga muerta y viva con un factor de ampliación de $1.4D + 1.6L$ como factor de revisión.



Como se puede observar, en este nuevo modelo con la adición de la terraza, los esfuerzos en los muros siguen en el mismo porcentaje de trabajo que con las cargas de servicio previamente analizadas. De igual forma, se puede ver si un pequeño aumento dentro de la zona de la terraza, sin embargo; este aumento se encuentra dentro del valor aproximado de 6.15 kg/cm², por lo que se encuentra dentro de los máximos permisibles.

Así mismo como se obtuvo la revisada por elementos de carga por servicio. Se obtuvo un modelo en el caso del sismo.

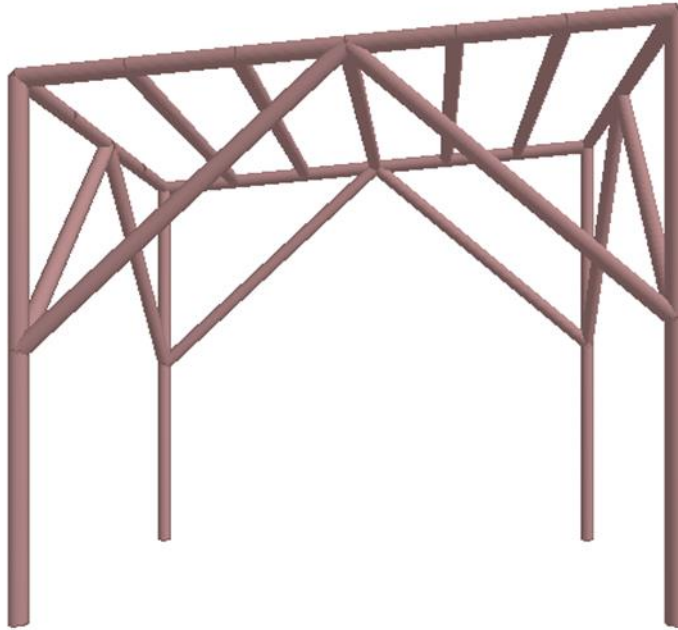
Mode	Frequency Hz	Period seconds	Participation X %	Participation Y %	Participation Z %	Type
1	2.867	0.349	79.913	0.000	0.068	Elastic
2	2.962	0.338	0.058	0.000	99.915	Elastic
3	3.369	0.297	20.022	0.000	0.000	Elastic
4	5.607	0.178	0.000	0.624	0.000	Elastic
5	11.800	0.085	0.005	0.000	0.000	Elastic
6	20.541	0.049	0.000	1.639	0.014	Elastic



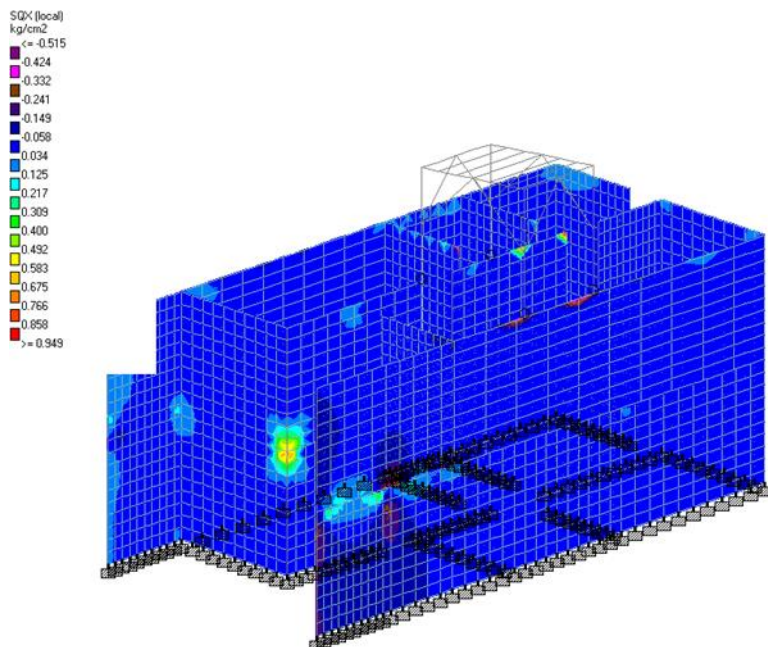
Se puede observar que cambia un poco la participación modal dentro de la estructura, sin embargo; se cumple con esta dentro de los primeros 6 modos de vibración. De igual forma, el periodo de la estructura aumenta un poco, sobre todo por la adición de un nuevo nivel. La participación modal de cada uno de sus sentidos se encuentra por arriba del 80%.

Como se puede apreciar en la imagen anterior, se presenta mayor desplazamiento en la estructura de bambú, esto se debe a las cargas por sismo y el cambio de rigidez en el material de mampostería a la nueva cubierta de bambú, sin embargo, para ello y en base en los resultados obtenidos de la mecánica de

materiales, se propusieron contraviento que estuvieran ligados directamente como soporte vertical y de arriostramiento a la estructura.



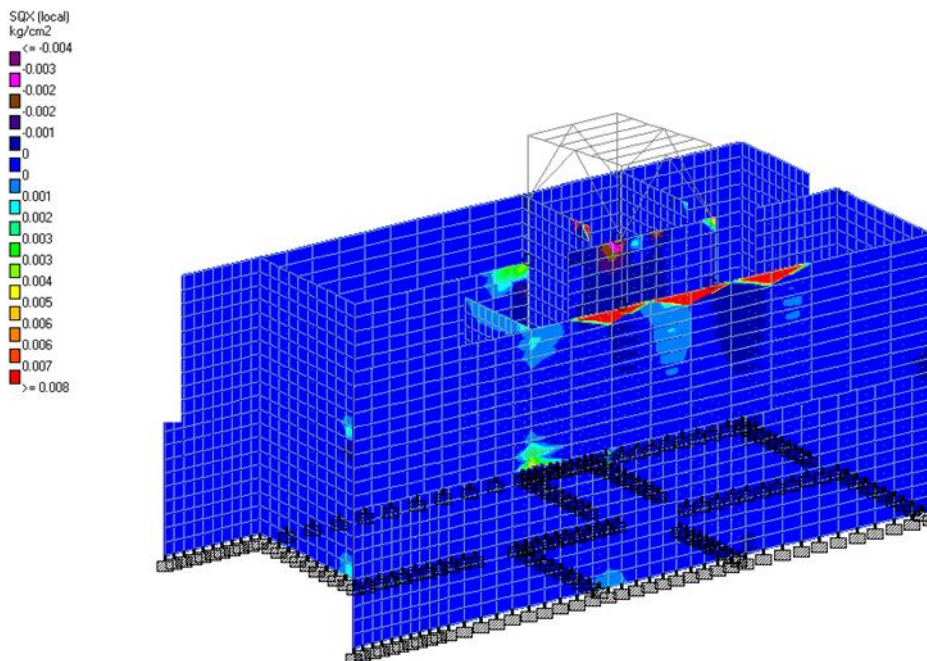
El aporte sísmico de esta estructura directa sobre los muros se puede ver en la siguiente imagen.



Como se puede observar en la imagen anterior, al igual que con el aporte de carga vertical, no se tiene una inferencia de gran magnitud en los muros en donde se busca proponer la cubierta de bambú. Es importante destacar del uso de un dado completamente que nazca del castillo o plenamente desligado de la estructura para alcanzar la articulación.

Revisión por viento

Por último, debido a las cargas de viento se obtienen los siguientes resultados.

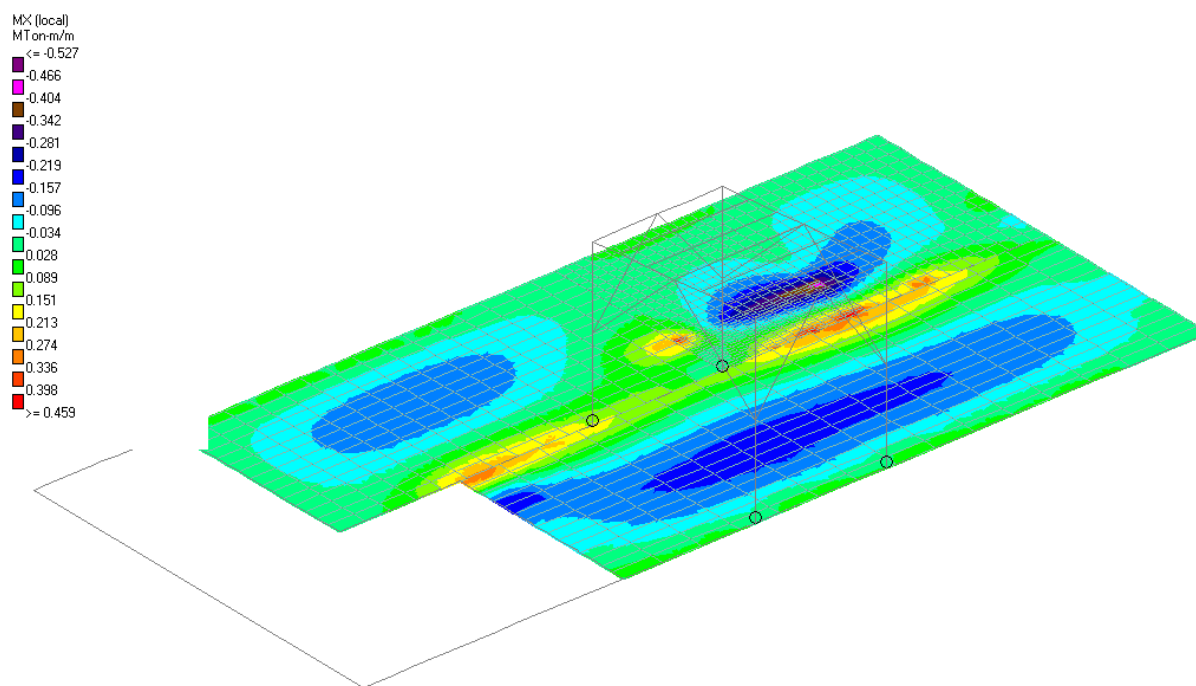


Como se puede observar en la imagen anterior, si se tiene un esfuerzo a tensión producido por las cargas de viento aplicadas en la cubierta. Sin embargo; esta fuerza de tensión directamente aplicada sobre el dado que soportara a la estructura de bambú, no tiene incidencia directa sobre los muros de mampostería. Se puede observar que se obtienen valores por debajo del .1 kg/cm², siendo que el material de mampostería puede resistir hasta 1 kg/cm² en tensión.

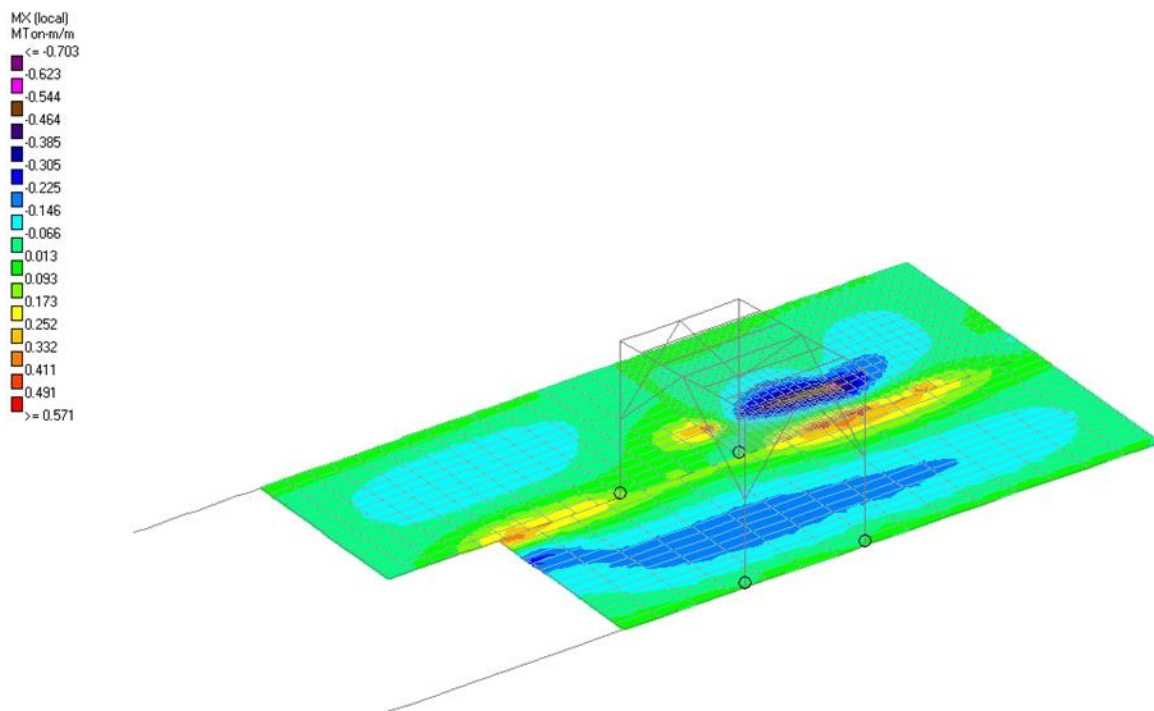
Revisión Losa de concreto de Azotea

Se tiene la consideración de que la losa lo soporte en un solo momento la cubierta. En la siguiente imagen, se puede apreciar que no existe aporte en carga vertical por parte de la estructura. De igual forma, se puede observar que, en base a sus momentos para la que fue diseñada y el aumento de carga muerta por el uso a terraza, no representa algún incremento de riesgo fatiga estructural, en donde la d recomendada o el peral efectivo, en base a los momentos actuales, cumple con lo correspondiente para un análisis por flexión.

L (cm)=	100
b (cm)=	100
h (cm)=	10
r (cm)=	5.00
d (cm)=	5
d_{RECOMENDADA} (cm)=	3
Φ (FLEXION)=	0.90



Se realizo el ejercicio de propuesta en caso de que se busque mover la losa directamente sobre la losa, o de igual forma, que esta llegase a colapsar. En este ejercicio, se aumentó la carga del techo verde en toda la losa y los resultados fueron los siguientes.



Como se puede observar en la imagen anterior, la magnitud de los momentos no incrementa significativamente, siendo que la misma sección de la losa es capaz de soportar esta carga, sin embargo; tanto para la primera, como para esta segunda revisión, es necesario de un análisis más exhaustivo y poder determinar la cantidad de acero de refuerzo utilizado para la misma. Si no se tiene un estudio de análisis sobre la cantidad de acero, no es posible apoyar directamente la estructura de bambú sobre la losa de concreto.