

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

INSTITUTO DE ARQUITECTURA DISEÑO Y ARTE

DEPARTAMENTO DE ARQUITECTURA



MAESTRÍA EN ARQUITECTURA

COMPARATIVA ENTRE EL SISTEMA TRADICIONAL DE
CAPTACIÓN PLUVIAL Y LA COMBINACIÓN DE LA COSECHA DE
LLUVIA CON EL TECHO ESCUDO.

CASO DE ESTUDIO: CIUDAD JUÁREZ.

PRESENTA: ARQ SALVADOR TOBÍAS RAMÍREZ

PARA OBTENER EL GRADO DE: MAESTRO EN ARQUITECTURA

DIRECTORA: DRA. JUDITH GABRIELA HERNÁNDEZ PÉREZ

TUTOR: DR. LUIS CARLOS HERRERA SOSA

TUTOR: DR. JOSÉ DIEGO MORALES RAMÍREZ

CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA, ENERO DE 2019

Dedicatoria:

Esta investigación es dedicada a mis padres:

Ramona y Salvador, por enseñarme que siempre tenemos que buscar mejorar como personas, no solo en los valores que me han enseñado, sino también en cultivar el conocimiento, por brindarme su amor incondicional, por todos sus consejos y apoyarme en todo lo que hago desde que nací.

A mi futura esposa:

Perla, por todo el apoyo que me ha dado, por sus palabras que me enaltecen, por el tiempo que trabajamos juntos, por su forma de pensar muy parecida a la mía y todo el amor que me ha otorgado.

A mis hermanos:

Omar, que, aunque no nos vemos constantemente, le aprecio y quiero mucho.

Diana e Itza, por estar al pendiente de como evoluciono en la vida, por sus consejos, apoyo constante y cariño.

Agradecimientos:

A la Dra. Judith Gabriela Hernández Pérez por su dirección, consejos y apoyo constante en esta investigación.

Al Dr. Luis Carlos Herrera Sosa por su apoyo invaluable, enseñanza y consejos durante las clases y la investigación.

Al Dr. José Diego Morales Ramírez por sus conocimientos, apoyo y tutoría.

A la Dra. Leticia Peña Barrera por el apoyo con los equipos de medición y sus enseñanzas a lo largo de la maestría.

Al Dr. José Luis Sandoval Granados por el apoyo con los equipos de medición, los conocimientos otorgados en clase y su apoyo en el aprendizaje de manejo softwares.

Al Mtro. Cosme Fabian Espinoza Gonzales por el apoyo con información primordial para esta investigación.

A la Mtra. Martha Mónica Curiel García por sus enseñanzas, consejos y apoyo en esta investigación.

A mis compañeros de la maestría Carlos, Erick, Anaelí y Miriam, por lo compartido entre nosotros y el apoyo mutuo en nuestras investigaciones.

A los docentes de la maestría por sus enseñanzas e interés hacia mi investigación.

A todos los que ayudaron a que esta investigación se realizara.

Gracias.

Índice

Introducción.....	6
Definiciones conceptuales.....	9
Capítulo 1. Planteamiento del problema.....	10
1.1 Condiciones del medio.....	11
1.2 Disponibilidad de agua en Ciudad Juárez.....	13
1.3 Acuífero Valle de Juárez o Bolsón del Hueco.....	14
1.4 Acuífero Conejos-Médanos.....	24
1.5 Descripción del problema.....	33
1.6 Justificación.....	37
1.7 Pregunta de investigación.....	40
1.8 Hipótesis.....	40
1.9 Objetivo general.....	40
1.10 Objetivo específico.....	40
1.11 Estado del arte.....	41
Capítulo 2. Estrategia de investigación.....	47
2.1 Metodología.....	48
2.2 Diseño del experimento.....	56
2.3 Procedimiento de medición.....	58
2.4 Periodos de experimentación en campo.....	59

Capítulo 3. Análisis de Resultados.....	62
3.1 Resultados verano 2017.....	63
3.2 Resultados verano 2018.....	72
3.3 Comparación de los modelos.....	85
Capítulo 4. Aplicación teórica.....	88
4.1 Vivienda Unifamiliar.....	89
4.2 Conjunto habitacional.....	97
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....	98
5.1 Conclusiones generales.....	99
5.2 Recomendaciones.....	103
Bibliografía.....	105

INTRODUCCIÓN

Introducción.

Existe un problema en el abastecimiento del agua en diversas partes del mundo, la escasez de dicho recurso hídrico es evidente, tal como argumenta el Foro Económico Mundial (World Economic Forum), en su reporte de riesgos globales del año 2018, donde expresa que, en la última década, la crisis del agua por escasez ha estado siempre dentro del top cinco de riesgos globales en términos de impacto social y no ha salido de él en diez años. Este problema no es excluyente en México y mucho menos en Ciudad Juárez ya que existe un recurso hídrico limitado, debido a la explotación del Acuífero Bolsón del Hueco, por localizarse en el desierto Chihuahuense, donde la lluvia es escasa, la temperatura en verano es elevada, en invierno es baja, el clima se caracteriza por ser extremo, ya que en un solo día puede haber una oscilación térmica de 14 C ° en un periodo de 24 horas.

La crisis en el abastecimiento de agua dulce a la que se enfrentan los juarenses se vuelve notorio con el acueducto Conejos-Médanos, ya que bombea dicho líquido aproximadamente a cuarenta kilómetros de distancia de la mancha urbana para suministrar agua a la ciudad, generando así una inversión insostenible para futuras generaciones, por su costo, mantenimiento y su daño al ecosistema.

Una manera de mitigar el abatimiento de los mantos freáticos es la utilización de agua de lluvia, dado que: “Reutilizar el recurso pluvial, ofrece una doble solución, por un lado, se evitan inundaciones y por el otro se ahorra agua y proporciona un aumento en las reservas de este líquido vital.” (Serrano, 2014, p. 26). La lluvia por ser la principal fuente de abastecimiento de agua dulce que se tiene en el planeta; además de ser considerada como el agua más pura en su estado natural, genera la recarga de los acuíferos; en parte abastece a ríos, también suministra por medio de las escorrentías lagos y lagunas, funcionando, así como una parte importante del ciclo hidrológico.

Partiendo de lo anterior, este recurso hídrico desempeña un papel fundamental para la sobrevivencia de los seres vivos del planeta. Por ello, este estudio generará una comparativa a base de mediciones en sitio de tres modelos experimentales, que

consideran la captación pluvial y el comportamiento térmico del sistema tradicional de cosecha de lluvia, y su combinación con el techo escudo, creando un nuevo sistema que contemple una captación eficiente, un beneficio térmico y no solo un fin determinado para cada uno de los sistemas ya estudiados por separado por otros autores. Por ello es importante sustentar, que la multifuncionalidad del techo escudo como captador pluvial es sobresaliente en comparativa con los sistemas por separado.

En el capítulo I, se construirá el planteamiento del problema, abordando la situación particular que enfrenta Ciudad Juárez en materia de disponibilidad del agua debido al abatimiento del acuífero Bolsón del Hueco ya que en el Desierto Chihuahuense donde se localiza esta ciudad y el recurso hídrico es escaso. Se abordarán las características particulares del clima del Municipio de Juárez, para tener una aproximación a las condiciones del medio físico de la localidad y la evolución del abatimiento del acuífero anteriormente mencionado.

Se desarrollará el marco teórico, abordando casos análogos de sistemas de cosecha de lluvia aunado al techo escudo (sistema de descarga de calor), esto para comprender a sus fortalezas, debilidades y funcionamiento por consiguiente se identificará la metodología que se plantea utilizar para la realización del experimento.

En el capítulo II, se describirá el diseño del experimento y las partes que lo componen, así como las temporadas de medición.

En el capítulo III, se expondrán los resultados obtenidos en el experimento dentro de las dos temporadas de medición en los veranos del año 2017 y 2018.

En el capítulo IV, se analizarán los resultados de los tres modelos experimentales, considerando la captación pluvial y su comportamiento térmico en Ciudad Juárez.

Por último, en el capítulo V, se expondrán las conclusiones y recomendaciones.

Definiciones conceptuales.

Para cuestiones prácticas de la investigación y una mejor comprensión, en este apartado se expresa lo que se considera por los siguientes conceptos:

- *Techo escudo o sistema de descarga de calor:*

Es un sistema de enfriamiento pasivo, que descarga el flujo de calor que capta la cubierta superficial, la cual incrementaría la temperatura interior de la construcción, pero esto es utilizado a favor del inmueble. El sistema se compone por un techo superior y uno inferior, la cubierta superior interactúa con el medio ambiente, absorbiendo la radiación solar impidiendo de este modo que esa interacción llegue a la cubierta inferior, por lo cual la techumbre que se relaciona con el medio ambiente absorbe la radiación del sol, calentando el aire entre las dos cubiertas originando que el cambio de la densidad en el aire genere la convección natural, extrayendo así el flujo de calor hacia el medio ambiente. (Hernández, Contreras, Gonzáles, Morillón y Fernández, 2011).

- *Sistema tradicional de cosecha de lluvia o Sistema tradicional captación pluvial:*

Para esta investigación, se denominó sistema tradicional de cosecha de lluvia o sistema tradicional de captación pluvial a todos los métodos utilizados por autores como, Novak, Burgess, Lancaster y Worm, donde el área de captura de la techumbre se mide como una superficie plana, sin considerar condiciones externas como el viento, pendiente y materiales, siendo el fin primordial la captación de la precipitación sin buscar una eficiencia óptima en el funcionamiento de las cubiertas.

- *Comportamiento térmico:*

Es el desempeño térmico en relación con las características térmicas de un sistema, comprendiendo así, como la temperatura, humedad relativa y radiación solar afectan el comportamiento de dicho sistema dependiendo del día, la hora y lugar.

Capítulo I:
Planteamiento del problema

1.1 Condiciones del medio.

El municipio de Juárez se localiza al norte de la República Mexicana dentro del estado de Chihuahua, colinda al norte con Estados Unidos de Norteamérica, al sur con el municipio de Ahumada, al este con Guadalupe Distrito Bravos y al oeste con Ascensión, sus coordenadas geográficas son 31° 44' 11" latitud norte y 106° 29' 11" longitud oeste, las cuales corresponden a la estación meteorológica 0008213 Juárez (DGE). Su extensión territorial de 4853.8 km² equivale al 1.96% de la superficie total del estado.

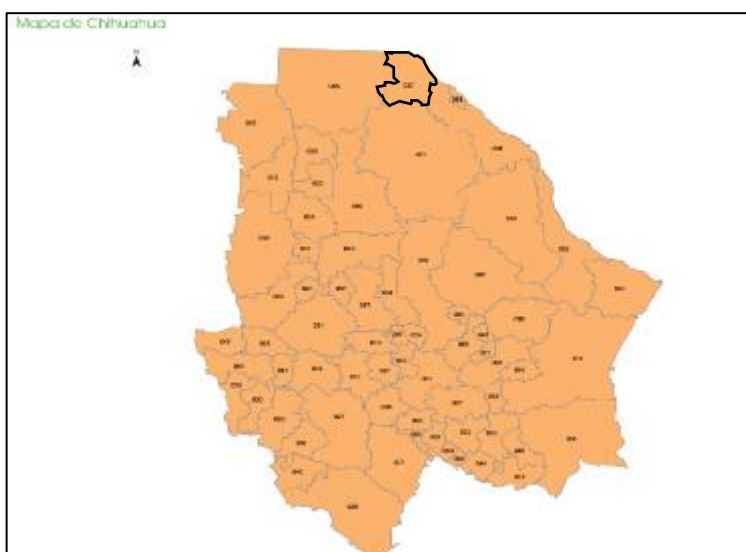


Figura 1.1 Mapa del estado de chihuahua y sus municipios. INEGI, 2015

El clima de Juárez se caracteriza por ser muy seco, según la clasificación de Köppen se identifica con el tipo Bw_{kx'}(e'), el cual se define de la siguiente manera: (IMIP, 2010).

Bw = Clima muy seco o desértico

k = Templado, con verano cálido, temperatura media anual entre 12° y 18°C; la del mes más frío es entre -3 y 18°C y la del mes más caliente es mayor a 18°C.

x' = Régimen de lluvias intermedio entre verano e invierno

e' = Muy extremoso, oscilación de temperatura mayor de 14°C.

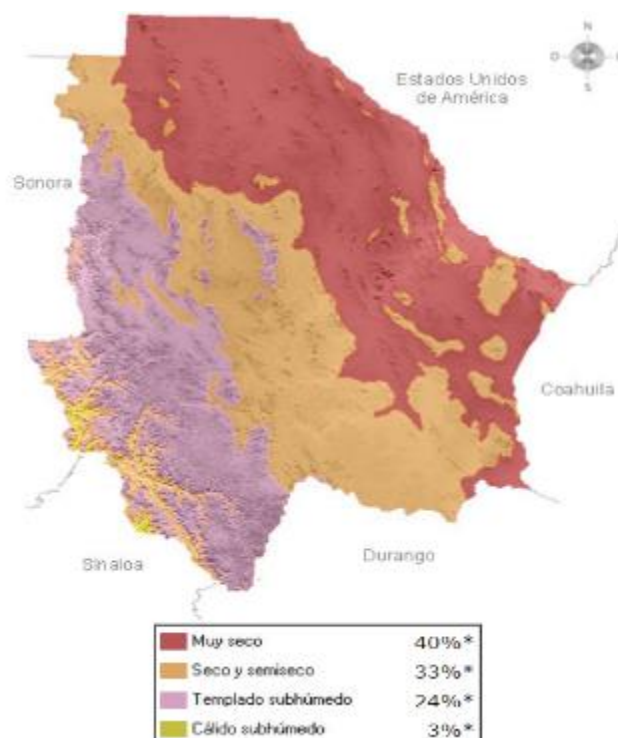


Figura 1.2 Mapa del clima del estado de Chihuahua y sus municipios. INEGI.

Los datos meteorológicos de 1951 al 2010 muestran una temperatura máxima promedio anual de 27 °C, una temperatura mínima promedio de 11.5 °C, una temperatura media anual de 19.2°C, observándose una oscilación térmica anual de 15.5 °C.

TEMPERATURA MÁXIMA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	17.3	19.3	23.4	26.9	32.4	36.6	36.3	35	32.1	26.8	20.9	16.5	27
MAXIMA MENSUAL	20.6	24.3	27.2	30.4	35.3	40.9	38.9	38.7	36.2	29.6	24	20.1	30.51667
AÑO DE MAXIMA	2000	1996	2004	2010	1996	2010	2010	2010	2010	1999	1995	1995	
MAXIMA DIARIA	28	30	36	37	42	49	45	44	41	38	30	35	37.91667
FECHA MAXIMA DIARIA	24/1999	28/2006	26/2004	23/2008	23/2005	14/2008	04/1997	05/2010	03/2010	03/2000	21/1996	31/2007	
AÑOS CON DATOS	17	15	16	12	10	13	13	13	13	14	12	12	
TEMPERATURA MEDIA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	9.2	11.7	15.2	18.8	24.5	28.7	29	27.9	24.8	18.8	12.7	9.3	19.2
AÑOS CON DATOS	17	15	16	12	10	13	13	13	13	14	12	12	
TEMPERATURA MÍNIMA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	ANUAL
NORMAL	1.2	4.1	6.9	10.6	16.7	20.7	21.8	20.9	17.6	10.8	4.2	1.9	11.5
MINIMA MENSUAL	-0.9	0.2	2.6	5.2	11.1	14.4	15	14.3	10.1	5.3	-0.4	-2.6	6.191667
AÑO DE MINIMA	1987	2002	2008	2009	2008	2009	2008	2008	2008	2008	2009	2008	
MINIMA DIARIA	-9	-12	-5	-1	5	2	3	10	6	-5	-0.8	-8	-1.23333
FECHA MINIMA DIARIA	13/1997	20/1998	04/2002	12/2009	02/2008	08/2008	10/2008	31/2008	18/2008	29/2009	18/1987	18/1996	
AÑOS CON DATOS	17	15	16	13	10	13	13	13	13	14	13	13	

Los datos recabados de 2006 al 2016 muestran una precipitación promedio anual de 251.69 mm. los meses con más lluvia son agosto y septiembre con 78.78 y 52.80 mm. respectivamente. El mes con menos lluvia es abril con 2.48 mm. de promedio mensual. (Figura 1.4)

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ANUAL
8.25	2.57	2.98	2.48	17.45	4.98	38.11	78.78	52.8	31.54	2.82	8.88	251.69

Figura 1.4 Tabla de la precipitación mensual. CONAGUA, 2016.

Los vientos dominantes en primavera vienen del oeste, en verano del este, en otoño del norte-este y en el invierno suroeste.

Estación del año	Dirección	Vientos (Km/h)	
		Viento Sostenido Máximo	Ráfaga Registrada
Primavera	Oeste	62.02-77.66	102.45-120.97
Verano	Este	60.06-75.90	107.48-118.04
Otoño	Nor-Este	67.92-68.35	101.85-108.62
Invierno	Sur-Oeste	54.56-73.47	102.81- 107.90

Mes	Dirección Predominante	Viento Sostenido Máximo	Ráfaga Registrada
Enero	NW	40.2	75.6
Febrero	WNW	48.3	83.7
Marzo	WNW	54.7	93.3
Abril	WNW	45.1	93.3
Mayo	WNW	46.7	85.3
Junio	WNW	51.5	93.3
Julio	ENE	51.5	99.8
Agosto	ENE	43.5	96.6
Septiembre	ENE	38.6	90.1
Octubre	SW	43.5	98.2
Noviembre	WNW	41.8	80.5
Diciembre	NW	48.3	99.8

Fuente: IMIP- Estación Juárez (Chihuahua, México)

Figura 1.5 Tabla de los vientos dominantes. IMIP, 2016.

1.2 Disponibilidad de agua en Ciudad Juárez

Las fuentes de suministro de agua en el Municipio de Juárez son tres, el acuífero Valle de Juárez o denominado Bolsón del Hueco, el Bolsón de Mesilla o llamado también Conejos-Médanos y el Río Bravo, de los cuales el Bolsón Del Hueco es la

principal fuente de abastecimiento de la ciudad, en segundo lugar, está el acuífero Conejos-Médanos el cual dota por medio del acueducto Conejos Médanos a la red general de agua potable con mil litros por segundo ($1\text{m}^3/\text{seg}$), lo que equivale al 20 por ciento del recurso hídrico suministrado a la ciudad. (Hernández, 2013). El Río Bravo abastece principalmente el riego de parcelas y reabastece los acuíferos de la localidad. Por ello en este apartado no se abundará a profundidad en las condiciones del río, ya que no es una fuente de agua potable para la ciudad además de que el cauce de este, se ve interrumpido por la presa Del Elefante en Nuevo México, Estados Unidos de América en diversos periodos al año.

1.3 Acuífero Valle de Juárez o Bolsón del Hueco

Es importante conocer la disponibilidad de agua con la que cuenta el Bolsón del Hueco, comprender sus características particulares y su evolución histórica ya que no solo abastece la zona urbana de Ciudad Juárez si no también la zona agrícola del Valle de Juárez, el Municipio de Práxedes G. Guerrero y el municipio de Guadalupe, lo cual genera un gran volumen de extracción ya que los pobladores de la región necesitan de este vital líquido para subsistir, en necesidades básicas como higiene y consumo hasta laborar en el campo y en la industria.

El acuífero se localiza en el norte del estado de Chihuahua, es definido con la clave 0833 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo del Agua Subterránea (SIGMAS) de la CONAGUA, y pertenece al Organismo de Cuenca VI "Río Bravo". Abarca una extensión de $3,386\text{ Km}^2$ y se ubica dentro de los paralelos $105^\circ 37'$ y $106^\circ 38'$ de latitud norte, y entre los meridianos $30^\circ 50'$ y $31^\circ 48'$ de longitud oeste.

Una condición particular del acuífero Bolsón del Huevo es que es compartido con los Estados Unidos de América, al norte y en el este es limitado con la frontera internacional, al oeste colinda con los acuíferos Conejos- Médanos y Samalayuca, y hacia el sur con los acuíferos Laguna de Patos, El Cuarenta y Valle del Peso. (Figura 1.6).

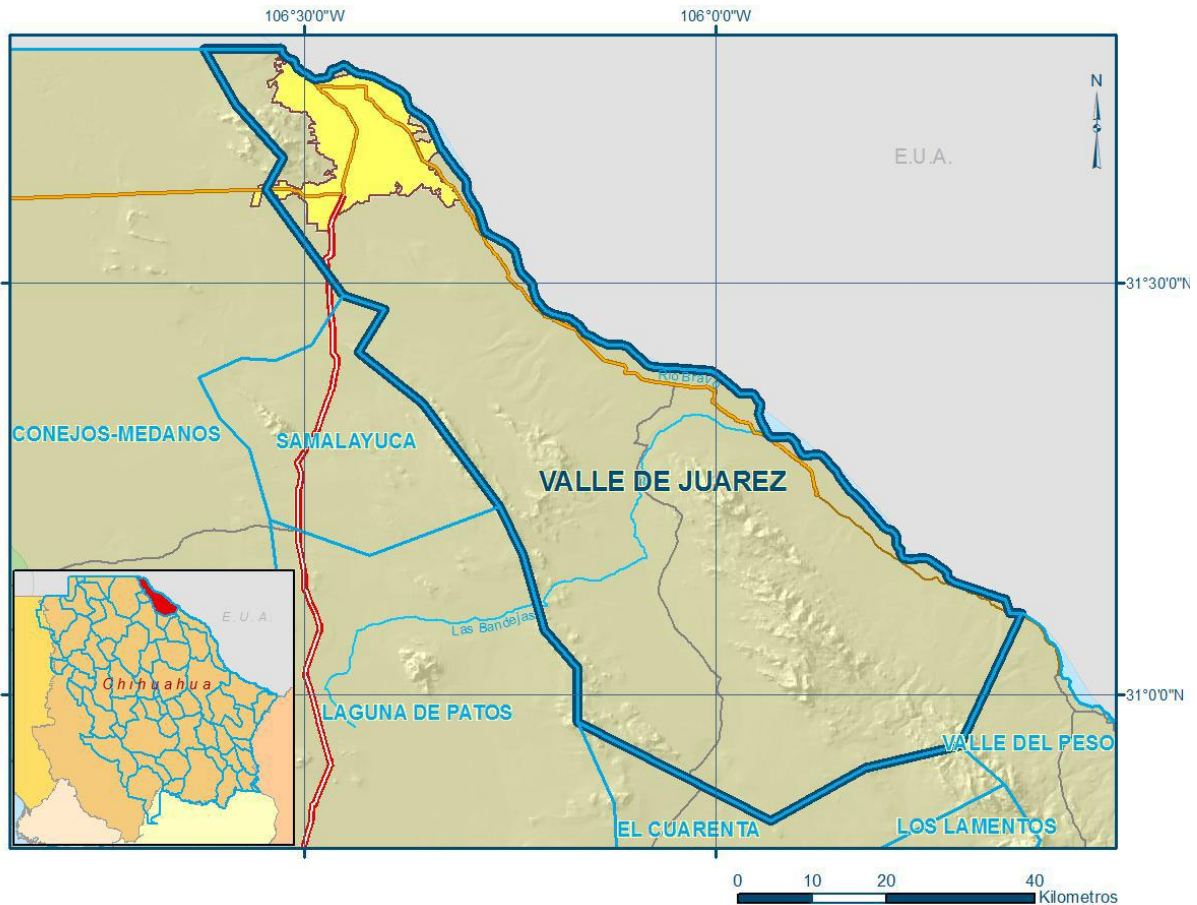


Figura 1.6 Mapa de localización del Acuífero Valle de Juárez. CONAGUA, 2009.

La geología en la zona norte del acuífero, donde se encuentra la zona urbana de Ciudad Juárez se caracteriza por áreas lacustres descritas como unidades de arenas finas, limos y arcillas que no presentan cementación ni compactación. Además, cuenta con extensiones territoriales de tipo eólico con sedimentos de arenas finas que forman dunas y son transportadas por el viento. También cuenta con suelo aluvial y su contenido varía entre gravas, arcillas arenas y limos, este caracteriza por localizarse al pie de las sierras ya que la velocidad de las escorrentías es mayor y aumenta el contenido de grabas. (Figura 1.7). Dicha

estructura geológica se formó en la era Cenozoica en el período Cuaternario. (CONAGUA, 2009).

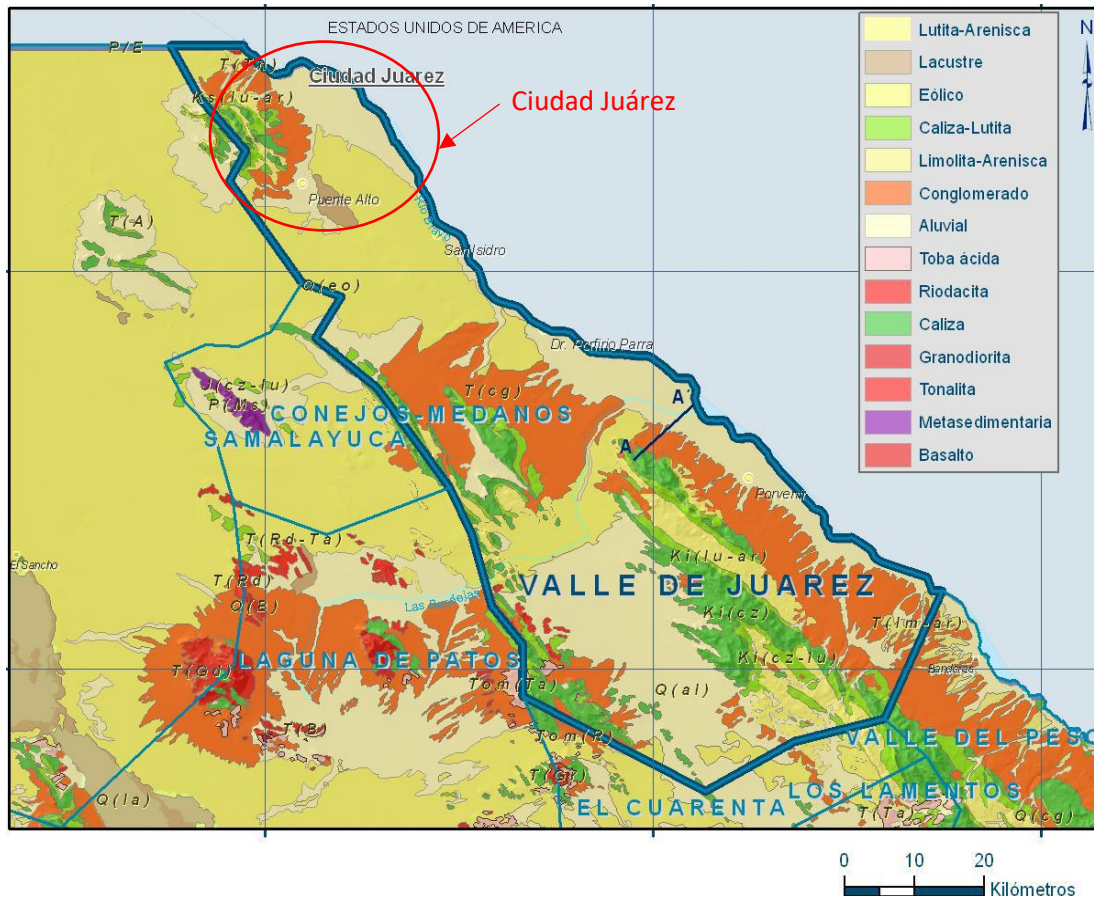


Figura 1.7 Mapa de la geología del área del Acuífero Valle de Juárez. CONAGUA, 2009.

A continuación, se presenta una sección geología esquemática que ejemplifica como el acuífero está constituido en su parte superior por suelos aluviales y sedimentos eólicos, en la parte Noroeste donde se localiza la sierra de Juárez se observa que está constituido por caliza y un conglomerado de arenas, grabas, lutitas y rocas ígneas como tobas y granodioritas. También en esta unidad se observan fallas que permiten la infiltración de lluvia por las fracturas de las rocas hacia niveles más profundos, estas fracturas de espesor variable están rellenas por diversos materiales por ejemplo arcillas las cuales propician artesianismo. (Figura 1.8).

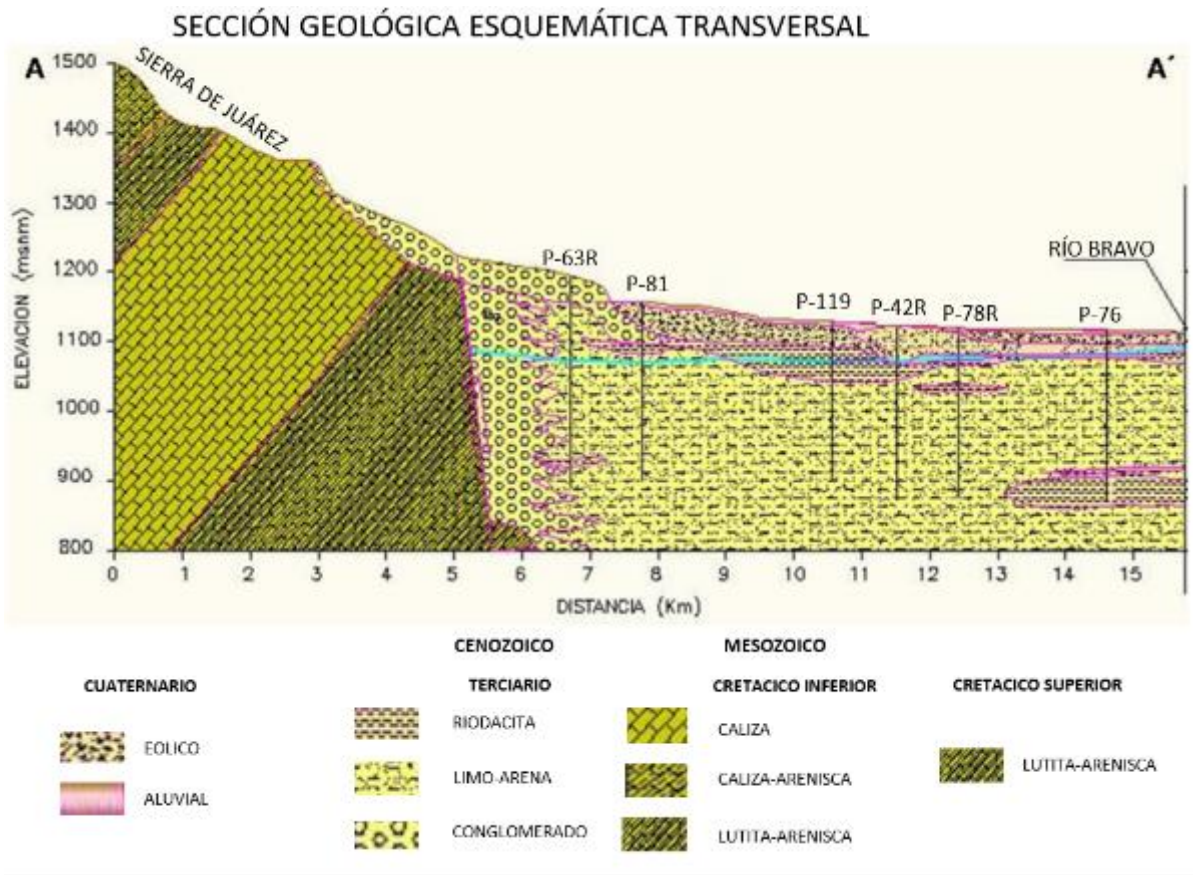


Figura 1.8 Sección geológica del acuífero Bolsón Del Hueco. CONAGUA, 2009.

En el año de 2008 el acuífero del Valle de Juárez registraba un total de 640 pozos, de estos solo 330 estaban activos y 310 eran considerados inactivos, de acuerdo con la CONAGUA (2009), 198 eran destinados a abastecer la mancha urbana, 114 para uso agrícola y 18 para uso doméstico- abrevadero. El volumen extraído estimado era de 171.8 hm³, partiendo del total, el 94.2% era destinado a abastecer a Ciudad Juárez que corresponde a 162 hm³, para uso agrícola el 2.2% o 3.7 hm³, para uso industrial 2.9% o 4.9 hm³ y por último el 0.7% o 1.2 3.7 hm³ para el uso doméstico- abrevadero.

La mayoría de los pozos que extraen agua de los depósitos del Bolsón Del Hueco en la zona urbana del lado mexicano en promedio tienen una profundidad de 250 metros, sin embargo, se han perforado pozos de hasta 500 metros de profundidad

sin tocar basamento rocoso a diferencia de la porción estadounidense del acuífero donde perforaciones exploratorias han demostrado que el espesor máximo de sedimentos es de 2700 m. (CONAGUA, 2009).

El nivel estático registrado en el área urbana varía dependiendo de la localización, por ejemplo, en las cercanías al Río Bravo los valores son superficiales mientras que al oeste en la zona de terrazas al pie de la Sierra de Juárez se observan los niveles más profundos. (Figura 1.9).

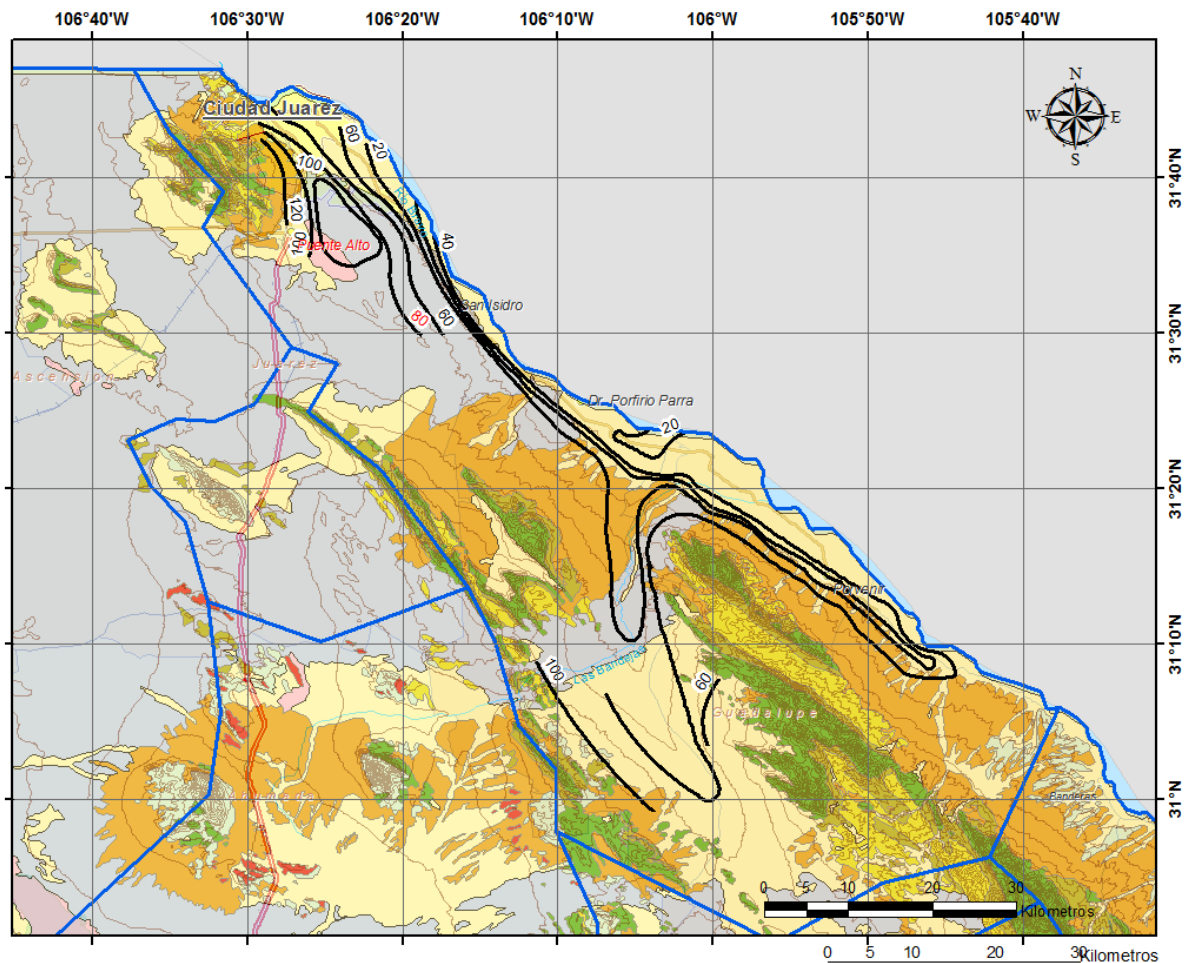


Figura 1.9 Profundidad de los niveles estáticos del Bolsón Del Hueco en m. en el año 2008. CONAGUA, 2009.

Es importante comprender que el abastecimiento del recurso hídrico principalmente proviene del subsuelo y es difícil dimensionar cuanto volumen se extrae del subsuelo o mínimo se debe conocer el dato. Por ejemplo, en el año 2015 se bombearon 212.428 hm³ anuales, de los cuales 125.9 hm³ fueron recargados al

subsuelo se tuvo un déficit total de 86.528 hm³. Poniendo esto en perspectiva, si por diez años se tuviera ese déficit sumaría un total de 865.280 hm³, lo cual sería cuatro veces el volumen concesionado de extracción, esto indica que en 10 años el déficit sumaría cuatro veces lo que se extrae en un año. (Figura 1.10).

CCCVIII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE CHIHUAHUA							
0833	VALLE DE JUÁREZ	125.9	0.0	212.428177	171.8	0.000000	-86.528177

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos terminos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015

Figura 1.10 Cuadro de déficit del Bolsón Del Hueco en hm³. en el año 2008. CONAGUA, 2009.

Ahora se ejemplificará como ha sido la evolución del nivel estático en el acuífero del Bolsón del Huevo. En la figura 1.11 se muestra un mapa de la ciudad con el nivel estático en el año 1903 el cual se realizó mediante una simulación con modelos desarrollados por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Juárez. En este se aprecia una mínima explotación del subsuelo por la poca población en la ciudad y una actividad mínima a comparación de hoy día, por ejemplo, en 1900 el Distrito Bravos contaba con 12,233 personas según datos del tercer censo de población elaborado en aquel entonces por la Secretaria de Agricultura y Fomento.

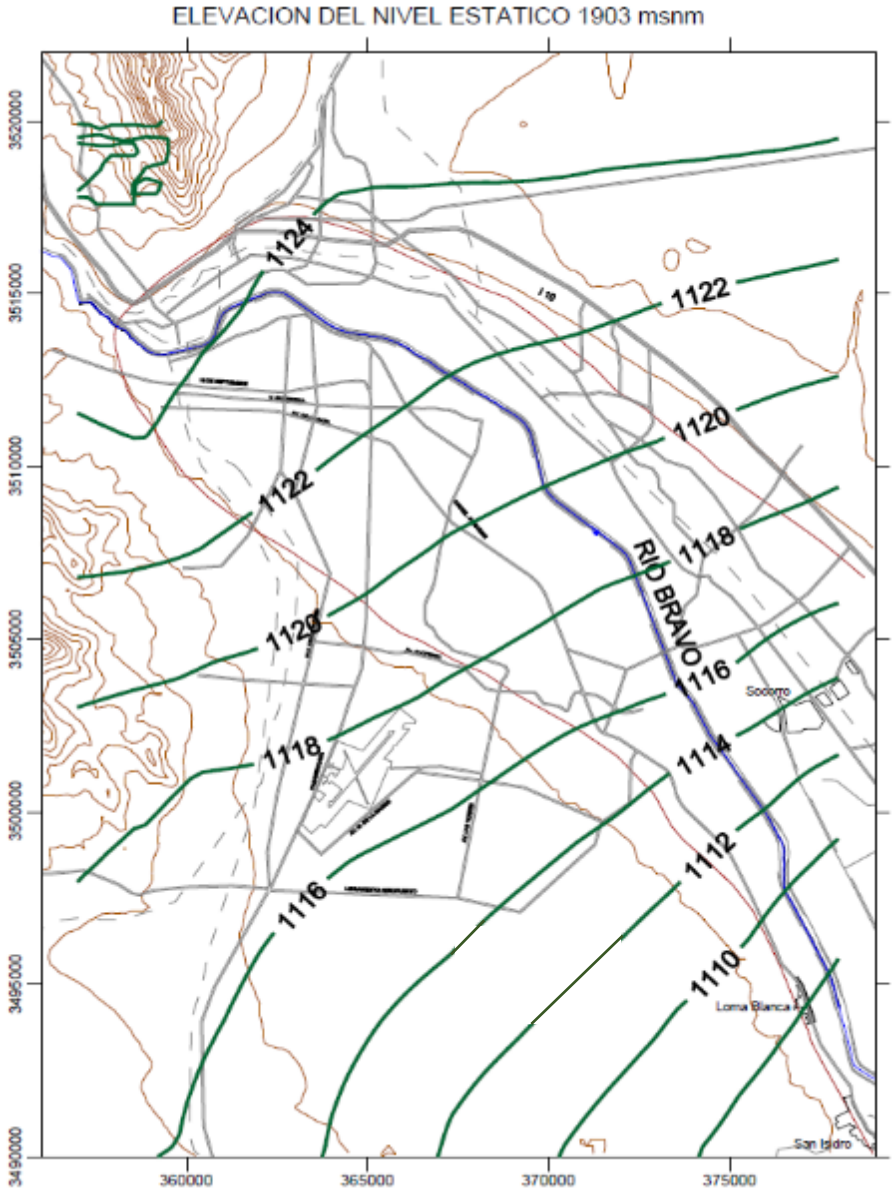


Figura 1.11 Mapa del nivel estático del Bolsón Del Huevo en el año 1903 msnm. JMAS, 2009.

ELEVACION DEL NIVEL ESTÁTICO 1990 msnm

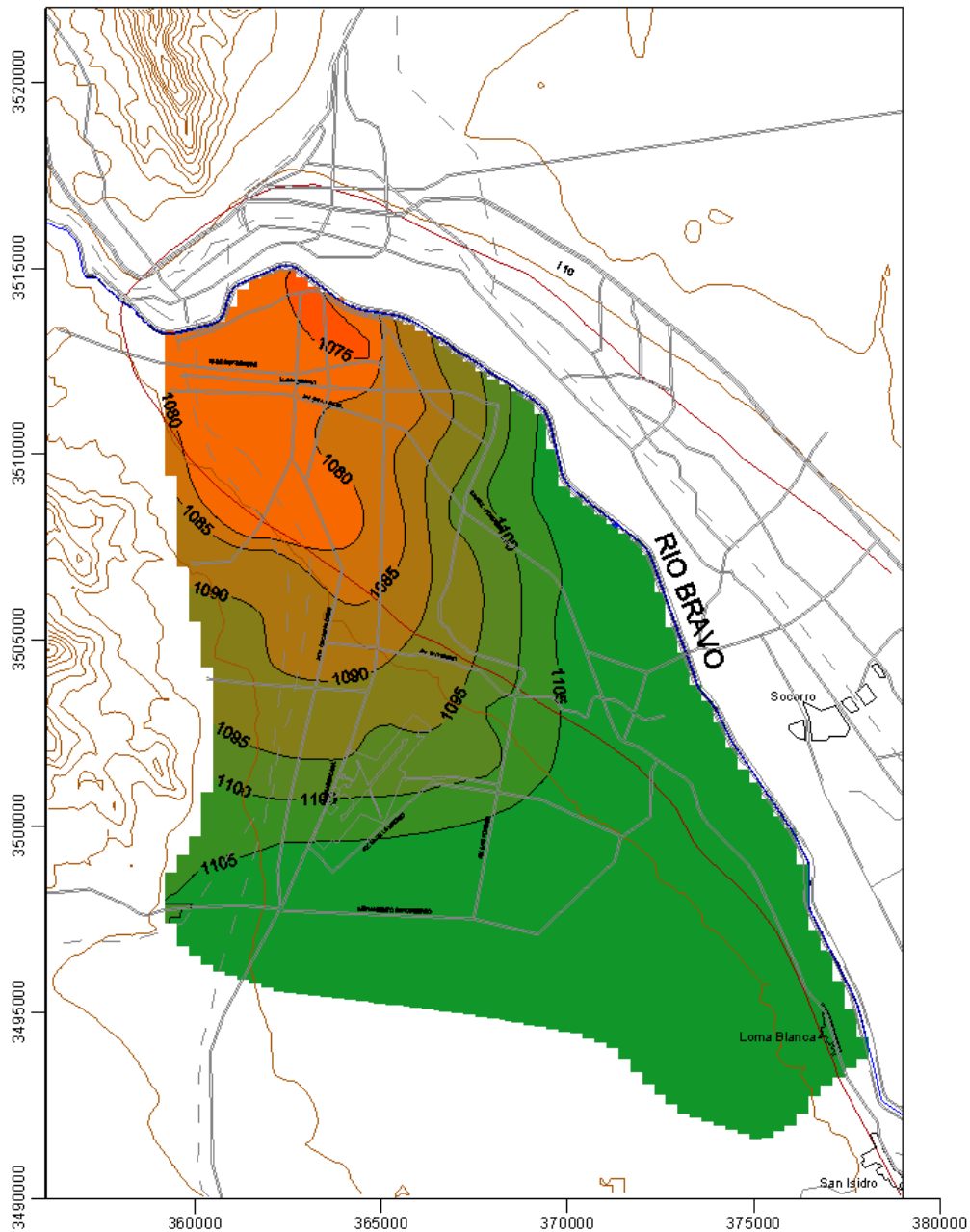


Figura 1.12 Mapa del nivel estático del Bolsón Del Huevo en el año 1990 msnm. JMAS, 2009.

En el mapa de la figura 1.12 puede observarse como el nivel estático para el año de 1990 sufre un cambio sustancioso lo cual era de esperarse con un crecimiento de población ya que se contaba con 798,499 habitantes en la ciudad. (INEGI, 1990). Esta disminución del nivel estático se ve más evidente en la zona norte de la ciudad, donde hoy día es el centro histórico de la ciudad, en esta área se puede cuantificar gráficamente en una disminución del nivel estático de aproximadamente 40 metros.

ABATIMIENTO DEL NIVEL ESTÁTICO 1903-2004 m

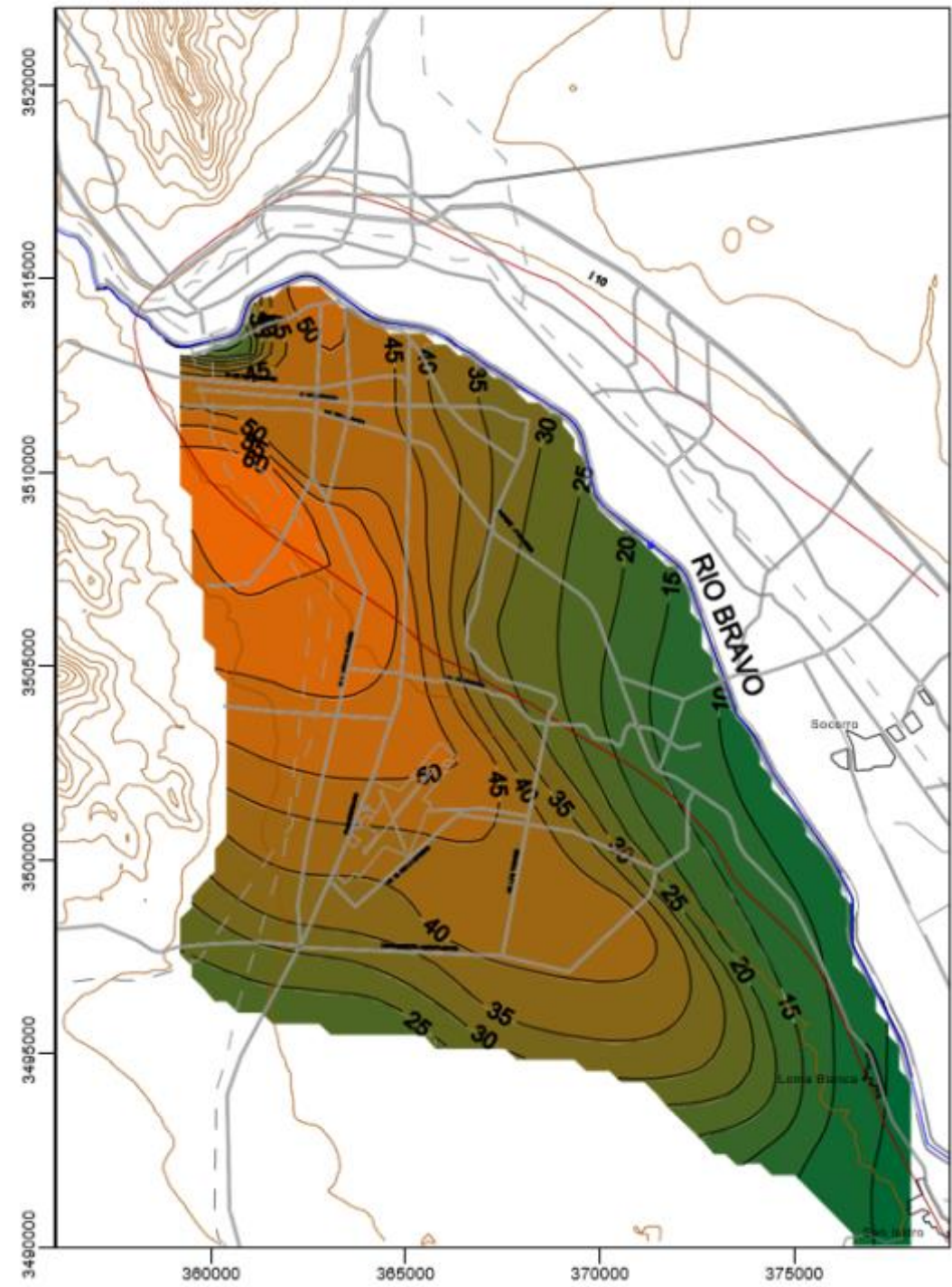


Figura 1.13 Mapa del nivel estático del Bolsón Del Huevo en el año 2004 msnm. JMAS, 2009.

En la figura 1.13 se ve como en diez años, a diferencia del mapa de la figura 1.12 del año 1990 el crecimiento de la ciudad, con dirección hacia el sur, ha generado un

abatimiento de entre quince y veinte metros en el nivel estático, pero si observamos el mapa de la figura 1.14 el abatimiento se ve cada vez en aumento hacia el sureste de la ciudad aunado a un abatimiento de entre 50 y 60 metros en la zona centro de la ciudad en el periodo de 1903 al año 2004.

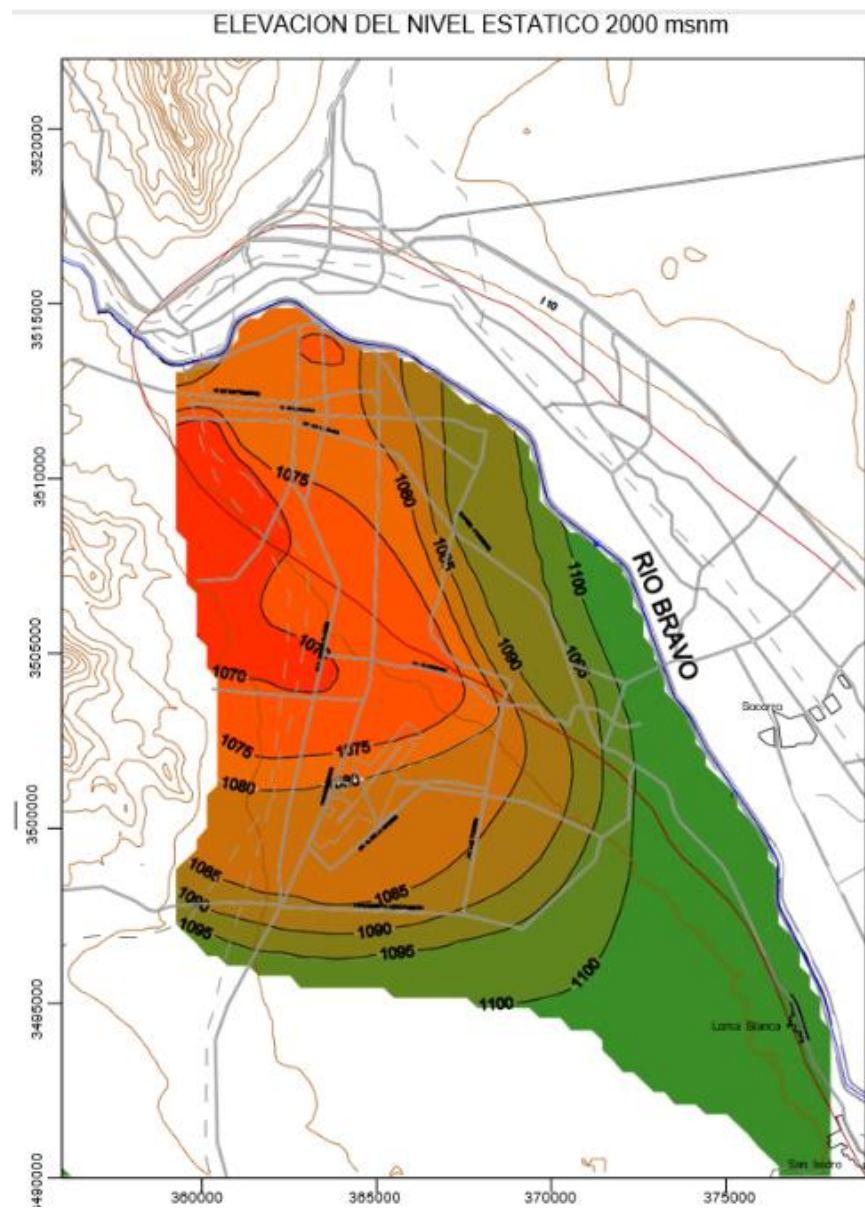


Figura 1.14 Mapa del nivel estático del Bolsón Del Huevo en el año 1903-2004 msnm. JMAS, 2009.

Con esto se evidencia como el crecimiento de la ciudad en la zona sureste, ha generado una explotación del subsuelo alarmante, en el periodo de 1990 a 2004

generó un ritmo de abatimiento aproximado de 2.8 m. al año, mientras que en la zona centro de la ciudad se generó un ritmo de abatimiento de 1.5 m. (Espinoza, 2009). Por ello es importante entender tal como argumenta Espinoza (2009): “no es posible seguir aumentando el volumen de extracción, sino por el contrario, es indispensable iniciar paulatinamente con el cierre de pozos... donde los fuertes abatimientos están generando además problemas de calidad del agua. (pág. 69).

1.4 Acuífero Conejos-Médanos

Con el cierre paulatino de pozos por sobreexplotación en la zona centro de la mancha urbana de Ciudad Juárez, se buscó una solución a corto plazo para dar abasto a la red general, buscando minimizar el abatimiento de esa área, con esto, en el año 2009 entró en funcionamiento el acueducto Conejos Médanos el cual evitó que se perforaran 10 pozos más dentro de la ciudad.

El acuífero Bolsón de Mesilla o también llamado Conejos-Médanos es denominado con la clave 0823 en el Sistema de Información Geográfica para el Manejo de Aguas Subterráneas (SIGMAS) de la CONAGUA y se localiza al oeste de la sierra de Ciudad Juárez, dicho acuífero cubre aproximadamente una superficie de 6138 km², se ubica dentro de los paralelos 30° 49' y 31° 48' de latitud norte, y entre los meridianos 106° 27' y 107° 18' de longitud oeste. De la misma forma que el acuífero Bolsón del Hueco, Conejos Médanos también es compartido con los Estados Unidos de América, ya que al norte es limitado con la frontera internacional, al oeste colinda con Las Palmas, al este con los acuíferos del Valle de Juárez y Samalayuca y hacia el sur con Laguna de Patos y Laguna de Santa María. Además, geopolíticamente corresponde a los municipios de Juárez, Ascensión, Ahumada y por el lado de los Estados Unidos de América, comprende los estados de Texas y Nuevo México. (Figura 1.15).

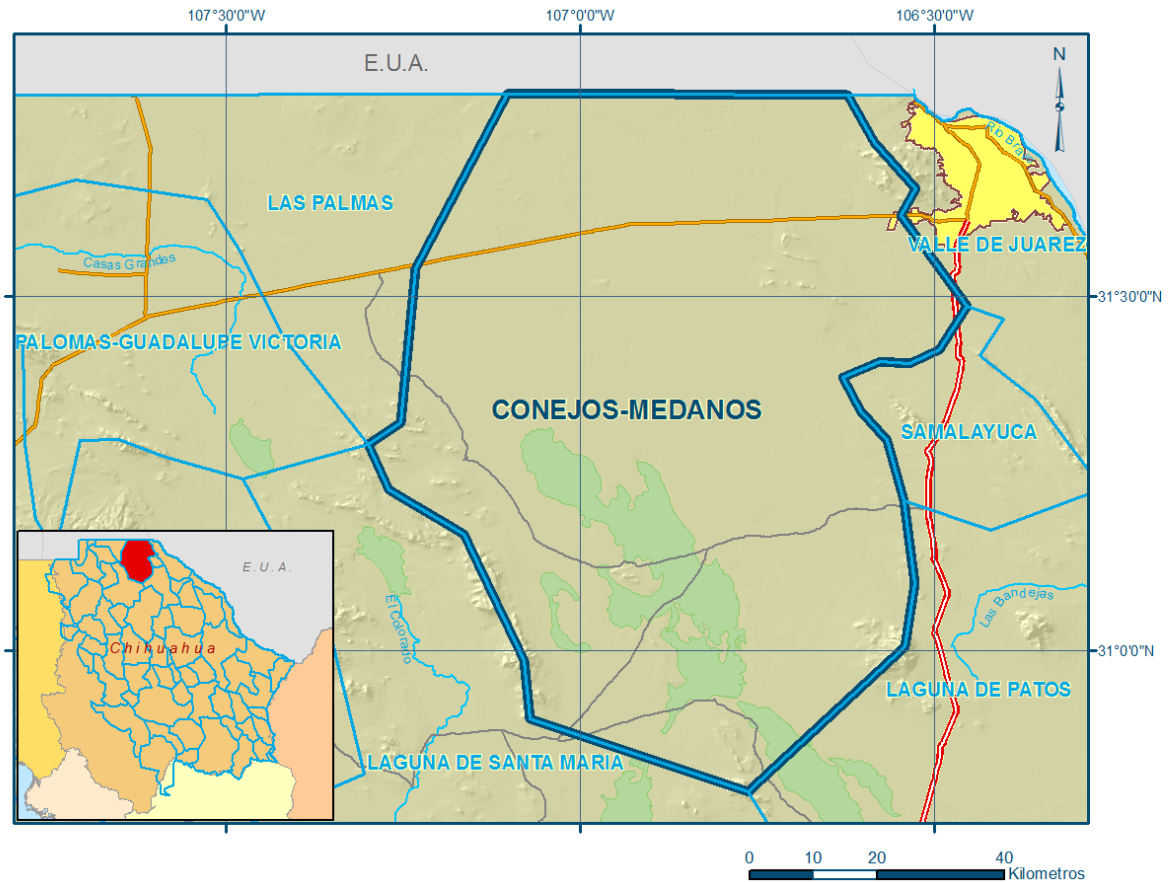


Figura 1.15. Mapa de localización del acuífero Conejos Médanos. CONAGUA, 2009.

Dentro del polígono encontramos una formación geología predominante de tipo eólico, principalmente en el norte, centro y sureste. En segundo lugar, en términos de extensión territorial encontramos el tipo de suelo lacustre localizado al suroeste y se caracteriza por contener una gran cantidad de limos y arcillas. En tercer lugar, es el tipo aluvial el cual se encuentra disperso en varias regiones del acuífero, predominando en el oeste y noreste, caracterizándose por formarse en los cruces de ríos y arroyos. Además de las áreas serranas donde su formación es de tipo caliza, conglomerado de arenas, grabas, lutitas y rocas ígneas y basalto el cual puede llegar a tener en promedio un espesor de 100 metros. En las sierras del sureste se constituyen por andesitas, traquitas, latitas y riodacitas, además en su base se caracterizan por rocas volcánicas de composición basáltica. (Figura 1.16).

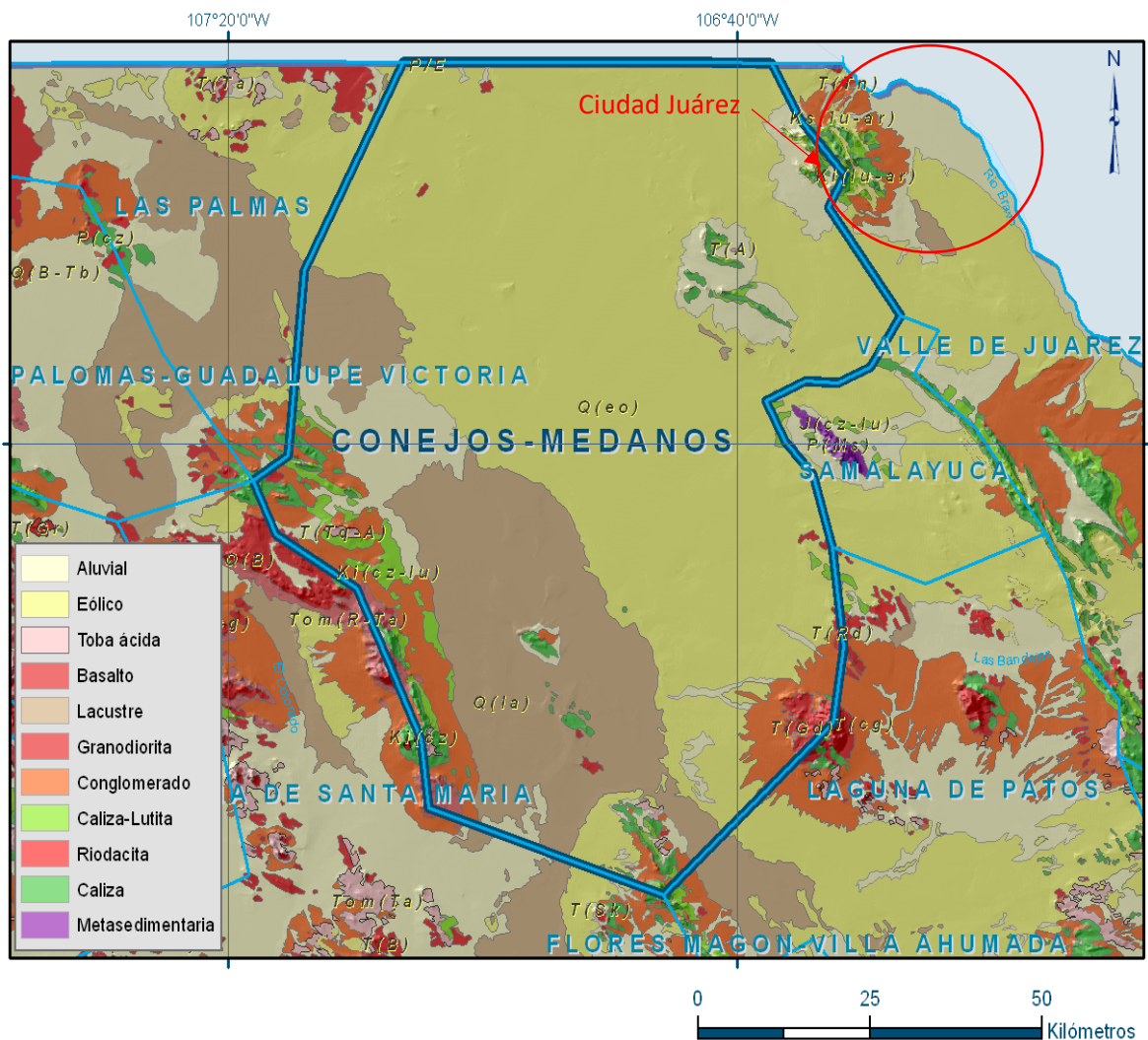
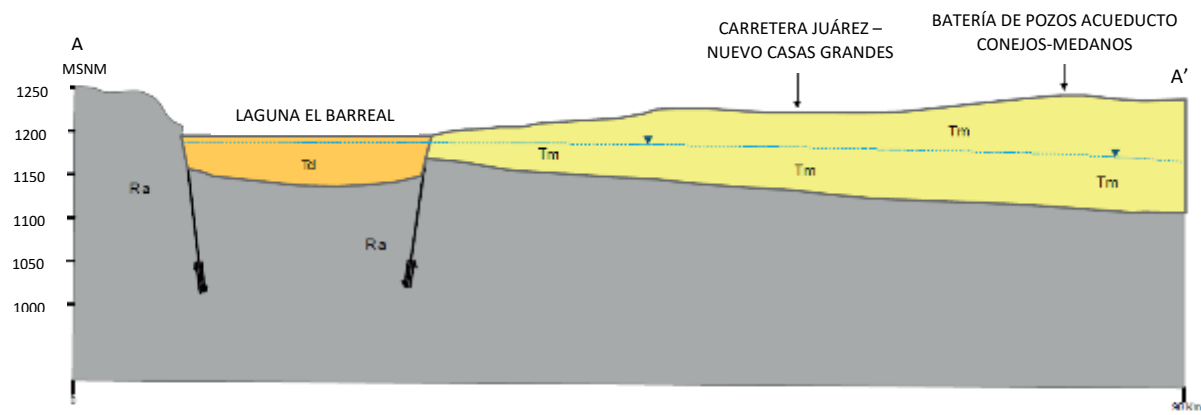
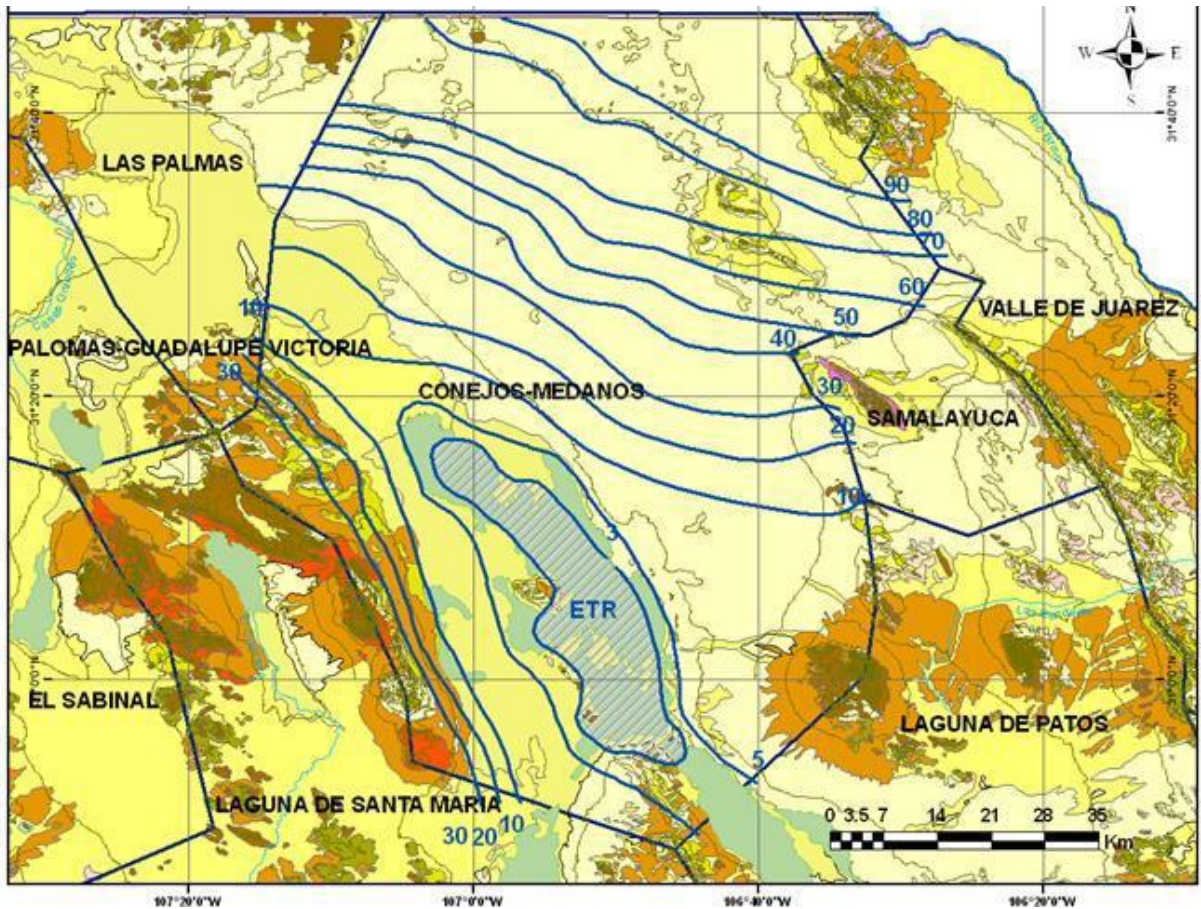


Figura 1.16 Mapa de la geología del área del Acuífero Conejos-Médanos. CONAGUA, 2009.

Los niveles estáticos observados varían desde los 1150 msnm. a 1240 msnm. Al norte se observan los niveles más profundos del acuífero llegando hasta 90 metros y al sur 5 metros como lo mínimo. Se observa una disminución en el nivel estático progresivamente como se ilustra en las figuras 1.17 y figura 1.18.

En el censo realizado en el año 2007 por la Comisión Nacional del Agua y Servicio Geológico Mexicano. 2007 en el estudio “Convenio de colaboración para realizar Actividades Hidrogeológicas en el Acuífero Conejos-Médanos, Estado de Chihuahua.” se identificaron tres usos principales: agrícola, pecuario y público urbano. En total se registraron 126 pozos y 6 norias, del total de los pozos, 58 (44%) estaban activos y los 74 (56%) restantes estaban inactivos, de los cuales 31

conformaban la batería de pozos ubicados en el extremo norte del acuífero (en el año 2007 fuera de funcionamiento).



SIMBOLOGÍA

- Tm Transmisividad moderada
- Td Transmisividad débil
- Ra Recarga potencial alta
- ▲— Nivel estático
- Falla geológica normal

Figura 1.17 Mapa de los niveles estáticos del Acuífero Conejos-Médanos. CONAGUA, 2009.

Como se ha mencionado anteriormente, el acuífero de Conejos Médanos no ha sido tan explotado como el Bolsón del Hueco, motivo por el cual no se encuentra catalogado como sobreexplotado, al observar la figura 1.19 se sabe que en el año 2015 no se contaba con déficit alguno en el agua subterránea, si no contrario a esto, existía una recarga libre de extracción de 12.99 hm³ ese año. Es importante considerar que este acuífero solo abastece el veinte por ciento del suministro de agua de la ciudad y si bien da una pequeña solución a la carencia de presión en la red general, es importante considerar cuan sostenible a largo plazo será la explotación del acuífero Bolsón de Mesilla.

CCXCVIII REGIÓN HIDROLÓGICO-ADMINISTRATIVA "RÍO BRAVO"							
CLAVE	ACUÍFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DÉFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CÚBICOS ANUALES					
ESTADO DE CHIHUAHUA							
0823	CONEJOS-MÉDANOS	18.8	0.0	5.805650	18.9	12.994350	0.000000

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015.

Figura 1.19 Cuadro de déficit del acuífero Conejos-Médanos en hm³. en el año 2008. CONAGUA, 2009.

La situación actual del acuífero en términos de la calidad del agua, considerando la dureza de ella (CaCO₃), la concentración del Ion Cloruro (Cl) y la cantidad de solidos totales disueltos. Pero antes de profundizar en la calidad del recurso hídrico en el acuífero, es importante identificar en la figura 1.20, cómo se encuentra la situación del acuífero. Por ejemplo, se puede observar que, al centro de este, se localizan la mayor concentración de pozos salinos, mientras que al norte se encuentran los pozos con mejor calidad y es aquí justamente el área donde se encuentra la batería de pozos del acueducto Conejos Médanos.

Existen también al sur algunos pozos de agua dulce, los cuales se encuentran diseminados debido a la existencia de áreas con concentraciones salinas, provocando que existan algunos pozos no aptos para consumo humano. Con lo anterior dicha zona es menos óptima para abastecer la ciudad además de tener una distancia más lejana de la mancha urbana a comparación de los pozos del norte.

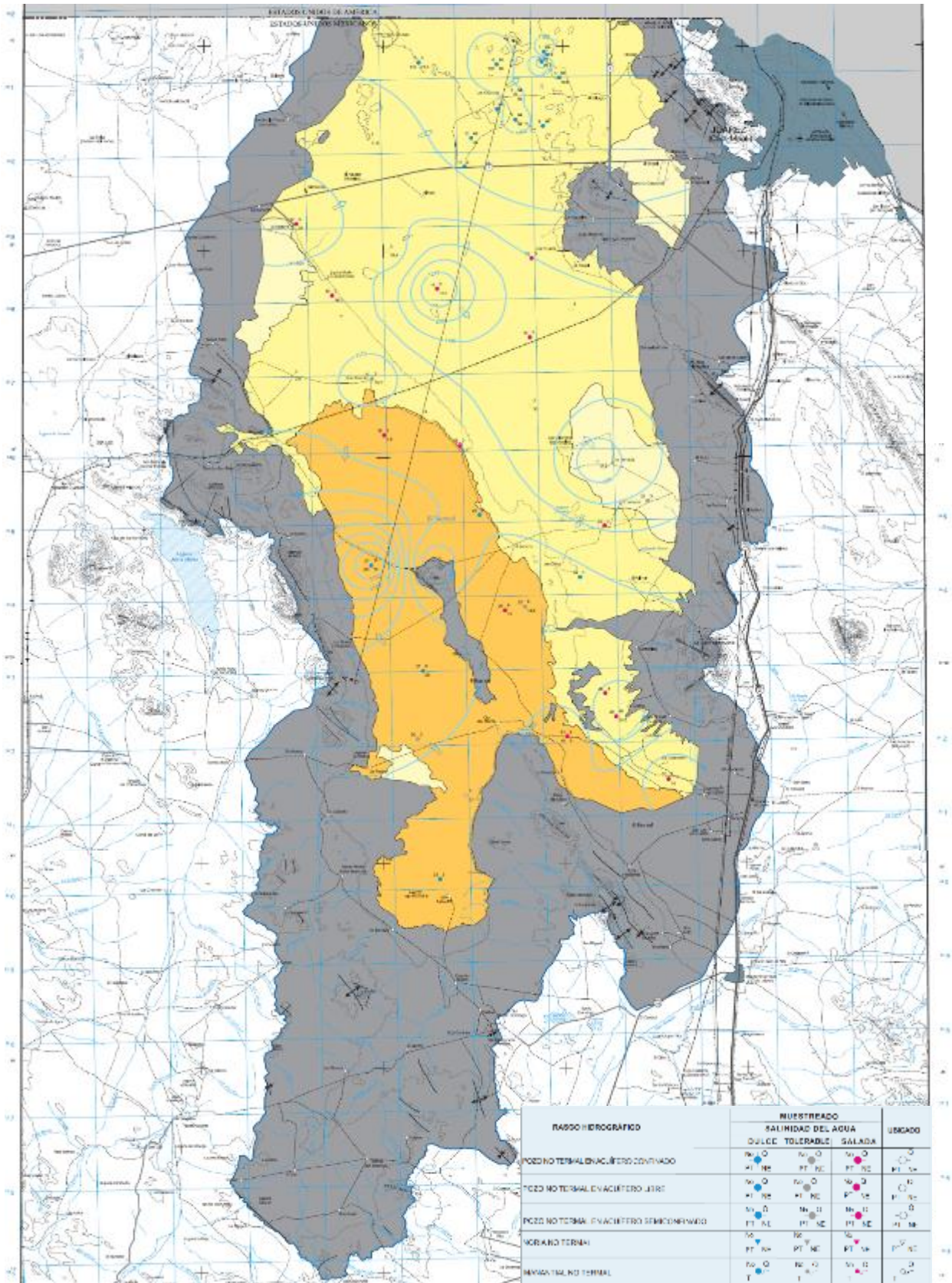


Figura 1.20 Mapa de pozos del acuífero Conejos-Médanos. INEGI, 2012.

El acuífero se caracteriza por tener una extensión territorial en su mayoría con niveles más altos de 180 mg/l de carbonato de calcio (CaCO_3). La zona donde se encuentra la concentración de agua óptima para consumo humano es al norte del acuífero donde en promedio no excede los 120 mg/l. Según el método de prueba de dureza del agua ATSM D1126-92 una concentración entre 75 y 150 mg/l es considerada agua poca dura de 150 a 300 mg/l, se considera agua dura (Arroyo y Sánchez, 2013). Por ello es importante considerar cuantos años será viable el abastecimiento de este acuífero. (Figura 1.21).

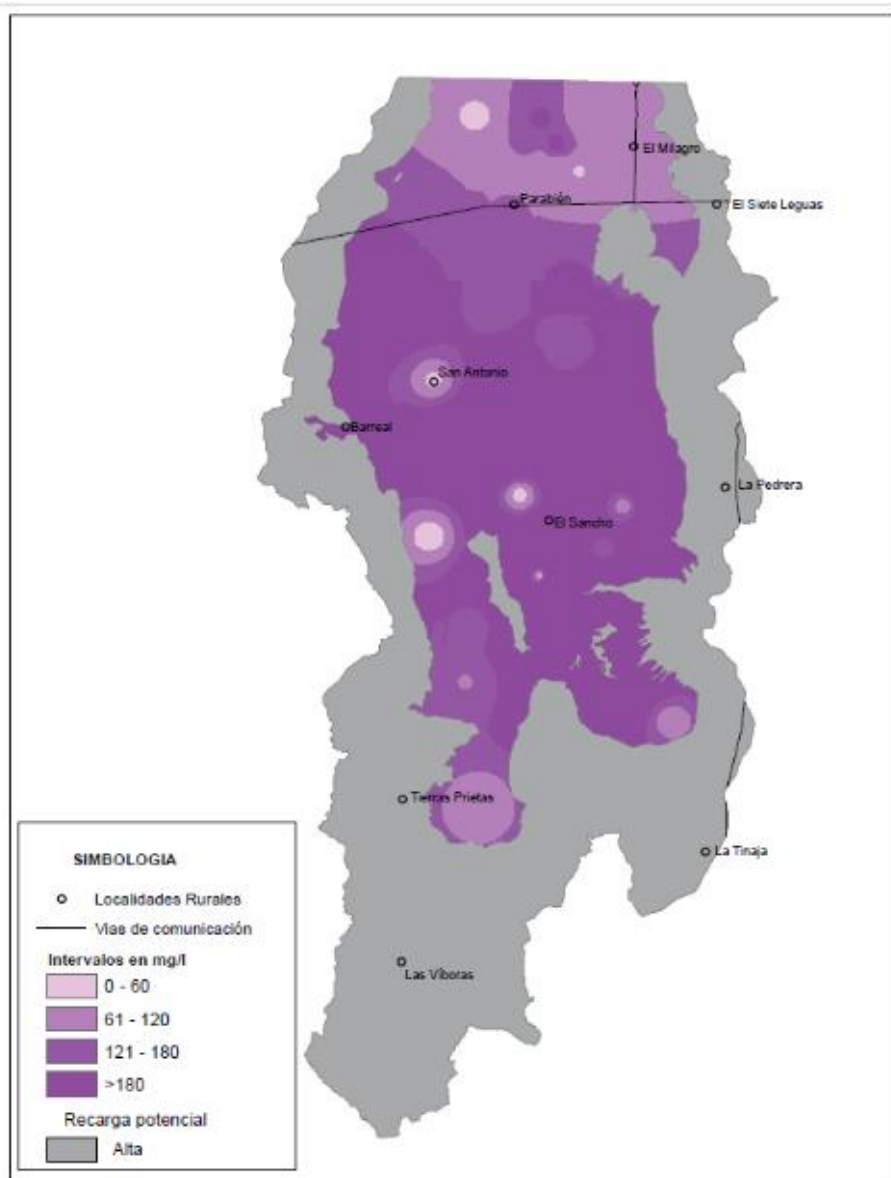


Figura 1.21 Mapa de la distribución espacial de la dureza del agua (CaCO_3) del acuífero Conejos-Médanos. INEGI, 2012.

El Ion Cloruro (Cl) en el agua, según el método de prueba de Mohr es permisible la cantidad máxima concentrada de 250 mg/l para consumo humano (Moreno, 2010). Si bien se encuentran concentraciones bajas al norte del acuífero, en el centro y al oeste del mismo se observan concentraciones de 455 hasta más de 1000 mg/l. por ello existen pozos que no son aptos para consumo humano como se ejemplificó en la figura 1.20, donde los pozos con mejor calidad de agua se encuentran al norte del acuífero. (Figura 1.22).

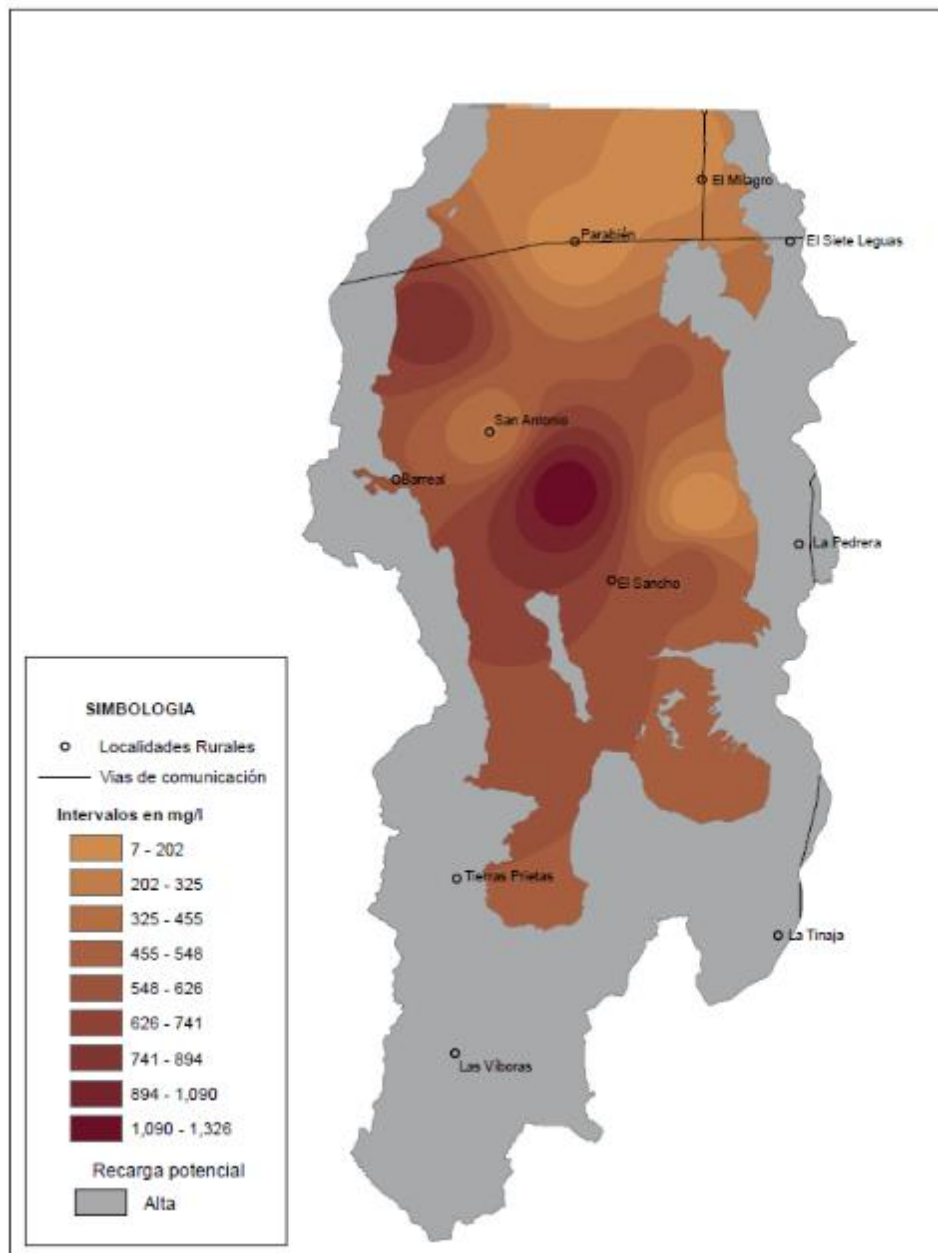


Figura 1.22 Mapa de la distribución espacial del Ion Cloruro del agua (Cl) en el acuífero Conejos-Médanos. INEGI, 2012.

El área con la concentración de sólidos totales disueltos más baja se encuentra al norte del acuífero, donde también existe menor salinidad y una menor concentración de Ion de Cloruro, su rango es de 357 a 1073 mg/l y en el centro donde existe una mayor concentración de solidos totales disueltos varía de 1808 a 4684 mg/l, lo cual indica que el agua no es potable. Acorde con la Organización Mundial de la Salud (WHO, 1996), la concentración permisible para agua potable se encuentra debajo de los 1000 mg/l. (Figura 1.23).

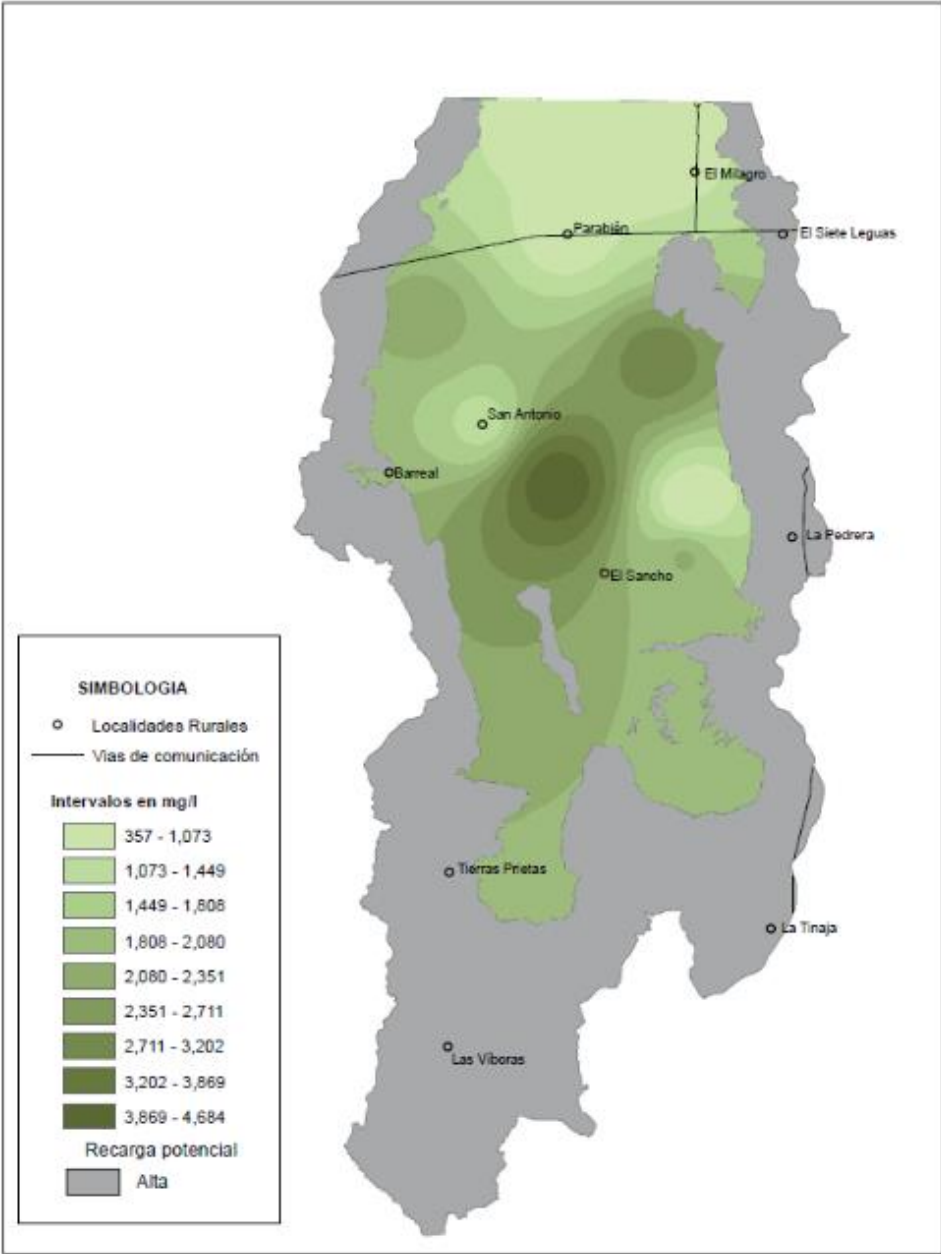


Figura 1.23 Mapa de la distribución de los sólidos totales disueltos en el agua del acuífero Conejos-Médanos. INEGI, 2012.

1.5 Descripción del problema.

El abastecimiento sostenible del agua dulce es un problema a nivel global, se estima que solo el 2.5% del recurso hídrico total es potable, el 70% está congelado en los glaciares, alrededor del 30% es subterráneo y solo el 1% es superficial (Clarke y King, 2004). Esto no significa que ese mínimo porcentaje de agua potable esté desapareciendo del planeta, se sabe que el agua es un recurso renovable, pero esto, es más complejo que solo decir que es un recurso ilimitado. Si bien el ciclo hidrológico es el encargado de mantener el agua en movimiento a través de la hidrósfera, dicho ciclo es mermado en los mantos freáticos de muchos países debido a cambios en los patrones climáticos de algunas regiones, generando sequías, algo provocado por el calentamiento global, ya que “El cambio climático provoca cambios en la frecuencia, intensidad, extensión espacial, duración en los eventos climáticos y puede resultar en un clima extremo en el evento climático.” (IPCC, 2014, pág.5).

Otro factor que afecta la disponibilidad del agua es el bombeo excesivo, ya sea por desperdicio del recurso o por una gran demanda debido a la sobrepoblación; si se considera que en el año 2017 la población mundial era de 7,550 millones y se tiene una proyección de 9,771 millones de personas para el 2050 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2017)., es evidente que las ciudades seguirán creciendo cada vez más y con ello la demanda del agua.

Si bien México se cataloga como un país con baja presión sobre el recurso del agua, ya que “la presión sobre los recursos hídricos se cuantifica al dividir la extracción del recurso entre el agua renovable o disponibilidad”. (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2016, p.128). Esto no quiere decir que el país se encuentre en excelentes condiciones en relación con el uso racional y sustentable del agua, un ejemplo de esto es que en el 2015 de los 653 acuíferos que existen en el país 32 tienen suelos salinos o agua salobre, 18 cuentan con intrusión de agua salada marina y 105 están sobreexplotados (CONAGUA, 2016). El abatimiento de los acuíferos es un problema difícil de solucionar, si se considera que en México existe una huella hídrica de consumo de 1978 m³ de agua por habitante al año

(CONAGUA, 2016). Además, que la precipitación en México no da abasto a la recarga de los acuíferos principalmente en la zona del norte del país donde el grado de presión hídrico en promedio es de 63.76% considerando las Regiones hidrológico-administrativas de Península de Baja California, Noroeste y Balsas. Donde se considera que si el porcentaje de presión es mayor a 40% el grado de presión será alto (CONAGUA, 2014). Como se ejemplifica en el documento, Estadísticas del agua en México de CONAGUA (2013): “Se estima que el 71.6% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.2% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.2% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos.” (p.16). Con esto es evidente que la recarga de los mantos freáticos es un proceso lento y complejo donde el abastecimiento de agua puede ser mermado por el abuso de un bombeo exhaustivo y una mínima recarga de los acuíferos. Además de lo anterior, al igual que todo el planeta, el país tiende al crecimiento de población. Por ejemplo, en el año 2010 en México existía una población de 114,255,555 ciudadanos y se estima que habrá un aumento para el año 2050 de 36,581,962 personas, para llegar a un total de 150,837,517 (Consejo Nacional de Población [CONAPO], 2010). Es por esto por lo que se generará un mayor número de dependientes del recurso hídrico, por consiguiente, mayor demanda y una presión sobre el suministro del agua en el futuro próximo.

Si bien, hoy día no existe un reconocimiento a nivel nacional de un riesgo en el país sobre el abastecimiento de agua potable, pero hay que considerar que México cuenta con 731 cuencas hidrológicas, de las cuales 104 tienen un déficit negativo (CONAGUA, 2015), sumado a los 105 acuíferos sobreexplotados anteriormente mencionado en este escrito. Por ello es indispensable considerar las condiciones particulares de cada región, su capacidad de abastecimiento, sus habitantes, con el fin de buscar un uso óptimo del agua.

Por su parte Ciudad Juárez con una población de 1,391,180 habitantes (Instituto Nacional de Estadística y geografía, [INEGI], 2015)., y una proyección de crecimiento para el año 2050 de 1,593,238 personas (CANAPO, 2010)., no es ajena

a estas situaciones, donde la densidad de población tiende a aumentar y de igual manera la demanda del agua.

Ciudad Juárez está localizada en el Desierto Chihuahuense, donde cuenta con una temperatura máxima promedio de 40.9 °C en el mes de junio y una temperatura mínima promedio de -2.6 °C en el mes de diciembre, según datos de las normales climatológicas (Servicio Meteorológico Nacional [SMN], 2010). Considerando que la oscilación térmica puede llegar hasta 14°C. Este panorama se vuelve muy característico de un desierto, por ello es entendible que las lluvias son escasas en esta región, donde existe una precipitación promedio anual de 251.69 mm. (CONAGUA, 2016). Figura 1.24

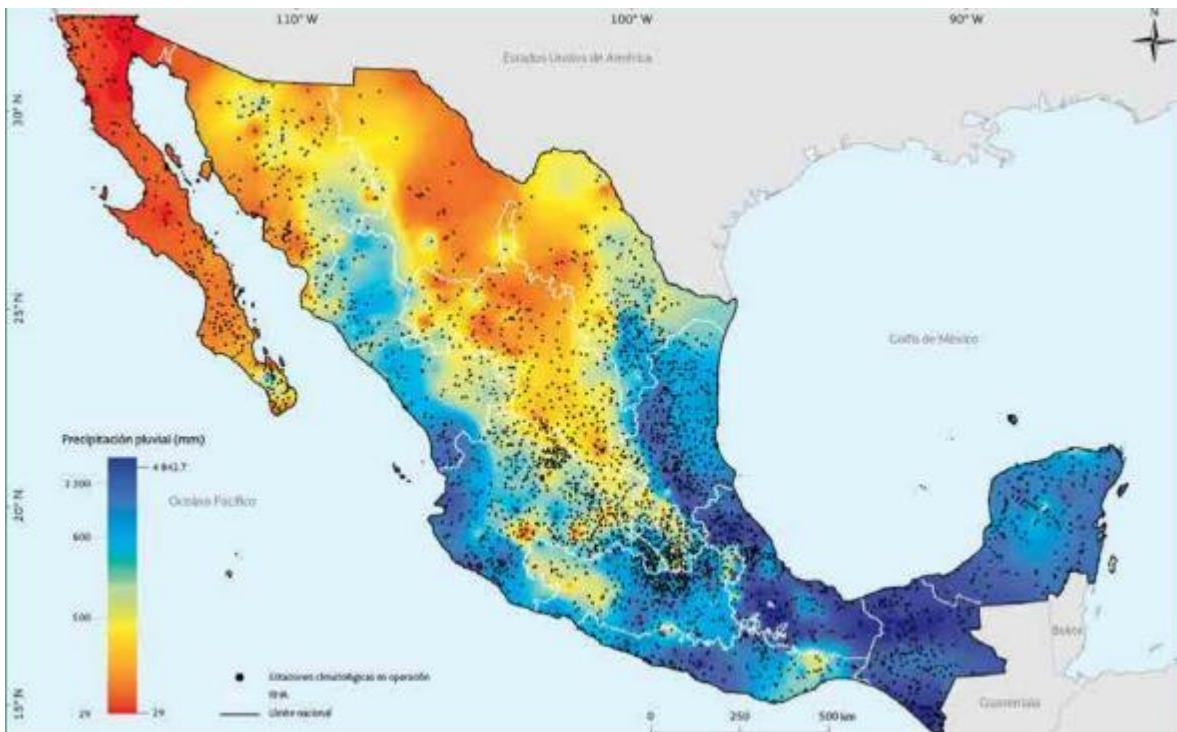


Figura 1.24 Mapa de la precipitación promedio anual. CONAGUA, 2015.

Sumado a la escasa precipitación, en el Atlas de riesgo del año 2011, elaborado por el IMIP (Instituto Municipal de Investigación y Planeación) se expresa que, en los últimos 30 años, en la localidad se tienen registros de sequía y sequía extrema, lo cual tiende a causar en parte la desertificación. Con ello el suelo tiene una degradación ecológica, perdiendo su fertilidad y a su vez humedad, esto último también propiciado por la sobreexplotación de los mantos y la urbanización. Se estima que en ciudades con superficies impermeables del 75% al 100%, solo el 5%

de la precipitación tiene una infiltración profunda y solo el 10% se filtra superficialmente (Arnold y Gibbons, 1996). De esta forma, las vialidades, los edificios, aceras y explanadas no contribuyen al ciclo hidrológico que recarga el abastecimiento del agua subterránea.

En el ciclo hidrológico, la infiltración del agua a los acuíferos es uno de los procesos más lentos si consideramos su tiempo de almacenamiento, el cual está dentro del rango de dos semanas a 10,000 años (Mazari, 2003). Entendiendo el largo periodo que se puede llegar a tener para la formación de un acuífero, es paradójico como en esta localidad se desaprovecha el recurso hídrico. En promedio un juareense consume 268 litros al día (Dirección Técnica JMAS, 2008), esto significa que en promedio serían 97,820 litros al año por persona, por toda la población serían 136,085,228 m³ extraídos al año, en el sector habitacional. Considerando que solo el 4 % se utiliza para beber o higiene personal (CONAGUA, 2015), dicho porcentaje es preocupante, si el 96% se utiliza para fines no prioritarios para la vida. Si se extrae más de lo que se infiltra tarde o temprano se llegará al límite extraíble, este es un problema latente en la ciudad, tal como menciona Salas (2006): “se estima que para el año 2030 el agua utilizable de este manto acuífero estará agotada” (pág.11). Por ello desde el 2009 entró en funcionamiento el acueducto Conejos Médanos que extrae 1000 lts. por segundo del acuífero Bolsón de Mesilla localizado aproximadamente a unos 40 km. al oriente de dicha localidad. Mucho se habla de la búsqueda para conseguir la sostenibilidad y su interrelación entre los aspectos ambientales, sociales y económicos para llegar a un lenguaje que confluya en un bien común; pero poco se logra ver de ello si el consumo del recurso hídrico es desmedido y los acuíferos son abatidos.

La insostenibilidad en el consumo del agua dulce ha sido abordada desde la arquitectura e ingeniería civil mediante la infiltración con pozos de captación y absorción en espacios públicos, esto para impulsar la recarga de los mantos freáticos en algunos casos. Para el ahorro de consumo del agua se han implementado mobiliarios fijos ahorradores de agua, (inodoros, llaves mezcladoras de lavamanos, regaderas etc.) el reciclaje de aguas grises y por último, la captación

pluvial, la cual en comparativa con el reciclaje de aguas es mínimamente implementado en esta región. En contraposición existen en la ciudad 11 plantas tratadoras de aguas residuales de administración pública (IMIP, 2016), mientras que el agua de lluvia se deja correr por las ciudades, sin la posibilidad de un uso, generando así zonas de anegamiento, donde poca de la precipitación se va al subsuelo, lo que al final provoca un conflicto vial y en casos extremos puede llegar a poner en riesgo la vida de ciudadanos. Paradójicamente la precipitación pluvial es poco aprovechada, siendo que no genera ningún costo, aunado a ser considerada el agua más limpia en comparación con el recurso subterráneo y superficial. Irremediablemente la cosecha de lluvia juega un papel casi nulo para los juarenses, debido a que el consumo del agua dulce es el rol principal y el uso racional pasa a segundo término. Además dentro del ámbito profesional, el aprovechamiento del agua de lluvia es muy poco empleado y en el ámbito académico difícilmente se encuentran libros ó artículos especializados que directamente son realizados para esta localidad.

1.6 Justificación.

La lluvia ha acompañado la vida en el planeta a lo largo de miles de años, siendo esta, parte fundamental del ciclo hidrológico, lo que ha propiciado de esta forma la sobrevivencia y el asentamiento de humanos en diversos territorios del mundo, ya sea por abastecimiento de agua superficial o subterránea. Se cree que la captación pluvial pudo llegar a existir desde los años de la concepción del fuego en la historia de la humanidad (Gould y Nissen, 1999). Además, que la principal fuente de abastecimiento para los asentamientos de fenicios y cartaginenses en el siglo VI A.C. fue la captación de las escorrentías en techos, volviéndose así la principal fuente de abastecimiento de las ciudades en tiempos de la antigua Roma (Lancaster, 2009). Otro ejemplo son los Chultunes de la cultura maya, denominados como contenedores de agua labrados en la roca (Lorelei y Zapata, 1989), esto genera un panorama de como la captación pluvial ha existido desde tiempos ancestrales.

Considerando lo anterior se vuelve pertinente el preguntarnos: ¿Por qué hoy en día no es utilizada la cosecha de lluvia, si visualizamos que en la época prehispánica los mayas tenían captadores pluviales y hoy día difícilmente exista un inmueble que contenga un sistema de captación? Tal vez nuestros antepasados pudieron tener una mayor dificultad para abastecerse de agua y ahora en nuestro tiempo, la facilidad de tener dicho recurso vital con tan solo abrir un grifo se llega a perder la necesidad de buscar otras formas de abastecernos.

Se sabe que la mayoría de la ciudadanía juarense tiene accesibilidad al agua potable de una manera sencilla, según datos de la radiografía socioeconómica del municipio de Juárez del año 2016 elaborada por el IMIP, (2017). el 98.53% de las viviendas cuentan con agua potable, si bien la mayoría de los hogares son abastecidos con agua potable, en el periodo de verano se vuelve evidente la merma en la capacidad de suministrar a la ciudad con una presión estable en la red general. Domínguez (2017) refiere que se ha tenido que invertir en renovar y reparar bombas de los pozos profundos para el periodo de verano ya que a diferencia del periodo de invierno la ciudad consume en promedio 30 por ciento más agua, que en los meses fríos, argumenta que aproximadamente se ponen en funcionamiento 400,000 aires acondicionados.

Analizando lo previamente expuesto y visualizando una ciudad localizada en una región carente de agua, propiamente en un desierto, donde la principal fuente de abastecimiento ha sido explotada desde 1912 Lujan, Garza y Quevedo (2005), sumado a las condiciones climáticas poco favorables de la región ya que en esta localidad se tiene registros de sequía y sequía extrema, es entendible el estado de sobreexplotamiento que tiene el Acuífero Bolsón del Hueco. Por lo anterior se vuelve pertinente buscar y probar otras formas de abastecernos de agua en esta localidad.

La poca lluvia que ha sido recolectada en las viviendas por medio de los techos, se ha visualizado con el único fin de la captación, recoger lluvia sin contemplar como los techos pueden funcionar en diversas tareas mejorando así su utilidad. Ampliando el panorama, los techos pueden ahorrar agua si son aislados,

eficientizando el consumo de agua en los aparatos de enfriamiento evaporativo (Herrera, 2009). Esta primicia origina el concebir a las cubiertas con un enfoque multifuncional, algo que se propone en este estudio.

Con la problemática que se tiene en Ciudad Juárez en el abastecimiento de agua dulce, surge el interés de analizar la efectividad de un sistema integrado por estos dos métodos: un sistema de captación eficiente y un techo escudo a base de lámina galvanizada, en comparación a la concepción de los dos sistemas trabajando individualmente, con el objetivo de mejorar las características térmicas y la captación pluvial de una cubierta, para poder proponer un sistema que pueda combinar el sistema tradicional de captación pluvial (STCP) y el techo escudo (TE) o también conocido como sistema de descarga de calor (SDC).

Dentro del campo del conocimiento de la arquitectura, el techo escudo ha sido entendido por sus beneficios térmicos, pero ha sido poco estudiada la multifuncionalidad que puede tener, es decir, que no solo puede generar una sola utilidad sino un variado número de posibilidades, de igual manera el sistema tradicional de cosecha de lluvia se ha limitado a un funcionamiento determinado, el de captar lluvia y solo eso. Este estudio pretende establecer las bases de cómo funcionaría un sistema que integra dos métodos con distintos fines, por un lado, un máximo coeficiente de captación pluvial y por el otro, un beneficio térmico; de este modo dicho sistema puede ser implementado en una vivienda en pleno diseño o bien ya edificada. La originalidad de replantear el funcionamiento tradicional de dos sistemas que han servido únicamente para un solo fin, puede llegar a incrementar sus beneficios. Justamente eso es lo que busca este análisis: mediante una investigación aplicada, generar un documento que compare el STCP, el SDC en la techumbre y la unificación de los dos métodos para observar si existe un mayor beneficio con la unión de ambos sistemas.

1.7 Pregunta de investigación.

¿Cuán sobresaliente puede ser en la captación y beneficios térmicos el sistema de captación pluvial combinado con el sistema de descarga de calor en comparación al sistema tradicional de captación pluvial (STCP) sin el techo escudo (TE)?

1.8 Hipótesis.

El sistema de captación pluvial combinado con el techo escudo tiene una mayor captación de lluvia sumado a un mejor comportamiento térmico, en comparación al sistema tradicional de cosecha de lluvia sin el techo escudo.

1.9 Objetivo general.

Comparar la precipitación pluvial cosechada y el comportamiento térmico, en los modelos experimentales que consideran la combinación del sistema de captación pluvial con el techo escudo y el STCP separado del SDC en Ciudad Juárez.

1.10 Objetivos específicos.

1. Diseñar modelos experimentales con la capacidad de medir la captación pluvial y el comportamiento térmico.
2. Construcción de los modelos experimentales previamente diseñados.
3. Medir la capacidad de captación y el comportamiento térmico en la combinación de sistema de captación pluvial con el techo escudo y el STCP separado del SDC.
4. Analizar resultados y realizar comparación entre el sistema de captación pluvial combinado con el techo escudo y el sistema tradicional de cosecha de lluvia.

1.11 Estado del arte.

Captación pluvial.

En los últimos años la captación pluvial en viviendas, dentro de la arquitectura e ingeniería ha sido supeditada al fin único de captar el recurso hidrológico sin la búsqueda del máximo aprovechamiento del sistema y acopio de dicho recurso.

Por ejemplo, (Novak, Geisen y Debusk, 2014) expresan que la cantidad de lluvia que se puede recolectar está estrechamente relacionada con el material de la superficie impermeable donde se canalizan las escorrentías para su almacenamiento, por ello utilizan como parámetro de medición el coeficiente de escurrimiento (figura 1.25), de igual forma (Worm, y Hattum, 2006) (figura 1.26) utilizan sus propios valores en los materiales más comunes para techumbres.

Roofing Material	Runoff Coefficient
Metal	0.95
Asphalt	0.90
Concrete	0.90
Membrane Type EPDM, PVC, etc.	0.95-0.99
Tar and Gravel	0.80-0.85

Figura 1.25 Tabla de coeficientes de escurrimiento por material. Fuente: Novak, Geisen y Debusk (2014).

Type	Run-off coefficient
Galvanised iron sheets	>0.9
Tiles (glazed)	0.6-0.9
Aluminium sheets	0.8-0.9
Flat cement roof	0.6-0.7
Organic (e.g. thatched)	0.2

Figura 1.26 Tabla de coeficientes de escurrimiento por material. Fuente: Worm y Hattum (2006).

El equipo de Novak tiene similitudes con el coeficiente de escurrimiento en el metal con (Lancaster, 2009) por ejemplo, el valor es de 0.95, pero a diferencia con los anteriores autores, Burgess (2012) menciona que “Como regla general, se puede esperar captar en promedio de 75-80 por ciento de la precipitación real.” (p.22). Esto debido a los materiales que cubren la superficie de cosecha de lluvia y a pérdidas del sistema de captación.

Gracias a estos coeficientes de eficiencia se han desarrollado fórmulas para estimar la cantidad de lluvia captable al año. El equipo de Novak utiliza la formula siguiente:

$$V_{\text{supply}} = A \times P \times C \times 0.623$$

Donde V_{supply} es igual a la cantidad de agua de lluvia disponible a captar.

P es igual a la precipitación pluvial anual.

A es igual al área de captación.

C es igual al coeficiente de escurrimiento.

0.623 es el valor de conversión a galones (este valor es utilizado por los autores ya que son americanos y utilizan el sistema de medida inglés.).

Por su parte Burgess utiliza la siguiente fórmula:

$$PWC = A \times P \times CE$$

Donde PWC es la Potencial captación de lluvia.

A es igual al área de captación.

P es igual a la precipitación pluvial anual.

CE es igual a la eficiencia de captación del 75-80%.

Con lo anterior es evidente la importancia de la unidad de medida dependiendo del autor y su nacionalidad. Para el sistema métrico inglés, la captación es medida en una superficie por ft^2 y por pulgada de lluvia anual, a diferencia en el sistema métrico decimal es medida en una superficie por m^2 y por milímetros de precipitación al año.

Se ha identificado que para la potencial lluvia captable no solo interviene el material de la superficie captable, si no que intervienen otros factores como la evaporación del agua y el agua que salpica fuera del área de captura; mermando así la cantidad de lluvia se puede almacenar (Krishna, 2005). Aunado a lo anterior un aspecto para considerar es el explicado en la guía de captación pluvial desarrollada por la Environment Agency England (2010) donde se ejemplifica como la eficiencia del filtro medida como un coeficiente de 0.90 dentro del sistema de canales, disminuye la cosecha de lluvia. Es interesante mencionar como para (Vasudevan, 2002) la

calidad del agua captada en una superficie va relacionada a las condiciones del clima, el medioambiente circundante y el material de la cubierta a diferencia de solo considerar el coeficiente de escurrimiento como el parámetro fundamental que dictamina la cantidad de precipitación captable.

En la figura 1.27, 1.28 y 1.29 los autores como Worm, Hattum, Lancaster y Burgess la captación es medida, sin buscar una máxima eficiencia, se observa cómo, han considerado que un techo con pendiente o sin pendiente, se debe analizar en el plano horizontal del área captable, sin importar si el techo tiene pendiente o posee una longitud más larga a comparación de una cubierta plana.

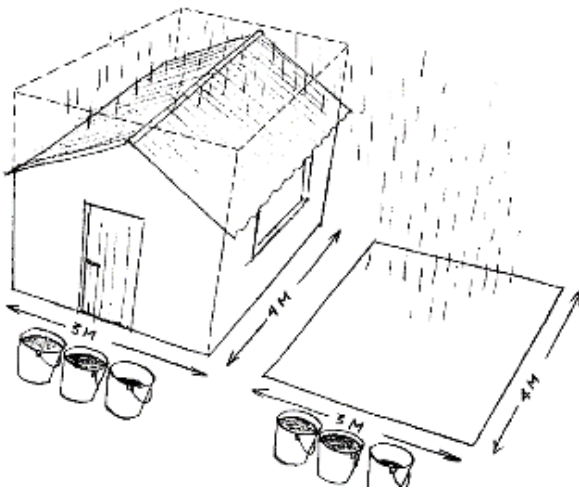


Figura 1.27 Gráfico de área de captación en techos con pendiente. Fuente: Worm y Hattum (2006).

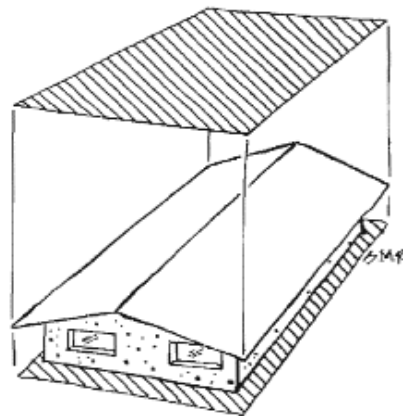


Figura 1.28 Gráfico de área de captación en techos con pendiente. Fuente: Lancaster (2009).

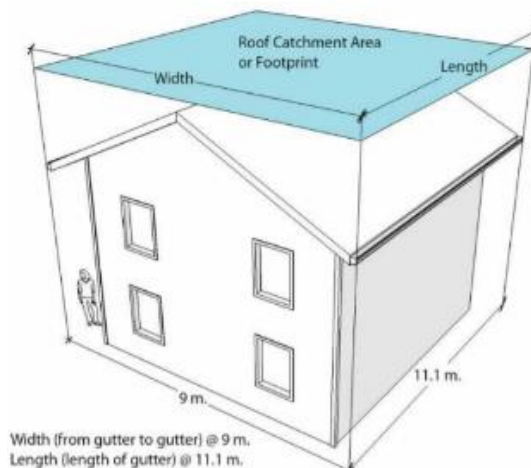


Figura 1.29 Gráfico de área de captación en techos con pendiente. Fuente: Burgess (2012).

Techo escudo.

Con respecto al techo escudo o sistema de descarga de calor, este ha sido estudiado mediante una metodología donde se experimenta con un modelo a escala ya sea en un sitio al aire libre o en un lugar controlado donde se simula la radiación solar, lo cual a su vez es complementado por el modelo analítico, en base a cálculos necesarios para medir su funcionamiento. Tal es el caso de (Hernández, Contreras, Gonzales, Morillón, Fernández, 2011) (figura 1.30) y por su parte (Chi-ming, Huang y Chiou, 2007) (figura 1.31) hacen una comparativa de su medición experimental con autores que han realizado investigación a base de cálculos como el caso de (Morrone, Campo y Manca, 1997), en su estudio "Optimum plates separation in ventrical parallel- plate channels for natural convective flows: incorporation of large spaces at the channel extremes."

Tabla 1. Comportamiento térmico del prototipo experimental

Hora (hrs)	G	T α	Tt °C	Tc °C	Tp °C	Ta °C
09:00	100	22	20.5	22.1	29.3	23.2
10:00	180	21.8	21.7	21.9	36.5	30.2
11:00	290	23.3	23.9	24	47	35
12:00	380	23.5	24.5	24.6	56.1	43.5
13:00	430	25	25	25.3	58.5	44.2
14:00	410	25.6	25.1	25.8	57.3	46.6
15:00	350	25	25.6	26	53.4	39.7
16:00	240	24	24.2	24.5	44.3	34.2
17:00	180	22.8	23.8	23	38.1	29.2

Tabla 2. Comportamiento térmico del sistema (modelo analítico)

Hora (hrs)	G	T α	Tt °C	Tc °C	Tp °C	Ta °C
09:00	100	22	20.5	20.52	27.27	26.11
10:00	180	21.8	21.7	21.963	34.78	27.28
11:00	290	23.3	23.9	23.796	44.37	34.27
12:00	380	23.5	24.5	24.33	51.11	37.41
13:00	430	25	25	24.79	56.23	40.2
14:00	410	25.6	25.1	25.98	55.38	39.47
15:00	350	25	25.6	25.46	50.43	37.69
16:00	240	24	24.2	24.42	41.44	32.98
17:00	180	22.8	23.8	23.76	35.88	29.86

Figura 1.30 Gráfico de comparación de resultados del modelo experimental y el analítico. Fuente: Hernández (2009).

Comparisons of optimal spacing (cm) for test sections without RBL

	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 60^\circ$
Present study	6.56	7.5	8.56
Eq. (16) by Morrone et al. [8]	6.32	6.66	7.1
Sum of thermal boundary layers	7.25	7.63	8.62

Figura 1.31 Gráfico de dimensiones optimas entre autores. Fuente: Chi-ming (2007).

El modelo utilizado por el equipo de Hernández fue con una pendiente de 30° con un espaciamiento entre las dos cubiertas de 5 cm. y una superficie de 2.40 m^2 (figura 1.32). En comparativa el modelo del equipo de Chi-ming los cuales buscaron la máxima eficiencia del sistema, realizaron mediciones con pendientes de 30° , 45° y 60° ; un espaciamiento entre los techos de 5.0cm., 6.56 cm., 7.5 cm. y 8.56 cm. consecutivamente, una superficie de 0.80 m^2 y la adición de la barrera radiante que disminuye aún más la entrada del calor en el techo inferior, encontrando así que el techo escudo es más eficiente entre mayor sea la velocidad del flujo del calor ventilado (figura 1.33). Por su parte, Morales, (1993). midió el techo escudo en uno de los cubículos del Laboratorio de Energía Solar del IIM-UNAM en Temixco, dicha investigación fue planteada por medio del modelo analítico y experimental, al momento de realizar las mediciones de campo, llevo a cabo el monitoreo de un techo hueco, con el sistema constructivo de vigueta y bovedilla el cual poseía una inclinación de $9^\circ 35'$, con orientación Norte-Sur, al sur la parte más baja del techo y al norte la parte más alta de este. Dicha elección del sistema constructivo fue debido al objetivo general que se tenía planteado, donde el sistema de descarga de calor debía ser para clima cálido, usar los materiales y mano de obra disponibles en el mercado local, lo cual, a diferencia de los otros autores citados, genera un diálogo con el entorno donde se inserta el experimento (figura 1.34).

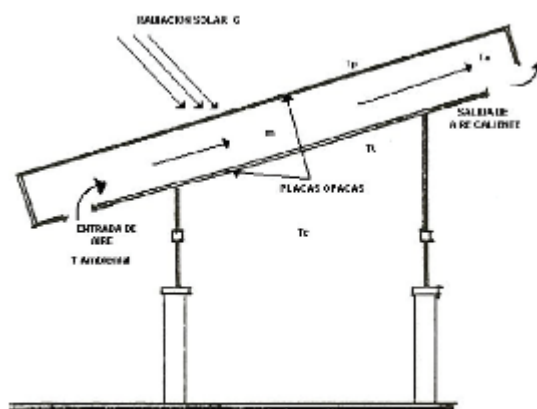


Figura 1. Sistema de descarga de calor en techos formado por dos superficies opacas

Figura 1.32 Gráfico del modelo experimental. Fuente: Hernández (2009).

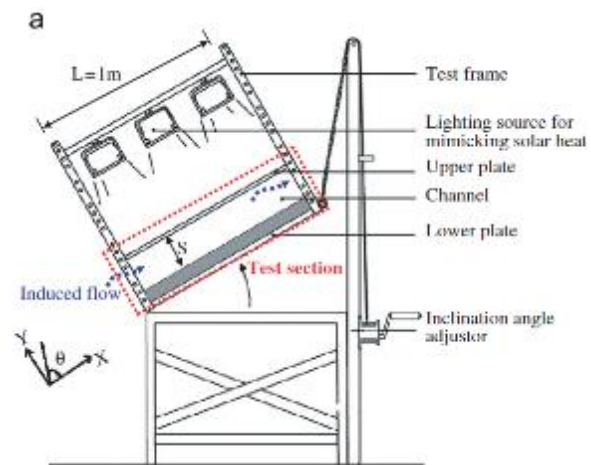


Figura 1.33 Gráfico del modelo experimental. Fuente: Chi-ming (2007).

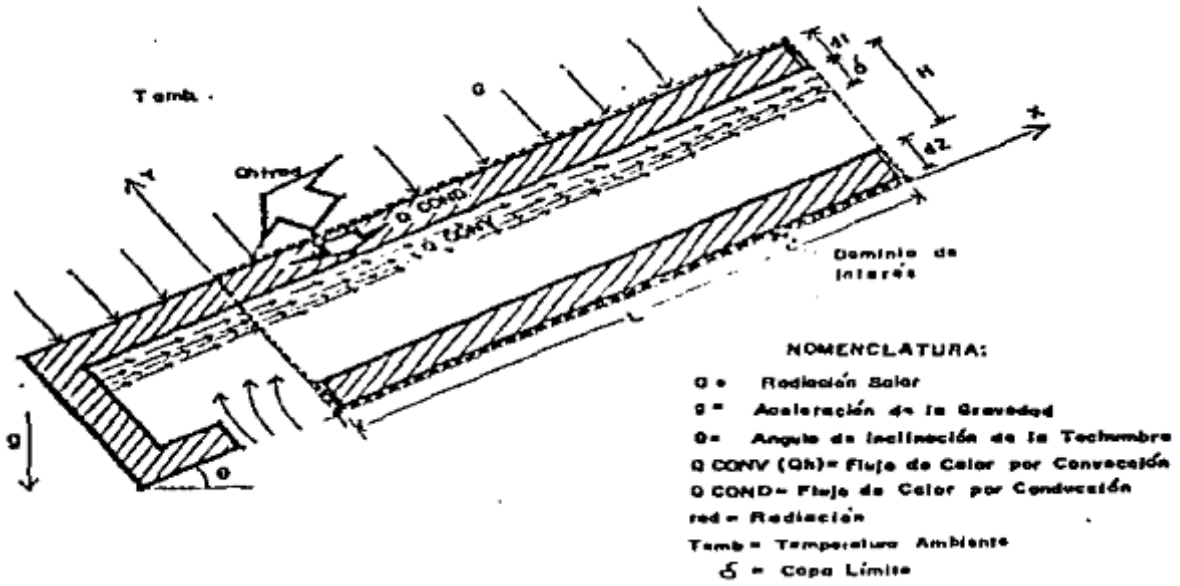


Figura 1.34 Gráfico del funcionamiento del techo escudo. Fuente: Morales (1993).

Capítulo II:
Estrategia de investigación

2.1 Metodología.

Esta investigación contempla cuatro parámetros de suma importancia para el cumplimiento de los objetivos específicos que se consideran ejes rectores para alcanzar el objetivo general. A continuación, en el mapa conceptual de la figura 1.35 se ejemplifica la metodología sugerida para este experimento.

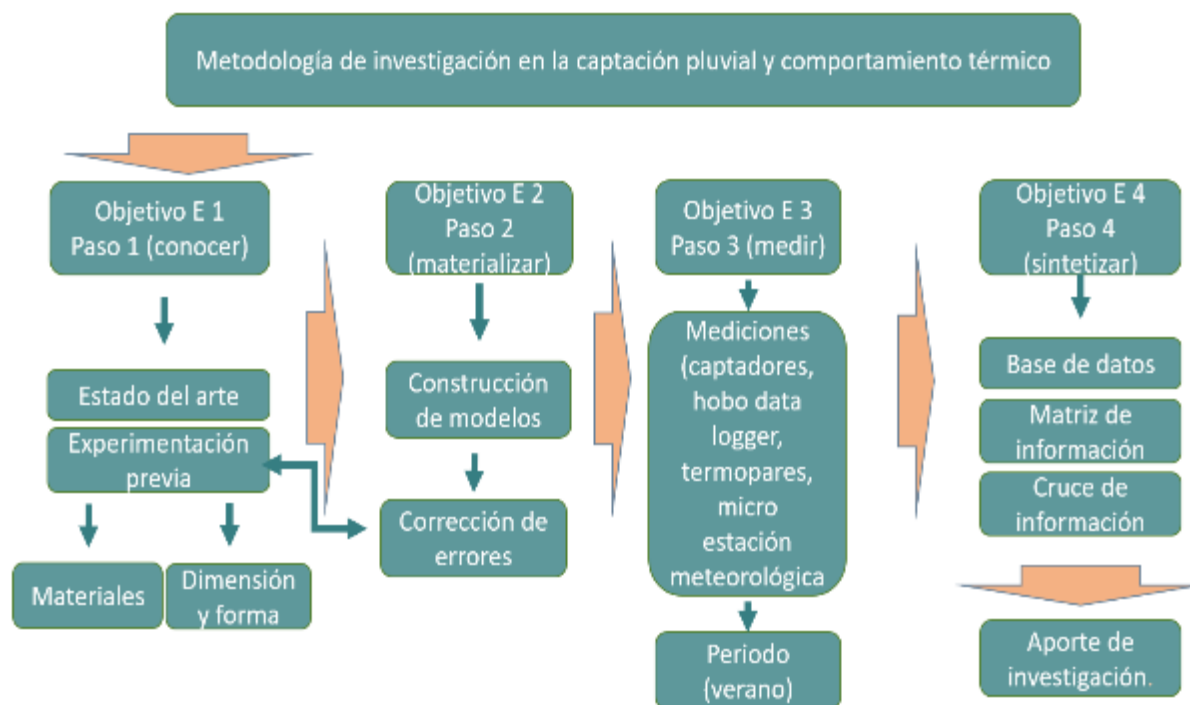


Figura 1.35 Mapa mental de metodología. Elaboración propia.

Para conseguir el paso 1 de esta investigación se realiza la identificación pertinente de ejemplos de experimentos y mediciones en términos de captación pluvial y comportamiento térmico del techo escudo lo que permite dar sustento al diseño del experimento realizado en este estudio, reflexionando así, sus materiales, dimensiones y características óptimas para los modelos.

Para el paso 2 se materializa el diseño de los modelos, además se realizan pruebas iniciales para conocer su funcionamiento y conocer posibles errores futuros, de encontrar alguno, este será corregido.

A continuación, se ejemplifican los tres modelos diseñados para esta investigación, mismos que fueron orientados en el eje Norte - Sur con la parte más alta de la techumbre hacia el norte, y se posicionaron equidistantemente en el eje Oriente – Poniente a una distancia de separación entre ellos de 1.50 m. Se consideró utilizar en los extremos laterales muros con la misma altura, dimensión y forma de los modelos para eliminar la variable de sombreado en las superficies de los muros, tal como ejemplifica la figura 1.36-A.

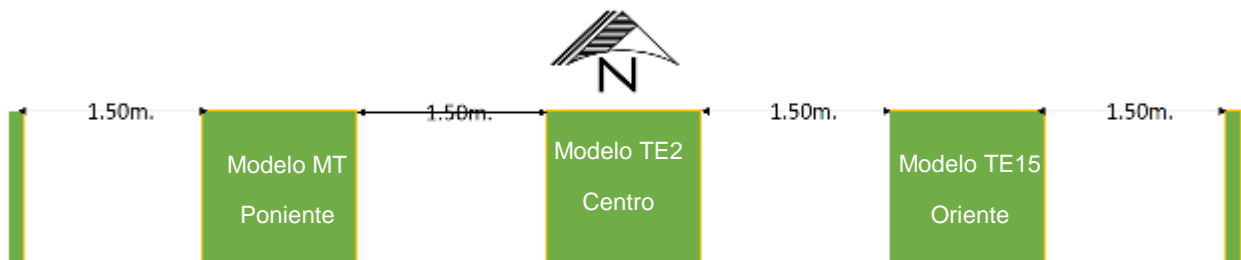


Figura 1.36-A Gráfico de ejemplificación del acomodo de los modelos. Elaboración propia.

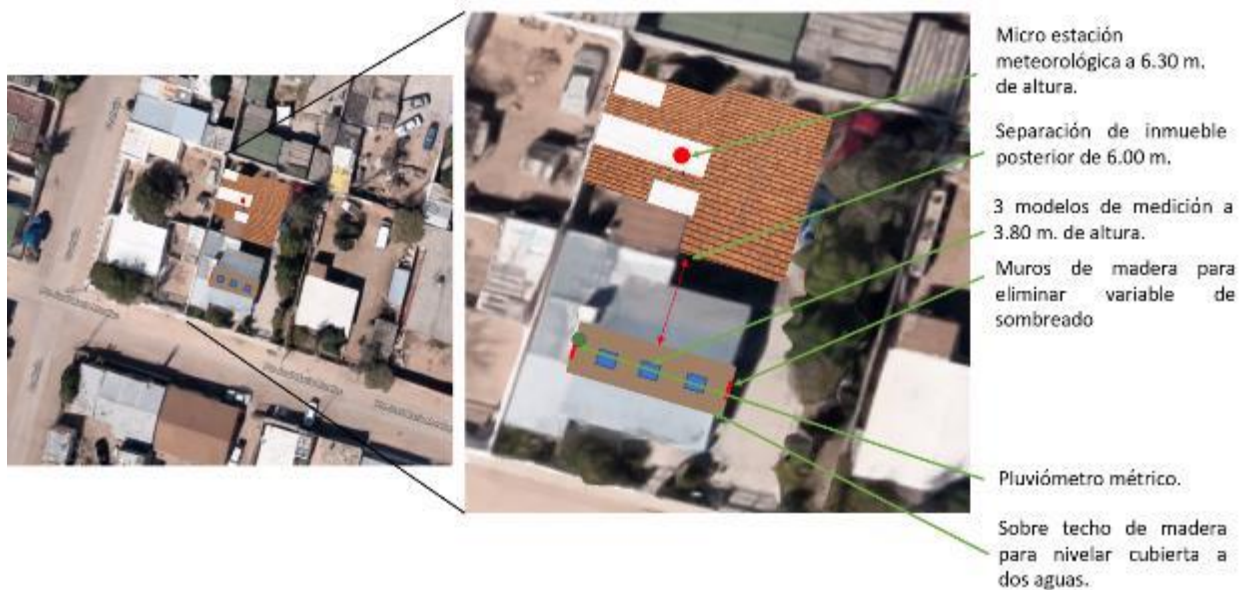


Figura 1.36-B Gráfico de ejemplificación del acomodo de los modelos. Elaboración propia.

CARACTERIZACIÓN DE LOS MODELOS EXPERIMENTALES			
CARACTERÍSTICAS	MODELO TE15	MODELO TE2	MODELO MT
PENDIENTE	15 GRADOS Y 10 % (AJUSTABLE)	2 PORCIENTO (%)	2 PORCIENTO (%)
TIPO DE LOSA	DE CONCRETO CON 12 CM. DE PERALTE Y SOBLETECHO DE LAMINA GALVANIZADA CON ESPACIAMIENTO DE VENTILACIÓN DE 5 CM.	DE CONCRETO CON 12 CM. DE PERALTE Y SOBLETECHO DE LAMINA GALVANIZADA CON ESPACIAMIENTO DE VENTILACIÓN DE 5 CM.	DE CONCRETO CON 12 CM. DE PERALTE
IMPERMEABILIZANTE	ASFÁLTICO MINERALIZADO	ASFÁLTICO MINERALIZADO	ASFÁLTICO MINERALIZADO
LOCALIZACIÓN CON RESPECTO A PUNTOS CARDINALES	ORIENTE	CENTRO	PONIENTE
MATERIALES DE MUROS Y ESTRUCTURA	PLACA DE POLIESTIRENO DE 2" DE ESPESOR Y DENSIDAD DE 24 KG. Y MADERA	PLACA DE POLIESTIRENO DE 2" DE ESPESOR Y DENSIDAD DE 24 KG. Y MADERA	PLACA DE POLIESTIRENO DE 2" DE ESPESOR Y DENSIDAD DE 24 KG. Y MADERA
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO CAPTADORES PLUVIALES	45 LITROS	45 LITROS	45 LITROS
VOLUMEN MEDIDO DEL INTERIOR DEL MODELO.	0.79 M ³	0.79 M ³	0.79 M ³

Figura 1.37 Gráfico de la caracterización de los modelos experimentales. Elaboración propia.

Descripción de los modelos

El modelo testigo ó MT (figura 1.38), cuenta con una losa de concreto armado con un peralte de 12 cm. un recubrimiento de impermeabilizante asfáltico, una estructura de madera que forma un espacio volumétrico de 1 m³ debido a que la superficie de techumbre mide 1 m² ya que esta unidad de medida es utilizada nacional e internacionalmente para la cosecha de lluvia, la estructura anteriormente mencionada es recubierta con placa de poliestireno de 2" de espesor con una densidad de 24 kg y por último cuenta con un sistema de captación a base de un canal de PVC a media caña de 4" de diámetro, tubería de PVC que conduce las escorrentías hasta el almacenamiento de lluvia con una capacidad máxima de 45 litros.

MODELO TESTIGO DENOMINADO MT

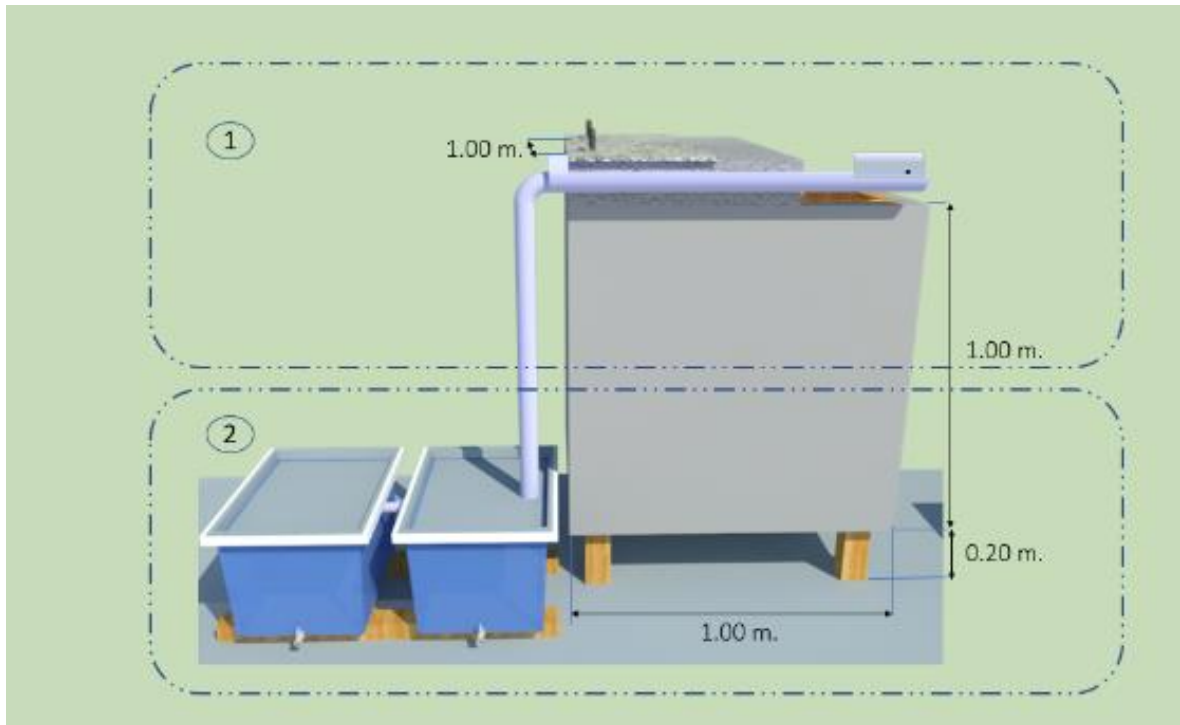


Figura 1.38-A. Gráfico del modelo testigo 3 poniente. Elaboración propia.

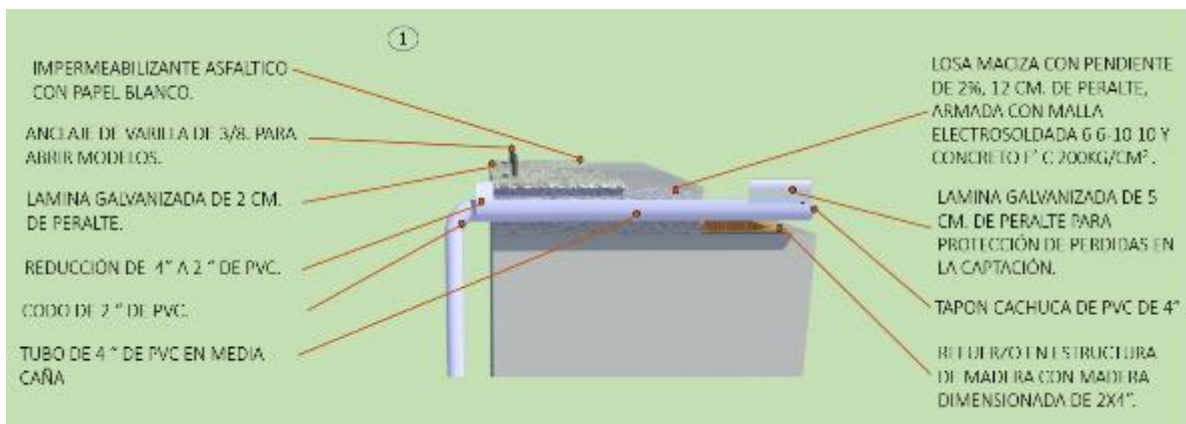


Figura 1.38-B. Gráfico del modelo testigo 3 poniente. Elaboración propia.

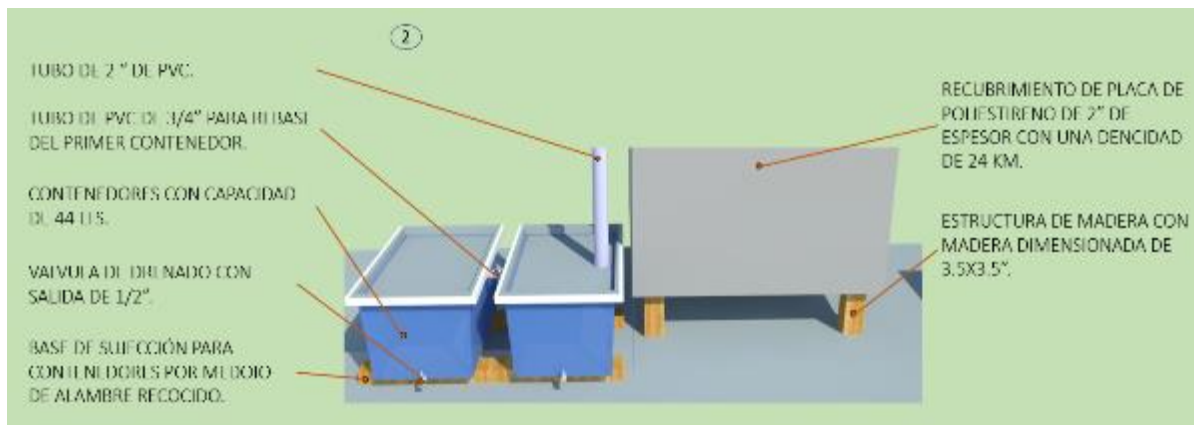


Figura 1.38-C. Gráfico del modelo testigo 3 poniente. Elaboración propia.

El modelo con techo escudo y pendiente del 2% ó TE2 (figura 1.39), tiene una losa de concreto armado con un peralte de 12 cm. un recubrimiento de impermeabilizante asfáltico, una estructura de madera que forma un espacio volumétrico de 1 m^3 , recubierta con placa de poliestireno de 2" de espesor con una densidad de 24 kg, un sistema de captación a base de un canal de PVC a media caña de 4" de diámetro, tubería de PVC que conduce las escorrentías hasta el almacenamiento de lluvia con una capacidad máxima de 45 litros y la adición del techo escudo a base de lámina galvanizada con una pendiente de 2% laterales cubiertos y únicamente un acceso y salida de ventilación de 5 cm. en la cara Norte y Sur.

MODELO CON TECHO ESCUDO Y PENDIENTE AL 2% DENOMINADO TE2

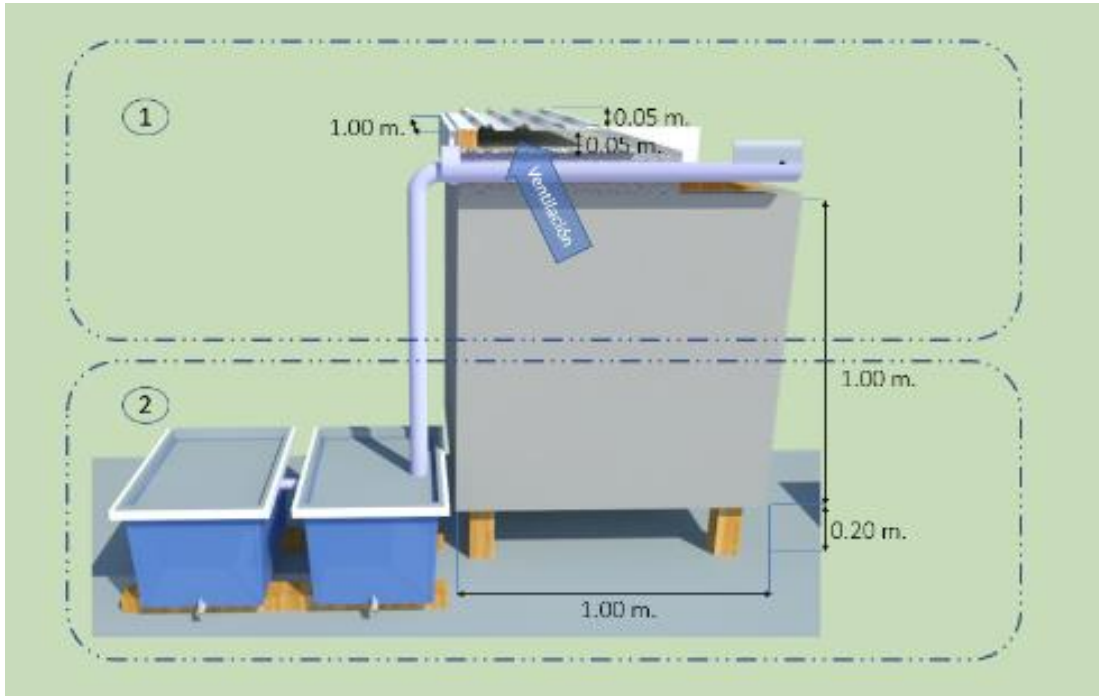


Figura 1.39-A. Gráfico del modelo 2 centro. Elaboración propia.

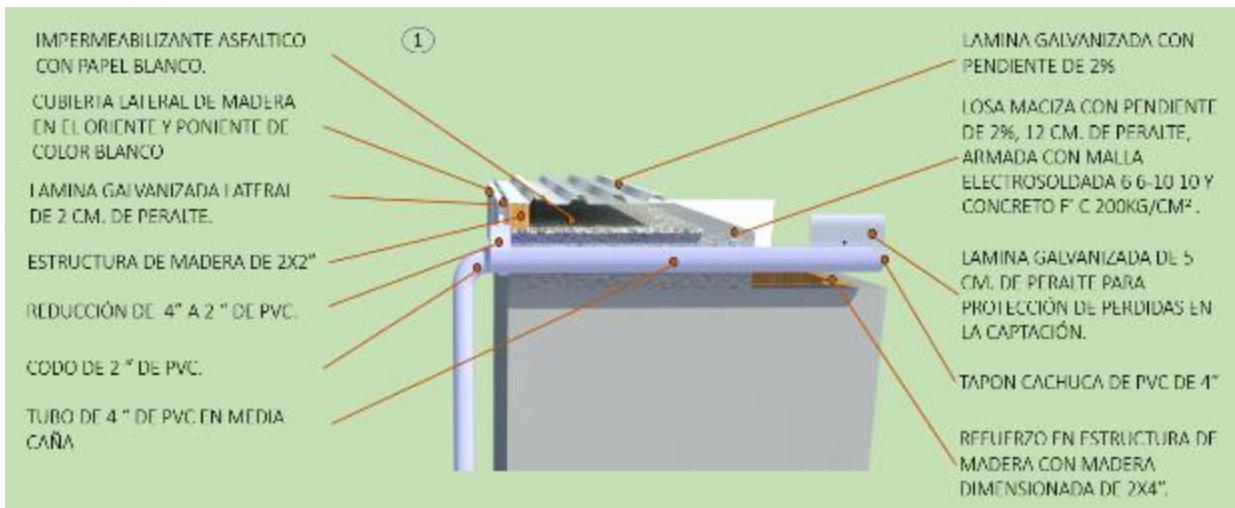


Figura 1.39-B. Gráfico del modelo 2 centro. Elaboración propia.

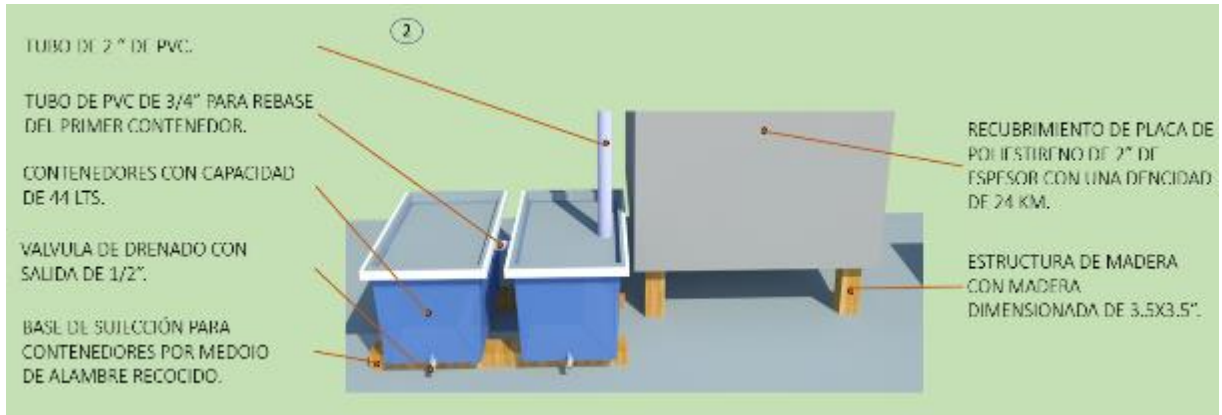


Figura 1.39-C Gráfico del modelo 2 centro. Elaboración propia.

El modelo con techo escudo y pendiente de 15 ° ó TE15 (figura 1.40), se diseñó la estructura, sistema de almacenamiento, captación, losa, y muros. Igual que el modelo MT y el Modelo TE2. Con la única diferencia de, que el sistema de descarga de calor a base de lámina galvanizada sobre la losa de concreto armado, tiene una pendiente variable de 10% y 15 °, sumado a laterales cubiertos y únicamente un acceso y salida de ventilación de 5 cm. en la cara Norte y Sur.

MODELO CON TECHO ESCUDO Y PENDIENTE AL 15% DENOMINADO TE15

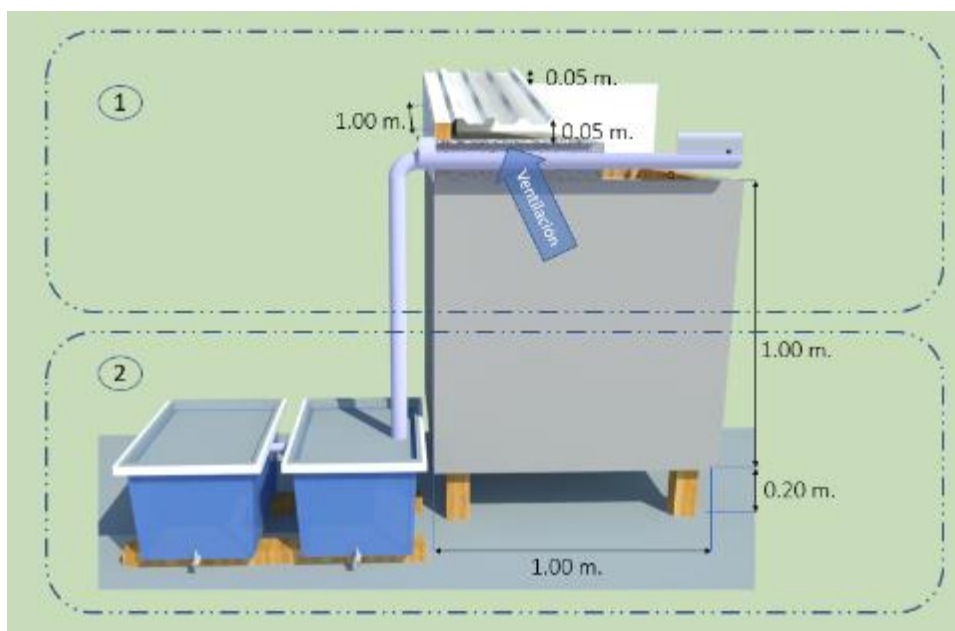


Figura 1.40-A. Gráfico del modelo 1 oriente. Elaboración propia.

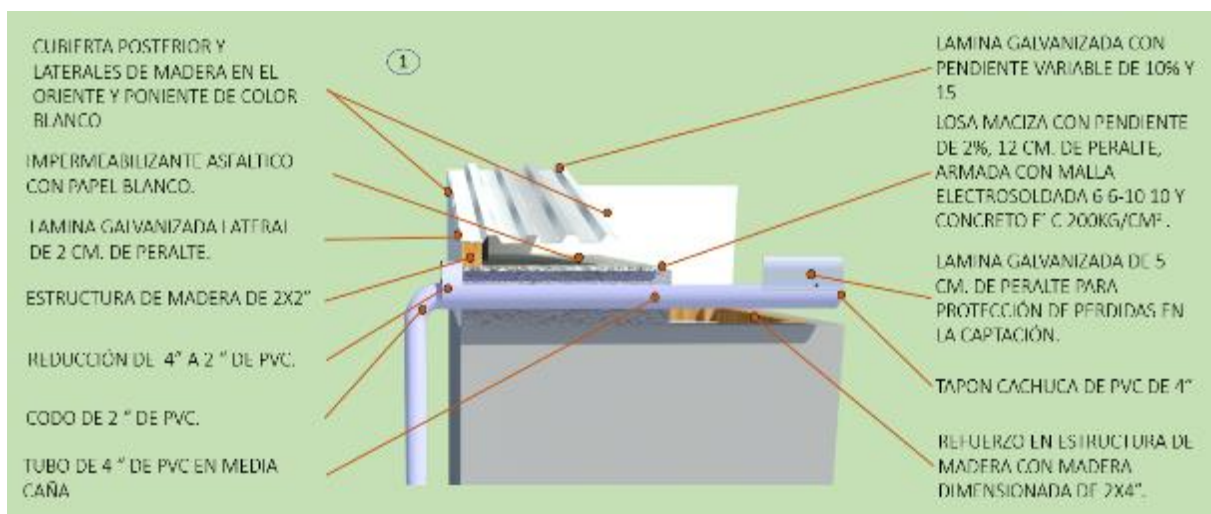


Figura 1.40-B. Gráfico del modelo 1 oriente. Elaboración propia.

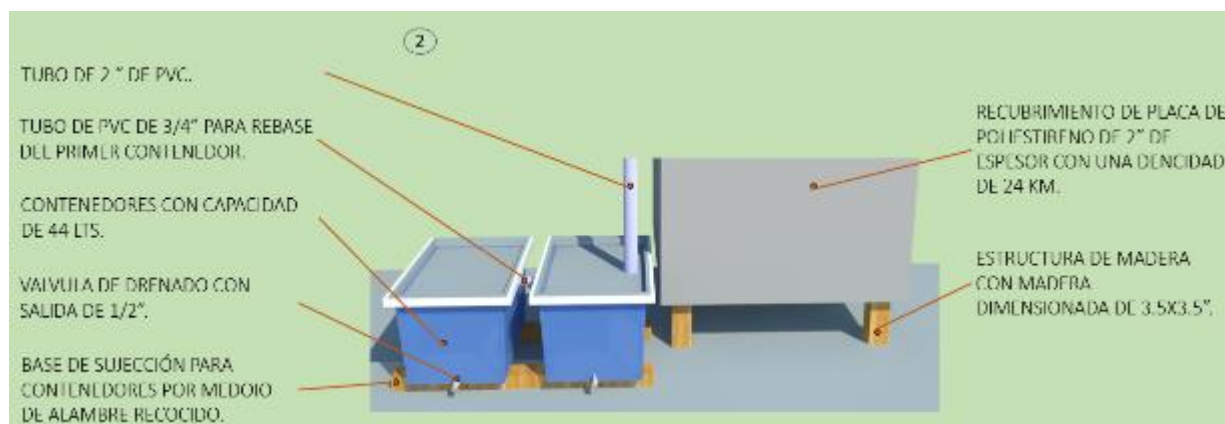


Figura 1.40-C. Gráfico del modelo 1 oriente. Elaboración propia.

Con todo lo anteriormente explicado para realizar el paso 3, una vez ya construidos los modelos, se da inicio la medición, donde la captación pluvial requiere que los almacenadores de agua de lluvia sean graduados litro por litro para eliminar cualquier variación por algún desnivel. Para la medición de temperatura se colocan hobs tipo data logger dentro de los modelos aunado a termopares para medir la temperatura superficial de las cubiertas, para monitorear el clima se utiliza una micro estación meteorológica para conocer la temperatura, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento y su dirección.

Por último, el paso 4 plantea agrupar dicha información obtenida de las mediciones y generar una base de datos donde se pueda construir una matriz de información que permita una reflexión y comparar el comportamiento térmico y la captación pluvial de cada uno de los modelos con el exterior.

2.2 Diseño del experimento

Para comparar el funcionamiento del sistema tradicional de captación pluvial en contraposición al sistema de cosecha de agua de lluvia combinado con el techo

escudo, se consideraron dos parámetros para ver las diferencias de dichos sistemas.

1.- La cantidad de agua de lluvia captada durante un periodo de 24 horas en un metro cuadrado de la cubierta.

2.- El comportamiento térmico en el interior de los modelos experimentales.

Para poder llevar a cabo lo anterior fue necesario diseñar un prototipo en el que se pudieran considerar estas dos características y con ello realizar las mediciones pertinentes y posteriormente analizar la información recabada en campo, para comparar y validar cuál de los tres modelos de cubiertas es más óptimo para su implementación en Ciudad Juárez en términos de captación pluvial y beneficio térmico.

El diseño del experimento tuvo las siguientes etapas:

1. Diseño de modelos experimentales:

- Primero se realizó una investigación en base a autores en bibliografía relacionada o referente al estudio de la captación pluvial y el techo escudo por separado, para comprender el funcionamiento de ambos sistemas y entender cómo sería medido el comportamiento de ambos.

2. Diseño del procedimiento de medición:

- Selección de equipo: Equipos de registro de temperatura, humedad relativa, dirección y velocidad del viento, radiación solar y almacenamiento de agua de lluvia.
- Selección de periodos de medición.

3. Estudio de campo:

- Calibración de equipos: equipos de registro de temperatura, precipitación y humedad relativa.
- Selección del sitio de experimentación: vivienda particular por la factibilidad de acceso las 24 horas del día. (Colonia Salvarcar en Cd. Juárez, Chihuahua).
- Acopio de información.

4. Análisis de resultados

- Software para el procesamiento de datos: Excel.
- Matriz de información.

5. Conclusiones y recomendaciones

2.3 Periodos de medición.

La etapa de experimentación se realizó en un periodo que abarcan dos años, con la finalidad de tener un mayor acopio de información y poder generar una investigación con mayor sustento:

- El verano del año 2017 que comprende los meses de julio, agosto y septiembre, se considera por tener las temperaturas más altas del año además de ser los meses más críticos por radiación solar en la localidad de ciudad Juárez, pero sobre todo porque son los meses con mayor precipitación pluvial.

- El verano del año 2018 que comprende los meses de julio, agosto, septiembre y octubre

Durante los dos periodos se consideraron tres meses de recolección de datos (julio, agosto y septiembre), sin embargo, en el año 2018 la precipitación pluvial fue monitoreada hasta el mes de octubre, debido a que, en los meses de julio y agosto, existieron muy pocos días con lluvia mermando así la base de datos por ello se decidió ampliar la temporada un mes.

2.4 Equipos de medición.

Para un acopio de información confiable se llevó a cabo la calibración en los equipos de medición. Los data loggers marca ONSET tipo HOBO modelo U12-012, que miden la temperatura del aire y humedad relativa, sumado a sensores de cable modelo TMC6-HD para medir la temperatura superficial en las cubiertas. Estos se colocaron dentro de una hielera durante tres días para que tuviesen las mismas condiciones, después se descargaron las lecturas y se correlacionaron para obtener la fórmula de ajuste en caso de ser necesario, en el caso particular de estos equipos de medición se encontró que no requerían ningún ajuste. (figura 1.41).

Para el monitoreo del clima exterior (temperatura de bulbo seco, humedad relativa, radiación solar, velocidad, dirección del viento y precipitación pluvial) se utilizó un equipo de estación meteorológica marca ONSET con un pluviómetro modelo S-RGB-M002, un anemómetro modelo S-WSB-M0003, un piranómetro modelo S-LIB-M003 y un escudo de radiación solar con sensor de temperatura de bulbo seco y humedad relativa modelo RS3-B. (figura 1.42).

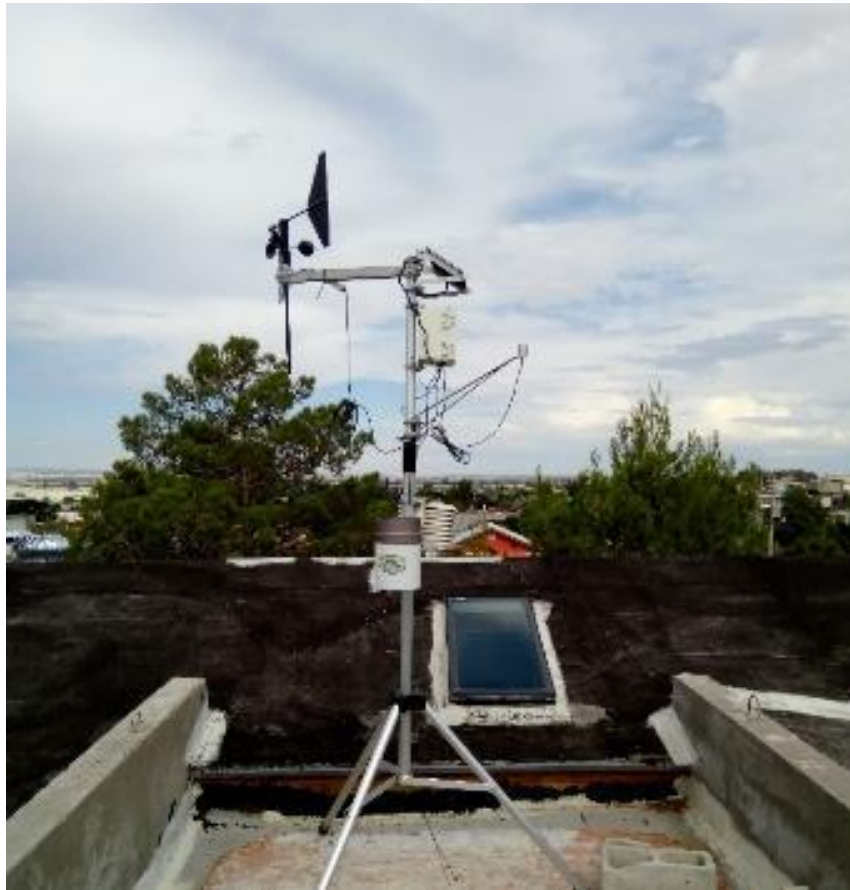


Figura 1.41. Fotografía del proceso de calibración de los hobos tipo data logger.
Fuente: Imagen propia.



Figura 1.42. Fotografía del equipo de estación meteorológica
Fuente: Imagen propia.

Capítulo III:
Análisis de Resultados

3.1 Resultados 2017

Resultados captación pluvial (2017).

El experimento realizado en la temporada de verano del año 2017 contemplo los meses de julio, agosto y septiembre, midiendo la captación de lluvia con 3 modelos experimentales, nombrando “modelo TE15” al cual tiene un techo escudo con pendiente variable de 10% y 15°, “modelo TE2” tiene un techo escudo con pendiente de 2% sin posibilidad de cambiar dicha inclinación y por último el “modelo MT” presenta una cubierta únicamente con impermeabilizante asfáltico.

La medición de julio no fue el mes entero ya que el experimento se previó que diera inicio el periodo de medición en el mes de agosto, pero como se terminó la realización de los prototipos de medición a mediados de julio, se consideró ampliar los días de medición para tener un mayor número de datos para la investigación. Por lo anterior el día 18 de julio dio inicio la medición de la temperatura interior de los modelos experimentales y la captación pluvial.

En la figura 1.43 y 1.44 se puede observar que, en el mes de julio, el modelo TE15 en promedio captó 21.94% más lluvia que el modelo TE2 y 31.03% más que el modelo MT. Se identificó que, el día con más precipitación pluvial fue el día 21 de julio con 16.20 mm. registrados y el modelo con mayor captación fue el modelo TE15 con 14 litros, seguido del modelo TE2 con 10.35 litros y por último el modelo MT con 8.52 litros. Comparando el modelo TE15 con el modelo TE2 existe una diferencia de 5.48 litros o 39.14%.

CAPTACIÓN PLUVIAL EN MODELOS EXPERIMENTALES EL MES DE JULIO 2017							
DÍA	MODELO TE15 (ORIENTE) 15° - 10 %	MODELO TE2 (CENTRO) 2%	MODELO MT (PONIENTE) 2%	CAPTACIÓN EN PLUVIÓMETRO	CAP. MAYOR	CAP. INTERMEDIA	CAP. MENOR
21	14.0 LTS.	10.35 LTS.	8.52 LTS.	16.20 LTS.	M. TE15	M. TE2	M. MT
23	0.45 LTS.	0.49 LTS.	0.17 LTS.	0.20 LTS.	M. TE2	M. TE15	M. MT
24	0.12 LTS.	0.07 LTS.	0.00 LTS.	0.00 LTS.	M. TE15	M. TE2	M. MT
27	3.0 LTS.	2.47 LTS.	2.12 LTS.	2.60 LTS.	M. TE15	M. TE2	M. MT
29	4.80 LTS.	3.22 LTS.	3.42 LTS.	3.80 LTS.	M. TE15	M. MT	M. TE2
31	8.25 LTS.	7.30 LTS.	6.88 LTS.	4.60 LTS.	M. TE15	M. TE2	M. MT

Figura 1.43 Tabla de captación pluvial del mes de julio. Elaboración propia.

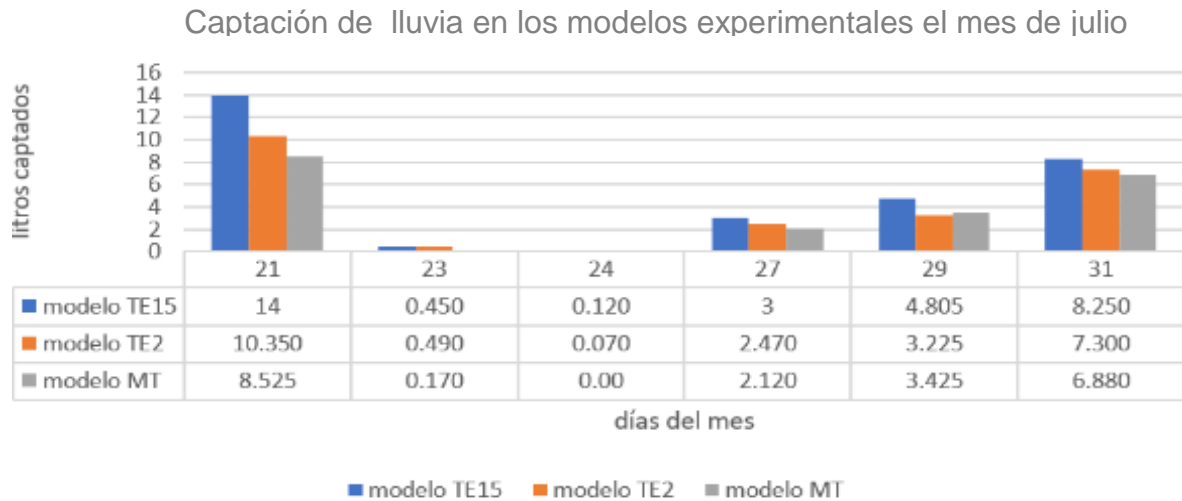


Figura 1.44 Gráfica de captación pluvial del mes de julio. Elaboración propia.

La captación pluvial del mes agosto se consideró el mes completo, tal como se había planificado. En la figura 1.45 y 1.46 se puede observar que, en agosto, el modelo TE15 en promedio captó 21.94% más lluvia que el modelo TE2 y 31.03% más que el modelo MT. El día con mayor precipitación pluvial fue el 15 de agosto, con 29 mm. registrados, de los cuales el modelo TE15 captó 24.25 litros, el modelo TE2 17.65 litros y el modelo MT 19.67. Se puede resumir que en comparativa el modelo TE15 captó 4.58 litros más que el modelo MT ó 18.88 % más.

CAPTACIÓN PLUVIAL EN MODELOS EXPERIMENTALES EL MES DE AGOSTO 2017							
DÍA	MODELO TE15 (ORIENTE) 15° - 10 %	MODELO TE2 (CENTRO) 2%	MODELO MT (PONIENTE) 2%	PLUVIÓMETRO	CAP. MAYOR	CAP. INTERMEDIA	CAP. MENOR
1	5.90 LTS.	4.43 LTS.	4.42 LTS.	6.40 LTS.	M. TE15	M. TE2	M. MT
5	1.31 LTS.	1.17 LTS.	0.69 LTS.	1.00 LTS.	M. TE15	M. TE2	M. MT
7	0.47 LTS.	0.98 LTS.	0.25 LTS.	0.40 LTS.	M. TE15	M. TE2	M. MT
11	1.37 LTS.	1.47 LTS.	1.07 LTS.	1.00 LTS.	M. TE2	M. TE15	M. MT
12	2.00 LTS.	2.00 LTS.	0.71 LTS.	1.20 LTS.	TE15	TE2	M. MT
14	3.60 LTS.	2.71 LTS.	3.00 LTS.	1.20 LTS.	M. TE15	M. MT	M. TE2
15	24.25 LTS.	17.65 LTS.	19.67 LTS.	29.00 LTS.	M. TE15	M. MT	M. TE2
20	8.35 LTS.	6.20 LTS.	7.00 LTS.	5.80 LTS.	M. TE15	M. MT	M. TE2
21	5.45 LTS.	3.67 LTS.	4.00 LTS.	4.40 LTS.	M. TE15	M. MT	M. TE2
24	2.40 LTS.	2.27 LTS.	1.96 LTS.	1.60 LTS.	M. TE15	M. TE2	M. MT

Figura 1.45 Tabla de la captación pluvial del mes de agosto. Elaboración propia.

Captación de lluvia en los modelos experimentales el mes de agosto

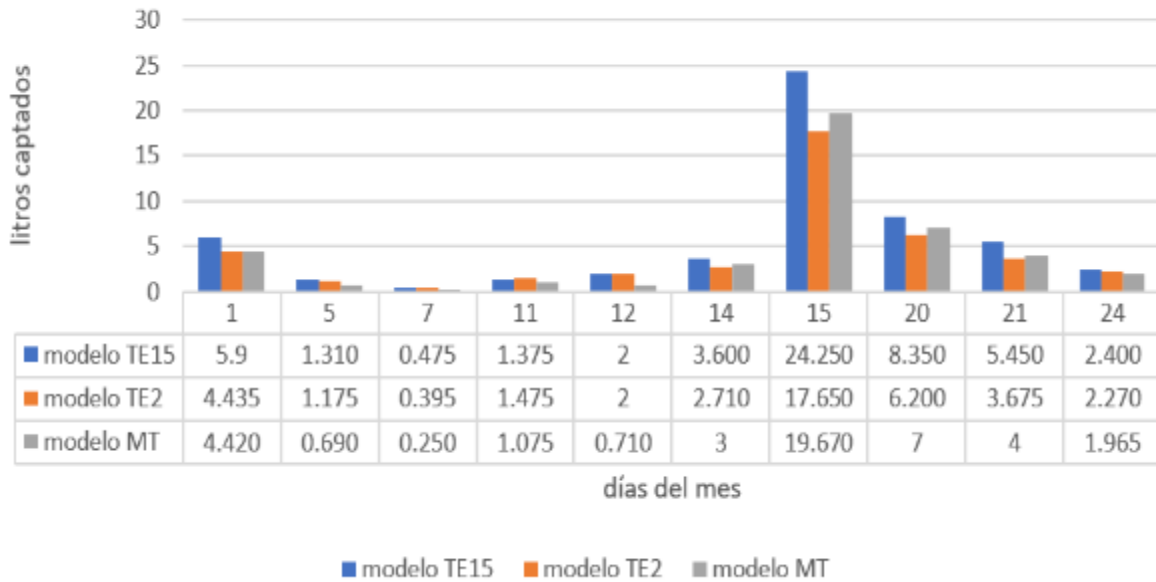


Figura 1.46 Gráfica de la captación pluvial del mes de agosto. Elaboración propia.

En la figura 1.47 se evidencia como en el periodo de medición por hora del 1 de agosto, la precipitación en el inicio cuando fue torrencial, el modelo que más captó fue el modelo TE15 pero cuando la lluvia fue poco intensa los tres modelos tuvieron una captación con muy poca diferencia. Por ejemplo, de las 12:00 a 1:00 am el modelo TE15 captó 28.5% más que los demás modelos, pero de la 1:00 a 2:00 am captó solo 10% más y de 4:00 a 5:00 am no hubo diferencia alguna, llegaron a captar lo mismo.

Captación de lluvia en los modelos experimentales el día 1 de

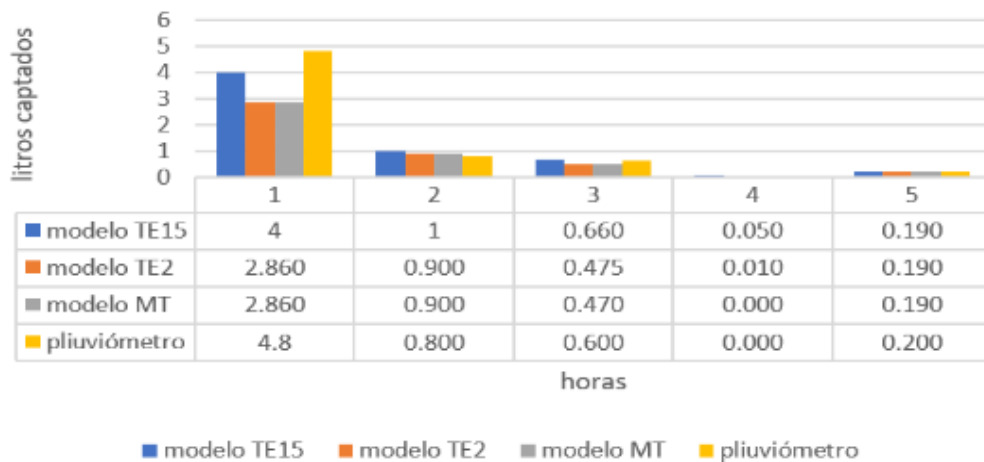


Figura 1.47 Gráfica de captación pluvial del día 1 de agosto por hora. Elaboración propia.

En la figura 1.48 se ejemplifica como la captación pluvial varía entre los tres modelos experimentales, dependiendo de la intensidad y la cantidad lluvia precipitada, con ello se expresa el rango de diferencia de la lluvia cosechada. Por ejemplo, se observó que, en la mayoría de los días, la precipitación no sobrepasaba los 3 mm. la diferencia de captación entre los tres modelos no rebasaba 1 litro. A diferencia de cuando la precipitación pasaba los 3 mm. y no excedía los 5 mm, existía una diferencia de 1 a 2 litros. Cuando se excede el rango de 5 mm de lluvia las diferencias entre los tres modelos eran mayores a 2 litros de lluvia. Por ejemplo, el día 21 de agosto se registró una precipitación de 16.2 mm., con esto se observó una diferencia entre el modelo TE15 con respecto al TE2 de 3.65 litros, mientras que el modelo TE2 tuvo una variación de 1.82 litros en comparación al modelo MT y por último el modelo MT con respecto al modelo TE15 fueron 5.47 litros.

DIFERENCIA DE CAPTACIÓN PLUVIAL ENTRE LOS TRES MODELOS EXPERIMENTALES EN EL MES DE JULIO				
DÍA DEL MES DE JULIO	DIFERENCIA M. TE15 – MODELO TE2	DIFERENCIA M. TE2 – MODELO MT	DIFERENCIA M. MT – MODELO TE15	LLUVIA TOTAL CAPTADA EN PLUVIOMETRO
21	3.65 LTS.	1.825 LTS.	5.475 LTS.	16.200 LTS.
23	0.040 LTS.	0.32 LTS.	0.28 LTS.	0.200 LTS.
24	0.05 LTS.	0.07 LTS.	0.12 LTS.	0.000 LTS.
27	0.53 LTS.	0.35 LTS.	0.88 LTS.	2.600 LTS.
29	1.58 LTS.	0.2 LTS.	1.38 LTS.	3.800 LTS.
31	0.95 LTS.	0.42 LTS.	1.37 LTS.	4.600 LTS.
DIFERENCIA DE CAPTACIÓN PLUVIAL ENTRE LOS TRES MODELOS EXPERIMENTALES EN EL MES DE AGOSTO				
DÍA DEL MES DE AGOSTO	DIFERENCIA M. TE15 – MODELO TE2	DIFERENCIA M. TE2 – MODELO MT	DIFERENCIA M. MT – MODELO TE15	LLUVIA TOTAL CAPTADA EN PLUVIOMETRO
1	1.465 LTS.	0.015 LTS.	1.48 LTS.	6.400 LTS.
5	0.135 LTS.	0.485 LTS.	0.62 LTS.	1.000 LTS.
7	0.08 LTS.	0.145 LTS.	0.225 LTS.	0.400 LTS.
11	0.1 LTS.	0.4 LTS.	0.3 LTS.	1.000 LTS.
12	0 LTS.	1.29 LTS.	1.29 LTS.	1.200 LTS.
14	0.89 LTS.	0.290 LTS.	0.6 LTS.	1.200 LTS.
15	6.6 LTS.	2.020 LTS.	4.58 LTS.	29.000 LTS.
20	2.15 LTS.	0.800 LTS.	1.35 LTS.	5.800 LTS.
21	1.775 LTS.	0.325 LTS.	1.45 LTS.	4.400 LTS.
24	0.13 LTS.	0.305 LTS.	0.435 LTS.	1.600 LTS.
DIFERENCIA DE CAPTACIÓN PLUVIAL ENTRE LOS TRES MODELOS EXPERIMENTALES EN EL MES DE SEPTIEMBRE				
DÍA DEL MES DE AGOSTO	DIFERENCIA M. TE15 – MODELO TE2	DIFERENCIA M. TE2 – MODELO MT	DIFERENCIA M. MT – MODELO TE15	LLUVIA TOTAL CAPTADA EN PLUVIOMETRO
26	0.025 LTS.	0.225 LTS.	0.25 LTS.	0.400 LTS.
27	3.75 LTS.	1.350 LTS.	2.4 LTS.	15.000 LTS.
28	0.025 LTS.	0.225 LTS.	0.25 LTS.	0.600 LTS.

DIFERENCIA DE 0.00 LTS A 1.00 LTS.

DIFERENCIA DE 1.00 LTS A 2.00 LTS.

DIFERENCIA MAYOR A 2.00 LTS.

Figura 1.48 Tabla comparativa de diferencia en captación pluvial en el periodo de medición de verano 2017. Elaboración propia.

Resultados comportamiento térmico (2017).

Las mediciones de temperatura realizadas en la temporada de verano del año 2017 contemplaron los meses de julio, agosto y septiembre, midiendo la temperatura exterior, temperatura interior de los modelos, humedad relativa interior y exterior, así como las temperaturas superficiales de las cubiertas de lámina galvanizada y las cubiertas con impermeabilizante asfáltico. El día 26 de julio se pudo observar que: en relación a la temperatura interior de los tres modelos, el modelo MT tuvo un incremento de temperatura mayor a 10 grados centígrados en las horas críticas de la tarde, en comparación con el modelo TE15 tal como ejemplifica la figura 1.49.

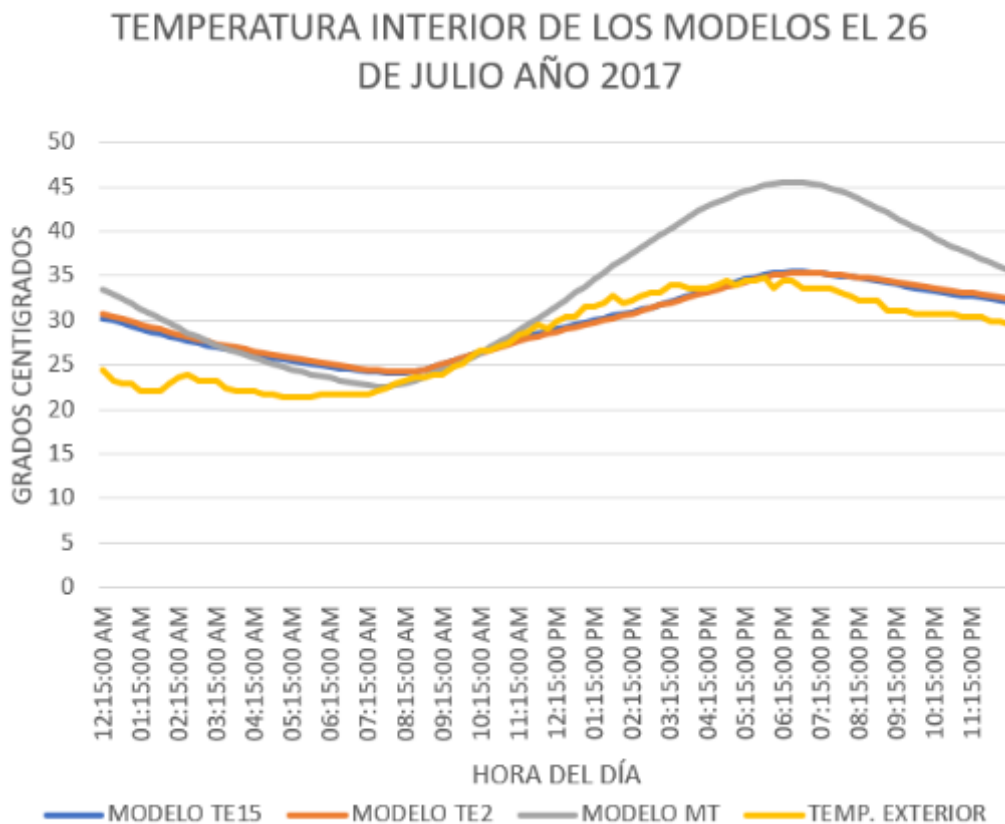


Figura 1.49 Gráfica de temperatura interior de los modelos el 26 de julio 2017. Elaboración propia.

También se observa en la gráfica, que en la madrugada la temperatura va descendiendo en los tres modelos de una manera similar, incluso el modelo MT llega a tener una temperatura interior menor que los modelos con el techo escudo a las 7:00 am., pero a las 8:00 am., la temperatura empieza a aumentar y el modelo MT sube fuera de proporción con respecto a los modelos TE15 y TE2.

Humedad Relativa (2017).

Con respecto a la humedad relativa del 26 de julio del periodo 2017, se puede observar en la figura 1.50, cómo dentro de los modelos experimentales se comporta de una manera constante sin variaciones abruptas, siendo el modelo TE15 el que tiene la humedad relativa más baja en promedio de 79.14% y la humedad relativa más alta el modelo MT, con 88.30%.

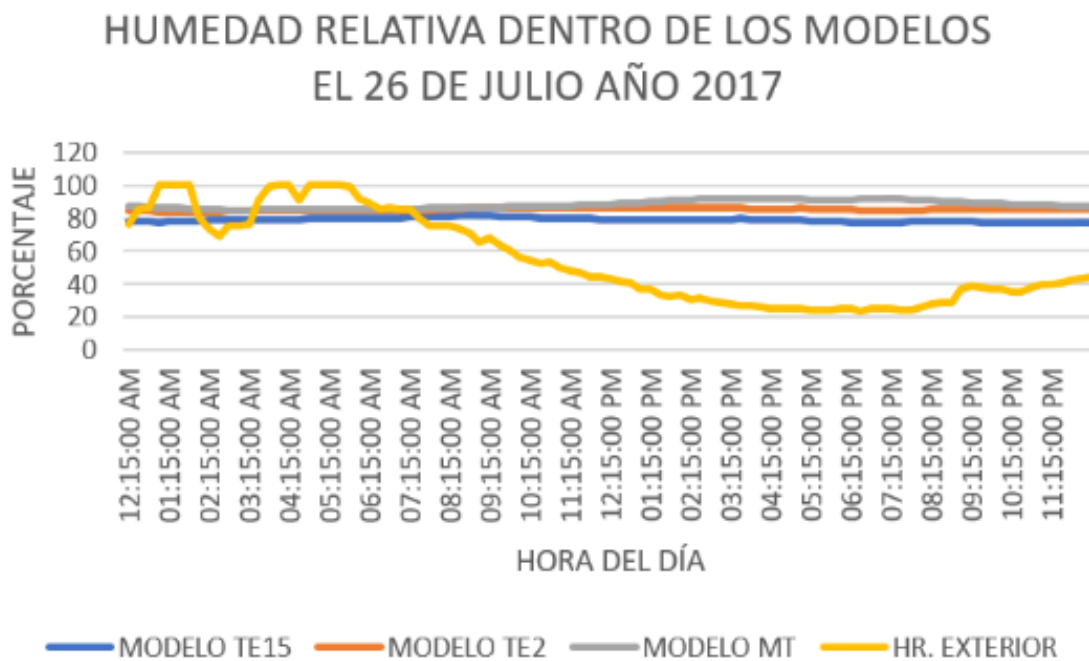


Figura 1.50 Gráfica de humedad relativa en el interior de los modelos el 26 de julio 2017. Elaboración propia.

Día lluvioso (2017).

El comportamiento de los modelos en un día lluvioso, específicamente el día 27 de septiembre, donde la radiación solar de 7:00 am a 7:00 pm fue en promedio de 82.43 W/m² se ejemplifica en la figura 1.51 donde la gráfica de la temperatura interior de los modelos se observa que la temperatura disminuye en comparación de un día soleado. El modelo TE15 y el modelo TE2 se comportan de manera similar, mientras que el modelo MT en la mañana tiene una temperatura menor y en la tarde una temperatura mayor.

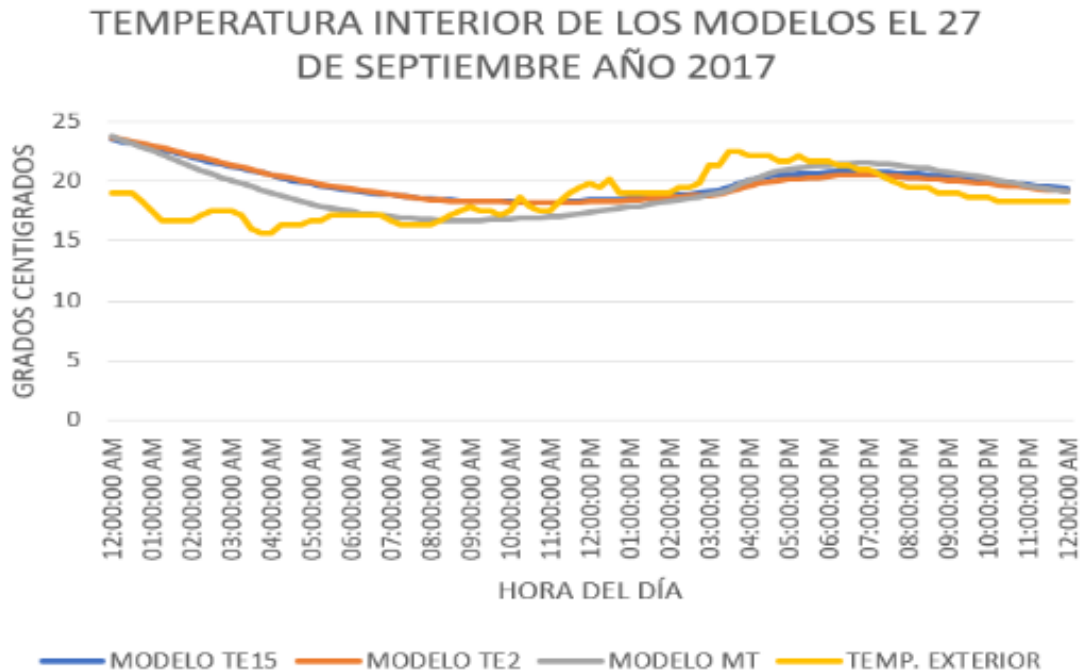


Figura 1.51 Gráfica de temperatura en el interior de los modelos el 27 de septiembre 2017 (día lluvioso). Elaboración propia.

Humedad Relativa día lluvioso (2018).

Con respecto a la humedad relativa en el interior de los tres modelos, tal como se ejemplifica en la figura 1.52, el modelo TE15 tuvo el porcentaje más bajo, estando la mayor parte del día cerca del 50%, mientras que el modelo MT con el porcentaje más alto, estuvo la mayor parte del día cerca del 60%.

HUMEDAD RELATIVA DENTRO DE LOS MODELOS EL 27 DE SEPTIEMBRE AÑO 2017

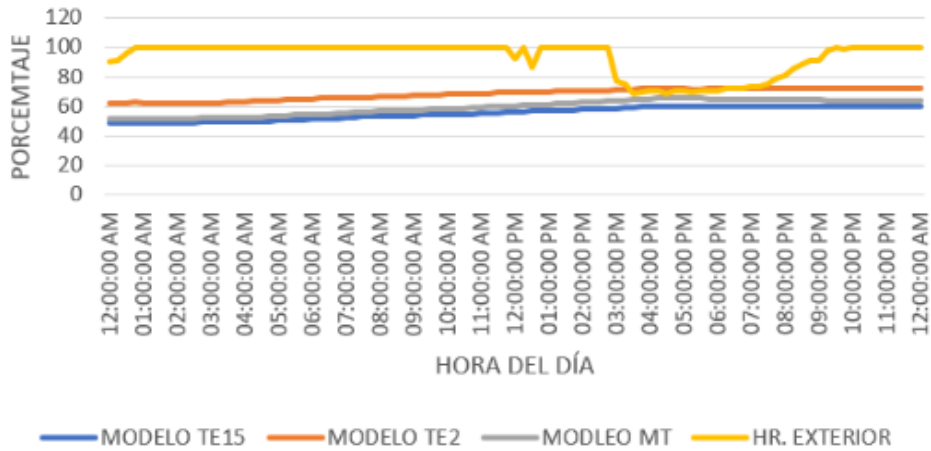


Figura 1.52 Gráfica de humedad relativa en el interior de los modelos el 27 de septiembre 2017 (día lluvioso). Elaboración propia.

En la figura 1.53 se observa la gráfica mensual del mes de agosto, donde se puede apreciar que el comportamiento térmico es constante, además de evidenciar como los días con precipitación pluvial las temperaturas fueron mas bajas en comparación a los días soleados.

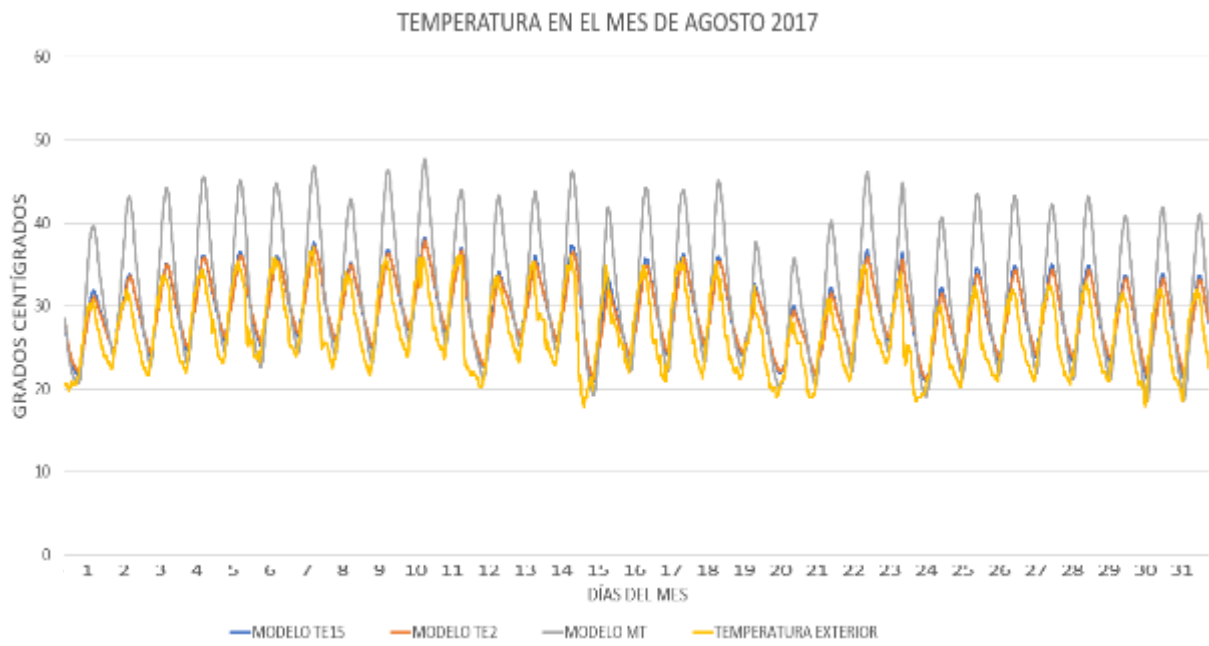


Figura 1.53 Gráfica de temperatura del mes de agosto de 2017. Elaboración propia.

En la gráfica de la humedad relativa del mes de agosto (figura 1.54), se puede observar que aun cuando la humedad relativa en un periodo de 24 horas llego a tener variaciones de 20% a 70%, en el interior de los modelos fue más constante, dicha variación no sobrepaso el 10% en ninguno de los tres modelos.

El modelo TE15 tuvo la humedad relativa más baja en comparación con el modelo TE2 y en medio de los tres quedo el modelo MT. También es observable como los días lluviosos tuvieron un mayor porcentaje de humedad relativa y por ello existen puntos más elevados dentro de la gráfica.

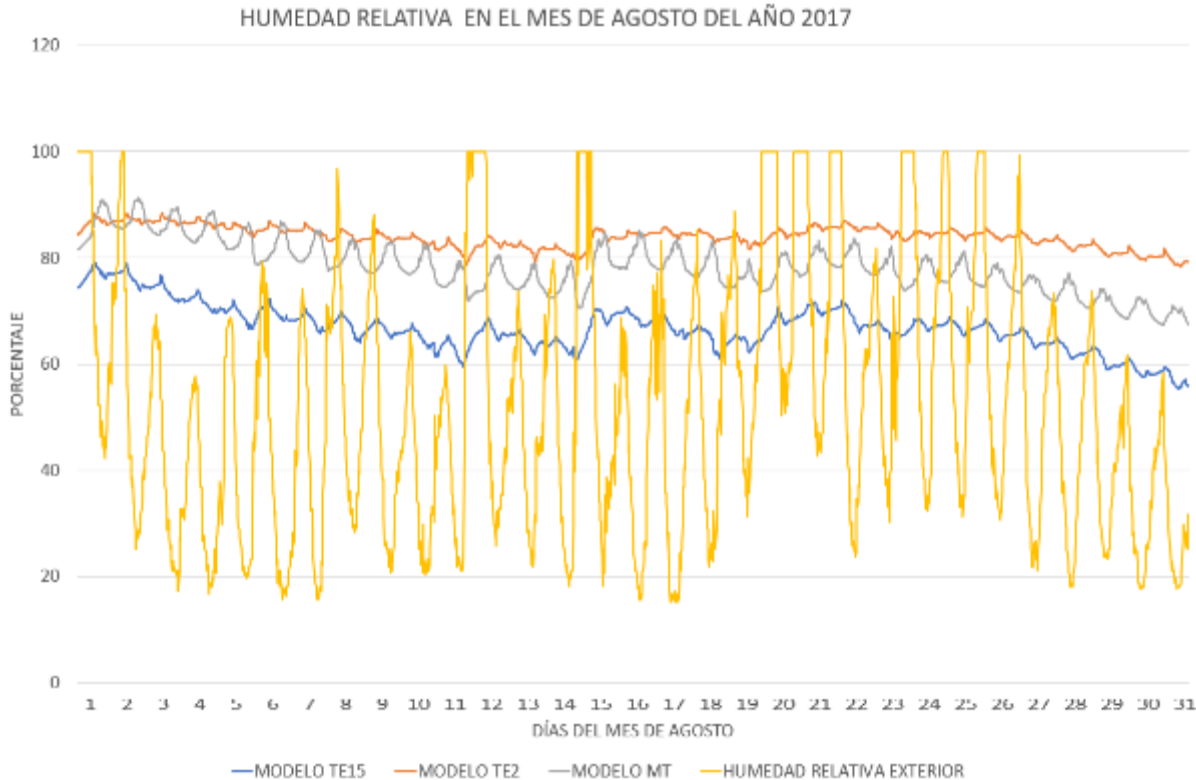


Figura 1.54 Gráfica de humedad relativa en el interior de los modelos en el mes de agosto 2017. Elaboración propia.

3.2 Resultados 2018.

Resultados captación pluvial (2018).

En el mes de julio solo se registró un día con precipitación medible, en la figura 1.55 se puede observar que el modelo TE15 captó 17.30% más lluvia que el modelo TE2 y 48.07% más que el modelo MT. el día 7 de julio.

CAPTACIÓN PLUVIAL EN MODELOS EXPERIMENTALES EL MES DE JULIO 2018							
DÍA	MODELO TE15 (ORIENTE) 15°	MODELO TE2 (CENTRO) 2%	MODELO MT (PONIENTE) 2%	PLUVIÓMETRO	CAP. MAYOR	CAP. INTERMEDIA	CAP. MENOR
7	2.6	2.15	1.35	1.500	M. TE15	M. TE2	M. MT

Figura 1.55 tabla de la captación pluvial del mes de julio. Elaboración propia.

El mes de agosto en el verano del año 2018 se caracterizó por tener lluvia escaza, ya que solo se registraron dos días con precipitaciones medibles. En la figura 1.56 y 1.57 se puede observar que, en este mes el modelo TE15 en promedio captó 12.74% más lluvia que el modelo TE2 y 15.22% más que el modelo MT. El día con mayor precipitación pluvial fue el 11 de agosto, con 5 mm. registrados, de los cuales el modelo TE15 captó 4.5 litros, el modelo TE2 4.05 litros y el modelo MT 4.0 litros que en comparativa con el modelo TE15 captó 0.5 litros más que el modelo MT ó 11.11 % más.

CAPTACIÓN PLUVIAL EN MODELOS EXPERIMENTALES EL MES DE AGOSTO 2018							
DÍA	MODELO TE15 (ORIENTE) 15°	MODELO TE2 (CENTRO) 2%	MODELO MT (PONIENTE) 2%	PLUVIÓMETRO	CAP. MAYOR	CAP. INTERMEDIA	CAP. MENOR
11	4.5	4.05	4.000	5.000	M. TE15	M. TE2	M. MT
21	3.580	3	2.850	3.000	M. TE15	M. TE2	M. MT

Figura 1.56 Tabla de la captación pluvial en el mes de agosto. Elaboración propia.

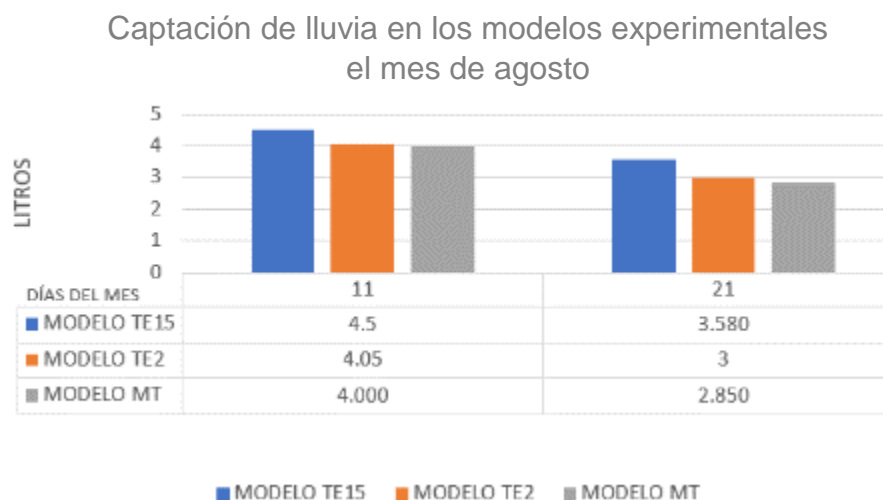


Figura 1.57 gráfica de la captación pluvial en el mes de agosto. Elaboración propia.

En el mes de septiembre los días con precipitaciones fueron de igual manera escasos, solo se registraron tres días con precipitaciones. En la figura 1.58 y 1.59 se puede observar que, en este mes el modelo TE15 de nuevo fue el más sobresaliente en términos de captación. En promedio captó 9.89% más lluvia que el modelo TE2 y 10.48% más que el modelo MT. El día con mayor precipitación pluvial fue el 6 de septiembre, con 32 mm. registrados, donde el TE15 captó 9.4% más que el modelo TE2 y 11.4% más que el modelo MT.

CAPTACIÓN PLUVIAL EN MODELOS EXPERIMENTALES EL MES DE SEPTIEMBRE 2018							
DÍA	MODELO TE15 (ORIENTE) 15°	MODELO TE2 (CENTRO) 2%	MODELO MT (PONIENTE) 2%	PLUVIÓMETRO	CAP. MAYOR	CAP. INTERMEDIA	CAP. MENOR
1	1.600	1.4	0.800	1.000	M. TE15	M. TE2	M. MT
6	25.000	22.650	22.150	32.000	M. TE15	M. TE2	M. MT
20	15.350	13.750	14.600	12.800	M. TE15	M. MT	M. TE2

Figura 1.58 Tabla de la captación pluvial en el mes de agosto. Elaboración propia.

Captación de lluvia en los modelos experimentales el mes de septiembre

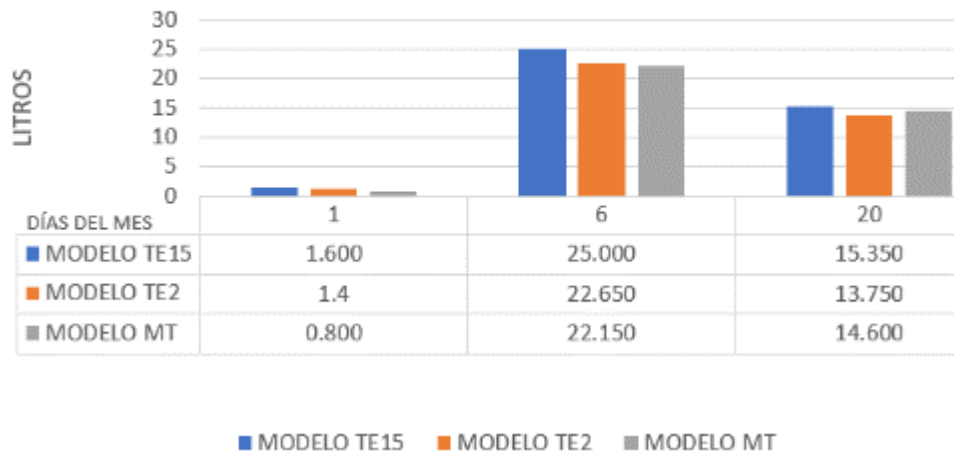


Figura 1.59 gráfica de la captación pluvial en el mes de septiembre. Elaboración propia.

En octubre del año 2018 se registraron seis días con lluvia, en la figura 1.60 y 1.61 se ejemplifica el comportamiento de los tres modelos en términos de captación pluvial. Se puede observar como en dicho mes, la captación entre el modelo TE2 y MT fue menor la diferencia a comparación de otros meses. El modelo TE15 en promedio captó 17.02% más lluvia que el modelo TE2 y 17.08% más precipitación que el modelo MT.

CAPTACIÓN PLUVIAL EN MODELOS EXPERIMENTALES EL MES DE OCTUBRE 2018								
DÍA	MODELO TE15 (ORIENTE) 15°	MODELO TE2 (CENTRO) 2%	MODELO MT (PONIENTE) 2%	CAPTACIÓN EN PLUVIÓMETRO	CAP. MAYOR	CAP. INTERMEDIA		CAP. MENOR
2	3.45	2.7	2.7	2.500	M. TE15	TE2	M. MT	-
8	5.150	5.250	4.500	4.000	M. TE2	M. TE15	M. MT	M. MT
12	15.100	14.88	14.63	19.000	M. TE15	M. TE2	M. MT	M. MT
23	19.2	17.800	19.000	22.000	M. TE15	M. MT	M. TE2	M. TE2
24	3.05	2	2	4.000	M. TE15	TE2	M. MT	-
31	31.700	21.800	21.550	47.000	M. TE15	M. TE2	M. MT	M. MT

Figura 1.60 tabla de la captación pluvial en el mes de octubre. Elaboración propia.

Captación de lluvia en los modelos experimentales el mes de octubre

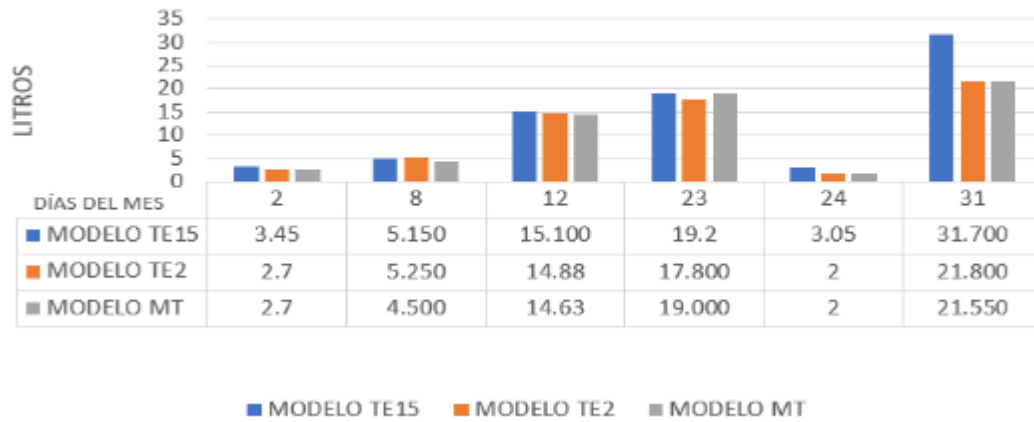


Figura 1.61 Gráfica de la captación pluvial en el mes de octubre. Elaboración propia.

Captación de lluvia en los modelos experimentales por hora el día 12 de octubre

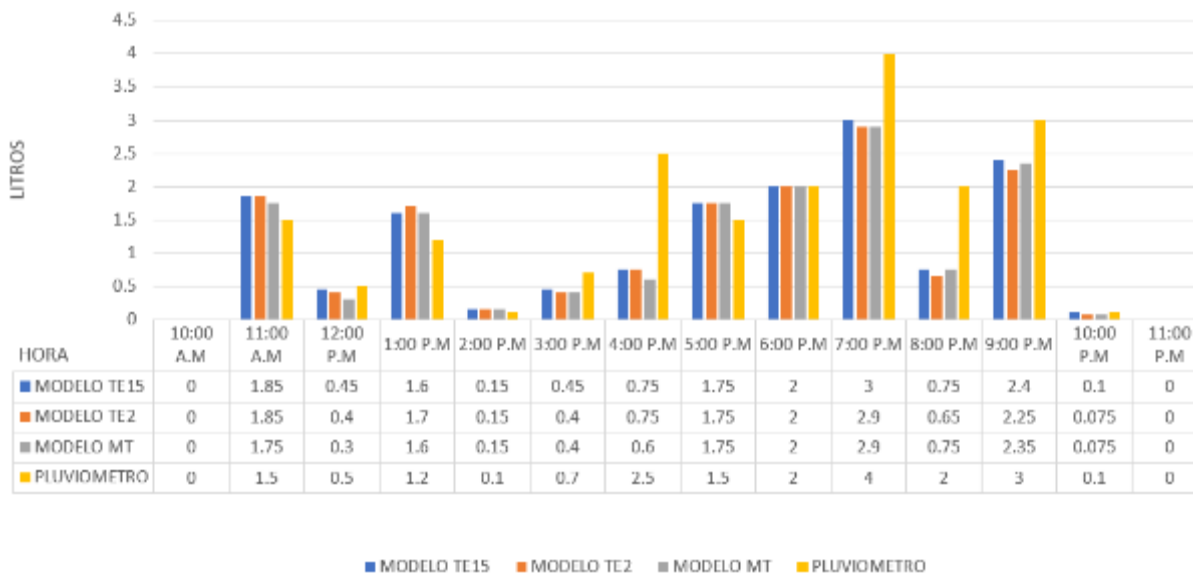


Figura 1.62 Gráfica de la captación pluvial por hora el 12 de octubre del 2018. Elaboración propia.

En la figura 1.62 se puede apreciar la captación por hora del día 12 de octubre, dicho evento ocurrió de 11:00 a.m. a 10:00 p.m. donde se pudo apreciar que no solo se requiere una gran cantidad de lluvia para que se genere una gran diferencia de captación entre los modelos.

Se requiere que sea un lapso corto y mucha lluvia, ya que en ese día se precipitó una gran cantidad de agua, pero el tiempo fue prolongado, generando poca precipitación en un lapso largo. Tal como se ve en la gráfica, no existe una gran diferencia entre la captación de los modelos. El modelo TE15 captó 1.45% más lluvia que el modelo TE2 y 3.11% más que el modelo MT.

Resultados comportamiento térmico (2018).

En la temporada de verano del año 2018 se contemplaron los meses de julio, agosto y septiembre, midiendo la temperatura exterior, temperatura interior de los modelos, humedad relativa interior y exterior, así como las temperaturas superficiales de las cubiertas de lámina galvanizada y las losas con impermeabilizante asfáltico.

Se pudo observar que, en el día 28 de julio, el modelo MT tuvo un incremento de temperatura mayor, casi de 10 grados centígrados en las horas críticas de la tarde con respecto a los modelos TE15 y TE2. Además, en comparación a la temperatura exterior sobrepasa los 10 grados centígrados. Dicho comportamiento es muy parecido al registrado en el periodo del año 2017 (figura 1.49) tal como observa en la figura 1.63.

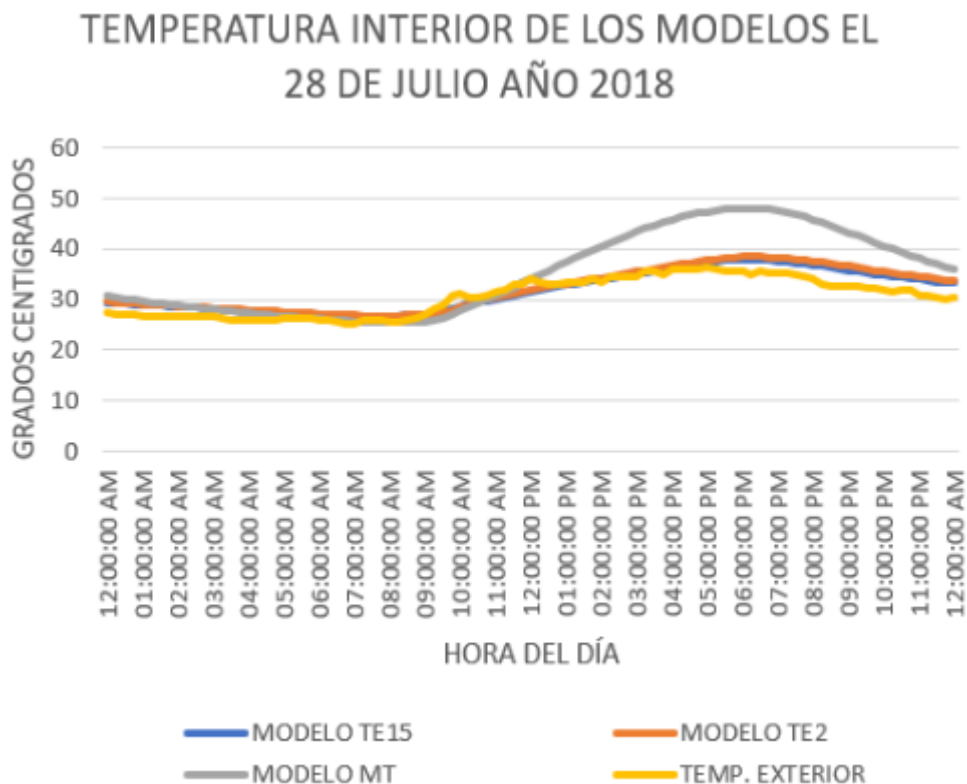


Figura 1.63 Gráfica del comportamiento térmico el día 28 de julio de 2018. Elaboración propia.

Humedad Relativa (2018).

Con respecto a la humedad relativa del 28 de julio del periodo 2018, se puede observar en la figura 1.64, cómo al interior de los modelos experimentales se comporta de una manera constante, donde el porcentaje de humedad relativa no crece o disminuye abruptamente como en el exterior de los modelos, siendo el modelo TE2 el que tiene la humedad relativa más alta en promedio de 36.28% y la humedad relativa más baja el modelo MT, con 27.43%.

HUMEDAD RELATIVA DENTRO DE LOS MODELOS EL 28 DE JULIO AÑO 2018

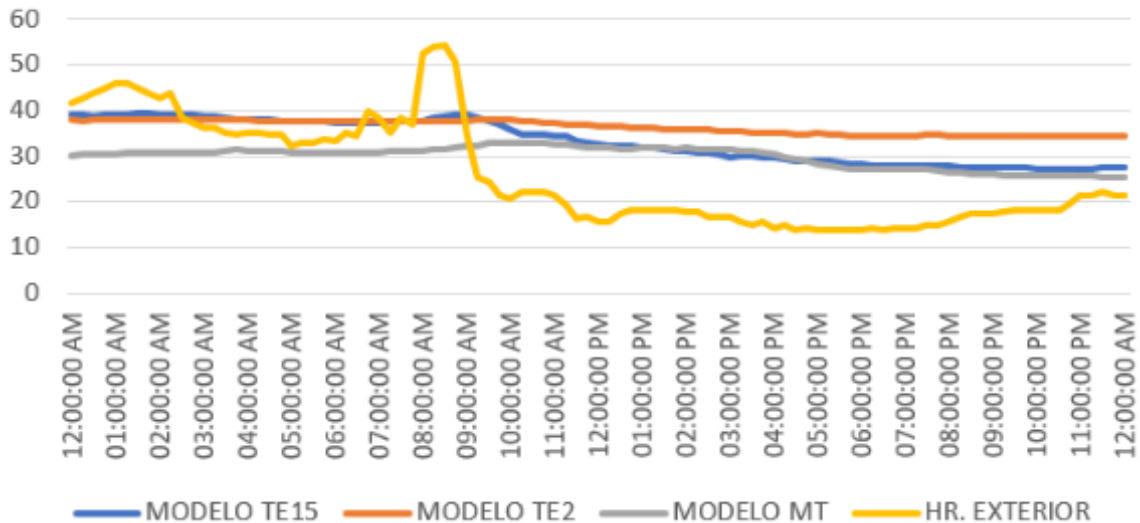


Figura 1.64 gráfica de la humedad relativa el día 28 de julio de 2018. Elaboración propia.

Día lluvioso (2018).

Con respecto al comportamiento térmico en un día lluvioso, se graficó la temperatura interior de los modelos experimentales el 20 de septiembre del año 2018, donde la radiación solar de 7:00 am a 7:00 pm fue en promedio de 198.3 W/m² (figura 1.65). El modelo MT en comparación con los modelos TE15 y TE2 que tuvieron un comportamiento muy similar en la mañana antes de que saliera el sol, tuvo una temperatura más baja y por la tarde al medio día cuando la temperatura exterior aumento sobrepasó la temperatura interior de los modelos TE2 y TE15 aproximadamente de 1 grado centígrado.

Con lo anterior se comprende que cuando existe una menor radiación solar como en este día lluvioso no existe una variación de temperatura tan notable como en los días soleados de verano, esto se puede observar comparando las gráficas de la figura 1.63 y la figura 1.65.

TEMPERATURA INTERIOR DE LOS MODELOS EL 20 DE SEPTIEMBRE AÑO 2018

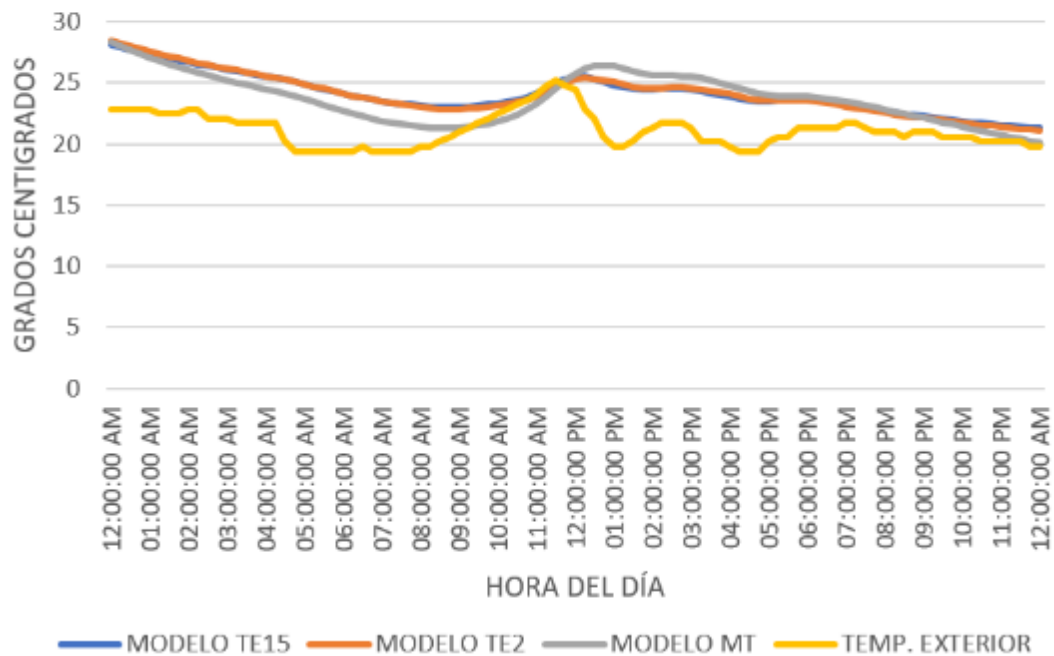


Figura 1.65 Gráfica de la temperatura interior el día 20 de septiembre de 2018. Elaboración propia.

Humedad Relativa día lluvioso (2018).

Con respecto al comportamiento de la humedad relativa en el día lluvioso 20 de septiembre de 2018, en la figura 1.66 se observa como en la mayoría del día se presentó una humedad relativa del 100 %, mientras que, en el interior de los modelos experimentales, el modelo TE15 en promedio tuvo 55% de humedad relativa, el modelo TE2 54.5% y el modelo MT 45.5%. Este comportamiento se observa con una tendencia lineal, donde el porcentaje de humedad relativa va creciendo conforme avanzan las horas del día hasta llegar a la noche donde llega la medición de humedad relativa más alta, incluso aunque la humedad relativa

disminuyo a 81% a las 12:00 p.m. la tendencia siguió siendo lineal en los tres modelos experimentales.

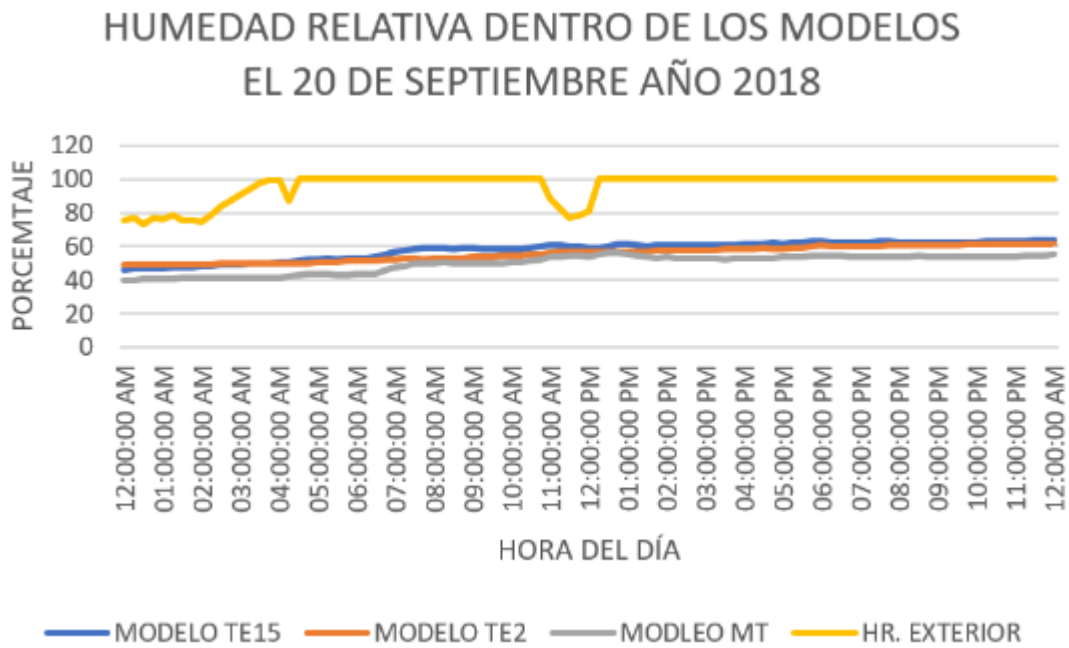


Figura 1.66 Gráfica de la humedad relativa del interior de los modelos, el día 20 de septiembre de 2018. Elaboración propia.

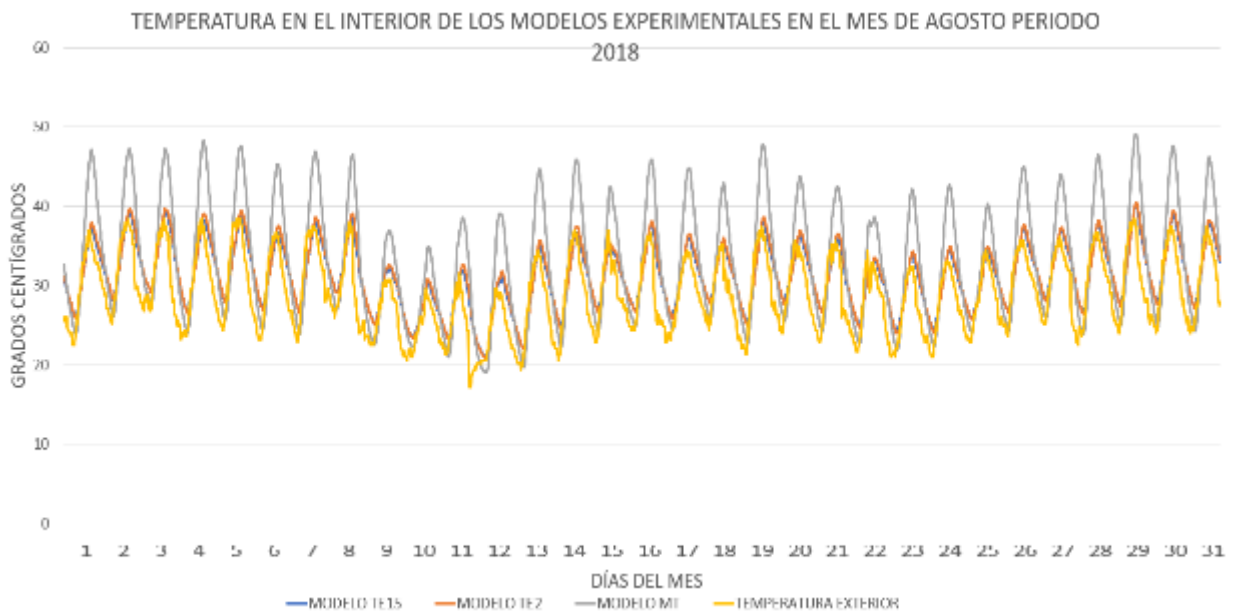


Figura 1.67 Gráfica de temperatura interior de los modelos, el mes de agosto de 2018. Elaboración propia.

En la figura 1.67 se muestra la gráfica de las temperaturas interiores de los modelos durante todo el mes de agosto del año 2018, con la cual se observa que su comportamiento general es muy parecido al del año 2017 (figura 1.53).

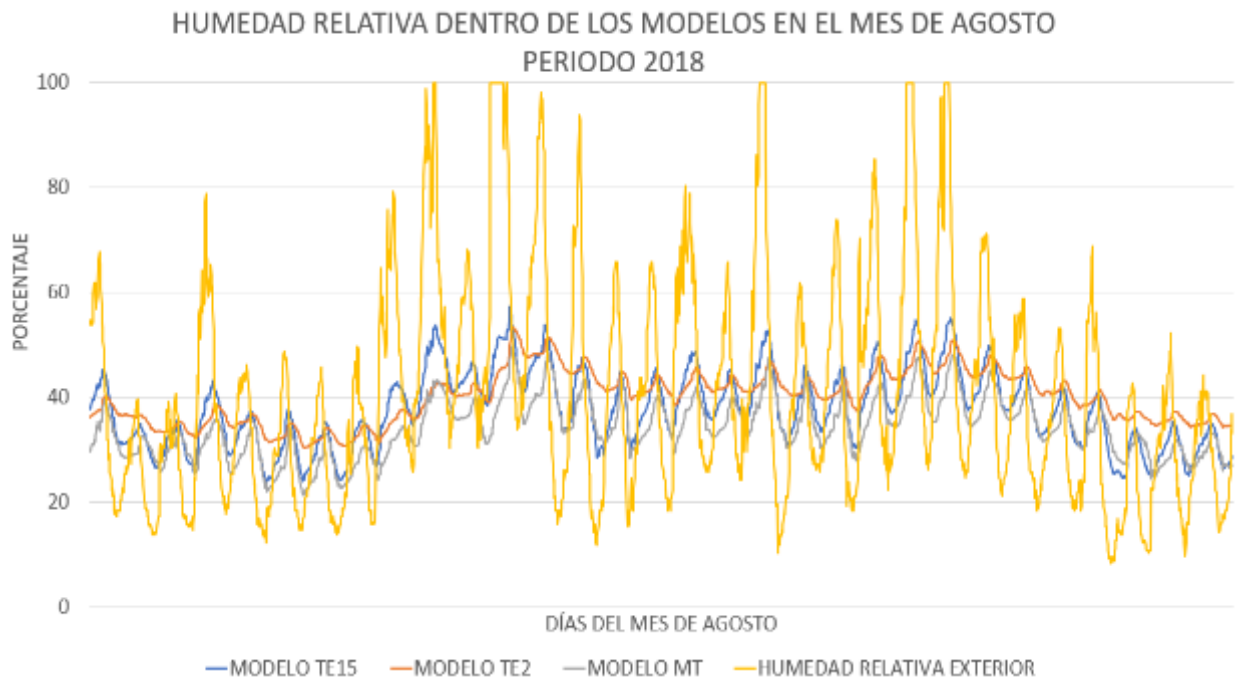


Figura 1.68 Gráfica de la humedad relativa del interior de los modelos, el mes de agosto de 2018. Elaboración propia.

En la figura 1.68 se observa la humedad relativa del mes de agosto del año 2018, al compararse con la gráfica del año 2017 (figura 1.54), la humedad relativa interior de los modelos fue más baja, por ejemplo en el 2018 la humedad relativa promedio del mes en el modelo TE15 fue de 37.65% y en el 2017 fue de 66.88%, la humedad relativa exterior promedio en el año 2018 fue de 40.82% a comparación del año 2017 que fue de 52.34%. En el periodo de medición en el mes de agosto del año 2018 el modelo con el mayor porcentaje de humedad relativa promedio fue el modelo TE2 con 39.99%, seguido del modelo TE15 con 37.65% y por último el modelo MT con 33.36%.

TEMPERATURA SUPERFICIAL DE LA LAMINA GALVANIZADA EN LOS MODELOS CON TECHO ESCUDO EL 28 DE JULIO DEL AÑO 2018

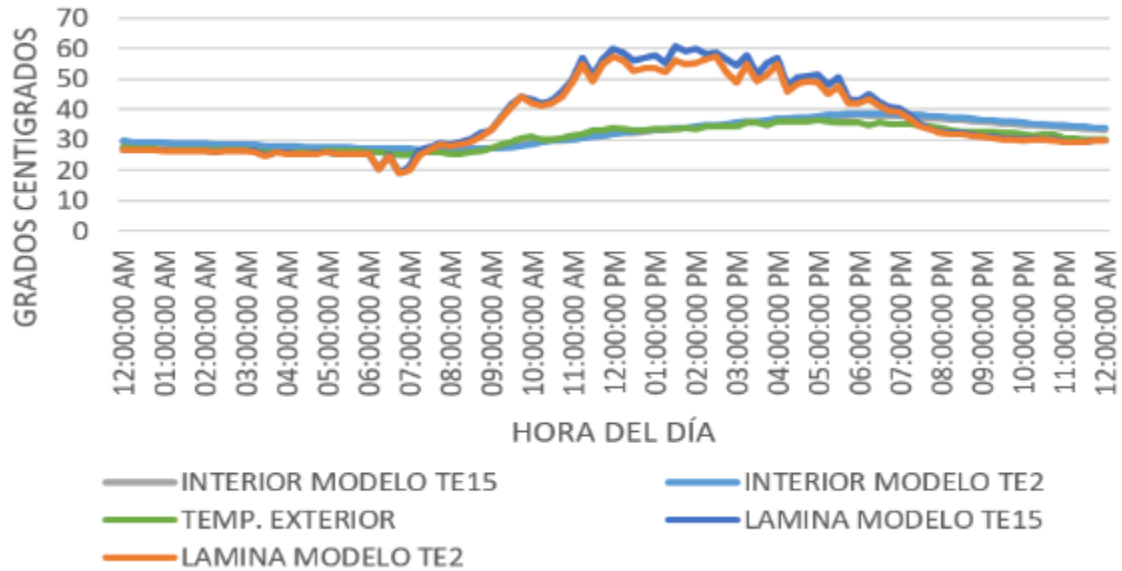


Figura 1.69 Gráfica de la temperatura superficial de lámina galvanizada, el día 28 de julio de 2018. Elaboración propia.

En la figura 1.69 se observa una gráfica del comportamiento en el sobre techo de lámina galvanizada en el SDC. El modelo TE15 y TE2 tienen un comportamiento muy similar, solo la lámina galvanizada del modelo TE15, tiende a tener una temperatura superficial más elevada a comparación del techo escudo con una pendiente menor del modelo TE2. Cuando sale el sol, pasando las 7:00 a.m., la temperatura en la lámina empieza a subir, para las 2:00 p.m. llega a su punto máximo aproximadamente 60 °C, en ese punto empieza a decrecer la temperatura.

Es evidente en la gráfica de la figura 1.64, como la humedad relativa exterior no es semejante con respecto a la humedad relativa del interior de los modelos. Con lo anterior se encontró que existe una correlación positiva alta entre la temperatura y la humedad relativa del interior de los modelos TE15 con el valor de $R= 0.8672$ (figura 1.70) y el modelo TE2 de valor $R= 0.8836$ (figura 1.71). A diferencia del modelo MT el cual tuvo una correlación positiva moderada con un valor $R= 0.5115$ (figura 1.72). Por lo anterior, se puede inferir que, el sobre techo de lámina

galvanizada de los modelos experimentales, genera un cambio en el comportamiento de la humedad relativa interior en comparación al modelo testigo, el cual no cuenta con el techo escudo. Por su parte el modelo MT, aunque el coeficiente de correlación de Pearson es menor, los tres modelos fueron analizados en base a dos variables, la primera fue la temperatura interior y por último la humedad relativa interior. Por ello se puede considerar que el techo escudo afecta directamente estas dos variables.

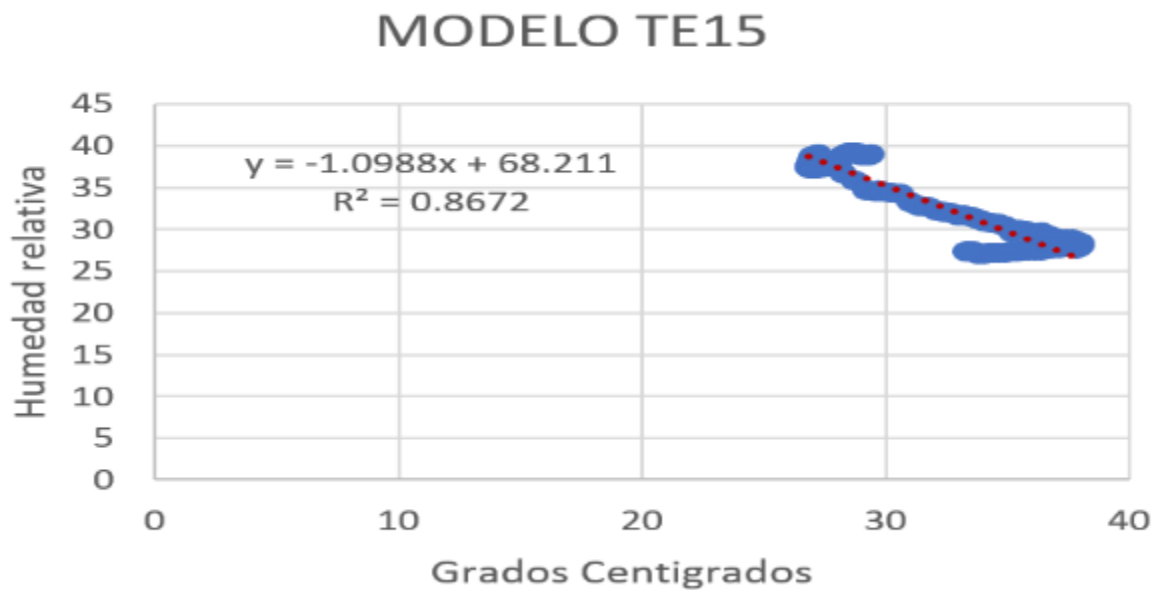


Figura 1.70 Gráfica de correlación entre la temperatura interior y humedad relativa interior del modelo TE15 el 28 de julio del año 2018. Elaboración propia.

MODELO TE2

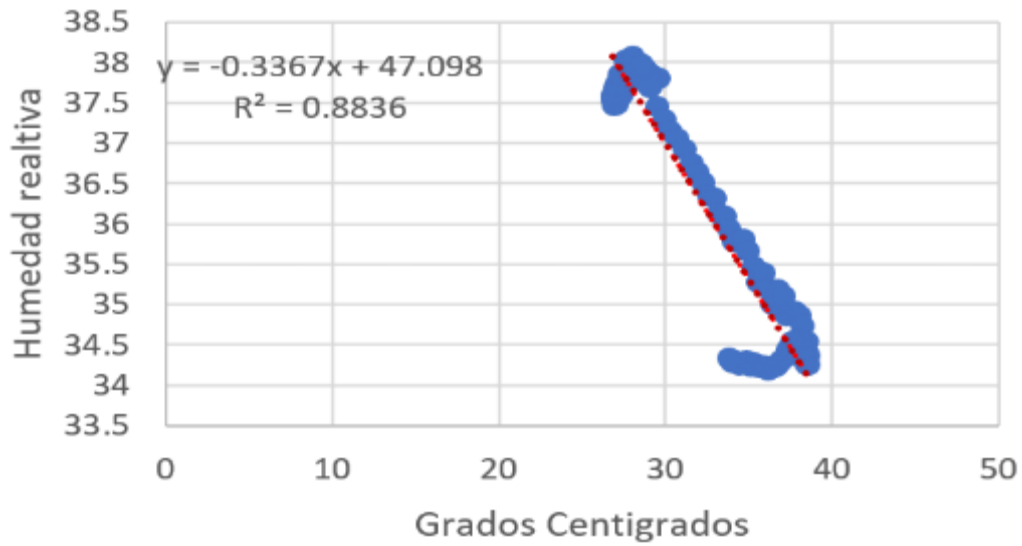


Figura 1.71 Gráfica de correlación entre la temperatura interior y humedad relativa interior del modelo TE2 el 28 de julio del año 2018. Elaboración propia.

MODELO MT

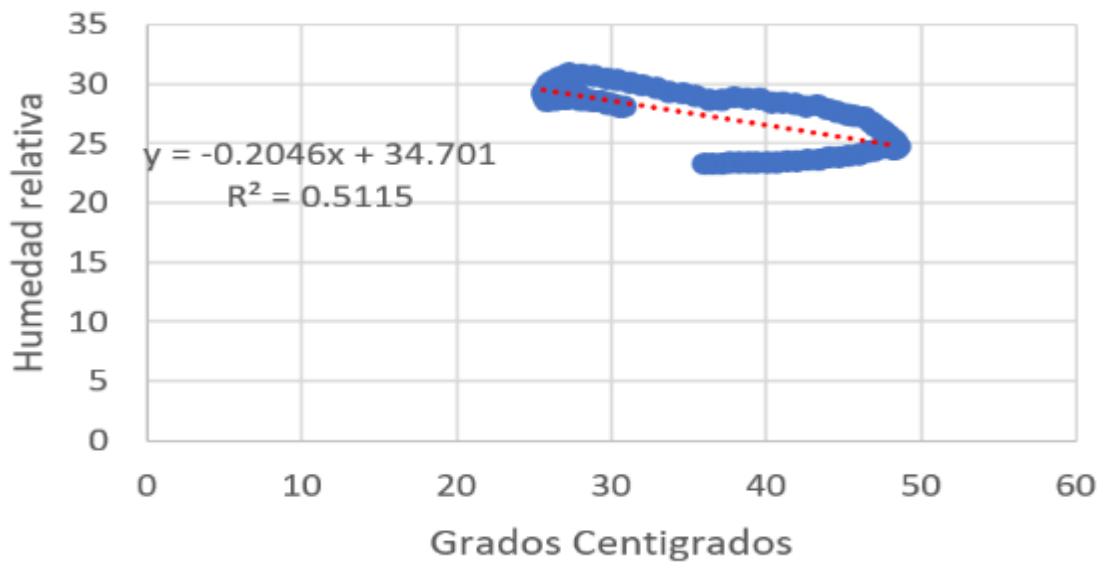


Figura 1.72 Gráfica de correlación entre la temperatura interior y humedad relativa interior del modelo MT el 28 de julio del año 2018. Elaboración propia.

3.3 Comparación de modelos.

Con los resultados obtenidos de las mediciones analizadas en el capítulo III se pudieron generar tablas comparativas, mismas donde se presenta el mejor comportamiento en diferentes aspectos tales como temperatura interior, humedad relativa, captación pluvial y pureza del agua almacenada.

La figura 1.73 corresponde a la tabla comparativa del periodo de medición del verano del año 2017. Se puede identificar que el modelo TE15 fue el más sobresaliente, ya que, en el mes de agosto tuvo la mayor captación pluvial, con un total de 55.11 litros en comparación con el modelo MT que captó 42.78 litros. Otro aspecto que se consideró es la limpieza del agua cosechada. Se encontró mediante la observación, que los modelos con el techo escudo de lámina galvanizada tenían menos contaminantes en el agua almacenada a comparación del modelo MT con impermeabilizante asfáltico (figura 1.74). Además, se pudo identificar que en las mediciones del día 28 de julio el modelo TE15 también sobresalió en su cercanía a la temperatura neutral, si bien fue mejor que el modelo TE2 la diferencia fue mínima, en general en las mediciones de temperatura interior fueron muy parecidas.

Con respecto a la comparación del día 27 de septiembre (día lluvioso), se pudo apreciar que el modelo MT, tuvo temperaturas interiores más bajas en comparación a los modelos con el techo escudo, que de igual manera el modelo TE15 y TE2 estuvieron muy próximos a presentar la misma temperatura que el modelo testigo y de igual manera con una cierta cercanía a la temperatura neutral.

Otro aspecto que se consideró es el mantenimiento de las techumbres ya que la lámina galvanizada, en comparación con el impermeabilizante asfáltico requiere un mínimo de cuidado.

COMPARACIÓN PERIODO 2017	MODELO TE15	MODELO TE2	MODELO MT	MEJOR COMPORTAMIENTO	
CAPTACIÓN TOTAL DEL MES DE AGOSTO	55.11 LITROS	41.98 LITROS	42.78 LITROS	MODELO TE15	
LIMPIEZA EN EL AGUA COSECHADA	CONTAMINACIÓN POCA TIERRA	CONTAMINACION POCA TIERRA	CONTAMINACIÓN, TIERRA, ACEITE Y GRAVILLA	MODELO TE15	MODELO TE2
TEMPERATURA PROMEDIO DE AGOSTO	29.28 °C	29.13 °C	31.84 °C	MODELO TE2	
HR PROMEDIO DEL MES DE AGOSTO	66.88%	83.98%	78.34%	MODELO TE15	
TEMPERATURA MÁXIMA EL 28 DE JULIO TN=26.5 °C	34.90 °C	34.99 °C	45.53 °C	MODELO TE15	
TEMPERATURA MÍNIMA EL 28 DE JULIO TN=26.5 °C	24.07 °C	24.29 °C	22.56 °C	MODELO MT	
TEMPERATURA MÁXIMA EL 27 DE SEPTIEMBRE. TN=25.3 °C (DIA LLUVIOSO)	20.84 °C	20.50 °C	21.84 °C	MODELO TE2	
TEMPERATURA MÍNIMA EL 27 DE SEPTIEMBRE. TN=25.3 °C (DIA LLUVIOSO)	18.29 °C	18.20 °C	16.67 °C	MODELO TE15	
MANTENIMIENTO A IMPERMEABILIZACIÓN	MINIMO	MINIMO	PERIÓDICO 5 -10 AÑOS	MODELO TE15	MODELO TE2

Figura 1.73 Tabla comparativa entre los modelos experimentales en el año 2017. Elaboración propia.



Figura 1.74 Imagen comparativa por observación de contaminación en el agua captada el año 2017. Elaboración propia.

Con respecto al periodo de medición del verano del año 2018 (figura 1.75), en general tuvieron un comportamiento muy similar los tres modelos al periodo 2017. El más sobresaliente fue el modelo TE15, el cual captó 77.65 litros en el mes de octubre a diferencia del modelo MT que solo captó 64.38 litros. En el comportamiento térmico, la temperatura promedio más baja del mes de agosto fue del modelo TE15 con 31.10 °C en comparación al modelo MT con 33.05 °C, tal como se había ejemplificado en las gráficas de temperatura dicho modelo registro temperaturas interiores superiores a 45 °C.

Con respecto a la humedad relativa promedio del mes de agosto, el modelo con mejor rendimiento fue el TE2 con 39.99% en segundo lugar el modelo TE15 con 37.65% y en último lugar el modelo MT con 33.66%.

COMPARACIÓN PERIODO 2018	MODELO TE15	MODELO TE2	MODELO MT	MEJOR COMPORTAMIENTO	
CAPTACIÓN DE LLUVIA TOTAL DEL MES DE OCTUBRE	77.65 LITROS	64.43 LITROS	64.38 LITROS	MODELO TE15	
LIMPIEZA EN EL AGUA COSECHADA	CONTAMINACIÓN POCA TIERRA	CONTAMINACION POCA TIERRA	CONTAMINACIÓN, TIERRA, ACEITE Y GRAVILLA	MODELO TE15	MODELO TE2
TEMPERATURA PROMEDIO DE AGOSTO	31.10 °C	31.27 °C	33.05 °C	MODELO TE15	
HR PROMEDIO DEL MES DE AGOSTO	37.65%	39.99%	33.66%	MODELO TE2	
TEMPERATURA MÁXIMA EL 26 DE JULIO TN= 26.5 °C	37.94 °C	38.53 °C	48.13 °C	MODELO TE15	
TEMPERATURA MÍNIMA EL 26 DE JULIO TN=26.5 °C	26.81 °C	26.81 °C	25.47 °C	MODELO MT	
TEMPERATURA MÁXIMA EL 20 DE SEPTIEMBRE TN=25.3 °C (DIA LLUVIOSO)	28.12 °C	28.40 °C	28.32 °C	MODELO TE15	
TEMPERATURA MÍNIMA EL 20 DE SEPTIEMBRE TN= 25.3 °C (DIA LLUVIOSO)	21.27 °C	21.07 °C	20.12 °C	MODELO TE15	
MANTENIMIENTO A IMPERMEABILIZACIÓN	MINIMO	MINIMO	PERIÓDICO 5 -10 AÑOS	MODELO TE15	MODELO TE2

Figura 1.75 Tabla comparativa entre los modelos experimentales en el año 2018. Elaboración propia.

Capitulo IV: Aplicación teórica

4.1 Vivienda Unifamiliar.

Para poder comprender el posible impacto que tendría la aplicación del sistema de captación pluvial combinado con el techo escudo, a continuación, se presenta un primer acercamiento a un análisis de su funcionamiento en una “vivienda tipo” con 77.30 m² de cubierta del fraccionamiento Pradera dorada (figura 1.76), la cual fue elegida por el problema constante de anegamiento que sufre dicho fraccionamiento en periodo de lluvias. Por lo cual se propone el aprovechar el agua precipitada en lugar de permitir que se desperdicie en las calles. Dicho análisis será basado en el comportamiento observado y explicado en el capítulo 3 de resultados, considerando costos del prototipo y valores dentro de los parámetros de ahorro energético y consumo de agua.

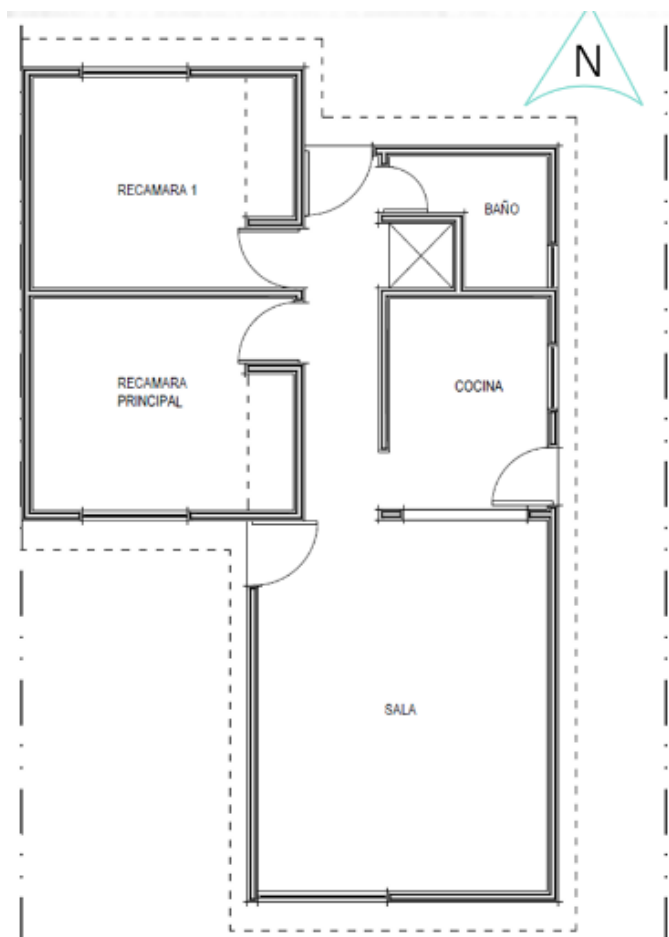


Figura 1.76 Representación del plano de vivienda tipo en el fraccionamiento de Pradera Dorada con 77.30 m² y superficie de terreno de 180 m². Elaboración propia

Para poder realizar una reflexión, es importante visualizar el posible uso del agua captada, pero ello, el consumo de los habitantes es el factor principal por considerar. Según datos de la Junta Municipal de Agua y Saneamiento de Ciudad Juárez, (JMAS, 2002) un habitante de Ciudad Juárez consume en promedio 322 litros al día (figura, 1.77).

Usuario	Cuentas	No. De Cuentas	Consumo promedio
Domestico		232 013.0	322 litros / habitante/ día
	Bajo	80 275.0	270litros / habitante/ día
	Medio-bajo	96 726.0	339 litros / habitante/ día
	Medio	35 352.0	386 litros / habitante/ día
	Alto	19 660.0	521 litros / habitante/ día

Figura 1.77 Tabla de consumo por habitante. Elaboración propia con datos de la JMAS, 2002.

A continuación, la figura 1.78 muestra marcado de color amarillo los usos aplicables para la vivienda tipo en el fraccionamiento de Pradera Dorada, esto en base a la superficie de cosecha, la precipitación promedio anual y el porcentaje de pérdida de lluvia el cual en lluvias moderadas fue de 5% en comparación a los eventos intensos, donde fue de 16%, lo cual se promedió para tener un 10.5% de pérdida, observando así, un factor de pérdida de 0.895.

Si se considera que en Ciudad Juárez se tiene una precipitación promedio anual de 251 litros por m², al multiplicarlos por 77.3 m² de superficie captable, por el factor de pérdida de 0.895, analizamos que en el año se puede captar 17,365.05 litros. Los posibles usos que pueden ser cubiertos por el agua de lluvia son: descargas en W.C, limpieza y cocción de alimentos, beber agua, lavado de trastes, y otros. Algo que se tiene que considerar es que, a diferencia del uso para el inodoro, los demás consumos tienen que utilizar el agua de lluvia después de un proceso de purificación.

USOS DEL AGUA EN VIVIENDA				
USOS	PORCENTAJES	LTS/HAB/DÍA	AL AÑO	AL MES
W.C	4.99	16.0678	17594.24	1446.10
REGADERA	51.52	165.8944	181654.37	14930.50
HIGIENE PERSONAL	6.37	20.5114	22459.98	1846.03
ALIMENTOS	2.49	8.0178	8779.49	721.60
BEBIDA	0.83	2.6726	2926.50	240.53
LAVADO DE ROPA	5.26	16.9372	18546.23	1524.35
LAVADO DE TRASTES	2.49	8.0178	8779.49	721.60
JARDINES	8.31	26.7582	29300.23	2408.24
EVAPORATIVOS	8.03	25.8566	28312.98	2327.09
LAVADO DE AUTOS	5.54	17.8388	19533.49	1605.49
OTROS	4.16	13.3952	14667.74	1205.57
TOTAL	100	322		

Figura 1.78 Tabla de usos aplicables para vivienda tipo del Fraccionamiento Pradera Dorada. Elaboración propia con porcentajes de Franco y Asociados Consultores de la JMÁS, 1998.

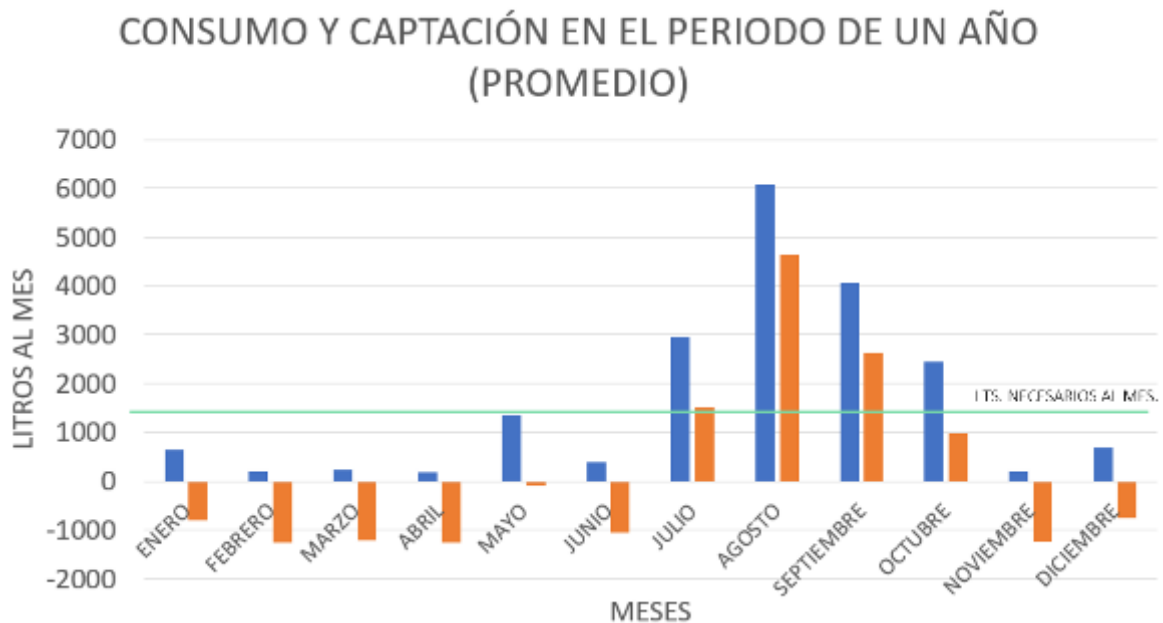


Figura 1.79 Gráfica de almacenamiento necesario de agua de lluvia. Elaboración propia

Para fines prácticos y como la primera aproximación que es este análisis, se desarrollara sin ser riguroso en el método del costo-beneficio utilizando únicamente el valor presente, sin considerar otros factores como el mantenimiento, el mercado, la inflación, etc.

Se considero la utilización del agua de lluvia para el W.C ya que es el uso que al año utilizaría todo el recurso hídrico, además de ser el más complejo para analizar. Para poder validar la utilización del sistema todo el año se realizó un estudio del volumen de almacenamiento (figura 1.79 y 1.80), ya que existen meses donde la captación es mayor debido a que la lluvia es abundante, por ello estos requieren cubrir el volumen de captación cuando no existe una lluvia abundante, siendo así necesario un volumen de almacenamiento de 9,776.71 litros.

CONSIDERACIONES PARA CISTERNA				
MES DEL AÑO	PRECIPITACION EN MM.	LTS DE LLUVIA	LITROS NECESARIOS AL MES	DIFERENCIA
ENERO	8.25	637.9725	1446.10	-808.13
FEBRERO	2.57	198.7381	1446.10	-1247.36
MARZO	2.98	230.4434	1446.10	-1215.66
ABRIL	2.48	191.7784	1446.10	-1254.32
MAYO	17.45	1349.4085	1446.10	-96.69
JUNIO	4.98	385.1034	1446.10	-1061.00
JULIO	38.11	2947.0463	1446.10	1500.94
AGOSTO	78.78	6092.0574	1446.10	4645.96
SEPTIEMBRE	52.8	4083.024	1446.10	2636.92
OCTUBRE	31.54	2438.9882	1446.10	992.89
NOVIEMBRE	2.82	218.0706	1446.10	-1228.03
DICIEMBRE	8.88	686.6904	1446.10	-759.41
TOTAL	251.64			

Total, de litros necesarios:
 9,776.71

Figura 1.80 Tabla de requerimientos de almacenamiento con sumatoria de litros. Elaboración propia

Con la aplicación del sistema del techo escudo como captador pluvial, considerando el comportamiento visto en la investigación experimental, encontramos que el ahorro en el consumo del agua por la captación pluvial es de 17.36 m³ al año, considerando que el precio por m³ de agua está a \$17.97 en dicho año se tendría una disminución en el pago de \$311.95.

Por su parte, en el consumo energético encontramos que teóricamente se puede tener una disminución de 52% en el uso climatización mecánica en verano, ya que, al observar el funcionamiento de un equipo de aire lavado, las empresas tales como BioAire, (2017) y VentDepot, (2001) argumentan que dicho equipo puede disminuir

la temperatura interior de 8 a 10 °C y 7 a 10 °C respectivamente. Si comparamos lo anterior con los resultados del experimento, se puede observar que el día 28 de julio en el año 2017 y 2018 de 8:00 a.m. a 8:00 p.m. (horario teórico de funcionamiento de los aires lavados) existió una diferencia en la temperatura promedio en interior de los modelos de 5.2 °C entre el modelo con el techo escudo (TE15) el cual tuvo la temperatura más baja y el que no tenía (MT). Si consideramos que lo máximo que se puede disminuir la temperatura con el aire evaporativo son 10 °C, el techo escudo puede disminuir un 52% el funcionamiento del equipo de enfriamiento.

Retomando el consumo energético, si se considera un aire lavado de 4800 CFM para la vivienda tipo de Pradera Dorada, el cual consume 600 watts o 0.6 Kw/h, se tendría mensualmente un consumo de 216 Kw/h, por 12 horas de funcionamiento al día. Si se estima el 52% de disminución de uso, mensualmente se puede ahorrar 112.32 Kw/h. Utilizando la tarifa 1c para la región, la Comisión Federal de Electricidad establece un valor de \$2.86 por Kw/h, por ello mensualmente existiría un ahorro de \$321.23 y anualmente \$1927.41, considerando abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre con base en al comportamiento climático descrito gráficamente en las isotermas, donde se observa como existen horas del día que llegan a alcanzar los 30°C.

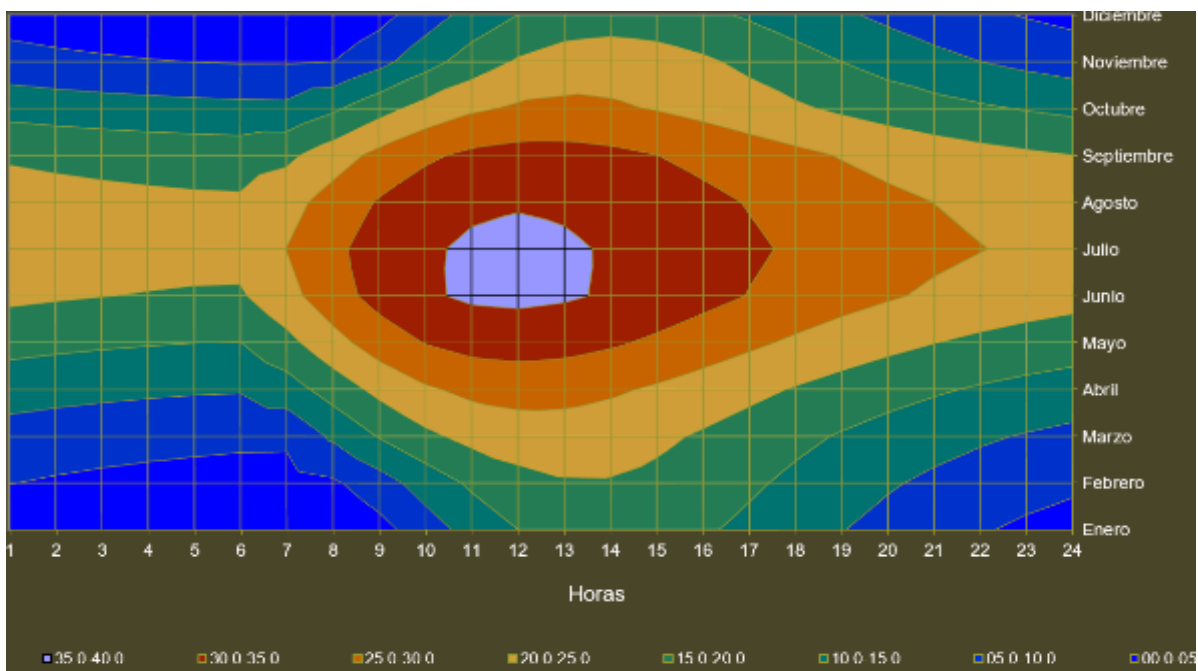


Figura 1.81 Gráfico de isotermas. Elaborada con software Caracterización climática

Además de la disminución en el consumo energético, los aires evaporativos consumen mucha agua, en un estudio realizado en Ciudad Juárez para conocer el consumo de litros por hora se monitoreo un equipo de 4800 CFM, arrojando así un resultado de 22.71 litros por hora en promedio (Martínez, 2007). Mensualmente esto significaría 8,175.6 litros de los cuales 4,251.31 litros pueden ser ahorrados, disminuyendo el uso en un 52% al considerarse anualmente (6 meses) serian 25,507.87 litros o 25.5 m³ al año. Si se examina que el precio por m³ de agua está a \$17.97 en dicho año se tendría una disminución en el pago de \$458.23.

Para concluir el análisis, la figura 1.82 ejemplifica un primer acercamiento al valor del sistema de descarga de calor en una vivienda tipo del fraccionamiento Pradera Dorada de una superficie de 77.30 m², sumado a la figura 1.83 la cual muestra el valor teórico total del sistema completo para su implementación en el uso de agua de lluvia para sanitarios.

El total del sistema considerando la construcción del sobre techo de lámina galvanizada, su estructura, canaletas, bajada pluvial, cisterna de 10,000 litros, bomba centrífuga de ½ caballo de fuerza, excavación, muros de contención a base de block de 6" industrial armado con varilla de 3/8 y concreto de F'c de 200 kg/cm² fda un total de \$73,924.87 pesos mexicanos.

Techo escudo	
Concepto	Costo \$
Lámina galvanizada calibre 28	15,605.32
Estructura de madera de 2 x 2"	5,256.4
Tornillos tipo pija con empaque.	16,23.3
Mano de obra	7,382.15
Total	29,867.17

Figura 1.82 Tabla de costos del techo escudo. Elaboración propia

Sistema completo	
Concepto	Costo \$
Techo escudo de lámina galvanizada	29,867.17
Cisterna de 10,000 litros + bomba + filtro	28,907.50
Tubería de distribución y canaletas	7,350.00
Excavación	1,050.00
Muros de contención	6,750.20
Total	73,924.87

Figura 1.83 Tabla de costo total del sistema de captación pluvial combinado con el techo escudo.
Elaboración propia.

Para conocer el tiempo de recuperación de la inversión se realizaron las tablas de las figuras 1.83, 1.84 y 1.85. Considerando en ellas el ahorro anual, a 5 años y 10 años respectivamente. Con el costo total planteado para el uso del agua de lluvia en W.C se tardaría 19 años en recuperar la inversión, lo cual es un tiempo largo si se busca invertir. Con lo anterior el costo del sistema se puede reducir considerablemente si se cambia el uso, ya que los gastos más elevados para que funcione correctamente es la cisterna, además de la necesidad de 6.5 m² para su instalación. Si bien es cierto que es complicada su implementación como se planteó desde un inicio, esa fue la intención, el conocer y analizar cómo se desempeñaría el prototipo en la situación más compleja. Pero algo a destacar 17,365.05 litros que se pueden captar, sumado a los 25,507.87 litros que se ahorra de uso del aire evaporativo serían 46.82 m³ por vivienda que se eliminaría anualmente del bombeo del acuífero.

Ahorro anual	
Concepto	ahorro \$
Uso agua de lluvia	311.95
Consumo energético	1,927.41
Ahorro agua en aires	458.23
Total	2,697.59

Figura 1.83 Tabla de ahorro anual. Elaboración propia

Ahorro en 5 años	
Concepto	ahorro \$
Uso agua de lluvia	1,559.75
Consumo energético	9,637.05
Ahorro agua en aires	2,291.15
Total	13,487.95

Figura 1.84 Tabla de ahorro en 5 años. Elaboración propia

Ahorro en 10 años	
Concepto	ahorro \$
Uso agua de lluvia	3,119.5
Consumo energético	19,274.1
Ahorro agua en aires	4,582.3
Impermeabilización	2,0871
Total	47,846.9

Figura 1.85 Tabla de ahorro en 10 años. Elaboración propia

4.2 Conjunto habitacional

Considerando la posible implementación a escala urbana, encontramos en el sitio de estudio, del fraccionamiento de Pradera “Dorada (figura 1.86), tiene un total de 2020 viviendas, con un promedio de 3 habitantes según los AGEBS del año 2015. En la figura 1.87 se puede observar el polígono con las viviendas tipo utilizadas para el análisis, las cuales en total son 229 hogares. Además, se ejemplifica con color naranja el polígono de la vivienda ejemplificada en el plano en la figura 1.76

Tal como dice el dicho “la unión hace la fuerza”, si se contemplan las 229 “viviendas tipo” del fraccionamiento Pradera Dorada, anualmente se podrían captar 3,976,596.45 litros o 3,988.32 m³ de lluvia. Si se considera que en promedio un Juarense consume 322 litros de agua al día, al año los 3 habitantes por vivienda consumirán 352,590 litros por las 229 viviendas consumirán un total de 80,743,110 litros. Si se impulsara la infiltración de la lluvia captada, podría irse al acuífero 4.95% del consumo de los habitantes de Pradera Dorada, de la cual la lluvia cosechada será más limpia en comparación a la que se ha dejado correr por las calles.



Figura 1.86 Imagen de localización de Pradera Dorada. Elaboración propia.



Figura 1.87 Imagen de localización de vivienda tipo en Pradera Dorada. Elaboración propia.

Capítulo V:
Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones generales.

En base al desarrollo de esta investigación se concluye que:

La situación de Ciudad Juárez con relación al abastecimiento de agua dulce y el abatimiento del acuífero Bolsón del Hueco evidencia un panorama poco alentador para la localidad. El recurso hídrico limitado que se tiene ya sea superficialmente en el Río Bravo el cual no se utiliza para consumo de la ciudad o subterráneamente en los acuíferos Bolsón del Hueco y Conejos-Médanos es un indicador de alarma para la región. Dicha urbe, geográficamente se encuentra insertada en la zona de la latitud de 31 grados norte, la cual mundialmente es reconocida por los grandes desiertos que ella alberga. En este caso en particular el Desierto Chihuahuense, por ello la característica particular de la poca precipitación y las temperaturas extremas registradas.

Si la principales fuentes de abastecimiento que se tiene en Ciudad Juárez son: el acuífero Bolsón del Hueco el cual ha sido sobreexplotado y el acuífero Conejos-Médanos solo por el simple hecho de funcionar genera grandes costos de mantenimiento ya que se bombea el recurso hídrico desde aproximadamente 40 kilómetros de distancia de la mancha urbana, sumado a tener un posible volumen de extracción menor que el acuífero Bolsón del Hueco por que el agua tiende a ser salina. Es evidente que Ciudad Juárez esta por afrontar una grave escasez de agua dulce, si bien esto no será de un día para otro, poco a poco se verá mermado el abastecimiento, por ello es indispensable el uso sostenible del agua, racionándola, reutilizándola y buscando otras formas de abastecer la demanda, tal como plantea esta investigación, el sistema de captación pluvial combinado con el techo escudo en una propuesta base que puede contribuir a abastecer la demanda del recurso hídrico de los juarenses, sumado un beneficio térmico, que contribuye a la disminución de uso del enfriamiento evaporativo y por ende un menor consumo de agua en estos mismos.

Retomando la hipótesis de esta investigación, la cual señala que:

El sistema de captación pluvial combinado con el techo escudo tiene una mayor captación de lluvia sumado a un mejor comportamiento térmico, en comparación al sistema tradicional de cosecha de lluvia sin el techo escudo, se concluye que es verdadera, ya que en los resultados obtenidos demostraron mediante la comparación de los tres modelos experimentales como se ejemplifica en el apartado de resultados, que el Modelo Testigo (MT), que no cuenta con el techo escudo fue el menos óptimo en captación pluvial y en el comportamiento térmico a diferencia del modelo con el Techo escudo de 15° de pendiente (TE15).

En general el modelo TE15 en el periodo de verano del año 2017 comprendido entre los meses de julio, agosto y septiembre captó 105.93 litros, el modelo TE2 captó 82.29 litros de lluvia, mientras que el modelo MT captó 81.20 litros, aproximadamente 23.34% menos que el modelo con el techo escudo y 15 grados de pendiente.

Para el periodo de verano del año 2018 comprendido por los meses de julio, agosto, septiembre y octubre, el modelo TE15 almacenó un total de 145.93 litros a diferencia del modelo TE2 el cual tuvo 123.57 litros y por último de igual manera que en el año 2017 el modelo MT fue el que captó menos de los tres, un total de 81.20 litros, aproximadamente 44.35% menos que el modelo TE15, el cual en lo que compete a la captación pluvial, este fue el más sobresaliente.

Con respecto a la temperatura interior en los modelos experimentales, dentro del verano del año 2017, el día 28 de julio el modelo TE15 tuvo una temperatura promedio de 28.64 °C, el modelo TE2 28.52 °C y el modelo MT 31.81 °C, en comparativa el modelo testigo registro 3.17 °C más que el modelo con techo escudo y 15° de pendiente. Mientras que, en el año 2018, el día 28 de julio el modelo TE15 registro 31.83 °C de temperatura promedio, el modelo TE2 32.11 °C y por último el modelo MT 35.31 °C que a diferencia del modelo TE15 tuvo 3.5 °C más, por ello en lo que respecta al comportamiento térmico, la combinación del sistema de captación pluvial con el techo escudo es mejor.

Además, se concluye que la capacidad de captación pluvial no solo está sujeta al área de captación y al coeficiente de escurrimiento dictado por el material de la cubierta, como se pudo observar entre los tres modelos experimentales donde la cantidad de lluvia captada fue diferente dependiendo de la morfología del evento climático. Cuando la lluvia era intensa, existía una diferencia más notable entre los tres modelos, mientras que, cuando el evento climático era de menor intensidad, existía una menor diferencia de captación pluvial entre los tres modelos experimentales, pero además de la intensidad también era notorio como intervenía el lapso del evento climático, ya que aunque existiera una gran cantidad de lluvia precipitada en un periodo de tiempo largo de igual manera no se presentaba una gran variación en la captación de los tres modelos, evidenciándose de esta manera que la cantidad no era el factor principal para esta diferencia, más bien la variable que incide en esta anomalía es la intensidad.

Dentro de la gran diferencia de acuerdo a la captación pluvial entre los modelos TE15 y MT es resultado de dos factores principalmente:

*Por un lado, el material óptimo para un mayor coeficiente de escurrimiento en el modelo TE15 a base de lámina galvanizada a diferencia del impermeabilizante asfáltico que tiene un menor coeficiente de escurrimiento.

*El segundo factor fue la pendiente de 15° del techo escudo que a diferencia del modelo testigo cuenta con una pendiente del 2%.

En conclusión, esta aproximación a un prototipo de techo escudo que funcione como captador pluvial, sumado a que pueda ser utilizado sobre un techo de una construcción ya existente o que se implemente desde la concepción inicial de diseño, además que pueda generar un beneficio térmico y una mayor captación pluvial debe seguir mejorándose e investigando para su futura implementación en Ciudad Juárez. Si bien en la aproximación teórica del funcionamiento del prototipo, utilizando el agua de lluvia para inodoros, es difícil considerar 19 años para

recuperar una inversión, existen otros usos más económicos que se pueden llegar a desarrollar y gestionar.

Algo que se debe resaltar es el beneficio ambiental que se puede generar. Si en un fraccionamiento de 229 viviendas anualmente se pueden captar 3,976,596.45 litros de lluvia aunado a una disminución en el consumo eléctrico de 154,327.68 Kw/h, esto puede dar entrada a un beneficio mas importante que el económico. Por ello esta tesis pretende generar las bases para que en futuras investigaciones se pueda ir perfeccionando y adecuando el sistema para una implementación en Ciudad Juárez.

5.2 Recomendaciones.

Se comprende que el problema que se tiene en Ciudad Juárez con respecto al desabasto del agua cada vez será peor. Es urgente encontrar otras formas de abastecernos en la región, por ello esta investigación puede ser utilizada como ejemplo de futuras investigaciones donde la captación pluvial sea planteada como un recurso para abastecer una región al mismo tiempo de disminuir la presión sobre el recurso hídrico.

Es importante comprender para futuras investigaciones que la cantidad de lluvia captable no únicamente es regida por la superficie y el coeficiente de escurrimiento, sino que existen otros factores que alteran la capacidad de captación como la intensidad de lluvia y la pendiente de las superficies.

En el experimento se utilizaron cubetas de plástico rígido como depósitos para la lluvia captada, con el tiempo los rayos solares deterioraron dicho material, provocando así la necesidad de un remplazo para las mediciones del segundo periodo. Por ello será pertinente el utilizar depósitos resistentes a la intemperie.

Debido a las condiciones climáticas de la región con veranos que registran temperaturas muy elevadas e inviernos con temperaturas muy bajas, es necesario el poder desarrollar una investigación que considere el comportamiento térmico y la captación pluvial en el periodo de invierno, para poder conocer el funcionamiento del techo escudo como captador pluvial en épocas invernales. El presente estudio solo se enfocó en verano para conocer a profundidad el comportamiento en los meses cálidos.

Líneas futuras de investigación.

Por lo observado en la investigación, se ve la pertinencia de generar otros estudios futuros:

- Una investigación para comprender la capacidad de captación pluvial, dependiendo de la intensidad de la lluvia y el cómo afecta la pendiente de las superficies el coeficiente de escurrimiento.

- La elaboración de un estudio del costo-beneficio del prototipo, para conocer a profundidad las características de inversión y la eficiencia de su implementación.
- Desarrollar un análisis de costo de ciclo de vida para entender la viabilidad y sostenibilidad del sistema combinado de la captación pluvial con el techo escudo.

Bibliografía.

1. WEF. (2018). The Global Risks Report 2018 13th edition. Switzerland, Geneva.: World Economic Forum.
2. Serrano, S. (2014). Aprovechar el agua de lluvia. Doble solución. *impluvium*. Recuperado de <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero01.pdf> .
3. Hernández, V., Contreras, C., Gonzáles, G., Morillón D. y Fernández J. (2011). Modelo analítico que describe el comportamiento térmico de un sistema de descarga de calor en techos. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 33 (1), 33-42.
4. Chi-ming, J. y Huang, J. (2007). Optimal spacing for double-skin roofs. *Building and Environment*, 43 (2008), 1749-1754.
5. Hernández, J. (2013). Rompiendo el paradigma de los edificios inteligentes. Tesis publicada. Ciudad de México: UNAM.
6. IMIP. (2016) Plan de Desarrollo Urbano sostenible de Cd. Juárez, Chihuahua. Cd. Juárez: IMIP.
7. IMIP. (2016) Atlas de riesgos naturales y atlas de riesgos antropogénicos. Cd. Juárez: Gobierno municipal de Juárez.
8. Espinoza, C. (2009). Agua para uso doméstico, disponibilidad, tratamiento y reuso eficiente, para el desarrollo del predio Valle Las Dunas, en Cd. Juárez Chih”. Tesis publicada. Ciudad Juárez: UACJ.
9. INEGI. (1990) XI Censo General de Población y Vivienda 1990. Cd. de México: INEGI.
10. INEGI, (2012). ZONA HIDROLIGICA CONEJOS – MEDANOS. AGUASCALIENTES. INEGI
11. Arroyo, G. y Sánchez J. (2013). MANUAL DE PRACTICAS DE LA MATERIA LIMNOLOGÍA. Investigación no publicada. Mazatlán: UAS.
12. Moreno, F. (2010, noviembre). DETERMINACIÓN DE CLORUROS EN AGUAS CORRIENTES Y AGUAS MINERALES NATURALES POR EL MÉTODO DE

MHOR. Recuperado de

<http://www.escriitoscientificos.es/trab21a40/clorurosaguas/00cloruros.htm>

13. WHO. (1996). Total dissolved solids in Drinking-water. Geneva.: World Health Organization.

14. Clarke, R. y King J. (2014). The Water Atlas. Los Angeles: University of California Press.

15. IPCC. (2012) SPECIAL REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. New York: IPCC.

16. ONU. (2017). La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030. Recuperado de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>

17. CONAGUA. (2016). Estadísticas del agua en México edición 2016. México D.F.: CONAGUA.

18. CONAGUA. (2014). Estadísticas del agua en México edición 2014. México D.F.: CONAGUA.

19. CONAGUA. (2013). Estadísticas del agua en México edición 2013. México D.F.: CONAGUA.

20. CONAGUA. (2015) Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México. Cd. de México: CONAGUA.

21. CONAGUA. (2015) Atlas del agua en México 2015. Cd. de México: CONAGUA.

22. INEGI. (2015). Censo de población 2015. Recuperado de http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/chih/territorio/div_municipal.aspx?tema=me&e=08

23. CANAPO. (2010) PROYECCIONES DE LA POBLACIÓN 2010-2050. Recuperado de <http://www.conapo.gob.mx/ES/CONAPO/PROYECCIONES>

24. Arnold, J., Chester L. y Gibbons J. (1996). Impervious Surface Coverage. The Emergence of a Key Environmental Indicator. Journal of the American planning association. 62 (2),(1996). 243-258.
25. Mazari, M. (2003, mayo). El agua como recurso. *¿Como ves?*. Recuperado de <http://www.comoves.unam.mx/numeros/indice/54>
26. Salas J (2006). Problemática del Agua y Crecimiento Urbano en Ciudad Juárez, Chihuahua. Cd. Juárez: UACJ.
27. Gould J. y Nissen E. (1999). Rainwater catchment systems for domestic supply : design, construction and implementation. Londres: Intermediate Technology Publications.
28. Lancaster, B. (2009). [Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond](#) Volume 1. Tucson: Rainsource Press.
29. Lorelei, R. y Zapata P. (1989). Los chultunes: sistemas de captación y almacenamiento de agua pluvial. Ciudad de México: INAH
30. IMIP. (2016) Radiografía Socioeconómica del Municipio de Juárez 2016, así comenzó 2017. Ciudad Juarez: IMIP.
31. Domínguez, J. (23 de marzo de 2017). Bajaré presión del agua en la ciudad. El mexicano. Recuperado de: <https://www.periodicoelmexicano.com.mx/local/bajara-presion-del-agua-en-la-ciudad> .
32. Luján R. y Garza V. (2005). Tecnologías alternas de desalinización del acuífero del Bolsón del Hueco para el abastecimiento de agua potable a Ciudad Juárez, Chih., México. Tesis no publicada. Cd. Juárez: UACJ.
33. Herrera, L. (2009). Evaluación de estrategias bioclimáticas aplicadas en edificios y su impacto en la reducción del consumo agua en equipos de enfriamiento evaporativo directo. Tesis publicada. Coquimatlán: UCOL.

34. Novak A, DeBusk, K. y Van Giesen E. (2014). *Designing Rainwater Harvesting systems: integrating Rainwater into Building systems*. New Jersey: John Wiley & Sons.
35. Worm, J. y Hattum, T. (2006). *Rainwater harvesting for domestic use*. Netherlands: Digigrafi
36. Burgess, B. (2012) *Rainwater Harvesting BEST PRACTICES GUIDEBOOK*. British Columbia: REGIONAL DISTRICT OF NANAIMO.
- Krishna, J. (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*, Austin Texas.: Texas Water Development Board
37. Environment Agency. (2010). *Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide*. Almondsbury: Environment Agency.
38. Vasudevan, L. (2002) *A study of Biological Contaminants in Rainwater Collected from Rooftops in Bryan and College Station*. Texas: Texas A&M university.
39. Chi-ming, J. y Huang, J. (2007). Optimal spacing for double-skin roofs. *Building and Environment*, 43 (2008), 1749-1754.
40. Morrone B, CAMPO A, y Manca O. (1997). Optimum plate separation in vertical parallel-plate channels for natural convective flows: incorporation of larger spaces at the channel extremes. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 40(5):993–1000.
41. Morales, J. (1993). *ESTUDIO DE TECHOS DE EDIFICIOS CONSTRUIDOS PARA OPERAR EN FORMA PASIVA*. Tesis publicada. Ciudad de México: UNAM.
42. Franco y Asociados Consultores. (1993). *Una estrategia para el desarrollo para el uso sustentable del recurso agua en la región Paso del Norte*, subcontrato denominado —Evaluación de consumos de agua en la región. El Paso: UTEP.
43. Martínez, R. (2007). Consumo y desperdicio de agua de los sistemas evaporativos residenciales. *Revista Cultura Científica y Tecnológica*. (22), (2007). pp. 6-12.
44. <http://www.airefrescoysano.com/los-climatizadores-evaporativos-realmente-enfrian/>

45. <http://www.ventdepot.com/mexico/temasdeinteres/faqs/airelavado/>
46. <https://www.periodicoelmexicano.com.mx/local/anuncian-aumento-en-el-cobro-del-agua-2869944.html>
47. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRECasa/Tarifas/Tarifa1C.aspx>
48. http://cimepowersystems.com.mx/descargas/Tablas_Consumo-Electrico.pdf