

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA

FACULTAD DE INGENIERÍA

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



**EVALUACION DEL IMPACTO HIDROLÓGICO Y TÉRMICO QUE
TIENE LA CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD DE CHIHUAHUA**

POR:

ANA CAROLINA DEL RÍO RODRIGUEZ

TESIS PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN HIDROLOGÍA

CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO

OCTUBRE 2023



Evaluación del impacto hidrológico y térmico que tiene la construcción en la ciudad de Chihuahua. Tesis, Tesina o Estudio de Caso presentado por Ana Carolina Del Río Rodríguez como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Hidrología, ha sido aprobado y aceptado por:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Fabián', written above a horizontal line.

M.I. Fabián Vinicio Hernández Martínez
Director de la Facultad de Ingeniería

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Fernando', written above a horizontal line.

Dr. Fernando Martínez Reyes
Secretario de Investigación y Posgrado

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Miguel', written above a horizontal line.

M.I. Miguel Ángel González Núñez
Coordinador Académico

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Humberto', written above a horizontal line.

Humberto Silva Hidalgo
Director de Tesis

Octubre 2023

Fecha 23/10/2023

COMITÉ

Humberto Silva Hidalgo
Rosa María Añón Abajas
Adán Pinales Munguía
Linda Carolina Ortega Robles

Dedicatoria

Le dedico el resultado de este trabajo a mis padres, por haber formado en mí el deseo de superación y el anhelo del triunfo en la vida; por compartir mis penas, mis alegrías, mis pequeñas victorias y dolorosos fracasos, siempre con una palabra de aliento para continuar luchando.

A ustedes debo este logro y con ustedes lo comparto.

Agradecimientos

Le agradezco profundamente a mi director de tesis el Dr. Humberto Silva Hidalgo, por su orientación, paciencia, trabajo y sobre todo por su fe en mis objetivos.

Agradezco al Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo y patrocinio para la realización de esta maestría.

Agradezco a la Universidad Autónoma de Chihuahua por siempre reconocer mis méritos dentro del curso, apoyándome con costos de inscripción, así como un agradecimiento infinito por el apoyo económico para mi movilidad en la Universidad de Sevilla, España.

También quiero agradecer a todos mis docentes por su excelente trabajo, despertando en mí un interés que va mucho más allá de obtener un grado académico.

Les agradezco indefinidamente a la Dra. Arq. Rosa María Añón Abajas y al Dr. Arq. Amadeo Ramos Carranza por haberme invitado y recibido en la Universidad de Sevilla, para transmitirme sus conocimientos e incluirme dentro de sus materias y cursos con su grupo de alumnos.

Por último, pero no menos importante, les agradezco enormemente a mis amistades, y familiares que siempre se preocuparon por apoyarme y darme ánimos para continuar en mis proyectos, siempre presentes en los buenos y malos momentos.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

30 de noviembre de 2023.

ARQ. ANA CAROLINA DEL RÍO RODRIGUEZ
Presente. -

En atención a su solicitud relativa al trabajo de tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería en Hidrología, nos es grato transcribirle el tema aprobado por esta Dirección, propuesto y dirigido por el director **Dr. Humberto Silva Hidalgo** para que lo desarrolle como Tesis, con el título **“EVALUACIÓN DEL IMPACTO HIDROLOGICO Y TÉRMICO QUE TIENE LA CONSTRUCCIÓN EN LA CIUDAD DE CHIHUAHUA”**.

Índice de Contenido

Agradecimientos

Capitulo 1 Introducción

1.1 Antecedentes

1.1.1 Sostenibilidad

1.1.2 Huella hídrica y huella de carbono

1.1.3 La comisión nacional del agua

1.1.4 La evolución de la arquitectura en Chihuahua (1960-2021)

1.1.5 Análisis de la temperatura

1.1.6 Satélite LANDSAT

1.2 Planteamiento del problema

1.3 Justificación

1.4 Objetivos

1.5 Hipótesis

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Localización

2.2 Climatología

2.2.1 Precipitación

2.2.2 Temperatura

2.3 Topografía

2.4 Hidrografía

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih, México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

2.5 Uso de suelo y vegetación

2.6 Urbanización

2.7 Disponibilidad de agua

Capítulo 3: Origen de la energía eléctrica suministrada a la ciudad de Chihuahua y su uso habitacional

Capítulo 4: Análisis de principales sistemas constructivos actuales, de las instalaciones hidrosanitarias convencionales y de la Huella Hídrica de los procesos constructivos y los materiales principales.

4.1 Sistemas constructivos actuales

4.2 Huellas hídrica en materiales y procesos utilizados en la construcción

4.3 Instalaciones hidrosanitarias

Capítulo 5: Sistemas constructivos deseables

5.1 Un diseño bioclimático

Capítulo 6: Comparativa entre sistemas constructivos deseables y sistemas constructivos actuales

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

Referencias

Curriculum Vitae

Tablas

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx

The logo for the Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH) consists of a stylized yellow cross symbol followed by the lowercase letters 'uach' in a bold, blue, sans-serif font.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
CHIHUAHUA

ATENTAMENTE
"naturam subiecit aliis"

EL DIRECTOR

M.I. FABIÁN VINICIO HERNÁNDEZ
MARTÍNEZ

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO
FACULTAD DE
INGENIERÍA
U.A.CH.

DR. FERNANDO MARTÍNEZ REYES



DIRECCIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA
Circuito No. 1, Campus Universitario 2
Chihuahua, Chih., México. C.P. 31125
Tel. (614) 442-95-00
www.fing.uach.mx

+uach



Índice de Ilustraciones

Ilustración 5.1. Ventilación cruzada. Del Río R, 2023. Del Río R, 2023.	55
Ilustración 5.2. Componentes de un adecuado sistema de ventilación. Del Río R, 2023.	54
Ilustración 5.3. Ruta de ventilación con un patio interior. Del Río R., 2023. ...	55
Ilustración 5.4. Esquema de una cubierta vegetal. Del Río R., 2023.	55
Ilustración 5.5 Componentes de muro verde. Del Río R., 2023.	56
Ilustración 5.6. Elementos para el correcto funcionamiento de una chimenea solar. Del Río R., 2023.	56
Ilustración 5.7. Componentes del muro Trombe. Del Río R., 2023.	56
Ilustración 5.8. Porcentajes de fugas de calor. Del Río R., 2023.	57
Ilustración 5.9. Esquema del doble vidrio. Del Río R., 2023.	57
Ilustración 5.10. Componentes de un sistema solar fotovoltaico. Del Río R., 2023.	57
Ilustración 5.11. Componentes de un sistema de turbina eólica. Del Río R., 2023.	58
Ilustración 5.12. Componentes de un sistema geotérmico. Del Río R., 2023. .	58
Ilustración 5.13. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Del Río R., 2023.	58
Ilustración 5.14. Componentes de una instalación de un aerogenerador doméstico. Del Río R., 2023.	59
Ilustración 5.15. Componentes de un sistema de recogida de aguas grises. Del Río R., 2023.	59
Ilustración 5.16. Componentes de un sistema de depuración de aguas grises. Del Río R., 2023.	60



Capítulo 1: Introducción

1.1 ANTECEDENTES.

1.1.1 Sostenibilidad

Desarrollo sostenible se define como la capacidad de satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la de las generaciones futuras. El desarrollo sostenible ha emergido como el principio rector para el desarrollo mundial a largo plazo. De acuerdo con el informe “Nuestro futuro común” de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU (1987), el desarrollo sostenible consta de tres pilares: (1) el desarrollo económico, (2) el desarrollo social y (3) la protección del medio ambiente.

En 1992, la comunidad internacional se reunió en Río de Janeiro, Brasil, para discutir los medios para poner en práctica el desarrollo sostenible. Durante la denominada Cumbre de la Tierra de Río, los líderes mundiales adoptaron el Programa 21 (Agenda 21), con planes de acción específicos para lograr el desarrollo sostenible en los planos nacional, regional e internacional. (Hyun Sung, 1992).

De forma similar, Michael Jacobs (1996) en su libro “La economía verde” propone 3 elementos básicos en un desarrollo sostenible; el primero es considerar las condiciones medioambientales en la toma de decisiones, el segundo es incorporar la equidad social, mejorando el nivel de vida con una justa distribución de la riqueza y el tercero asentar que el desarrollo no debe de ser un sinónimo de crecimiento, simplemente debe de incorporar elementos monetarios, justos a la calidad de vida o bienestar de una población.

1.1.2 Huella Hídrica y Huella de Carbono

La Huella Hídrica (HH) es un concepto que acuñó en el 2002 el Prof, Arjen Hoekstra (Universidad Twente, Países Bajos), que indica el volumen de agua utilizada en la elaboración de un producto, de un proceso, una ciudad ó un país. Este es un concepto multidimensional, conceptualizado sobre colores en el agua, que fueron introducidos por



primera vez, por la hidróloga de origen sueco, Malin Falkenmark, y definió el agua verde como "el agua de lluvia que se infiltra en la zona de las raíces y se utiliza para la producción de biomasa", y el agua azul como "el agua que se escurre de la superficie del suelo o las filtraciones más allá de la zona de las raíces forman agua subterránea" (Falkenmark, M., 1995). En una publicación más reciente, el agua verde se ha definido como el agua del suelo contenida en la zona insaturada, formada por la precipitación y disponible para las plantas, mientras que el agua azul se refiere al agua líquida en ríos, lagos, humedales y acuíferos, que se puede extraer para riego y otros usos humanos. Así, la huella hídrica azul, se refiere al consumo de los recursos de agua azul (agua superficial y subterránea), la huella hídrica verde se refiere al consumo de los recursos de agua verde (agua de lluvia en la medida en que no se pierde por filtro o río abajo) y la huella hídrica gris, se refiere a la contaminación y se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes más allá de las concentraciones naturales del lugar y la calidad del agua.

Por lo tanto, este concepto nos genera una perspectiva de como un consumidor o productor, afecta el uso de sistemas de agua dulce, dándole una medida volumétrica al gasto por un proceso o un producto. (Arjen Y., et al., 2010).

Los materiales de construcción "eco amigables" son capaces de minimizar la huella hídrica de la edificación (Zabalza I., 2007).

Por otra parte, el concepto de Huella de Carbono, se refiere a la representación del volumen total de gases de efecto invernadero (GEI), que producen las actividades económicas y cotidianas del ser humano. Es un indicador ambiental que mide las emisiones directas e indirectas de compuestos como el metano (CH_4), el óxido de nitrógeno (NO_2), los hidrofluorocarburos (HFC's), los perfluorocarburos (PFC's), el hexafluoruro de azufre (SF_6) y, sobre todo, del más abundante y que más ha contribuido al calentamiento global desde 1990: el bióxido de carbono (CO_2). (Iberdrola, 2021). Por ejemplo, en España es obligatorio que los materiales emitan una mínima cantidad de gases de efecto invernadero como el bióxido de carbono, y es necesario que sean reciclables y reutilizables. Así se estipula en la norma europea de Declaración Ambiental de Producto (DAP) (2020).



1.1.3 La Comisión Nacional del Agua

En México el agua superficial y subterránea es propiedad de la nación y corresponde al Poder Ejecutivo su administración, basada en la Ley de Aguas Nacionales (LAN), en la que se establecen los lineamientos para el aprovechamiento y preservación del agua, en donde se declara a la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA) como la autoridad responsable de su administración.

La Ley de Aguas Nacionales establece las disposiciones para regular las concesiones, en base al uso o aprovechamiento de las aguas nacionales en cada derecho otorgado, sujeto a determinadas condiciones para la descarga de aguas residuales en cantidad y calidad.

1.1.4 La evolución de la arquitectura en Chihuahua (1960-2021)

Se puede decir que en el periodo de 1960-1980 las edificaciones, locales o casas, eran más sostenibles que en la actualidad. Debido al crecimiento desmesurado de la ciudad, generando que se comercialicen lotes de terrenos más reducidos, en donde ya no queda espacio, para orientar fachadas de manera conveniente al aprovechamiento solar, ni espacio para jardinería, la cual brinda naturalmente sombra y frescura. Este nuevo estilo de vida genera necesidades atendidas por novedades tecnológicas, que han ido evolucionando junto con la urbe, como, por ejemplo, equipos de climatización frío/caliente, secadoras, equipos automatizados, entre otras instalaciones que son caracterizadas por su alta demanda de energía, así como alta huella de carbón.

Debido al desarrollo no solo espacial o poblacional sino también económico de la ciudad, el costo de un terreno para construir ha aumentado considerablemente. Incluso, un salario de profesionista promedio no es suficiente para adquirir una propiedad y cuando existe la oportunidad por medio de un crédito, las familias jóvenes consiguen una casa de interés social donde las dimensiones son tan limitadas que dificulta a una familia de 2 adultos y 3 hijos poderlas habitar. Estrechas áreas, conllevan a un diseño de pequeños elementos, en un intento de encontrar funcionalidad y año con año salen a la venta nuevos materiales, muebles e incluso automóviles de diminutos tamaños. Ejemplos de materiales para construcción son el block de 10 y 15 cm de espesor, ladrillo, placas aislantes de 2'' de



espesor, calentones y abanicos, muebles minimalistas y sobre todo cocinetas, salas y comedores; también se observa una tendencia al diseño y edificación verticales.

Algunas de las características de los hogares entre 1960-1980 es que, eran amplios espacios interiores en las casas habitación; incluso si eran de interés social, no se utilizaban instalaciones de clima, así que no era común observar un Mini Split o plafón de tablarroca para ocultar ductos e instalaciones eléctricas e hidrosanitarias. En general, se construían casas térmicas, comúnmente a base de adobe, con muros de 30 cm de espesor, donde la temperatura se mantenía agradable de forma natural. En algunos casos para el invierno, utilizaban calentones o estufa de leña y tenían un doble propósito, hornear los alimentos y calentar el hogar.

La amplitud del espacio permitía ubicar chimeneas y grandes ventanales en lugares estratégicos que permitían el flujo de aire e iluminar una habitación. Las “áreas verdes” eran el terreno natural con algunas plantas o árboles representativos de la región, no era común que las casas en venta contaran con césped o palmeras en el patio.

Además, no todas las familias tenían televisión y mucho menos una en cada recámara, así como diversos aparatos electrónicos y electrodomésticos que hoy conocemos como productos que simplemente facilitan las tareas o son para el esparcimiento, pero no de primera necesidad.

Otra novedad en Chihuahua es la vivienda vertical, es decir, edificios departamentales que evidencian, la evolución en la vivienda tendiente a aumentar la densidad por metro cuadrado de superficie.

El diseño arquitectónico, en esencia busca fundamentalmente la funcionalidad y el confort. Sin embargo, existe una contradicción en éstos principios, la esperanza de vida en 1970 era de 58 años de edad los hombres y 60 las mujeres (INEGI, 2020)., periodo en el cual, los hogares y comercios eran de un nivel o una planta, en contraste con el año 2019, la esperanza de vida es de 72 años los hombres y 78 las mujeres. Sin embargo, las casas y comercios promedio tienen dos plantas, generando en la actualidad, una dificultad para



circular dentro del propio hogar a personas de edad avanzada y personas con alguna discapacidad.

Aludiendo a la infraestructura y comercialización, eran pocos los automóviles en circulación en calles mayoritariamente sin pavimento y en la ciudad no había gran cantidad de plazas comerciales, el centro histórico era el lugar para ir de compras o para dar un paseo.

En general, la edificación en Chihuahua ha ido creciendo no solo en el ámbito habitacional, también en el laboral y comercial. Actualmente, existe una plaza comercial por colonia en promedio y es indispensable tener una instalación de clima, porque los edificios tienen fachadas de vidrio, lo que se ve agravado con el hecho de que el promedio de la temperatura del norte del país ha aumentado. Algunos ciudadanos que han vivido en la ciudad de Chihuahua en el periodo de 1960-2020, comentan que el cambio en esta evolución se marcó a partir de 1980.

Chihuahua se fue adaptando al crecimiento poblacional, hasta llegar a un punto donde se observan algunos daños colaterales en la naturaleza del estado, como es el abatimiento de sus acuíferos, principales ríos secos y cambios drásticos en la cobertura vegetal y en el paisaje que es un indicador de salud ambiental deteriorada.

1.1.5 Análisis de la temperatura

Se realizó un análisis de temperatura en un periodo histórico desde 1960 al 2021 de la ciudad de Chihuahua. (Silva H., 2022.), tomando los datos de temperatura de la estación climatológica de Observatorio Chihuahua, donde el promedio de la temperatura del periodo de 1960-1988 es de 17.7 °C y el promedio del periodo de 1992-2021 es de 19.6 °C. El aumento del promedio de un periodo a otro es de 1.9°C. El análisis gráfico, muestra una línea de tendencia y un promedio móvil con tendencia al alza, denotando un incremento abrupto entre 1988-1992 (Figura 1.1).

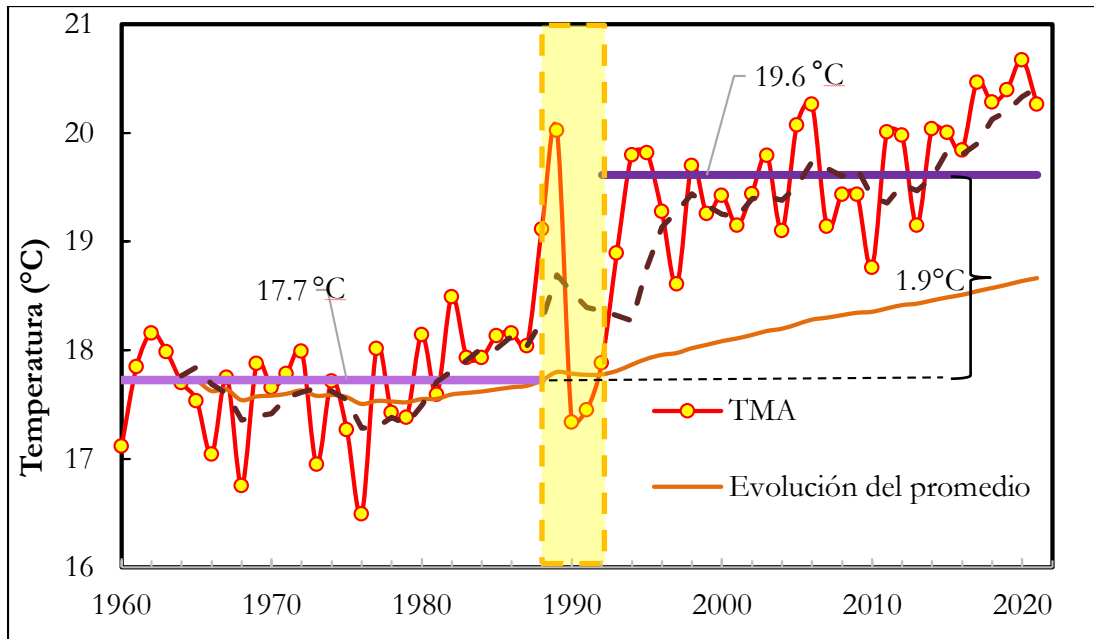


Figura 1.1 Gráfico de comportamiento en la temperatura Chihuahua. (Silva-Hidalgo., 2022).

El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) muestra proyecciones para la ciudad de Chihuahua en base a las Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) a corto, mediano y largo plazo en los diferentes escenarios 2.6, 4.5, 7 y 8.5, los cuales aumentan el nivel de catástrofe en ese orden (Tabla 1).

Tabla 1.1 Proyecciones de temperatura para la ciudad de Chihuahua (IPCC, 2022).

Periodo	SSP1 RCP 2.6	SSP2 RCP 4.5	SSP3 RCP 7	SSP5 RCP 8.5
Corto Plazo (2021 - 2040)	1.25	1.32	1.27	1.45
Mediano Plazo (2041 - 2060)	1.63	2.01	2.22	2.56
Largo Plazo (2081 - 2100)	1.62	2.94	4.28	5.44



Como se observa en la Tabla 1.1, el aumento en el promedio de la temperatura de los periodos 1960-1988 y 1992-2021, es superior a todos los escenarios de las proyecciones a corto plazo (2021-2040) del IPCC e incluso mayor a dos escenarios de mediano plazo (2041-2060), y a uno de largo plazo (2081-2100).

1.1.6 Satélite LANDSAT

LANDSAT (LAND = tierra y SAT = satélite) fue el primer satélite enviado por los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. Su nombre inicial fue ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) y posteriormente recibieron el nombre de LANDSAT. Su constelación esta formada por 7 satélites de fines meteorológicos, captando con precisión y detalle aspectos radiométricos, geométricos y espaciales (Tabla 1.2).

Actualmente se encuentran activos LANDSAT 5 Y 7, los cuales son administrados por la NASA (National Space and Space Administration), sin embargo, su producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Tabla 1.2. La Constelación LANDSAT. INEGI, 2022.

La constelación LANDSAT

	SATÉLITE	FECHA DE LANZAMIENTO	FIN DE OPERACIÓN
Satélites activos	ERTS1	23/julio/1972	05/enero/1978
	LANDSAT 2	22/enero/1975	27/julio/1983
	LANDSAT 3	05/marzo/1978	07/septiembre/1993
	LANDSAT 4	16/julio/1982	14/diciembre/1993
	LANDSAT 5	01/marzo/1984	EN OPERACIÓN
	LANDSAT 6	03/octubre/1993	03/octubre/1993
	LANDSAT 7	1998	EN OPERACIÓN



Las imágenes de LANDSAT se componen por 7 u 8 bandas espectrales para monitorear vegetación, geología y recursos naturales.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad en el estado de Chihuahua, las obras arquitectónicas, civiles, y urbanas son mayoritariamente planificadas en base a tiempos de entrega, economía, y estética. Es la minoría, de los proyectos de construcción, los que toman como prioridad un enfoque que no dañe el medio ambiente, por ejemplo, proyectos arquitectónicos que busquen un ahorro de agua en sus instalaciones hidrosanitarias, por el tiempo de vida de la construcción, o proyectos que busquen un ahorro de la utilización de energía eléctrica y gas durante la vida útil de las edificaciones.

Lo que si tiene mercado en la actualidad son los paneles solares y el motivo principal no es porque se busque disminuir el dióxido de carbono, sino porque representa un ahorro en el pago del servicio de energía eléctrica.

Mismo caso aplicado con el agua. Son pocos los proyectos basados en la protección del agua subterránea y superficial de la zona. Por otro lado, las plantas tratadoras de agua se construyen debido a la normatividad que se debe cumplir, pero no necesariamente debido a un cambio cultural con respecto al cuidado del líquido y del medio ambiente. Cabe destacar que en muchos proyectos arquitectónicos se propone el reciclado de aguas grises, sin embargo, son propuestas con fines lucrativos, lejos de tener una visión de cuidado del medio ambiente, simplemente buscando beneficio económico en el recibo del agua.

Según la Comisión Nacional del Agua (2020), 42 de 61 acuíferos del estado están en déficit, por ejemplo, los acuíferos Chihuahua Sacramento El Sauz-Encinillas y Tabalopa Aldama son los que abastecen de agua a la ciudad y presentan un déficit anual (2020) de -68.71 hm³, -58.65 hm³ y -9.6230 en ese orden.

El agua subterránea y superficial son dependientes una de la otra. Hay casos donde los cauces se secan debido a la extracción de agua subterránea cerca de ellos, así como también los acuíferos se abaten debido a la falta de recarga de aguas superficiales.



“Sin duda alguna para la elección del sitio en que fue fundada la actual ciudad de Chihuahua (1709), influyó como factor determinante la existencia de un caudal de agua permanente. Además, se utilizaba agua proveniente de los manantiales de los Ojos del Chuvíscar, así como de los escurrimientos del propio río Chuvíscar originado en la temporada de lluvias y que persistía por varios meses después de que ésta terminaba. Lo mismo puede decirse de los escurrimientos del río Sacramento, en cuya cuenca abundaba la vegetación arbórea” (Durán J., 1995).

Es lamentable que el río que dio vida a la ciudad de Chihuahua se ha secado, y solamente queda el recuerdo de la abundancia hídrica que gozaron los chihuahuenses. “El agua procedente del río Chuvíscar, captada en la derivadora el salto, conducida por el acueducto hasta pilas y fuentes y distribuida por acequias, canales de cal y canto y por último mediante tuberías, a los pobladores de la ciudad, satisfacía las necesidades de sus habitantes, en tanto la población crecía.” (Durán J., 1995).

A partir de 1935 se inició la explotación del acuífero Chihuahua Sacramento. En la década de los 40 se perforaron los primeros 7 pozos, donde el agua que se producía era potable por naturaleza. Sin embargo, para la década de los 90, el río Sacramento ya estaba seco casi completamente debido al bombeo, mismo caso para el río Chuvíscar el cual es víctima de la extracción. La presa el rejón ya no presenta cantidades significantes de agua y debido a ello, se recurrió con una mayor demanda a las aguas subterráneas, las cuales como se especifica en párrafos anteriores están un importante déficit y estrés hídrico actualmente.

Considerando lo anterior, resulta pertinente plantear preguntas como son: ¿Qué pasa si se agota el recurso hídrico subterráneo también? ¿A qué medidas preventivas podemos recurrir en este punto?

1.3 JUSTIFICACIÓN.

Se han realizado diversos estudios de arquitectura sostenible y bioclimática (López P., 2019, La Roche P., 2021), en donde se demuestra el ahorro de agua y energía con diferentes sistemas constructivos, sin embargo, no hay ningún estudio que



externalice, como la construcción sostenible nos puede ayudar mantener la disponibilidad del agua subterránea y superficial de Chihuahua.

La Agenda Hídrica Municipal de Chihuahua 2018-2021, expone las acciones de estrategia para garantizar el abastecimiento de agua en el municipio de Chihuahua y entre ellas se encuentran las siguientes:

- La recarga artificial de acuíferos: Cuya recuperación no representaría ni el 1% del déficit actual, y requiere una inversión de \$10.3 MDP.
- La conservación y restauración de cuencas; Donde los beneficiados fueron 5 ejidos y genera una inversión de \$6 MDP.
- Reconversión productiva; Que consistió en compartir información de manejo sustentable de agua, con demostraciones de sistema de goteo para riego en cultivos como, la frambuesa, granada, membrillo, vid, higo, olivo y fresa, los cuales no representan ni el 12.5% de los cultivos del estado (INEGI, 1991.) y generó un gasto de \$600,000.00 pesos.
- Reúso de aguas residuales para riego, en una zona agrícola del acuífero de Tabalopa-Aldama que requiere una inversión de \$2 MDP.

Todo esto con el propósito de avanzar hacia la sostenibilidad recuperando niveles de abatimientos y cambiando los sistemas de extracción que perjudican a futuro el recurso. No obstante, es importante observar que la inversión de la Agenda se elevó a 26.2 MDP y la tasa de retorno se reduce a una recuperación hídrica en bajos porcentajes. Ninguna de las acciones anteriormente mencionadas abarca una solución a la demanda de agua de la urbanización, la cual tiene en común que es sostenible y requiere una inversión económica que, a diferencia de algunas soluciones de la Agenda Hídrica, tiene una tasa de retorno. Un ejemplo son los paneles solares, que además de utilizar energía limpia, puede recuperar la inversión a un mediano plazo.

El Plan Hídrico Estatal 2040 coincide en algunas soluciones con la Agenda Hídrica Municipal y aparte propone inversiones para resolver el problema del déficit, desde la gobernanza, con el fortalecimiento de organismos operadores de agua potable, con control



de extracciones y mejoras de JMAS y JRAS en gestión y medición de presiones en las localidades. Cabe destacar que los propósitos de eliminar tandeos y surtir de agua las 24hrs. en toda la ciudad, es un gran reto, ya que requiere una importante inversión y adecuaciones en la red de distribución de agua municipal, incluyendo instalación de válvulas y accesorios hidráulicos, modificación e instalaciones para control de presiones y aire en las tuberías en los accesorios presurizadores de las instalaciones hidráulicas subterráneas.

Por lo tanto, se considera que la urbanización sostenible es una pieza esencial en este rompecabezas de propuestas, para alcanzar un evidente y eficaz ahorro de agua, en vista de que la solución de la arquitectura sostenible no solo radica en sus instalaciones hidrosanitarias, sino también desde la reducción de gases de efecto invernadero que generan los equipos eléctricos y electrónicos utilizados para reemplazar una carencia de diseño bioclimático.

Este análisis también pretende servir como una base de propuestas factibles de modificaciones de carácter ambiental en el reglamento de construcciones y normas técnicas para el municipio de Chihuahua.

1.4 OBJETIVOS.

Evaluar el posible impacto en la disponibilidad hídrica si se opta por emplear sistemas, materiales y equipamientos sostenibles en la construcción de vivienda en la ciudad de Chihuahua.

- Recopilar y analizar información climatológica de la ciudad de Chihuahua y sus alrededores, así como de la disponibilidad de agua en el municipio y sus alrededores.
- Analizar el gasto hídrico, gas o combustible que genera una termoeléctrica de ciclo combinado.
- Caracterizar los sistemas constructivos convencionales que se emplean en la ciudad de Chihuahua, así como los problemas que se generan con ellos en términos de sostenibilidad.



- Recopilar información relativa a los consumos energéticos, combustibles a nivel residencial y agua que tienen lugar en la ciudad de Chihuahua.
- Analizar con estudios previamente realizados, la huella hídrica del método constructivo más utilizado en Chihuahua. (losa y cimentación de concreto, muros de block).
- Recopilar y analizar información relativa a sistemas y materiales sostenibles para la construcción, equipos, aditamentos o dispositivos ahorradores de energía, combustibles y agua.
- Identificar los sistemas constructivos y materiales sostenibles que tienen mayor viabilidad de emplearse en la ciudad de Chihuahua.
- Identificar los equipos, aditamentos o dispositivos sostenibles que tienen mayor viabilidad de emplearse en la ciudad de Chihuahua.
- Evaluar el efecto que tendría el uso de procedimientos, materiales, equipos, aditamentos y dispositivos sostenibles en la disminución de consumo de energía, combustibles y agua.

1.5 HIPÓTESIS.

Empleando sistemas sostenibles, se puede generar un ahorro directo de energía y agua en el periodo de vida de una de edificación debido a la reducción en el consumo, lo que podría contribuir a recuperar la disponibilidad hídrica de la ciudad.



El municipio de Chihuahua se encuentra exactamente en el centro del estado, en el fin de la región denominada como la meseta y el principio de la llamada sierra, limita al norte con el municipio de Ahumada, al noroeste con el municipio de Buenaventura, al oeste con el municipio de Namiquipa y con el de Riva Palacio, al suroeste con el municipio de Santa Isabel y con el municipio de Satevó, al sur con el municipio de Rosales y al este con el municipio de Aquiles Serdán y con el municipio de Aldama.

2.2 CLIMATOLOGÍA

Dentro de la ciudad de Chihuahua existen 3 diferentes tipos de climas como son: BS0hw(w), BS0kw, BS1kw, que van desde los tipos seco semicálido, seco templado y semiseco templado, según la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García, a continuación, se presenta la descripción de cada uno de ellos (Figura 2.2):

BS0hw(w).- Seco semicálido. Se encuentra en una porción del noreste de la localidad, presenta clima estepario, es el más seco dentro de esta clasificación y semicálido. La temperatura media anual entre 18 y 22°C y la del mes más frío menor que 18°C. El régimen de lluvias de verano es por lo menos diez veces mayor la cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el más seco del año y un porcentaje de lluvia invernal menor del 5% de la anual.

BS0kw.- Seco templado. Se encuentra en la porción noroeste de la ciudad, es el clima estepario más seco dentro de este grupo, templado, con verano cálido, temperatura media anual entre 12 y 18°C, de la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más caliente mayor a 18°C. El porcentaje de precipitación invernal oscila entre 5 y 10.2 del total anual, verano cálido. El régimen de lluvias de verano es por lo menos diez veces mayor la cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el más seco del año.

BS1kw.- Semiseco templado. Tipo de clima presente en gran parte de la extensión territorial de la localidad, es un clima estepario que corresponde a los menos secos de los secos, semiseco, templado con verano cálido, la temperatura media anual entre oscila entre 12 y 18°C, la del mes más frío entre -3 y 18°C y la del mes más cálido mayor de 18°C, presenta invierno con precipitaciones y fresco con un porcentaje de lluvia invernal

entre 5 y 10.2% de la total anual. El régimen de lluvias de verano es por lo menos diez veces mayor la cantidad de lluvia en el mes más húmedo que en el más seco del año.

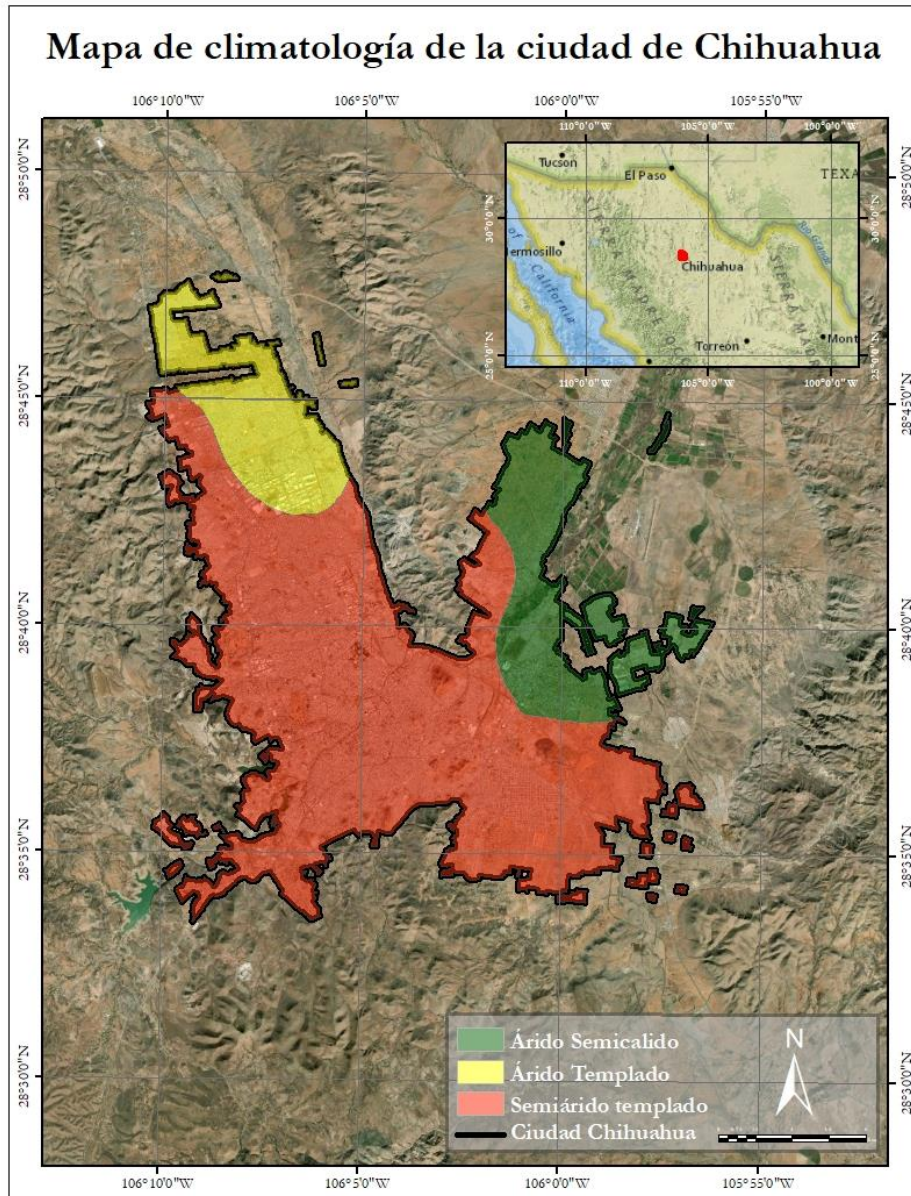


Figura 2.2. Mapa de climatología de la ciudad Chihuahua. Del Río R., 2022.

2.2.1 Precipitación

La Comisión Nacional Del Agua por medio del Organismo de Cuenca del Río Bravo realizó el análisis del impacto climático con la información de las estaciones



climatológicas ubicadas en la zona de influencia (Tabla 2.1). La información obtenida se tomó del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC III).

Tabla 2.1. Estaciones climatológicas analizadas. CONAGUA 2009.

Clave	Estación	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)	Registros
8056	Presa El Rejón	28.617	106.100	1464	1969 – 2002
8099	Majalca, Chihuahua	29.050	106.500	2090	1963 – 1986
8122	San Antonio, Chih.	29.083	106.250	1530	1961 – 1984
8147	Universidad	28.700	106.067	1427	1969 – 2003
8113	Presa Chihuahua	28.569	106.166	1532	1961 – 1999
8270	La Mesa, Aldama	28.700	105.967	1336	1975 – 2003

La precipitación es promovida por las masas de aire húmedo provenientes del Océano Pacífico durante los meses de junio a octubre, el choque de las masas húmedas en la Sierra Madre Occidental provoca altas precipitaciones en sus flancos, reduciendo la lluvia en las zonas de la planicie. Debido a lo anterior la precipitación en la zona de Chihuahua se presenta como lluvias aisladas de alta intensidad y corta duración, ocurriendo en los meses de julio a septiembre. En los meses de diciembre y enero la presencia de masas de aire frío provenientes del norte al chocar con las masas de aire caliente existentes en la zona generando precipitaciones de baja intensidad.

Para la obtención de la precipitación media anual en el acuífero Chihuahua – Sacramento se elaboraron isoyetas a partir de la información mostrada en la Tabla 2.2.



Tabla 2.2. Altura de precipitación (mm) de las estaciones climatológicas existentes. (CONAGUA y UACH, 2009)

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Suma
Presa El Rejón	9.0	5.8	3.4	6.3	22.5	36.8	84.2	96.9	89.5	27	10.1	10.0	401.5
Majalca, Chih.	14.4	9.3	9.6	9.4	22.1	66.7	152.4	155.9	125.5	26.6	14.8	12.2	618.9
San Antonio, Chih.	7.2	4.4	5.6	10.3	15.1	47.8	76.3	89.1	80.0	28.3	8.9	6.6	379.6
Universidad	12.1	4.2	2.0	6.8	20	30.5	85.7	97.5	90.2	31.3	7.6	6.2	394.1
Presa Chihuahua	7.1	5.1	4.5	8.6	19.8	42.1	107.1	118.2	91.0	24.7	7.7	9.6	445.5
La Mesa, Aldama	13.3	5.3	7.8	8.8	15.4	30.7	74.0	84.0	68.3	27.6	10.7	12.4	358.3

Localmente en el área del acuífero Chihuahua - Sacramento se presentan precipitaciones que oscilan desde 400 mm hasta 620 mm, en la Figura 2.5 se muestra la distribución de la precipitación en el área.

La mayor precipitación se registra en la porción noroeste de la ciudad con valores de alrededor de 600 mm, disminuyendo progresivamente hacia alcanzar los 400 mm en las partes más bajas. De acuerdo al método de las isoyetas, la precipitación media anual para la zona de estudio es 488.5 mm. (CONAGUA y UACH, 2009).

2.2.2 Temperatura

El comportamiento de la temperatura presenta una variación anual con tendencia parabólica, manifestándose con mayor intensidad durante los meses de mayo a septiembre, decreciendo durante el resto del año, los valores menores registrados corresponden a los meses de diciembre, enero y febrero (Tabla 2.3).

Del mismo modo que para la precipitación media anual, la obtención de la temperatura media anual en la zona de estudio, se realizó a partir de la información de las isotermas, elaboradas a partir de los datos mostrados en la Tabla 2.3.

En base a un análisis de isotermas, la temperatura media anual más alta dentro de la zona de estudio se registra hacia la parte centro-este, en donde la temperatura media anual es del orden de 17°C, mientras que las temperaturas medias anuales mínimas se registran hacia la porción noroeste con una media de alrededor de 13°C. La media anual dentro de la zona de estudio es 15.9°C.



Tabla 2.3. Temperatura media anual (°C) de las estaciones climatológicas existentes (CONAGUA, 2009).

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Promedio
Presa El Rejón	9.1	10.8	14.6	18.0	21.7	25.2	24.5	22.8	21.1	17.4	12.3	9.7	17.3
Majalca, Chih.	4.9	6.2	9.7	12.1	15.3	19.2	18.6	17.6	16.0	12.1	8.0	5.6	12.1
San Antonio, Chih.	6.9	8.4	11.9	14.3	18.2	21.4	21.3	20.6	19.0	14.4	9.8	6.9	14.4
Universidad	10.0	11.9	15.2	18.4	22.1	25.7	25.2	23.5	21.8	17.8	12.5	9.9	17.8
Presa Chihuahua	8.8	11.0	14.1	17.6	21.9	25.3	24.4	23.1	21.2	17.7	12.9	9.5	17.3
La Mesa, Aldama	8.5	10.7	13.0	15.9	19.2	21.9	21.1	19.6	18.8	15.4	11.1	8.3	15.3

2.3 TOPOGRAFÍA

De acuerdo con Freeze y Cherry (1979), en condiciones naturales la posición del nivel freático en los sistemas regionales de flujo sigue aproximadamente la configuración topográfica, correspondiendo las mayores elevaciones a las zonas de recarga y las partes bajas de los valles o las cuencas a las de descarga. En el caso particular de la zona de estudio las mayores elevaciones, corresponden a las que limitan la cuenca hidrológica del valle en su porción occidental, del orden de los 1660 m.s.n.m. Las elevaciones topográficas menores corresponden a la zona de valle ubicada al noreste con elevaciones del orden de los 1350 m.s.n.m (Figura 2.3).

De acuerdo a la topografía, en el área de estudio, las partes altas, representadas por las elevaciones que conforman cerros y sierras del occidente, como Sierra El Mogote, Sierra China, C. El Cabezón, C. El Picacho, C. La Mora, C. El Caloriento, corresponderían a la zona de recarga, y las bajas representadas por las zonas de influencia de los cauces de ríos y arroyos como río Sacramento y río Chuvíscar.

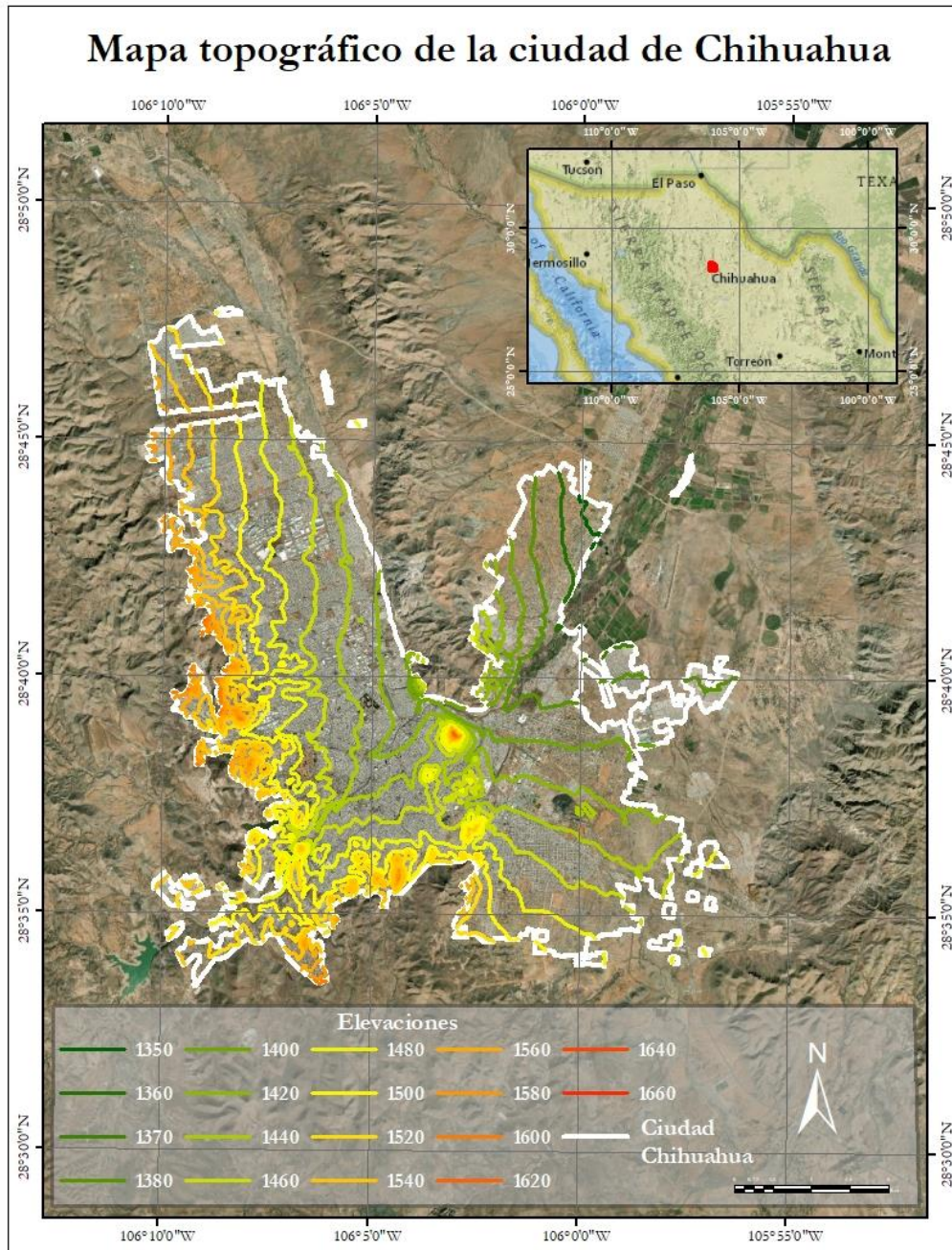


Figura 2.3. Mapa de topografía de la ciudad Chihuahua. Del Río R., 2022.

2.4 HIDROGRAFÍA

La ciudad se ubica dentro de la región hidrológica 24 denominada “Río Bravo-Conchos”, dentro de la cuenca Río Conchos –Presas El Granero (RH24k). Las cuenca es drenada por corrientes de tipo intermitente y perenne, drenaje dendrítico, que presentan una pendiente general media, con un decremento paulatino en dirección oeste-este.



El río Chuvíscar es su corriente principal; nace en la serranía La Mesa Montosa, a 35 km de la ciudad de Chihuahua, a una altitud de 2300 m (Figura 2.4). De sus orígenes sigue una tendencia noreste atravesando la Sierra Azul y una serie de rancherías. En la parte alta de la cuenca la topografía es accidentada y de cubierta vegetal boscoso de pinos y, oyameles, principalmente.

Por su alta pendiente, escasa infiltración y tipo de cubierta, se generan avenidas importantes, que son almacenadas en la presa Chihuahua. Aguas abajo de la cortina continúa su trayectoria hacia el noreste atravesando la ciudad de Chihuahua y a la salida de esta descarga sus aguas al río Sacramento.

Estas corrientes en conjunto continúan su trayectoria hasta Aldama, donde describen una curva hacia el sureste, cuando la topografía es plana, para descargar finalmente en la margen izquierda del río Conchos, aguas abajo de la estación hidrométrica Las Burras. Los afluentes de importancia del río Chuvíscar son: río El Rejón y el río Sacramento.

El río Sacramento se forma en la sierra alta, localizada al noreste de la ciudad de Chihuahua y desciende con una dirección con tendencia al noreste, hasta derivar su caudal a la presa San Marcos, donde es retenida la mayor parte de su escurrimiento.

Aguas abajo conserva el mismo sentido hacia la localidad de Sacramento, donde su cauce cambia con dirección hacia el sureste hacia la ciudad de Chihuahua, donde su gasto es incrementado con algunos afluentes de aguas residuales hasta desembocar al río Chuvíscar. Sus principales tributarios son algunos arroyos de carácter intermitente.

El río Rejón es una corriente de régimen intermitente, cuyo origen se remonta al rasgo orográfico conocido como Mesa Montosa. La corriente principal de este río desciende desde una altitud de 2,200 m con dirección E, a través de una zona de topografía accidentada y cubierta vegetal semejante a la descrita anteriormente. El área drenada hasta el sitio de la hidrométrica El Rejón es de 178 km². También este río genera avenidas de importancia, que son controladas mediante la presa El Rejón.

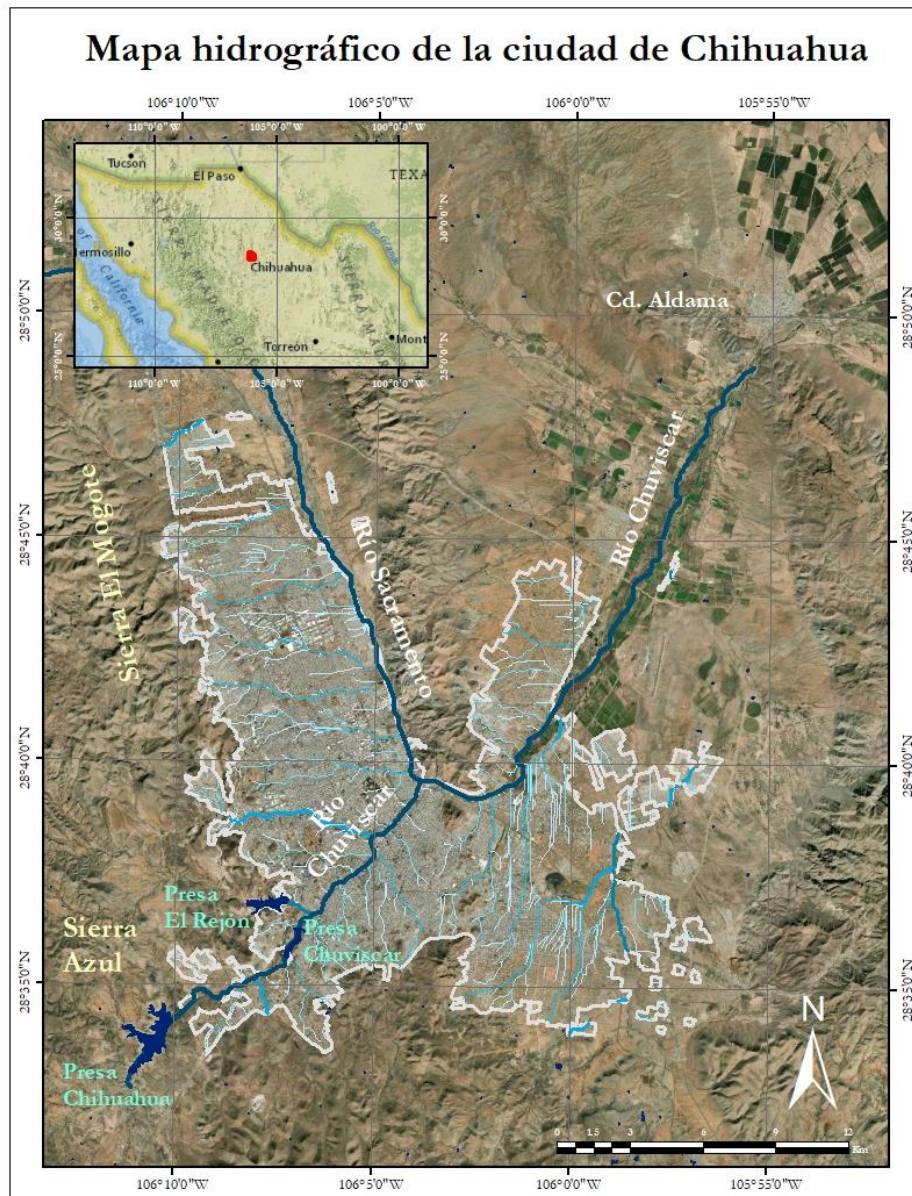


Figura 2.4. Mapa de hidrografía de la ciudad Chihuahua. Del Río R., 2022.

2.5 USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

En la ciudad de Chihuahua predomina el asentamiento humano en el uso de suelo y se refiere a las localidades urbanas principales, de las cuales se considera que cuentan con un mínimo poblacional de 2500 habitantes. Hay secciones de la entidad donde se realizan actividades agropecuarias en propiedades privadas, como agricultura de distintos cultivos o ganadería (Figura 2.5).

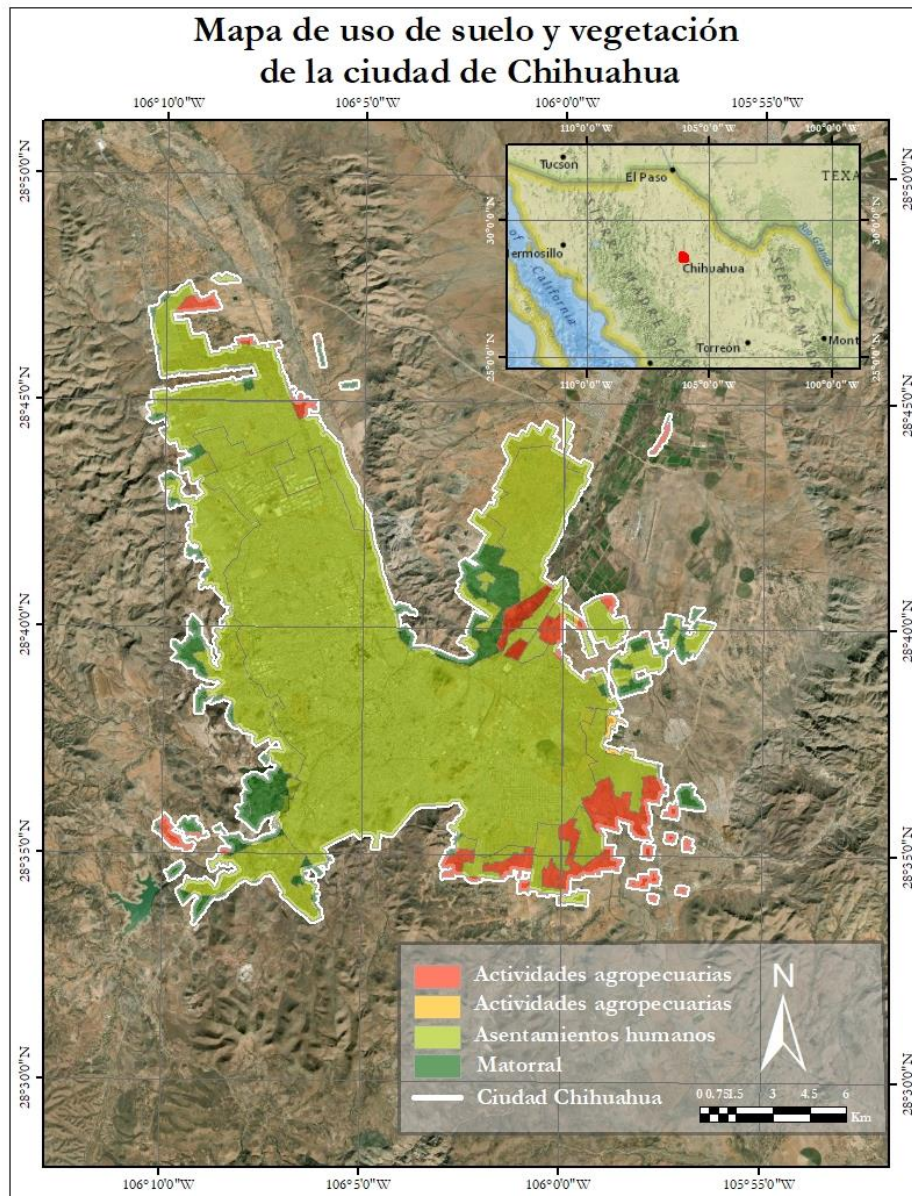


Figura 2.5. Mapa de uso de suelo y vegetación de la ciudad Chihuahua. Del Río R., 2022.

Respecto a la vegetación de tipo matorral es caracterizada por ser generalmente arbustiva que habitualmente presenta ramificaciones desde la base de su tallo, con altura inferior a los cuatro m. Los matorrales contienen elementos principalmente caducifolios, además de subcaducifolios, inermes, subinermes o espinosos; se pueden encontrar con una baja densidad y a medida que las condiciones climáticas son más cálidas su dominio aumenta. Son características de regiones de climas áridos y semiáridos, con variaciones estructurales ligeras debido a las características edáficas y antropogénicas a las que se enfrentan, se desarrollan hasta altitudes del orden de 3000 m. Algunos grupos vegetativos



se distribuyen por condición edáfica, es decir, por las características propias del suelo: suelos delgados pedregosos, suelos arenosos, suelos profundos, contenidos y tipos de sales, etc. Las comunidades de matorral arbustivo son generalmente de baja y muy baja altura, mientras que las variedades arbóreas de estas comunidades pueden alcanzar entre 10 y 15 m, dificultando de esta forma el aplicar una altura promedio para citarlas.

2.6 URBANIZACIÓN

El uso de suelo Público-Urbano de la ciudad de Chihuahua se ha extendido territorialmente, aumentando el área de la ciudad.

Con ayuda de imágenes satelitales del satélite LANDSAT 4 se logró analizar una comparación de la ciudad en la fecha de 1989 y la fecha de 2022, con el propósito de calcular el área de la ciudad en cada fecha y poder concluir con un dato aproximado, cuanto se construyó en ese periodo de 33 años (Figuras 2.6 y 2.7).

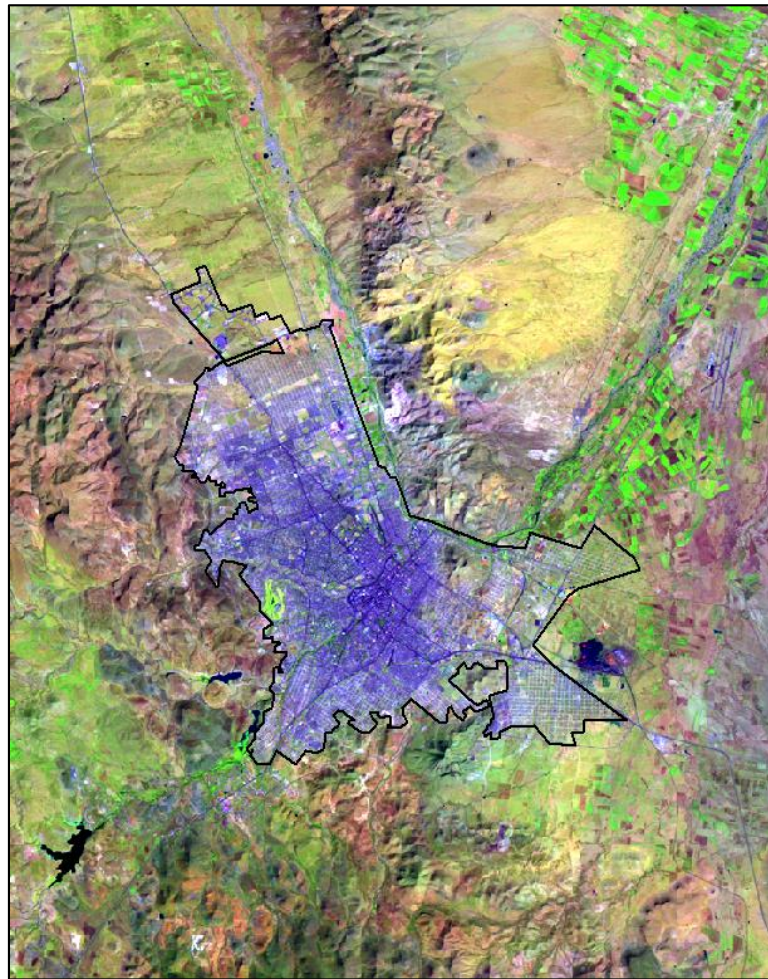


Figura 2.6. Imagen satelital de ciudad Chihuahua. Landsat, 1989.

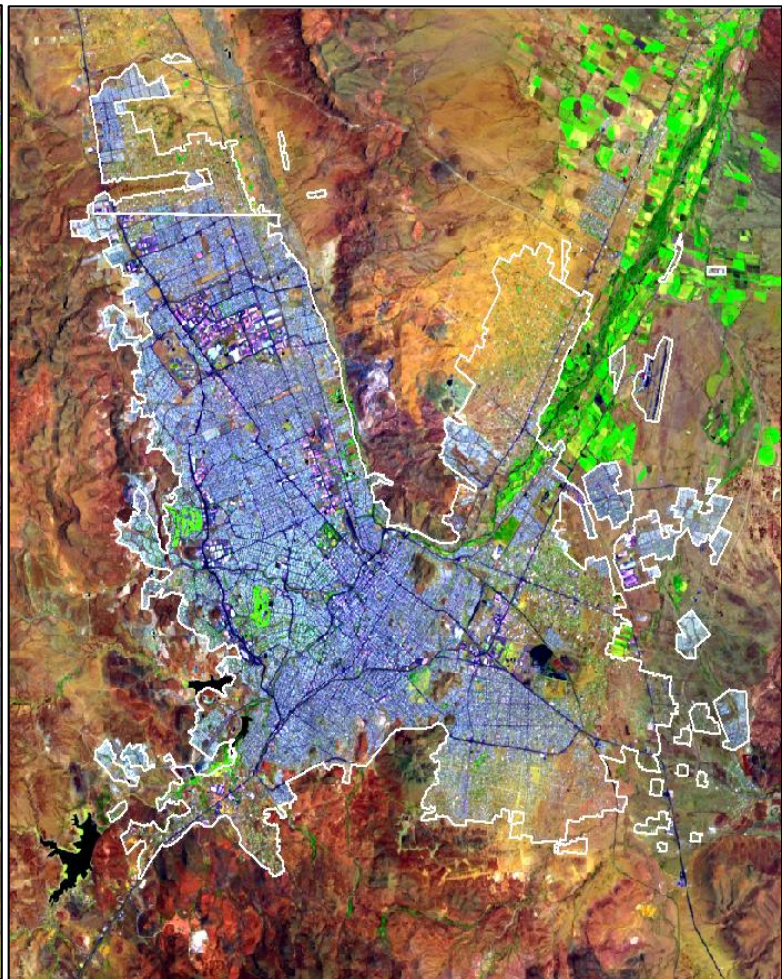


Figura 2.7. Imagen satelital de ciudad Chihuahua. Landsat, 2022

Como se observa en las dos imágenes, la ciudad de Chihuahua se ha extendido hacia todas direcciones. En la imagen del año de 1989 la ciudad se encuentra delineada por una poligonal negra, así como en la imagen del año 2022 se encuentra delineada por una poligonal blanca, y se puede observar que se ha extendido tanto para el norte y sur, así como este y oeste. Cabe destacar que a pesar de la notable topografía, respecto a la ascendencia de elevaciones, en la sierra “El Mogote” ubicada al oeste, la ciudad ha cubierto gran extensión serrana, así como también se ve cubierta de urbanización en el área de las faldas de los cerros de la sierra “Nombre de Dios” la cual es colindante con el río Chuvíscar.

Al observar las imágenes se denota el cambio de color en áreas naturales. La imagen de 1989 muestra valles y cerros en tonos verdes, a diferencia de la imagen de 2022, se



percibe una escasez de vegetación en áreas naturales, lo que es fácil de observar debido al tono natural del suelo y sus diferentes tipos edafológicos. También se alcanza a notar como el suelo ha erosionado a través de los años, por ejemplo, en la sierra Nombre de Dios, el parteaguas luce de menor elevación, mostrando esparcimiento de material en las cúspides de sus cerros debido a la minería.

Las zonas de color verde fosforescente son cultivos de riego, principalmente ubicadas a lo largo del río Chuvíscar. Si comparamos las dos imágenes también podemos concluir que ha aumentado notablemente el área de cultivos de riego (Figura 2.8).

El área de la ciudad de Chihuahua en el año de 1989 es de 98.79 km² y en área de la ciudad en el año 2022 es de 274.17 km². Es decir, dentro de 33 años la ciudad creció 175.38 km², el equivalente a casi el triple de su tamaño en 1989. Si se analizara un promedio anual la ciudad crece 5.31 km² cada año.

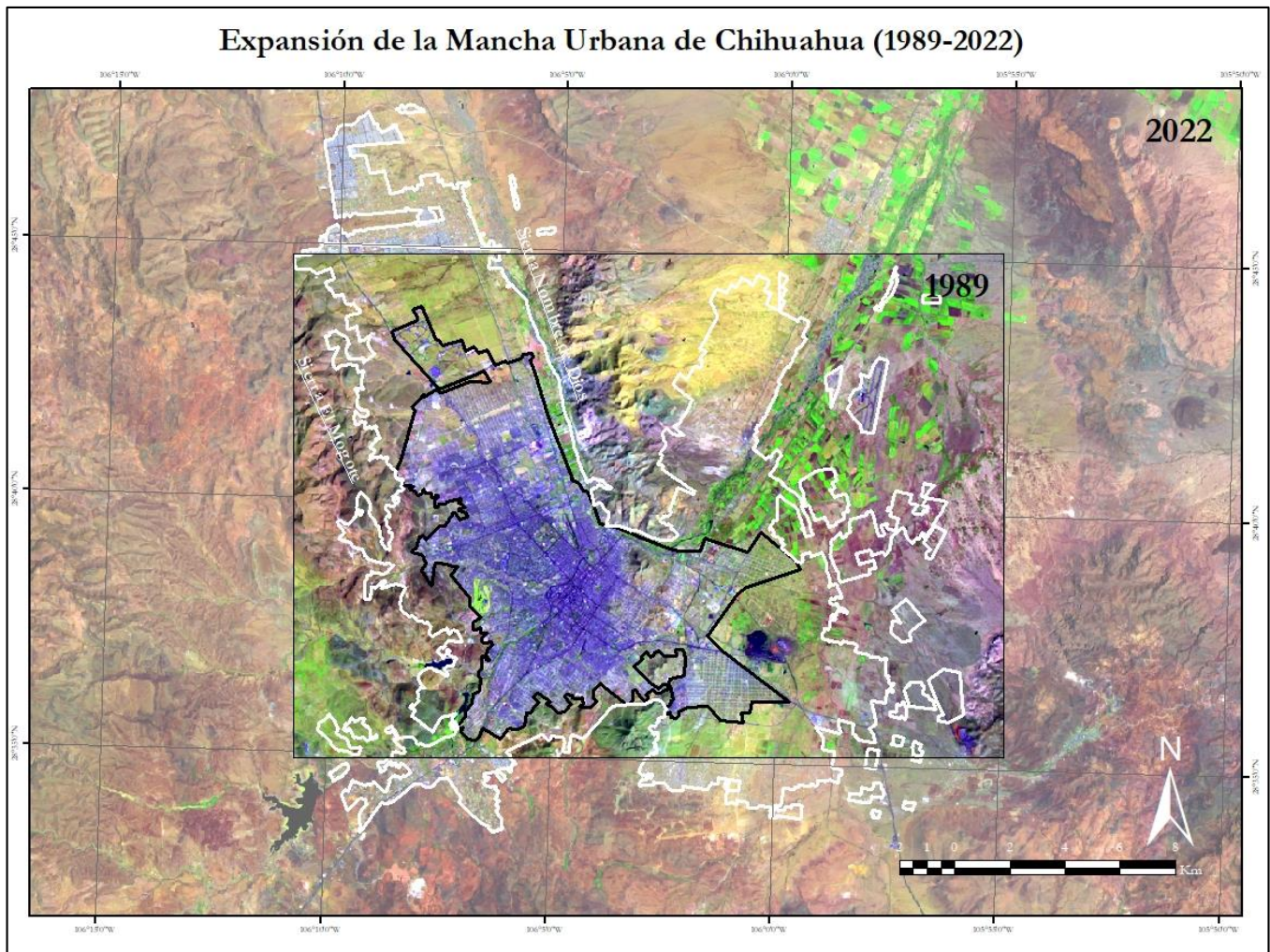


Figura 2.8. Comparación de mancha urbana de 1989 y 2022. Del Río R, 2022.

Los cálculos anteriormente expuestos fueron obtenidos en base a poligonales trazadas a mano al contorno de la mancha urbana de manera visual, por lo que se consideran datos aproximados.

Es importante destacar que la alteración de un ecosistema como el de éste caso, es influenciado por los asentamientos humanos en general, si bien, se pueden realizar dentro de ellos actividades agropecuarias, industriales o simplemente domésticas, entre otras. Lo importante es encontrar un balance hídrico, sin comprometer al ecosistema, con una planeación de desarrollo urbano óptima que integre el concepto de sostenibilidad, es decir que no comprometa el recurso natural del futuro. “La dosis hace al veneno” (Parcelso T., XVI).



2.7 DISPONIBILIDAD DE AGUA

La Disponibilidad Media Anual (DMA) es el volumen medio anual de agua que, cuando es positivo, puede ser extraído para diversos usos, adicional a la extracción ya concesionada y a la descarga natural comprometida, sin poner en peligro el equilibrio de los ecosistemas. Cuando este valor es negativo indica un déficit. (Gobierno de México, 2022).

A pesar de ser un concepto general, se calcula de diferente manera, tanto para agua subterránea como superficial. El cálculo de la Disponibilidad Media Anual de agua subterránea, se obtiene de restar al volumen de recarga total media anual, el valor de la descarga natural comprometida (DNC) y el volumen de extracción de aguas subterráneas (VEAS). El cálculo de la Disponibilidad Media Anual de agua superficial se obtiene al restar el Volumen Anual Actual Comprometido Aguas Abajo (R_{xy}) del Volumen Medio Anual de Escurrimiento de la Cuenca Aguas Abajo (Ab).

En el séptimo transitorio de la Ley de Aguas Nacionales (LAN) se estipula que la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tiene la obligación de publicar o actualizar los estudios de disponibilidad de aguas nacionales en un plazo que no exceda de dos años. Estas publicaciones se encuentran en El Diario Oficial de la Federación (DOF), así como todos los decretos y acuerdos en materia de gestión de aguas nacionales.

La ciudad de Chihuahua se extiende sobre la delimitación de dos acuíferos, Chihuahua-Sacramento, comprendiendo un 57% del área de la ciudad y Tabalaopa-Aldama ocupando un 43% de la mancha urbana. En cuanto a aguas superficiales, la ciudad se encuentra dentro de la cuenca del Río Conchos 3 (Figura 2.9).

Acuíferos y cuencas en el área de estudio

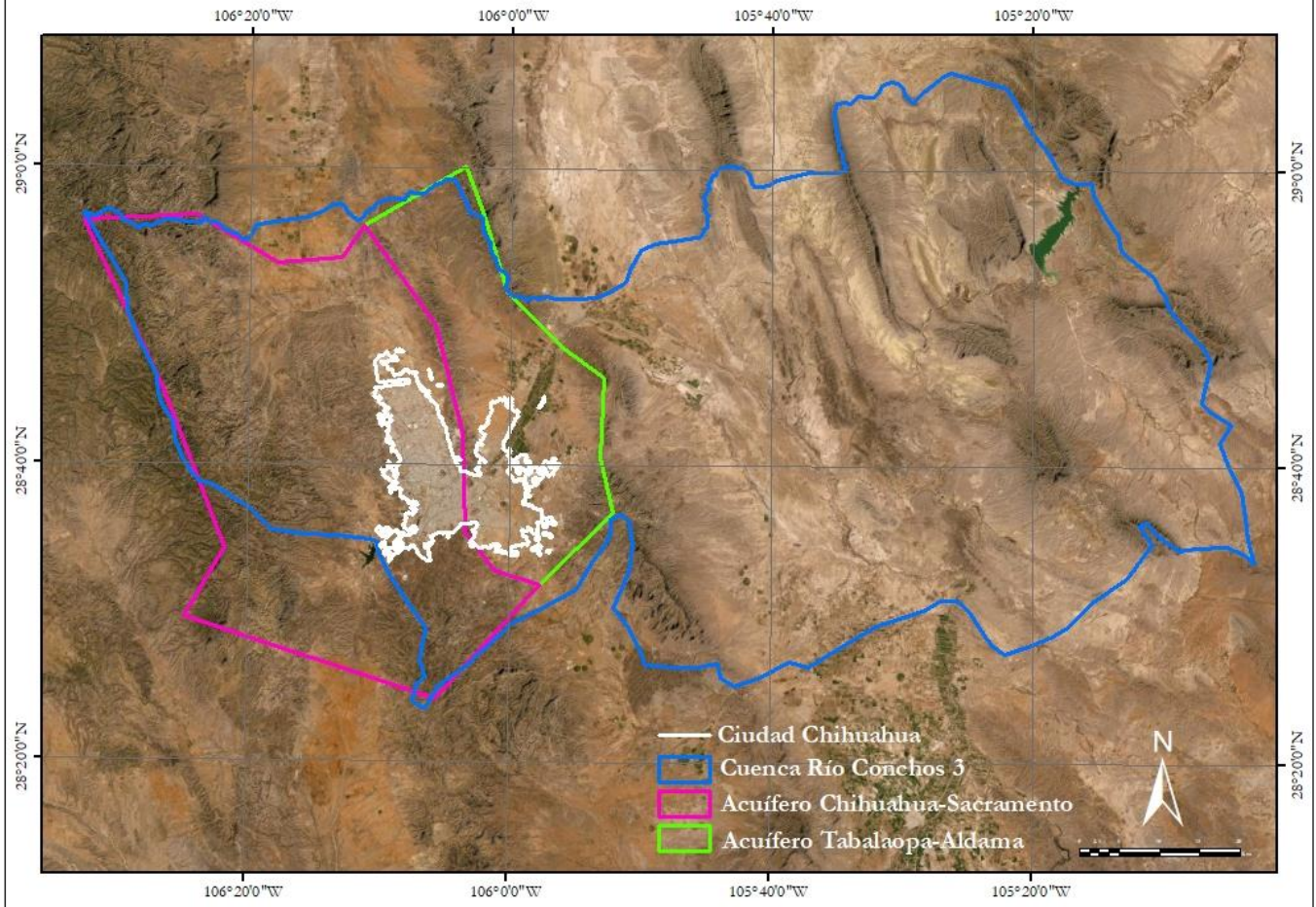


Figura 2.9. Acuíferos y cuencas en el área de estudio. Del Río R, 2022.

Tanto los acuíferos como la cuenca se encuentran actualmente en una situación de déficit, es decir, comprometiendo el ecosistema (Tabla 2.1).

Tabla 2.10. Datos de Disponibilidad Media Anual de agua superficial y subterránea calculados por la Comisión Nacional del Agua.

DMA Agua Subterránea (hm³)			
	2015	2018	2020
Chihuahua-Sacramento	-43.488012	-57.664816	-68.71598
Tabalaopa Aldama	14.17312	0	-9.62304
DMA Agua Superficial (hm³)			
	2013	2016	2020
Río Conchos 3	-0.31317	-0.296423	-0.265964

Como se observa en la Tabla 2.10, el déficit de agua subterránea incrementa con el tiempo en los dos acuíferos. En el caso del acuífero Chihuahua-Sacramento hubo un aumento de 2015 a 2018 de 14.17 hm³ y de 2018 a 2020 el déficit incremento 11.05 hm³.



De manera similar con el acuífero de Tabalaopa-Aldama, de 2015 a 2018 el déficit incrementó 14.17 hm^3 y de 2018 a 2020 aumentó 9.62 hm^3 . Éstos datos muestran una deficiente administración del recurso hídrico, por ejemplo, en la Actualización de Disponibilidad 2020 del acuífero Chihuahua Sacramento se muestran los datos de Bombeo = 67.2 hm^3 al año y de Recarga Total = 56.6 hm^3 . No es necesaria una investigación de por medio para saber que no se puede bombear más agua de la que recarga al acuífero para mantener un equilibrio hídrico, por ello, los valores de millones de metros cúbicos negativos aumentan año con año.

Respecto al agua superficial, los 3 años de análisis se encuentran en déficit, sin embargo, ha ido disminuyendo poco a poco y como se puede observar, los volúmenes de disponibilidad de agua subterránea son mucho más altos que los de agua superficial, y eso se debe al ecosistema desértico de la ciudad. Como se mencionaba anteriormente, ésta zona no cuenta con los suficientes volúmenes de agua superficial para solventarse completamente. Cuando se fundó la ciudad, evidentemente había la suficiente agua superficial para los primeros asentamientos humanos, sin embargo, se fue acabando el recurso y desde el año 1935 se recurrió al acuífero Chihuahua-Sacramento para sostener la vida. Debido a ello, han aumentado los volúmenes de extracción porque como se demostró en el análisis del crecimiento de la ciudad, la población se encuentra en un actual desarrollo.

Por consiguiente, es importante la planificación urbana tomando en cuenta los recursos naturales, no obstante, la situación de déficit de ésta ciudad nos expone un comportamiento de urgencia, en donde sin plantear el futuro se recurre a mayor volumen de agua para pasar el día a día.

En el ciclo hidrológico, el agua superficial y subterránea funcionan en conjunto, es decir, si no llueve lo suficiente no existe Recarga Vertical para el acuífero, de igual manera si se perforan pozos cerca de un río o arroyo, se puede secar. En el caso de Chihuahua la explotación de agua subterránea también está relacionada con el déficit de agua superficial, debido a que la mayor cantidad de pozos se encuentran cerca del río Sacramento, importante afluente del río Chuvíscar.



Como se aprecia en la Figura 2.10, existe una concentración de pozos a lo largo del río Sacramento, mismo que mencionado en el planteamiento del problema, se ha secado y al igual que el río Chuvíscar, ya no presentan corrientes importantes más que en fuertes tormentas.

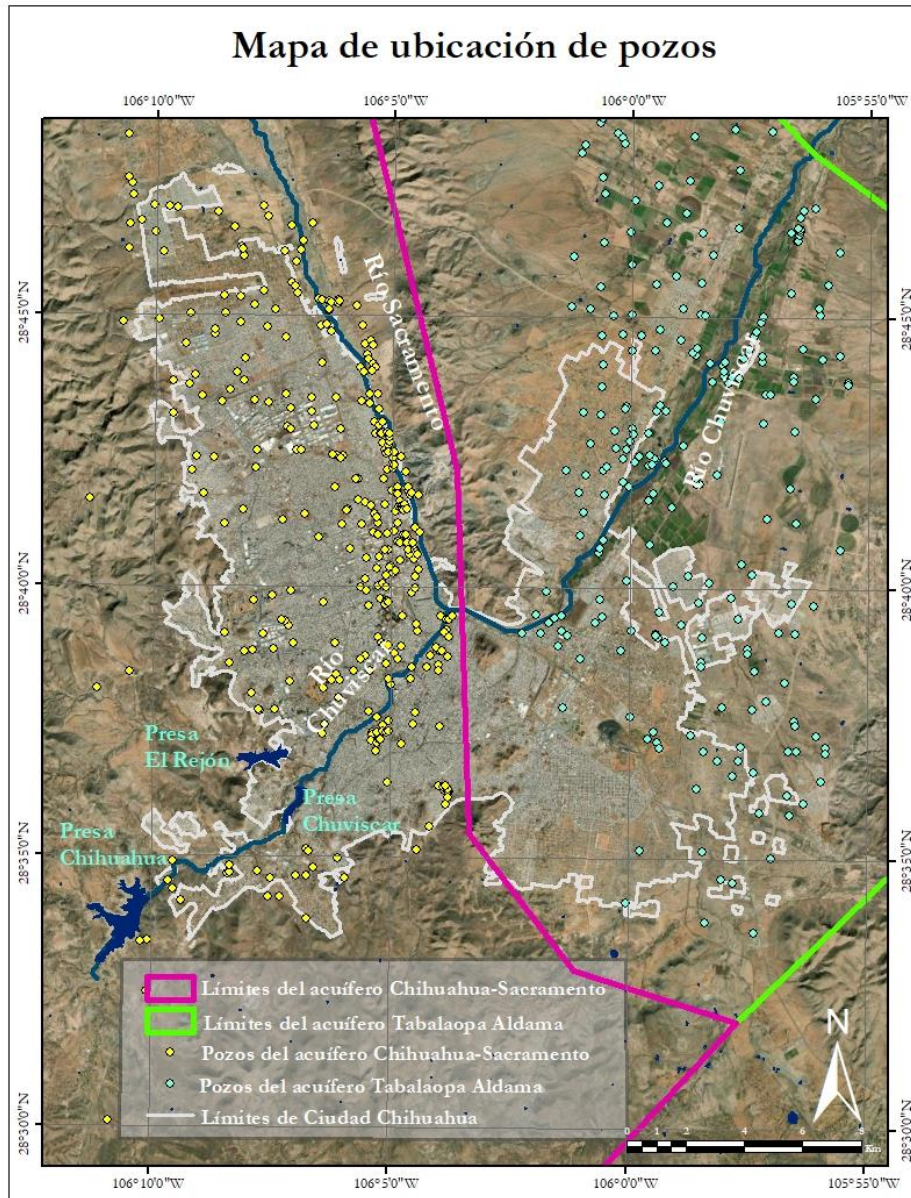


Figura 2.10. Ubicación de pozos. Información obtenida por medio de la Comisión Nacional del Agua. Del Río R, 2022.

El último censo realizado por CONAGUA para el acuífero de Tabalaopa-Aldama fue en el año 2012 y en base a los datos recabados por medio del departamento de Inspección y Medición se organizaron las siguientes clasificaciones de aprovechamientos del acuífero.



La Figura 2.1 muestra para el caso del acuífero Tabalaopa-Aldama que el 50% del aprovechamiento entre doméstico y público urbano y un 2% de servicios, para la población en general, también muestra un importante volumen del 32% en uso agrícola, que, observando la Figura 2.11, se denotan áreas predominantemente verdes fuera de la ciudad, las cuales pertenecen a cultivos de riego. En la Figura 2.2 se presenta la distribución de la extracción para el acuífero Chihuahua-Sacramento.

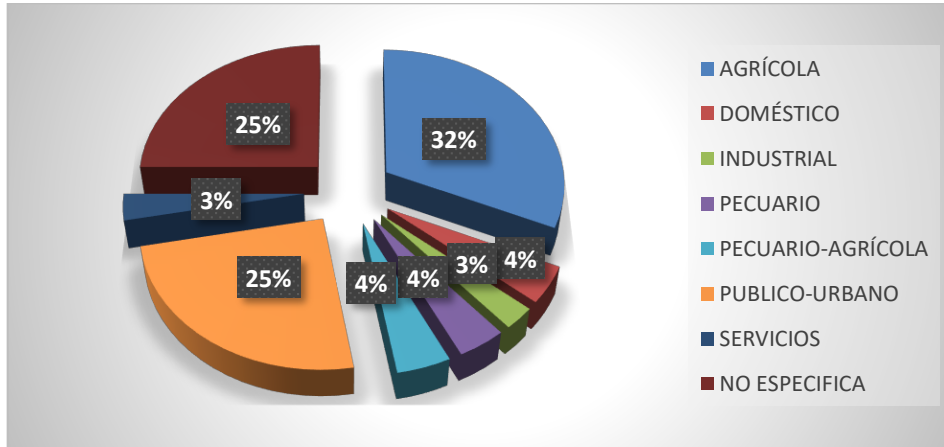


Figura 2.1. Clasificación de aprovechamientos del acuífero Tabalaopa-Aldama. (Modificado de CONAGUA, 2012).

Respecto al acuífero de Chihuahua Sacramento, el último censo fue realizado en el año 2011.

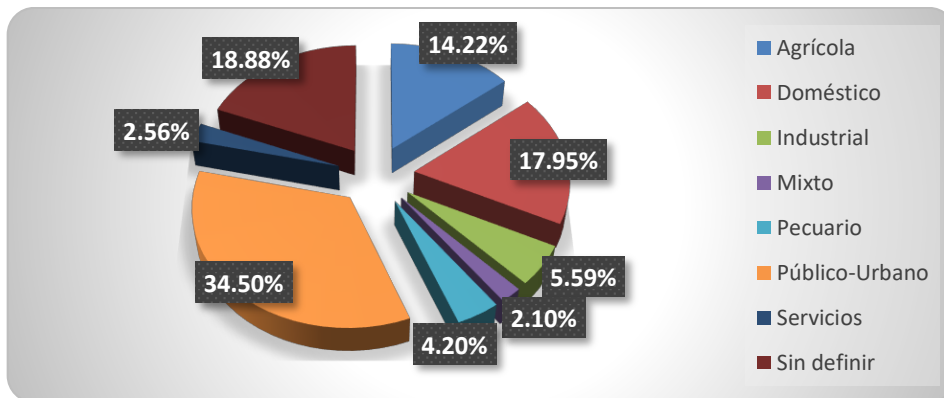


Figura 2.2. Clasificación de aprovechamientos del acuífero Chihuahua Sacramento. (Modificado de CONAGUA, 2012).

Esta clasificación de aprovechamientos muestra un 55.01% de aprovechamiento en la población en general, considerando el uso doméstico, público urbano y de servicios, dentro del acuífero Chihuahua Sacramento.



Es importante destacar, que, según los censos, los cuales son realizados en base a estadística y muestreo, el uso industrial no alcanza ni el 6% en los dos acuíferos. El uso agrícola en el acuífero de Chihuahua Sacramento no ocupa ni el 15% del volumen de agua y para el caso de Tabalaopa-Aldama si muestra un aprovechamiento del 32%.

De estos censos de agua subterránea podemos concluir que la principal explotación de los acuíferos proviene de la población en general y que las industrias no extraen el volumen más preocupante para el recurso disponible de la ciudad de Chihuahua, el aprovechamiento que mayor agua consume, con considerable ventaja, proviene de la misma población, es decir, de la suma de cada volumen de agua utilizado en cada domicilio.

Respecto a los aprovechamientos de agua superficial, actualmente según el Sistema de Seguridad de Presas de la CONAGUA, las 3 presas de la ciudad; El Rejón, Chuvíscar y Chihuahua son de uso de agua potable y se tienen reportados 0.400 m³/s de bombeo en la Presa El Rejón, lo que equivale a 12.614 hm³ anuales para agua potable, sin embargo la presa el Rejón tiene aproximadamente 7 años clausurada, sin permiso de abrir su obra de toma. En la Presa Chuvíscar se tienen reportados 6.307 hm³ para uso de agua potable y 20.18 hm³ para uso agrícola, dando como resultado 39.10 hm³ de bombeo de las dos presas, sin embargo, la Presa Chuvíscar se encuentra azolvada casi en su totalidad actualmente. La altura de la lámina de agua de la presa es de 50 cm. aproximadamente, por lo que se puede decir que ha perdido sus funciones totalmente. Respecto a la presa Chihuahua, según la CONAGUA, bombea 60 l/s es decir 18.92 hm³ al año para abastecimiento de agua potable. En conclusión, actualmente la única presa que abastece a la ciudad, es la presa Chihuahua, siendo así escasamente el 28% de lo que solamente el acuífero Chihuahua-Sacramento bombea anualmente a la ciudad.

Según el monitoreo de la CONAGUA el volumen de almacenamiento al Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO), de la Presa Chihuahua es de 11.19 hm³, es decir, la presa tiene que llenarse 1.69 veces al año para completar su aportación de abastecimiento a la ciudad, en promedio.

La respuesta social de los chihuahuenses ante esta situación de estrés hídrico ha generado bastante preocupación actualmente, debido a que otros estados del país como Nuevo León



han perdido el recurso hídrico hasta llegar a un punto donde la población ha perdido el acceso al agua para sus necesidades básicas. Existen diferentes opiniones respecto a quien es el culpable de la falta de disponibilidad de agua, algunas bastante mencionadas en la ciudad de Chihuahua, acusan a las industrias como la Coca-Cola de extracción extrema al punto de abatir el agua subterránea, por ello, el presente estudio pretende externalizar en base a medición y estadística, que es la población y el uso domiciliario el que mayor agua disponible dispone, y que si se generara un cambio en el ámbito de dispositivos ahorradores de agua o sistemas constructivos sostenibles, podría redireccionar el futuro de una situación hídrica desfavorable.

Además, utilizando como base el ciclo hidrológico, es importante voltear a ver la cantidad de energía que la población está generando, y como esto ha dañado la capa de ozono y generado un calentamiento global expuesto anteriormente en el análisis de la temperatura, ocasionando una evaporación de cuerpos de agua con un incremento en su velocidad, año con año.



Capítulo 3: Suministro de energía eléctrica suministrada a la ciudad de Chihuahua y su uso habitacional

La energía eléctrica del país, es controlada por el Centro Nacional de Control de Energía ‘‘CENACE’’, la cual es producida en las centrales eléctricas, con elementos como el viento (energía eólica), el sol (energía solar), el agua (energía cinética), vapor de agua (termoeléctricas) entre otros componentes necesarios para la generación de energía.

Un sistema comúnmente utilizado en México, son las hidroeléctricas, que consisten en un conjunto de instalaciones electromecánicas que transforman la energía potencial hídrica, en energía eléctrica. Sin embargo, en la ciudad de Chihuahua el volumen de agua superficial, no es suficiente para producir energía a través de este procedimiento, por lo tanto, parte de la energía de la capital proviene principalmente de termoeléctricas. La energía luego se distribuye a través de la Red Nacional de Transmisión de alta tensión operada por el CENACE.

La termoeléctrica El Encino es la única que actualmente se ubica próxima a la ciudad de Chihuahua y también la abastece de energía a la ciudad (CFE, 2021). Se localiza a 33 km al sureste de la ciudad de Chihuahua. Esta generadora es de tipo Ciclo Combinado, diseñada para utilizar gas natural como combustible y agua, la cual es necesaria para las turbinas de vapor que accionan los alternadores que generan la electricidad. El agua es extraída de los mantos acuíferos por medio de bombeo, es decir. Entre más energía se genera, mayor será la extracción de agua para el funcionamiento de éstas turbinas.

La Termoeléctrica de Ciclo Combinado El Encino, inició operaciones en el 2014, con el propósito de atender la demanda de energía eléctrica debido al crecimiento poblacional antes mencionado, en efecto, el secretario de economía de Chihuahua en ese entonces, Manuel Russek Valles (2014), indicó que la planta genera 450 mega watts por hora (m^3/MWh), el equivalente que consume una población de 90 mil habitantes.

Según Jordan Macknick, el analista líder de energía, agua y tierra del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de Estados Unidos (NREL por sus siglas en inglés), una



termoeléctrica de ciclo combinado con combustible de gas natural y refrigeración de torres (como la termoeléctrica El Encino), tiene una extracción media de $0.97 \text{ m}^3/\text{MWh}$, de donde podemos concluir que se necesitan 436 m^3 de agua por hora, que equivalen a $3,819,360 \text{ m}^3$ de agua anuales para generar la energía de la termoeléctrica El Encino.

Con el advenimiento de la tecnología, también se tiene un incremento en el consumo de energía eléctrica para uso residencial, lo que se afecta aún más con las tendencias en el clima, que trae consigo aumento en la temperatura y mayor variabilidad en extremos, que conllevan altos consumos de energía para fines de climatización de hogares y centros de trabajo. En el caso de enfriamiento en verano, se requiere adicionalmente importantes volúmenes de agua en el caso de los equipos de enfriamiento evaporativos.

Tan solo un MiniSplit de 1 tonelada consume 1000 watts por hora, lo que equivale a 111 focos LED de 9 watts y un aire lavado consume 600 watts por hora. Entonces si la población redujera su consumo diario, incluso por hora, se vería reflejada una menor demanda en la termoeléctrica, así como en la extracción de agua subterránea.

Conviene señalar que en Samalayuca, Chihuahua, también han estado termoeléctricas en funcionamiento, cerca de lo que era una zona agrícola, sin embargo el acuífero que abastecía para riego se abatió, a tal grado que en el 2013, la asamblea de ejidatarios de la comunidad, acordaron no vender sus terrenos a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), debido a que los campesinos manifestaron, que en 20 años de funcionamiento de las termoeléctricas, abatieron 50 metros de profundidad del manto acuífero y no iban a permitir, se construyera otra termoeléctrica cerca.

Además, se secaron los arroyos y los únicos 4 ojos de agua, en toda la zona que incluso, eran el atractivo turístico de Samalayuca.



Capítulo 4: Análisis de principales sistemas constructivos actuales, de las instalaciones hidrosanitarias convencionales y de la Huella Hídrica, de los procesos constructivos y los materiales principales

4.1 SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE SE USAN EN LA ACTUALIDAD

En la arquitectura, se le conoce como sistema constructivo al conjunto de elementos, materiales, y técnicas que se utilizan en una obra o construcción (Flores E., s/f). Cuando se inicia un anteproyecto, el primer paso es definir las necesidades del cliente para generar una distribución de áreas; dependiendo de los claros y el diseño, se puede definir el método constructivo más adecuado con base en un cálculo estructural, por ejemplo, vigas de acero y muros de block, o techumbre de lámina y muros de durock, muros y techos de madera, o trabes de concreto y muros de ladrillo, entre otros.

La arquitectura varía considerablemente en cada estado de la república mexicana, debido a diferentes factores que influyen en la planeación de obras, como la geología, edafología, topografía, el clima, los materiales disponibles de la región y el nivel económico, entre otras posibles particularidades. Incluso puede variar bastante dentro de un mismo estado, de municipio a municipio.

Uno de los sistemas constructivos básicos de la ciudad de Chihuahua, está compuesto por cimentaciones de concreto, muros de block o ladrillo y cerramientos y losas de concreto, con acabados interiores de cerámica, yeso y pintura y acabados exteriores de enjarre y pintura. Sin embargo, a pesar de localizarse en la misma entidad federativa, el municipio de Namiquipa, tiene un sistema constructivo representativo diferente, con techos de lámina y muros de concreto, estos últimos se construyen con cimbra aparente que en el municipio se le conoce como las famosas “formas menonitas”, nombre que alude a su proceso de construcción por medio de moldes con diferentes figuras o formas. Esta diferencia de sistemas constructivos se debe precisamente al área de terreno disponible. La ciudad de Chihuahua en sus inicios tenía el suficiente espacio para sus habitantes y la planeación urbana daba para un espacio digno en cada propiedad privada. No obstante, la ciudad fue creciendo desmesuradamente y hoy en día las casas se diseñan más pequeñas llegando a un grado de incomodidad, debido a que ya no queda espacio suficiente en el



valle. Incluso, existen actualmente fraccionamientos sobre las sierras colindantes, que son El Mogote y Nombre de Dios. En cambio, Namiquipa es un municipio pequeño de 22,712 habitantes (INEGI, 2020), a diferencia de Chihuahua con 937,674 (INEGI, 2020), motivo por el cual Namiquipa tiene el suficiente espacio para construir viviendas amplias de un solo nivel, con techumbre de lámina e incluso de madera, a diferencia de Chihuahua que requiere viviendas con losas de entepiso de concreto para crecer verticalmente.

En estudios documentados en la literatura, se ha analizado el comportamiento térmico de dos viviendas de interés social de block en la ciudad de Chihuahua, concluyéndose que en la zona se requiere un aislamiento térmico y acondicionamiento climático para poder ofrecer a sus ocupantes condiciones de confort aceptables, ya que con el aislamiento, mejoran los índices de confort, pero no es suficiente para garantizar condiciones confortables mínimas (Martín I., Alarcón M., 2004). El mismo estudio también concluye que el costo de equipar con clima a una vivienda aislada térmicamente puede reducirse hasta una tercera parte del costo que se tendría en la misma vivienda construida sin materiales aislantes.

Según un estudio numérico de la resistencia térmica en muros de bloques de concreto hueco, Lorente y colaboradores (1996) encontraron mediante experimento y cálculo, que el 25% del total de calor transferido del block es por convección, otro 25% por conducción y 50% por radiación. (Pérez J., et al., 2010).

La carga térmica o carga de enfriamiento se define como la cantidad de energía que un área necesita para conservar determinadas condiciones de temperatura y humedad, expresada comercialmente en BTU (Watts). (Hernández A., 2009). De esta manera, se pueden determinar las necesidades de refrigeración o calefacción de una vivienda.

La orientación hacia el sol de una vivienda, y su método constructivo, son un factor influyente en la carga térmica de una vivienda. En la ciudad de Chihuahua, las viviendas que no están aisladas térmicamente, construidas con el método constructivo común, llegan a obtener una carga térmica entre 16,000 kWh y 17,000 kWh, a diferencia de las viviendas que, si son térmicamente aisladas, tienen en promedio una carga térmica entre 5,000 kWh y 7,000 kWh considerando que su método constructivo es de ladrillo (Martín



I., Alarcón M., 2004). Lo que de usar equipos de clima eléctricos, implicaría pagar una diferencia del orden del triple en un recibo de la luz.

4.2 HUELLAS HÍDRICA EN MATERIALES Y PROCESOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

El arquitecto Alejandro Shiguetomi Díaz Infante pública a través de su tesis para obtener grado de Maestro en Ciencias del Hábitat, el cálculo de Huella Hídrica de los componentes del método constructivo representativo de Chihuahua, así como el volumen estimado de agua para la construcción de una vivienda de interés medio (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Huella hídrica del método constructivo de block y concreto. (Díaz A., 2016).

Vivienda de interés medio			m ² de construcción = 280.00 m ²	
Descripción	Cantidad	Unidad	Volumen por m ³	Agua azul m ³
Preliminares y cimentación				
Terracerías. Limpia y trazo de terreno	12.4	m ³	0.08	1.02
Plantilla de concreto para cimentación	3.41	m ³	0.38	1.30
Zapata corrida de 60x20cm. F'c= 250 kg/cm ²	13.55	m ³	0.36	4.84
Albañilería				
Dala de desplante de concreto F'c=200 kg/cm ²	2.78	m ³	0.19	0.52
Anclaje de castillo, de concreto F'c=200 kg/cm ²	5.21	m ³	0.19	0.98
Muro de ladrillo rojo	110.81	m ³	0.19	21.38
Dala de cerramiento, de concreto F'c=200 kg/cm ²	7.22	m ³	0.19	1.36
Losa de concreto, de concreto F'c=200 kg/cm ²	11.06	m ³	0.23	2.56
Curado de losa de concreto	29.5	m ³	0.22	6.45
Pretil de ladrillo	6.34	m ³	0.21	1.36
Acabados				
Enjarre acabado fino con cemento y arena	443.77	m ²	0.10	43.75
Aplanado de yeso	165.46	m ²	0.26	43.45
Piso y azulejo cerámico	294.56	m ²	0.10	28.36
Pintura en muros y plafones	1050.9	m ²	0.02	17.71
			Total de volumen de agua =	175.04 m ³ agua



Una vivienda de interés medio de 280 m² necesita 175.04 m³ de agua para su construcción.

Además, el arquitecto Shiguetomi también calcula la huella hídrica de una vivienda de interés medio con un sistema constructivo común, dentro de su ciclo de vida, para una familia de 3.5 personas, obteniendo un resultado de 115.50 m³ anuales por vivienda. Por otro lado, en una investigación de sostenibilidad para la vivienda (Izquierdo C., 2020) se calcula el porcentaje de ahorro al implementar sistemas constructivos de una vivienda sostenible y el resultado es de un 36.87%. Si lo aplicamos a la cantidad de agua que se consume anualmente en la vivienda de interés medio, solo se consumirían 84.92 m³ anuales.

4.3 INSTALACIONES HIDROSANITARIAS

Por otra parte, en el tiempo de vida útil de una vivienda, las instalaciones hidrosanitarias (hidráulicas y sanitarias), son las que suministran y drenan el agua que utilizan y retornan (ya servidas) los habitantes de una casa. Aparte de la cantidad de habitantes y sus actividades, existe un factor que influye considerablemente en el volumen de consumo hídrico de un hogar, y es el tipo de instalaciones hidrosanitarias con las que cuenta la vivienda. Estas instalaciones se escogen en base a la humedad del clima, si son enterradas o aparentes, el caudal que se transporta y sus costos de instalación.

En la actualidad en la ciudad de Chihuahua generalmente se utiliza tubería y accesorios de “Tuboplus”, fabricado a base de polipropileno, un material de plástico térmico, que soporta hasta 160° de temperatura, con la suficiente resistencia mecánica para ahogarse en concreto, sin perder su forma, además, su instalación es sencilla, porque los tubos y accesorios son roscables o termofusionables. Para la instalación sanitaria el material mayormente utilizado es el tubo y accesorios de PVC (Polyvinyl chloride, por sus siglas en inglés), que es fabricado a base de cloruro de polivinilo, que básicamente funciona como un plástico más versátil, con una instalación sencilla que solo requiere un pegamento especial para unir tubos y accesorios. El PVC debe de instalarse de preferencia en interiores, enterrado o con algún recubrimiento ya que es sensible a altas y bajas temperaturas.



Anteriormente se utilizaba el cobre para el suministro de agua domiciliario, incluso, gran parte de las primeras colonias de la ciudad aun cuentan con instalación hidráulica de cobre, y el problema con ello, es que el cobre con el tiempo se oxida y daña el material, tanto que hoy en día gran parte de esas viviendas antiguas necesitan remodelación de sus instalaciones hidráulicas, a causa de la corrosión que ocasiona que el material se desintegre y genere fugas. Además, el cobre es complicado de trabajar, se puede quebrar con las ranuras para encontrar la tubería y además se tiene que soldar en sitio, ocasionando un trabajo bastante detallado y complicado en un área reducida. De igual manera con el barro, material utilizado antiguamente para las instalaciones sanitarias, las cuales hoy en día presentan fugas en las casas de las primeras colonias, debido a la humedad, que con el paso del tiempo ha debilitado al material, ocasionando que éste se desmorone y genere fugas de aguas negras y grises.

En la ciudad de Chihuahua, a diferencia de otras, no se suministra el servicio de agua domiciliario las 24 horas, es decir, la JMAS abastece a la ciudad por secciones, acción conocida como “Tandeos”. Algunas colonias reciben agua en las mañanas, otras en las tardes y otras en las noches, no existe un reparto equitativo para todas las zonas, algunas secciones reciben más agua que otras (Gobierno de Chihuahua, 2022). Sin embargo, la ciudad tiene una particularidad en las instalaciones hidráulicas, que son los tinacos o cisternas. Gran parte de las construcciones de la ciudad cuenta con un tinaco o cisterna para no quedarse sin agua en el tandeo, cuando el domicilio recibe el agua de la red general, se llenan los tinacos para poder surtir de agua a los domicilios las 24 h, e incluso, también es común estén instalados junto con una bomba o hidroneumático para proporcionar presión dentro de la casa, debido a que el agua del tinaco baja por gravedad y son necesarios estos equipos de bombeo para mayor comodidad.

En general las llaves y regaderas no cuentan con ningún dispositivo ahorrador, tanto las tarjas de cocina, lavamanos, llaves de jardín, regaderas o tinas, son llaves de paso con la única función de abrir o cerrar el paso del agua con circulación a una dirección. A pesar de que existen tiendas con dispositivos ahorradores a la venta es bajo el consumo de ellos. Los inodoros convencionales que son los comúnmente utilizados, contienen de 10 a 16 litros de agua en el depósito y cada descarga se desperdicia hasta el 60% del líquido. (Gobierno de México, 2018).



A partir de un nivel socio económico medio, las casas nuevas en venta, se entregan con patio y cochera, los patios son áreas generalmente pequeñas en promedio de 20 m² las de interés social. Es común que la mitad del patio se encementa y la otra mitad se destina a jardín. Los chihuahuenses aprecian la vegetación verde, por la misma carencia de ella en su ecosistema, de ahí que los jardines de pasto, palmeras y especies endémicas de regiones tropicales son signo de plusvalía en la ciudad. Son la minoría de los jardines se diseñan y construyen con vegetación representativa de la región. La vegetación tropical necesita una mayor cantidad de agua que la vegetación desértica, sobre todo si se encuentra en un clima árido, por consiguiente, la mayoría de los jardines se deben regar frecuentemente. No todos los domicilios pueden contar con un sistema de riego con temporizador, aspersión o goteo, muchos jardines se riegan por inundación, que consiste en regar con una manguera hasta que el suelo se encuentre saturado, lo que genera bastante desperdicio de agua y poca retención por parte de la planta.

4.3 EQUIPOS PARA CLIMATIZACIÓN EN VIVIENDAS

Chihuahua es una localidad con mayor potencial de enfriamiento evaporativo, por sus condiciones climáticas, debido a que el proceso de enfriamiento evaporativo es un mecanismo natural que utiliza el agua como medio de enfriamiento, absorbiendo el calor sensible de la corriente del aire, disminuyendo su temperatura para ser utilizado como calor latente requerido para evaporar el agua. Sin embargo, Chihuahua tiene concesionado un alto nivel de recurso hídrico y por lo tanto se tiene baja disponibilidad del líquido.

En contraparte, si se utilizan otros equipos de enfriamiento, como es la refrigeración mediante minisplits o mediante unidades paquete, ciertamente se dejaría de utilizar agua en el proceso de enfriar el aire en la vivienda, sin embargo se utilizaría más energía eléctrica, cuya generación depende en buena medida de agua en termoeléctricas.

Considerando lo anterior, el aislamiento térmico y técnicas arquitectónicas que mantengan condiciones confortables dentro de la vivienda, son las alternativas que permitirían controlar la demanda de agua, cuando se utilizan equipos evaporativos, o la de energía eléctrica cuando se utiliza equipos de refrigeración.



Se realizó un análisis del comportamiento térmico de una vivienda prototipo con un método constructivo de block hueco, en condiciones climáticas similares a las de Chihuahua (Flores L., et al, 2007). Se concluyó que independientemente de la orientación, el clima dentro de la vivienda se encuentra claramente fuera del confort, por lo que es necesario el uso de calefacción y aire acondicionado durante todo el día. Además, el aislamiento en muros y techos disminuye las pérdidas al exterior y reduce el consumo de calefacción aproximadamente un 10%, es decir no contribuye a aumentar o disminuir la temperatura, pero si a conservarla. En el verano es mucho más notorio el efecto de la aislación en el techo reduciendo hasta 3°C la temperatura interior durante el día. Esto reduciría notablemente el consumo de agua en verano que se destina al sistema de aire evaporativo, así como el consumo de gas y energía que se destinan a calentones y calefacción durante el invierno.



Capítulo 5: Sistemas constructivos deseables

5.1 UN DISEÑO BIOCLIMÁTICO

Durante el proceso de diseño se planea y determina la parte del ahorro del agua y energía que la vivienda necesitará para su funcionamiento. Cuanto más bioclimático sea el diseño, mejor, por lo que se recomienda abarcar los temas de fuentes de energía, de agua y sus instalaciones, así como sistemas de climatización y termicidad del proyecto de manera preferentemente sostenible. En la arquitectura bioclimática no existen modelos constructivos únicos, lo que es funcional en un clima no tiene por qué serlo en otro.

Para aprovechar al máximo la luz y calor que irradia el sol, en las temporadas adecuadas, la fachada principal debe de estar orientada hacia el sol. Como la ciudad de Chihuahua se encuentra en el hemisferio norte su fachada debe de estar orientada hacia el sur, las ventanas y balcones deben estar en este lado de la casa, al igual que los espacios más utilizadas como el comedor y la cocina, con aleros posicionados en función de la latitud para dar sombra en verano y dejar pasar la luz solar en invierno (Guerra M., 2012), como se muestra en la Figura 5.1. Al este, oeste y sobre todo al norte, las aberturas deben limitarse tanto en número como en tamaño para evitar pérdidas de calor, sin embargo, si el diseño exige situar ventanas de cara al norte, facilitarían la refrigeración natural en el verano, pero es importante proponer una solución con cortinas térmicas para el invierno (Guerra M., 2012).

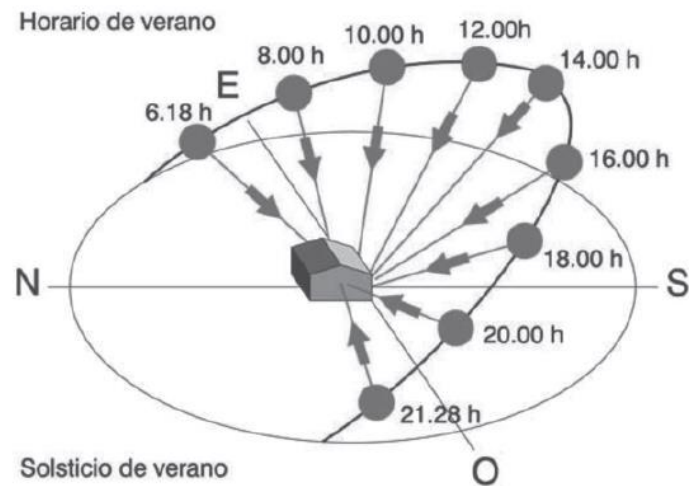


Figura 5.1. Altura y posición del sol durante un día en el hemisferio norte (Tomado de Guerra M., 2012).

Es deseable situar árboles de hoja caduca en los alrededores para disponer de sombra en el verano y que permitan penetrar la luz del sol en invierno (Garzón B., Giuliano G., 2007). Es importante tomar en cuenta que los muros son los que permiten una mayor inercia térmica, es decir, acumulan mejor el calor para desprenderlo horas después (Meiss, A., 2019).

Disponer de domos abatibles en los techos, así como de trampillas regulables en la parte inferior de la fachada opuesta al sol ayuda a iluminar pasillos, baños y otras estancias; al ser abatibles y regulables se pueden abrir en verano para evacuar el aire caliente y crear ventilación cruzada (Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2011). Es indiscutible utilizar siempre que sea posible, materiales locales de construcción.

No es indispensable depender totalmente de la red general de agua, energía y drenaje del ayuntamiento la ciudad, una vivienda puede ser más autónoma con las instalaciones adecuadas.

En la Tabla 5.1 e Ilustraciones 5.1 a 5.16 se presentan en forma resumida una serie de sistemas constructivos deseables, ya que contribuyen a tener vivienda y edificaciones sostenibles.



Tabla 5.1. Sistemas constructivos deseables. Adaptado de Martínez C., 2018.

(Continúa)

Climatización natural	Ventilación cruzada	Descripción	Consiste en la circulación de aire fresco a través de las habitaciones, conectando por medio de ventanas, la parte más fría de la vivienda con la más caliente. Es importante que antes de disponer las distintas aberturas que propiciarán la ventilación cruzada, es necesario conocer cuáles son los vientos dominantes de la zona. En el caso de Chihuahua el viento dominante proviene del Norte en una dirección NW con una velocidad de 15km/h, llegando a un máximo de 113 km/h. (II. 5.1)								
	Sistema de ventilación	Componentes (II. 5.2)	1. Placas solares térmicos.	2. Aislamiento	3. Acristalamiento de triple vidrio	4. Aire de entrada	5. Aire de succión	6. Sistema de ventilación con recuperación de calor	7. Intercambio de calor		
	Patio interior	Descripción	Estos patios proporcionan sombra a las estancias interiores, pero no impiden la entrada de la luz, y su principal propósito es contribuir a disminuir las elevadas temperaturas veraniegas. Un patio interior con árboles y vegetación sirve de bolsa de aire para refrescar las estancias de la vivienda en climas cálidos, tomando en cuenta una ruta para su ventilación. Por ejemplo, si se conectaran dos alas de una casa a un patio central con ventanales, al ser acristaladas las fachadas y debido a la abundante vegetación en su interior, genera frescor gracias a la evapotranspiración de las plantas y al efecto de ventilación cruzada que se produce entre las dos áreas de la vivienda. La eficiencia como sistema natural de refrigeración de los patios interiores aumenta considerablemente si poseen un punto de agua como una fuente o un estanque, debido a que el agua al evaporarse necesita una cantidad de calor que capta del ambiente, así refrescándolo; al igual que el cuerpo humano, al mojarse con agua, combate el calor. Las construcciones tradicionales de España utilizan este sistema de enfriamiento.								
		Componentes (II. 5.3)	1. Fuente	2. Árbol	3. Aire caliente	4. Aire fresco					
	Cubierta y muros vegetales	Descripción	Es una solución para climatizar la vivienda de manera natural, ya que una capa vegetal actúa como masa térmica que regula la temperatura en el interior, con un efecto dual, donde evita el sobrecalentamiento en verano mientras que en invierno contrarresta el frío ya que durante el día acumula calor, y funciona bien con especies de hoja caduca que en verano proporcionan sombra mientras que en invierno dejan pasar el sol. Para los muros verdes es mejor optar por las plantas autóctonas, aunque también funcionan muy bien las rupícolas (que viven en zonas rocosas) y las saxícolas (que penetran en las brechas de las piedras).								
		Componentes de la cubierta (II. 5.4)	1. Vegetación	2. Tierra o sustrato vegetal	3. Geo tejido (tela que evita la mezcla indeseada de suelos con características diversas)	4. Capa de drenaje	5. Barrera anti-raíces	6. Membrana impermeabilizante			
		Componentes del muro (II. 5.5)	1. Estructura metálica	2. Material aislante de humedades	3. Sustrato hidropónico 1	4. Sustrato hidropónico 2	5. Canaleta de recuperación	6. Muro existente	7. Sistema de riego	8. Plantas	
	Chimenea solar	Descripción	Consiste en una chimenea pintada de negro, que tiene como objetivo refrescar el hogar, pero aprovechando el calor solar, al estar pintada de negro, color que se caracteriza por su gran poder de absorción de la radiación solar, la chimenea se calienta de un modo más rápido e intenso, al igual que el aire en su interior, dando como resultado una corriente de aire ascendente que expulsa el aire caliente del interior de la vivienda. Este sistema consigue refrescar el ambiente en los días en los que no corre ni un poco de brisa; debido al movimiento del aire produce una sensación de descenso de temperatura de entre tres y cinco grados centígrados. Aunque en climas muy calurosos es difícil que la chimenea solar sea suficiente para alcanzar un nivel de confort, si es una ayuda para reducir el gasto de un sistema de refrigeración.								
		Componentes (II. 5.6)	1. Alero con orientación sur	2. Pantalla de protección solar	3. Tragaluz motorizado	4. Brisa marina	5. Panel fotovoltaico	6. Tablero de fibra de densidad media	7. Flujo de aire caliente	8. Calefacción radiante en suelo de hormigón	
	Muro Trombe	Descripción	Es un sistema pasivo de captación solar que sirve tanto para calentar como para refrescar el hogar. Consiste en un muro construido con materiales de gran inercia térmica y pintado color negro. El muro se debe ubicar en la fachada que más da el sol y delante se instala una pared de vidrio, de esta manera entre el cristal y el muro se crea una cámara de aire. En el invierno el sol penetra a través del vidrio y se queda atrapado en la cámara de aire, calentándola y al abrir las aberturas superiores del muro, el aire caliente entra en la casa. Al mismo tiempo, el aire frío del hogar sale por una ranura que se conecta con la parte baja del muro. En verano el aire caliente acumulado en la cámara genera una corriente que lo extrae fuera de la vivienda, refrescándola. Además, a los muros Trombe se les suele añadir un alero que impide que el sol de verano (más elevado) de directamente al muro. Evidentemente cuanto más orientado esté al sur, más calor acumulará. A pesar de que el hormigón no es un material ecológico, un piso de este material junto al muro Trombe, sirve como fuente de calefacción ya que el hormigón es un material con mayor inercia térmica por lo que acumularía la radiación solar durante el día para liberarla en la noche.								
Componentes (II. 5.7)		1. En verano	2. En invierno	3. Calor	4. Frío	5. Computa	6. Muro de gran inercia térmica				



Tabla 5.1. Sistemas constructivos deseables. Adaptado de Martínez C., 2018.
(Continuación)

Climatización natural	Aleros	Descripción	En climas cálidos, el diseño de aleros ofrece protección a la vivienda frente a la radiación solar, conservando mayor frescor en el interior.					
	Fugas de calor	Porcentajes de fugas de calor de una vivienda (Il. 5.8)	1. Techo: 25-30%	2. Paredes: 20-25%	3. Renovación de aire: 20-25%	4. Ventanas: 10-15%	5. Pavimento: 7-10%	6. Puentes térmicos: 5-10%
		Descripción	Para evitar las fugas de calor, en las ventanas se recomienda utilizar doble o triple vidrio que evitan ganancias o pérdidas térmicas indeseadas, aparte de aislar el ruido exterior. Un esquema de doble vidrio se compone de los siguientes elementos.					
Componentes del doble vidrio (Il. 5.9)	1. Tamiz molecular absorbente de humedad	2. Sellador primario (barrera de vapor)	3. Sellador secundario	4. Perfil separador	5. Vidrios según requerimientos de resistencia, seguridad y propiedades de transmisión.			

Aislamiento	Aislamiento para muros	Descripción	Lo óptimo es optar por un aislante natural y biodegradable. Los más aconsejables son el corcho, el cáñamo, el barro, la paja, la cal, lana natural, la arlita (arcilla expandida), la perlita y la vermiculita (feldespatos y rocas expandidas), si están bien selladas. Se deben evitar los aislamientos sintéticos de lana de roca, lana de vidrio, poliestireno extruido y poliuretano, que necesitan más energía para ser fabricados y son más contaminante. A continuación, se detallan algunos aislantes naturales más importantes debido a su bajo coeficiente K, a menor coeficiente K, mayor aislamiento.					
		Valores de coeficiente K	Corcho: K = 0.045 W/(m·K)	Cáñamo: K = 0.041 W/(m·K)	Lana de oveja: K = 0.04 W/(m·K)	Fibra de madera: K = 0.05 W/(m·K)	Celulosa suelta (residuos de papel): K = 0.042 W/(m·K)	Celulosa con manguera: K = 0.039 W/(m·K)

Estructura y piel	Estructura y piel	Descripción	La estructura y recubrimiento de cualquier construcción es de vital importancia para el ahorro energético. Estableciendo un paralelismo con el cuerpo humano, algunos autores hablan de la vivienda como de una tercera piel, al igual que la ropa, que es la segunda, debe de ser capaz de transpirar y de la misma manera que la epidermis, debe protegernos, pero sin aislarnos en ningún momento del exterior.
	El barro	Descripción	El barro es un material abundante, económico y una excelente opción como elemento constructivo. No requiere energía para su transformación y es un buen aislante térmico y acústico que deja pasar la humedad permitiendo que el interior de la vivienda también respire. Además, es un material 100% natural que al finalizar su vida útil no se convierte en un residuo. Es un buen aislante acústico y tiene una gran inercia térmica, conservando el frescor del verano y el calor en el invierno. Si está bien ejecutado y el mantenimiento es bueno, una construcción puede durar 100 años o más. Para evitar que se agriete al secar, se le añade a la masa que lleva de paja crin de caballo o heno seco, que sirven como armadura, sin embargo, la inclusión de fibras vegetales puede atraer a las termitas, por lo que las aplicaciones exteriores se recomiendan solo en regiones de lluvia escasa, como es el caso de la ciudad de Chihuahua. Las dos técnicas de construcción principales con este material son la tapia y el adobe. La primera consiste en encofrarlo e irlo compactando hasta que quede bien apisonado, el molde que se emplea para hacer las tapias, formado por dos tableros paralelos a cierta distancia entre ellos es el tapial y las dimensiones más habituales del molde son 1.5m. de largo, 1 m de altura y 0.5 m. de espesor, donde también pueden emplearse como estabilizadores la paja, la cal o el estiércol. El adobe son bloques de barro secados al sol, que, a diferencia de un ladrillo convencional, la tierra no pierde su inercia térmica y se forma por una masa de barro (arcilla, arena y agua) mezclada algunas veces con paja o incluso estiércol, moldeada en forma de ladrillo y secada al sol durante 25-30 días. La mezcla principal contiene un 20% de arcilla y un 80% de arena y agua. Su energía incorporada es de 0.4 MJ/kg. Cuanta más energía incorporada tiene un material de construcción mayor energía se ha gastado durante su elaboración. Desde los finales de los años 90, en la ciudad de Guadix, España, se fabrica una alternativa natural al adobe, llamado Cannabric, que es un bloque macizo para muros formado por materiales vegetales, conglomerantes naturales y aglomerantes minerales reciclados sin pesticidas ni herbicidas. La proporción resultante es de 100 kg de cáñamo por cada metro cuadrado. El Cannabric aprovecha las características aislantes del cáñamo (con una conductividad térmica de 0.048 W/m·k), que son mejores que las de la madera. Los componentes minerales del bloque aportan resistencia mecánica, densidad y una elevada inercia térmica. Los bloques no se cuecen, sino que se secan al aire un mínimo de 28 días
	La piedra caliza	Descripción	Es un tipo de roca calcárea, formada por carbonato cálcico. Para su uso exterior, se recomienda encalar el muro para aumentar su resistencia a la humedad y mejorar su aislamiento



Tabla 5.1. Sistemas constructivos deseables. Adaptado de Martínez C., 2018. (Continuación)

Estructura y piel	La piedra caliza	Ventajas	•Durabilidad y bajo mantenimiento	•Buena insonoridad	•Buena inercia térmica, que mantiene la temperatura estable para paredes de más de 50 cm. de ancho.	•Se puede cortar según las necesidades del diseño.	•Se puede preservar la piedra limpiándola con una solución de silicato sódico o potásico, y una vez seco, aplicar una solución de CaCl ₂ . A estas dos soluciones se les llama líquido de Szerelmey, la cual forma una capa insoluble que protege la piedra de la manera más ecológica posible.		
		Desventajas	•Construcción más lenta y mayores costes de mano de obra.	•Riesgo y deterioro por humedad; en caso de heladas el agua interna se congela y al expandirse produce fisuración.	•Los trabajos de corte y pulido de las piedras son energéticamente muy intensivos, por lo que generan muchos residuos que se deben reciclar.				
	Paja	Descripción	Es un material de construcción de baja energía incorporada y uno de los materiales más sostenibles que puede utilizarse en una vivienda. Es un material que se ha extendido por Europa con fines constructivos. Hay dos sistemas de construcción principales: el estilo Nebraska en el que la paja actúa como un muro de carga y el estilo poste y vigas en el que el sistema de postes o columnas soporta el peso del tejado, incluso se puede trabajar un método híbrido entre estos dos sistemas. En el caso de muros de carga de paja el tamaño de los fardos es considerable por lo que se reduce el área habitable. El atado de los bloques de paja se hace a mano con cintas de plástico. Una vez colocadas, la obra se detiene para que el material se asiente. Gracias a la compactación de los bloques, no hay suficiente aire dentro para que arda en fuego. Es importante evitar dejar huecos entre los bloques de paja y el suelo para evitar generar cobijo de roedores. Es importante que la paja no se moje porque podría pudrirse o enmohecerse, se puede proteger con recubrimiento encalado para evitarlo, sin embargo, si se pudre una parte de la paja, solo hay que sacarla y reemplazarla con paja buena. Con un buen mantenimiento una casa de paja puede durar más de 100 años						
	Madera	Descripción	La madera tiene origen vegetal por lo que puede ser considerada como un material ecológico, siempre y cuando se sepa a ciencia cierta de donde procede y como ha sido explotada, algo que es difícil de conocer si no hay certificados ecológicos de por medio, sin embargo, se puede decir que cuanto más local sea la madera que se consume, mejor ya que se reduce su huella de carbono. Una manera de mejorar el aislamiento de una vivienda de madera es agregando paneles aislantes a la estructura. En general una vivienda de madera puede superar los 50 años en función de si la materia prima ha sido secada o protegida de los insectos. Si el corte de la madera se realiza en dirección de las fibras, una pieza de madera tiene la misma resistencia que otra similar de hormigón y una elasticidad superior.						
	Ladrillo y termoarcilla	Descripción	Los muros de ladrillo tienen una elevada inercia térmica. La termoarcilla es un bloque cerámico de baja densidad a base de una mezcla de arcilla, con aditivos aligerantes que se gasifican durante el proceso de cocción más de 900 °C sin dejar residuos. Este material también ofrece un buen aislamiento térmico y acústico, así como una resistencia mecánica suficiente para ser empleado con holgura como muro de carga según el Código Técnico de la Edificación (CTE) de España.						

Instalaciones especiales	Instalación geotérmica	Componentes (II. 5.12)	1. Colector de superficie: un circuito horizontal que se instala a una profundidad de entre uno y dos metros. Requiere mucho terreno.	2. Sonda geotérmica o captador vertical: requiere mucho menos espacio a cambio de mayor profundidad, por lo que resulta ideal para núcleos urbanos y viviendas plurifamiliares.	3. Geopanel: el circuito viene integrado en placas prefabricadas que se colocan en zanjas de 3 metros de profundidad. Requiere poco terreno y es más económico.	4. Captador de aguas subterráneas: Las aguas del subsuelo también pueden utilizarse, siempre que no estén debajo de 15 metros.	5. Convectores de aire.	6. Bomba de calor.	7. Suelo radiante.	8. Radiador convencional.
	Instalación solar fotovoltaica	Componentes (II. 5.13)	1. Regulador: Protege las baterías de descargas y sobrecargas.	2. Inversor: Transforma la corriente de 12v que suministran las placas de corriente alterna de 220v.	3. Contadores: Cuantifican la electricidad vertida a la red y la consumida.					



Tabla 5.1. Sistemas constructivos deseables. Adaptado de Martínez C., 2018.

(Continuación)

Instalaciones especiales	Instalación de aerogenerador doméstico	Componentes (II. 5.14)	1. Turbina	2. Red de suministro eléctrico	3. Transformador	4. Potencia de salida.				
	Sistema de recogida de aguas pluviales	Componentes (II. 5.15)	1. Tanque	2. Cubierta telescópica con tapa de PE transitable	3. Dispositivo de filtración	4. Dispositivo de bombeo				
	Sistema de depuración de aguas grises	Componentes (II. 5.16)	1. Agua depurada para reutilizar en el jardín, la cisterna del lavabo o para lavar el coche.	2. Control de proceso	3. Excedente que se expulsa a la red de saneamiento	4. Agua del inodoro y de la cocina, que se expulsa a la red de saneamiento.	5. Aguas grises del baño y la lavadora			
	Suelo radiante	Descripción	Es una de las maneras más ecológicas de calentar o enfriar la vivienda. En las habitaciones, la temperatura idónea es entre los 16 y los 18 °C, la instalación está formada por una malla de tubo de polietileno reticulado que distribuye el calor o el frío y un colector de distribución. Es un tipo de calefacción “invisible” que se puede emplear tanto en el suelo como en el techo o paredes, es cual se alimenta de agua caliente sanitaria, la cual puede venir de una instalación solar térmica.							
	Dispositivos ahorradores	Aireadores	Descripción	El uso de los aireadores en los grifos puede proponer un ahorro de hasta el 50% de agua, e incluso hay marcas que comercializa modelos con plástico interior resistente a la adherencia de la cal del agua. El mantenimiento que requieren es limpieza para destapar sus poros de la cal del agua						
		Estabilizadores	Descripción	Pueden representar un ahorro de agua de 50 a 60% respecto a la ducha estándar convencional. Estas válvulas de colocan entre el grifo y el flexible de la ducha evitando así a sobrepresión en el tubo flexible que estabiliza el caudal independientemente de la presión de la red y de la apertura del grifo						
		Mezclador termostático	Descripción	Es un mezclador que mantiene constante la temperatura del agua que haya seleccionado el usuario de manera automática, independientemente de las variaciones en la presión del caudal						
		Tele duchas	Descripción	Reducen el consumo de agua permitiendo que el disco de salida absorba el aire que se arremolina con el agua entrante (cada litro de agua recibe aproximadamente tres litros de aire).						
		Eco ducha Irisana IR15	Descripción	Es una ducha que elimina la necesidad de utilizar jabón y otros productos para la piel ya que se compone de un cabezal con disco de 412 micro poros y un filtro formado por partículas cerámicas que trabajan por medio de un proceso de micronización en la misma ducha y el agua libera una gran cantidad de iones negativos muy beneficiosos para la salud, que limpian, tonifican y desinfectan la piel, que además reducen el contenido de cloro en el agua y funcionan como dispositivo ahorrador de hasta el 65% de líquido y energía necesaria para calentarla.						
		Reductor volumétrico	Descripción	Es un dispositivo sencillo que contribuye al ahorro de agua en los depósitos de los inodoros de hasta 15 litros en cada descarga, representando un ahorro de 4,000 litros de agua por persona al año.						
Muebles de baño ecológicos	W+W (Washbasin + Watercloset)	Descripción	Es un diseño de inodoro y lavabo en una sola pieza o un solo producto, que utiliza el agua usada en el lavabo para llenar el depósito del inodoro con ayuda de un sistema automático que limpia las bacterias y elimina los malos olores.							
	Lavabos autocompostables Envirolet	Descripción	Son inodoros con un sistema que no utiliza agua, solo necesitan aire caliente que ayuda a evaporar el contenido de agua de las heces, una microturbina extrae el aire sobrante y un catalizador de compostaje si se desea acelerar el proceso. La composta se recoge por la parte inferior solo dos veces al año.							
	Sistema Remote	Descripción	Es un sistema que conecta una red de hasta 3 inodoros a un módulo de composta situado aguas abajo.							

*Tabla 5.1. Sistemas constructivos deseables. Adaptado de Martínez C., 2018.
(Continuación)*

Estrategias para las necesidades energéticas de una vivienda ecológica	Energía solar fotovoltaica	Descripción	Una instalación de energía solar fotovoltaica está compuesta por placas solares con dos o más capas de semiconductores, normalmente silicio, que genera cargas eléctricas cuando están expuestas al sol. Un dato interesante es que su producción consume mucha energía por lo que se requiere una media de 5 años para compensar el carbono emitido durante su fabricación. Si la vivienda en la que se instalan no está conectada a la red, el sistema viene acompañado de unas baterías de acumulación. Otros elementos del circuito regulan la carga y convierten los 12 V que proporcionan las placas en corriente alterna de 220 V y 50 Hz para consumo doméstico. El inconveniente de las instalaciones solares fotovoltaicas es la gran cantidad de metros cuadrados que requieren. Su vida útil es de 25-30 años por kilovatio instalado y el único mantenimiento que requieren siempre y cuando no ocurran anomalías es limpiarlas con agua y jabón. Se calcula que la inversión inicial para la instalación de este sistema para una vivienda se recupera en un lapso de 5 años. Este tipo de instalaciones puede alimentar un sistema de calefacción por suelo radiante y si se incluye una bomba de calor también se puede usar para refrigeración radiante						
	Componentes (II. 5.10)	1. Módulos fotovoltaicos	2. Convertidor	3. Electricidad para consumo propio	4. Contador	5. Electricidad sobrante	6. Conexión a la red de distribución eléctrica		
	Energía solar térmica	Descripción	Se utiliza desde la década de los 70 y consiste en aprovechar la energía del sol para calentar el agua de uso sanitario y calefacción. Estas instalaciones se componen de placas denominadas colectores que concentran y acumulan el calor solar y lo transmiten al fluido que se pretende calentar, el cual puede ser bien el agua potable de la casa o bien el sistema hidráulico de la calefacción						
	Energía eólica	Descripción	A menudo se asocia la energía eólica con aerogeneradores que se divisan en los paisajes, pero este tipo de energía renovable también se puede usar a una escala más pequeña en una vivienda. Existen dos sistemas: los que se instalan en la cubierta y los que están situados sobre mástiles. Los primeros pueden cargar baterías de 12-24 V desde los 100 W hasta modelos más potentes con turbinas de 2.5 kW, que pueden exportar lo que les sobra a la red eléctrica. Los que usan mástil pueden tener entre 3 y 15 m. de altura y una capacidad entre 600 W y los 20 kW. Su producción depende de la longitud de las palas de la turbina, de la velocidad del viento y de si la turbina esta obstaculizada por algún edificio o masa arbolada. Si se monta una instalación de mástil, los mejores resultados se consiguen si se dejan 10m. de distancia o más respecto a los edificios y árboles de los alrededores. Es importante no instalar una turbina donde se manifiesten excesivas turbulencias. El mantenimiento solo conlleva una revisión anual, los micro generadores eólicos duran entre 15-20 años.						
	Componentes (II. 5.11)	1. Aerogenerador	2. Regulador de sobrevoltaje	3. Inversor	4. Batería	5. Electricidad para autoconsumo	6. Contador	7. Conexión a la red de distribución eléctrica para vender la energía sobrante.	
Biomasa	Descripción	El uso de la biomasa es tan antiguo como el descubrimiento del fuego. Las principales estufas de biomasa utilizan principalmente Pellets y astilla y sirven tanto para la calefacción como para calentar agua sanitaria. La biomasa es más barata y menos contaminante que el gas o la electricidad e incluso, más eficiente. Además, recicla los desechos de la madera, ya que los Pellets son pequeños cilindros fabricados a partir de un material muy parecido al aserrín prensado.							

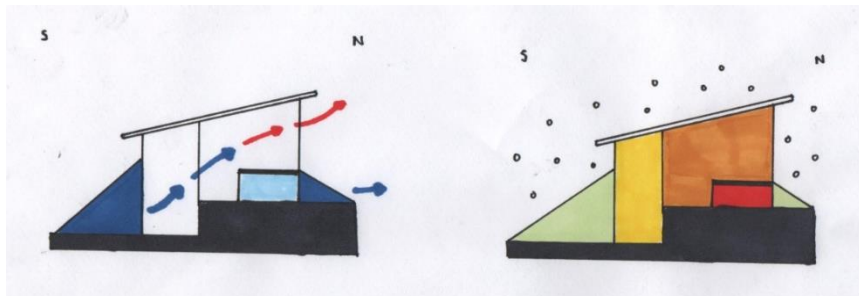


Ilustración 5.1. Ventilación cruzada. Modificado de Martínez C., 2018.

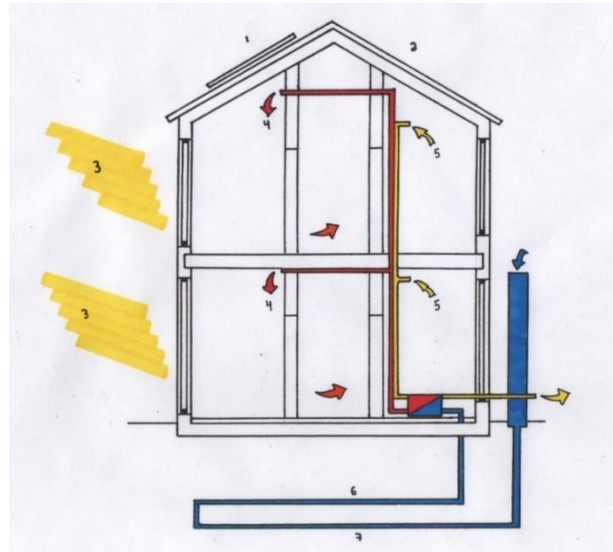


Ilustración 5.2. Componentes de un adecuado sistema de ventilación. Modificado de Martínez C., 2018.

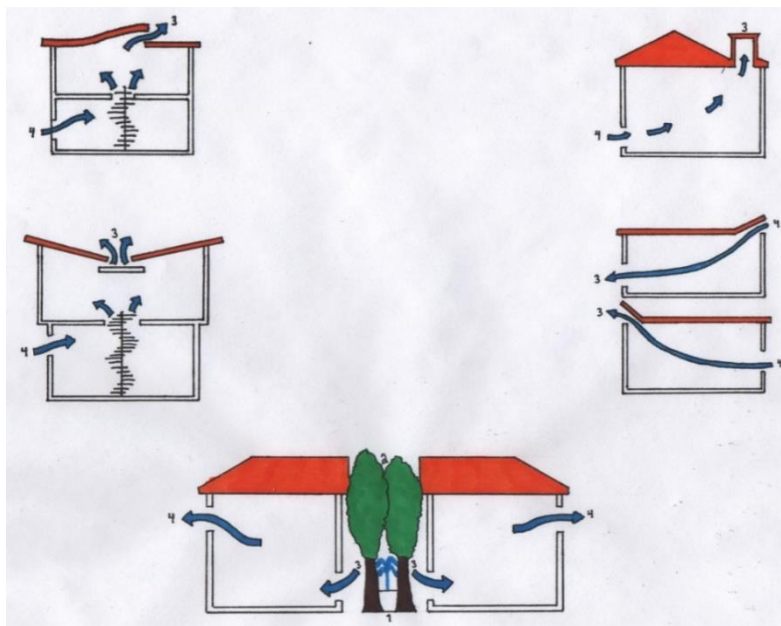


Ilustración 5.3. Ruta de ventilación con un patio interior. Modificado de Martínez C., 2018.

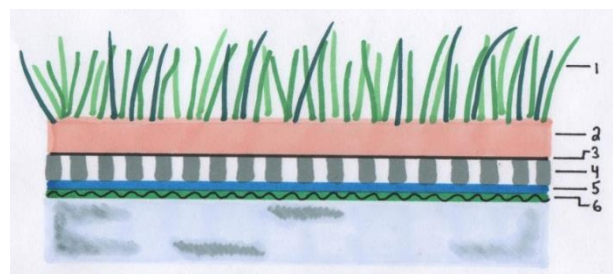


Ilustración 5.4. Esquema de una cubierta vegetal. Modificado de Martínez C., 2018.

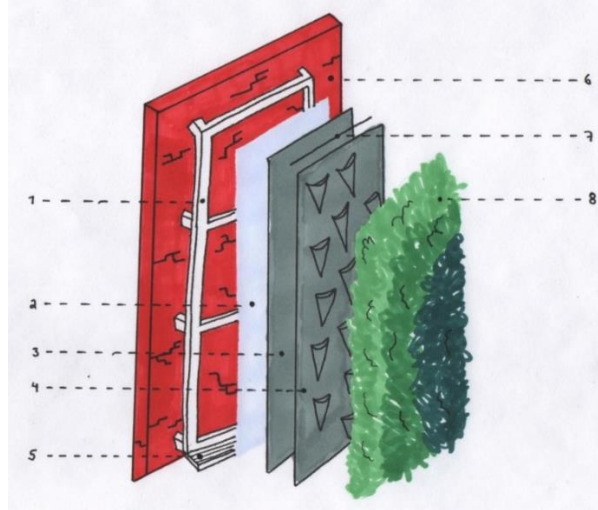


Ilustración 5.5 Componentes de muro verde. Modificado de Martínez C., 2018.

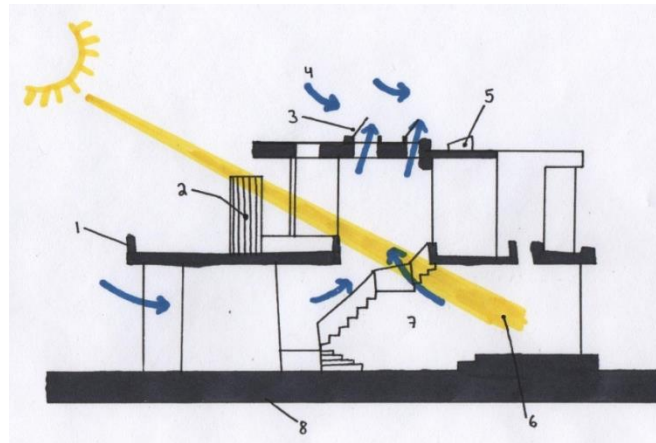


Ilustración 5.6. Elementos para el correcto funcionamiento de una chimenea solar. Modificado de Martínez C., 2018.

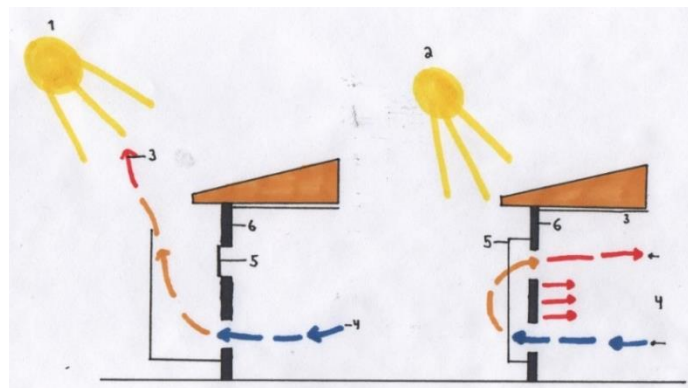


Ilustración 5.7. Componentes del muro Trombe. Modificado de Martínez C., 2018.

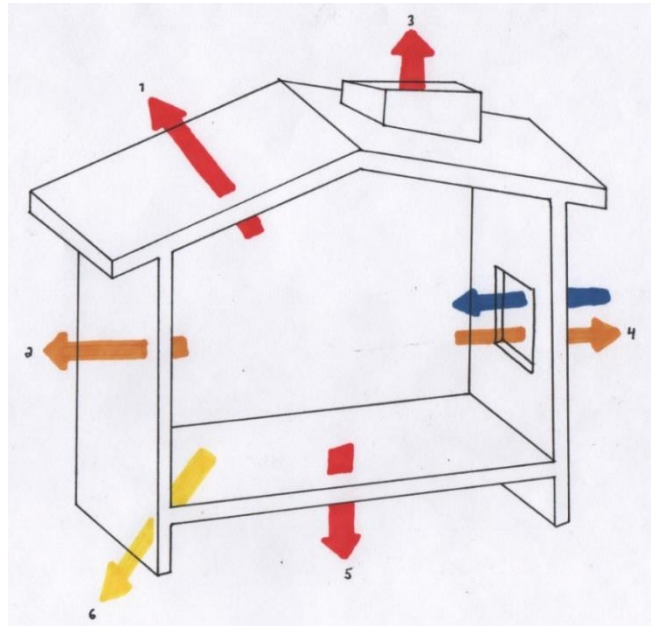


Ilustración 5.8. Porcentajes de fugas de calor. Modificado de Martínez C., 2018.

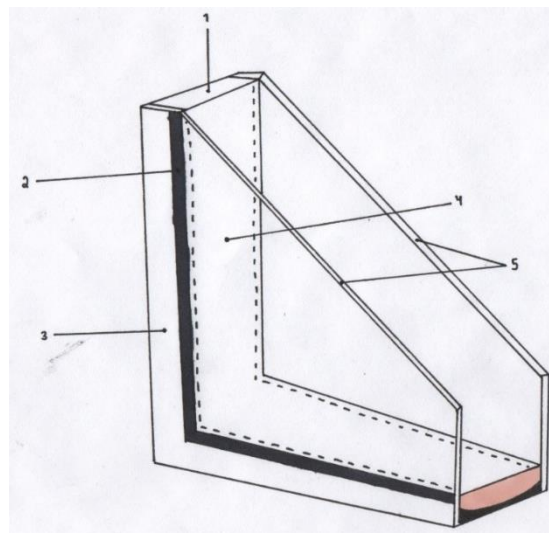


Ilustración 5.9. Esquema del doble vidrio. Modificado de Martínez C., 2018.

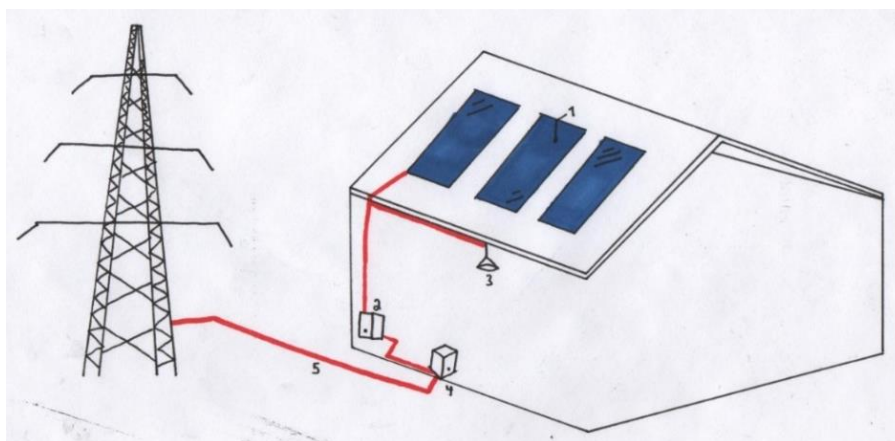


Ilustración 5.10. Componentes de un sistema solar fotovoltaico. Modificado de Martínez C., 2018.

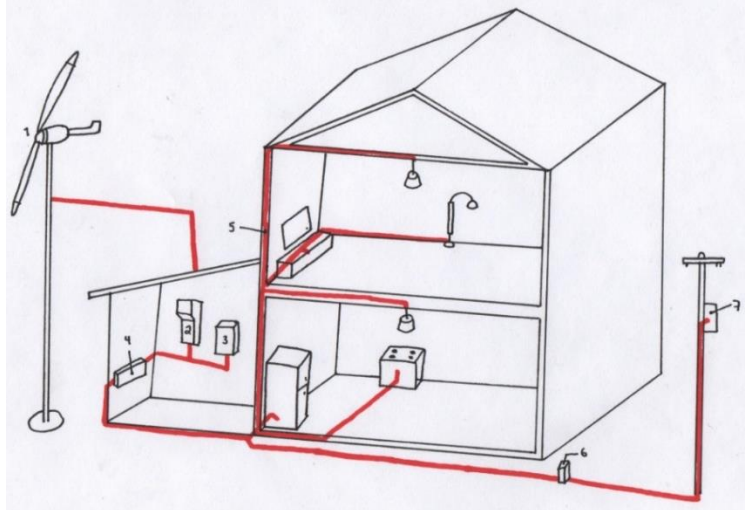


Ilustración 5.11. Componentes de un sistema de turbina eólica. Modificado de Martínez C., 2018.

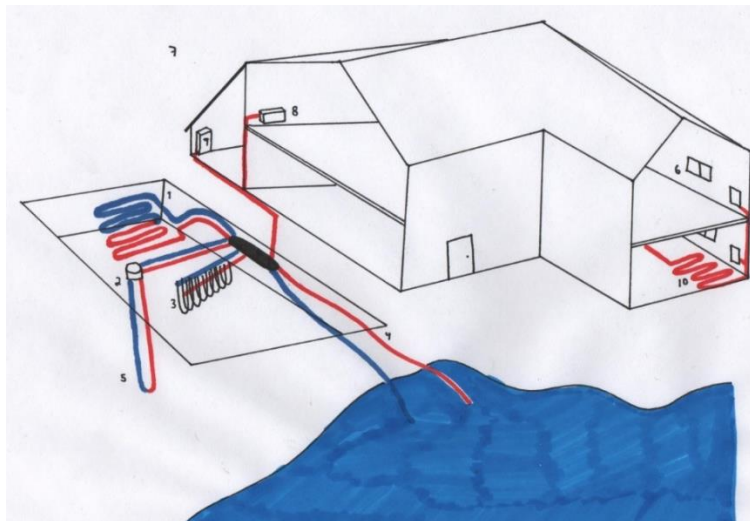


Ilustración 5.12. Componentes de un sistema geotérmico. Modificado de Martínez C., 2018.

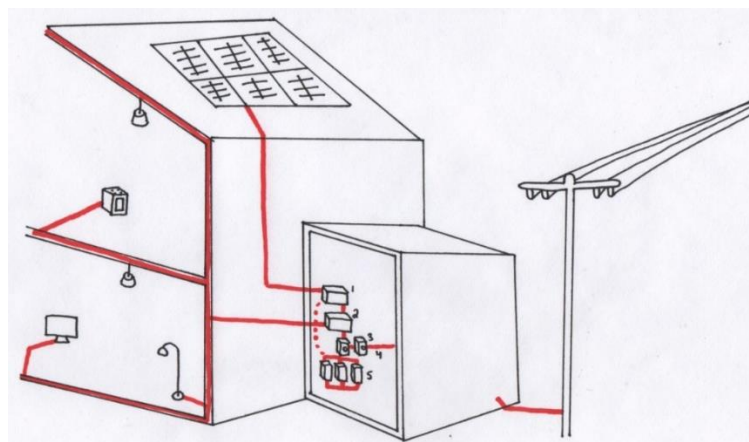


Ilustración 5.13. Componentes de una instalación solar fotovoltaica. Modificado de Martínez C., 2018.

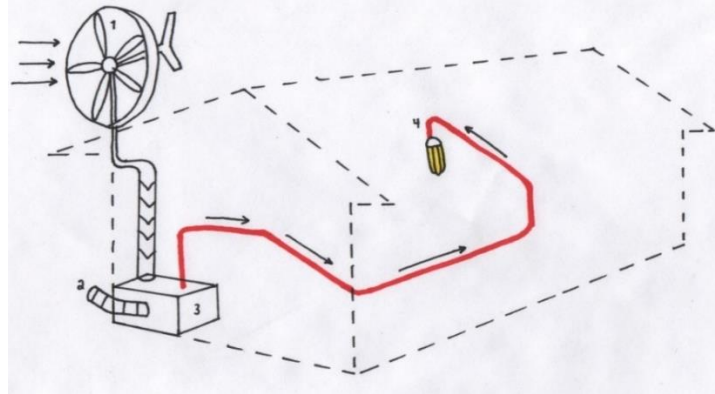


Ilustración 5.14. Componentes de una instalación de un aerogenerador doméstico. Modificado de Martínez C., 2018.

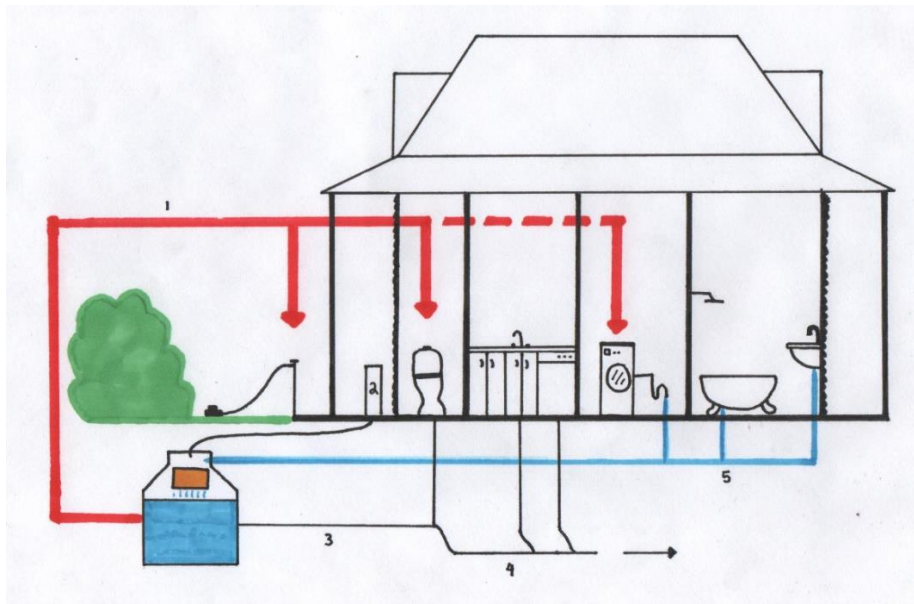


Ilustración 5.15. Componentes de un sistema de recogida de aguas grises. Modificado de Martínez C., 2018.

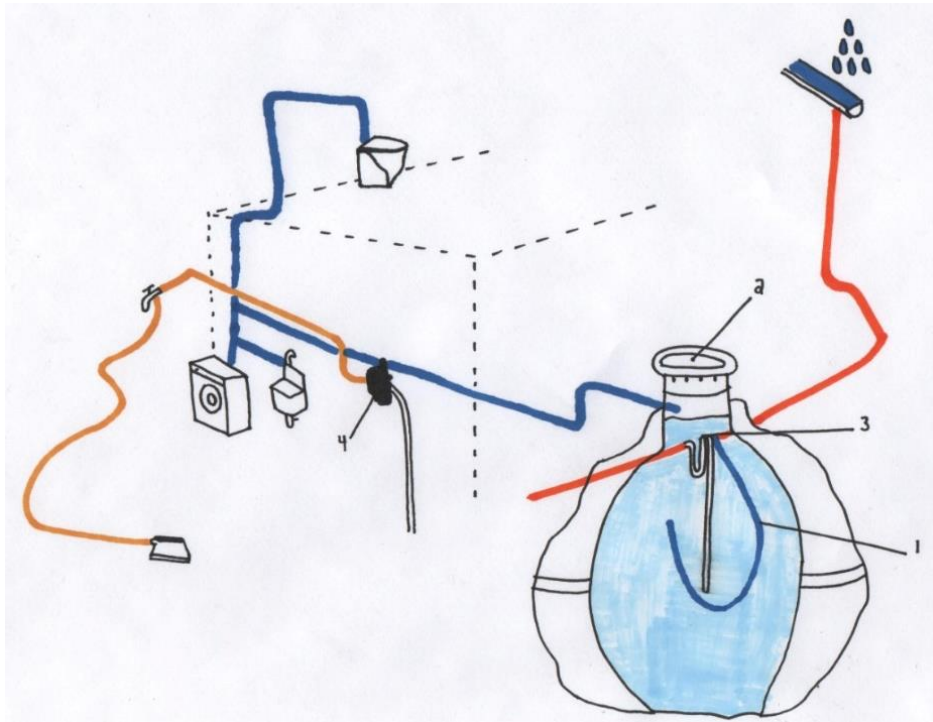


Ilustración 5.16. Componentes de un sistema de depuración de aguas grises. Modificado de Martínez C., 2018.



Capítulo 6: Comparativa entre sistemas constructivos deseables y sistemas constructivos actuales

Según los porcentajes de transferencia de calor en las construcciones, en el techo y muros, se pierde el mayor porcentaje de confort térmico del interior de una vivienda y si se optara por un diseño arquitectónico que cuente con equipos para generar energía limpia (fotovoltaica o eólica) proteja por medio de energías limpias y sistemas constructivos sostenibles, la vivienda ahorraría en consumo de agua, luz y gas, con lo que se contribuye al desarrollo sostenible al tiempo que se conserva o incrementa el confort de los habitantes. Por ejemplo, el sistema de ventilación cruzada, un patio interior, cubiertas y muros vegetales, ventanas de doble vidrio, biomasa, suelo radiante, chimenea solar, muro trombe, aleros y aislamiento para muros empleando fibra o corcho, pueden sustituir o minimizar las horas de uso de un sistema de climatización que actualmente se utiliza, como es el aire acondicionado, el minisplit, la calefacción o los calentones de gas, eliminando o disminuyendo sensiblemente el consumo de energía y agua (en el caso de aire evaporativo), sobre todo si se utilizan estos sistemas en conjunto. Además, sustituyendo la energía eléctrica por energía solar y eólica, e implementando sistemas de captación de aguas pluviales (cuando sea viable), depuración y reúso de aguas grises, así como con el uso de dispositivos ahorradores de agua como mezcladores termostáticos, teleduchas, reductores volumétricos, sanitarios de bajo consumo y lavabos ecológicos, la casa podría ser autosuficiente en algunas instalaciones dependiendo de la temporada, es decir, en temporada de lluvia se podría abastecer lo suficiente de agua, o en temporada de fuertes vientos podría abastecerse de energía eólica. como por ejemplo “Casa Majalca”, una vivienda que se encuentra en la sierra de Chihuahua, integrada totalmente al entorno, utilizando energías limpias. (Vaisman R., 2023).

Incluso solamente con cambiar muros de block por muros de termoarcilla cambia considerablemente la termicidad de la casa. Comparándolos en su resistencia térmica, el block de 15cm. tiene un valor promedio de $0.171 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Pérez J., 2010) y la termoarcilla tiene una resistencia mayor de un valor de $1.3 \text{ m}^2\text{K/W}$ (Sastre V., s/f).

El sistema constructivo actual no toma en cuenta la sostenibilidad, sino la economía en el proceso de construcción en sí, a diferencia de un diseño arquitectónico sostenible, que



busca la economía en el tiempo útil de la vivienda, considerando el sobrecosto de la construcción de la vivienda como una inversión para el futuro, recuperable en la operación de la misma.

Por el entorno árido que se tiene en la ciudad de Chihuahua, existe una gran variedad de árboles caducifolios que si se implementaran en un diseño arquitectónico funcionarían como elementos que dan sombra y frescura durante el verano, y con el caer de las hojas en el otoño e invierno permitirían pasar la luz solar por las ventanas para calentar las áreas. A diferencia de la mala práctica de utilizar vegetación tropical en un ecosistema desértico, que no solo necesita considerable riego, si no también exige una cantidad adicional del líquido en comparación de la que demandaría en su ecosistema nativo, debido a la baja humedad ambiental.

Para una comparación más completa de los sistemas constructivos actuales y los deseables, se realiza un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), con el objetivo de evaluar cada método constructivo deseable. (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Análisis FODA de sistemas constructivos sostenibles.(Continúa)

Sistemas constructivos deseables	F	O	D	A
Climatización natural	-Minimiza o elimina la necesidad energética.	-Empleo de vegetación en el diseño. -En espacios amplios es más favorable.	- Es difícil encontrar amplios lotes de terreno de uso habitacional.	-Requiere una fuerte inversión al inicio del proyecto.
Estructura y piel	-Utiliza materiales del sitio donde se construye -Ayuda con el aislamiento.	-Desarrolla un diseño que pueda prescindir de un acabado final en muros.	-Algunos de estos materiales requieren un sellador especial para evitar se generen microorganismos y bacterias en los muros.	-Como son materiales diferentes a los comunes, puede ser desafiante encontrar mano de obra que tenga experiencia.
Aislamiento	-Conserva el calor/frío interior, eliminando la necesidad de climatizar el hogar continuamente.	-Minimiza o elimina la necesidad de climatización artificial.	-Engrosa los muros, aumentando el área que éstos requieren, reduciendo áreas.	-Eficientiza si es instalado al interior y requiere un acabado final por estética.



Tabla 6.1. Análisis FODA de sistemas constructivos sostenibles. (Continuación)

Estrategias energéticas	-Otorgan funcionalidad a viviendas aisladas de infraestructura de servicios básicos.	- Al utilizar todas las energías limpias, se aprovecha el entorno natural completamente.	-Requiere una importante inversión.	-El funcionamiento de las instalaciones del hogar depende completamente del clima.
Instalaciones especiales	-Los dispositivos ahorradores no requieren gran inversión. -Ahorran agua primordialmente y es la mayor necesidad a la que se enfrenta la ciudad.	-Generan un ahorro económico en el recibo de agua. -Las llaves conservan presión si se les inyecta aire a los dispositivos.	-Normalmente los dispositivos ahorradores son más caros que los accesorios convencionales.	-Se reduce el caudal de agua de las llaves.

Todos los sistemas constructivos deseables tienen las fortalezas y oportunidades para reducir el gasto energético del hogar, además de sugerir en algunos casos considerar construir en áreas alejadas de la ciudad para aprovechar un espacio más amplio y aplicando energías renovables en la casa. Las debilidades y amenazas van encaminadas a la inversión inicial asociada a un proyecto sostenible, a la mano de obra especializada que requiere cada sistema y a cómo influye la variación del clima en el funcionamiento de ciertas instalaciones.

Según la Organización Mundial de la Salud, el consumo promedio de agua por persona es de 100 litros de agua al día (Gobierno de México, 2019) y el promedio de habitantes por vivienda en la ciudad de Chihuahua es de 3 personas (INEGI, 2020). El rango de la tarifa de servicio de agua para uso doméstico varía a cada 5 m³ y el mínimo es entre 10 y 14 m³, con un costo de \$18.18/m³ (JMAS, 2022). Es decir, una familia consume por mes entre 10 y 14 m³ de agua generando un recibo del orden de \$280.12 mensual para una familia de 3 personas.

Una persona utiliza en promedio siete veces el baño por día y en cada descarga se emplean hasta 10 litros de agua en los inodoros convencionales, a diferencia de los inodoros “sustentables” de descarga dual, que disminuyen hasta 4 litros el consumo



habitual del agua (CONAGUA, 2018). Además, según la OMS una ducha de 10 minutos gasta en promedio 180 litros, con la regadera convencional, a diferencia de las regaderas ahorradoras que reduce 130 litros en una ducha de 10 minutos, gastando solo 50 L, reduciendo el caudal sin perder presión, de tal forma que la sensación es la misma pero la cantidad de agua es menor (LEEQUID, 2023). Incluso una lavadora convencional puede gastar hasta 150 litros de agua por cada carga, mientras que las lavadoras ahorradoras solo 80 litros. (JAPAC, 2017). En la Tabla 6.2 se presenta un análisis del posible ahorro que se podría alcanzar con el uso de dispositivos ahorradores en relación al uso de convencionales en viviendas.

Tabla 6.2. Análisis del ahorro del agua con dispositivos ahorradores. Del Rio A. 2023.

Una persona al día				Ahorro en una familia de 3 personas al día	Una familia de 3 personas al mes	Una familia de 3 personas al año
	Descargas de inodoro al día	Litros por descarga	L	L	L	L
Convencional	5	10	50.00	150.00	4,500.00	54,000.00
Ahorrador	5	6	30.00	90.00	2,700.00	32,400.00
		Ahorro	20.00	60.00	1,800.00	21,600.00
	Duchas al día	Litros por 1 ducha de 10 min	L	L	L	L
Convencional	1	180	180.00	540.00	16,200.00	194,400.00
Ahorrador	1	50	50.00	150.00	4,500.00	54,000.00
		Ahorro	130.00	390.00	11,700.00	140,400.00
	Lavadoras equivalentes al día	Litros por una lavadora	L	L	L	L
Convencional	0.14	150.00	21.00	63.00	1,890.00	22,680.00
Ahorrador	0.14	80.00	11.20	33.60	1,008.00	12,096.00
		Ahorro	9.80	29.40	882.00	10,584.00
	Lavado de manos/dientes al día	Litros por cada lavado de manos /cara	L	L	L	L
Convencional	4	12	48.00	144.00	4,320.00	51,840.00
Ahorrador	4	3	12.00	36.00	1,080.00	12,960.00
		Ahorro	36.00	108.00	3,240.00	38,880.00
		Σ Ahorro	195.80	587.40	17,622.00	211,464.00
		Σ Convencional	299	897	26,910	322,920
		Σ Ahorrador	103.2	309.6	9,288	111,456
		% Ahorro	34.51 %			



Los resultados anteriores consideran promedios de duchas, lavadoras y uso del lavamanos en base a estadísticas (INEGI, 2020; CONAGUA, 2018; Gobierno de Mexico, 2019; LEEQUID, 2023; JAPAC, 2017; Martínez R., Salas J., 2007). Estos pueden variar dependiendo de las costumbres de cada hogar. Sin embargo, como se observa en la tabla, los litros ahorrados representan una cantidad considerable, y en términos de porcentaje es del orden del 34.5 %. Si regresamos al análisis del consumo estadístico de una familia que se encuentra entre los 10 y 14 m³/mes, con ahorro proyectado el rango quedaría entre 6.55 y 9.7 m³/mes, con lo que el pago del recibo de agua se reduciría al mínimo. Cabe destacar que falta considerar el gasto de agua que generan los equipos de clima, es cual también reduciría con un diseño arquitectónico térmico.

Se realizó un cálculo de consumo hídrico del sistema de aire evaporativo residencial en ciudad Juárez, Chihuahua. La ciudad tiene un clima bastante similar a la de la capital, por lo que los resultados aplicarían de la misma manera en la zona de estudio. El análisis arroja que un sistema evaporativo convencional consume 16,350 L por mes, por hogar. (Martínez R., Salas J., 2007).

Otra opción de climatización es el MiniSplit, consumen mucho menos agua que el sistema evaporativo pero la desventaja es que consume gran cantidad de luz. Tan solo un MiniSplit de 1 tonelada de refrigeración consume 1000 watts por hora, lo que equivale a 111 focos LED de 9 watts y un aire evaporativo consume 600 watts por hora, más el considerable gasto de agua que conlleva. La diferencia entre una vivienda construida con materiales térmicos es que se reduce tanto la capacidad de los equipos de clima que se requieren, así como el número de horas de operación, en comparación con una vivienda construida de forma convencional.

Aunque una casa sostenible es una inversión económica a corto, mediano o largo plazo dependiendo de las instalaciones que se consideraron, también conlleva una serie de pequeños sacrificios, sobre todo si el habitante está acostumbrado a todas las comodidades de la ciudad. El estilo de vida cambia, probablemente sentirá una diferencia en la presión o caudal del agua al bañarse, o puede ser que el agua tarde un poco más en calentarse, o incluso tampoco podrá andar dentro del interior de la vivienda en ropa de



verano en el invierno y viceversa, porque la casa se adecuará a un entorno más natural y tampoco se podrá llevar al otro extremo la temperatura del interior respecto al exterior, se trata de encontrar condiciones habitables dentro de un marco influenciado completamente por el exterior.



Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 CONCLUSIONES

De los resultados de la presente investigación se observan importantes áreas de oportunidad para mejorar los sistemas constructivos de vivienda en la ciudad de Chihuahua, al tiempo que se incremente el confort y bienestar de los habitantes y se contribuye a la reducción de la demanda de agua, del consumo de energía eléctrica, lo también se podría considerar como una medida de adaptación al cambio climático.

Si se implementa una lavadora ahorradora, al mes se ahorrarían 882 L de agua, si se implementa una regadera ahorradora al mes se ahorran 11,700 L, considerando que en México las personas se bañan 3 veces por semana, además si se implementa un inodoro ahorrador serían 1,800 L de ahorro y si se instalara un lavabo ahorrador se ahorrarían 3,240 L de agua al mes. En total de ahorrarían 17,622 L de agua al mes, que representaría un ahorro de 34.5 % con respecto a utilizar muebles sanitarios y lavadora convencionales.

Si se le cobran a la familia 14.9 m³ de agua al mes \$280.12, y se le restan un 34.5% por el ahorro en agua, el consumo sería del orden de 9.8 m³/mes, sin embargo siempre se paga recibo por el servicio, aunque sea el mínimo que indica la JMÁS que son 10 m³ \$181.8. Es decir, estaría aportando demasiado a la reducción del consumo de agua, y pagaría su recibo (en cuota mínima) por recibir el servicio de agua domiciliaria, cumpliendo con el propósito de la sostenibilidad.

En cuanto a los dispositivos ahorradores de agua, la cebolleta de la regadera es el que podría otorgar mayor ahorro en una vivienda; considerando que el costo de la cebolleta ahorrada es muy bajo en relación a otros dispositivos, con el ahorro en pago del recibo de agua, se retorna la inversión en pocos meses.

Está comprobado que el aislamiento de una vivienda no enfría el hogar en tiempo de verano ni lo calienta en temporada de invierno, solamente ayuda a conservar el clima interno evitando la pérdida climática al exterior. En tiempo de verano el aislamiento en techo es mucho más notorio que en muros, ayuda a reducir la temperatura hasta 3°C. Esto considerando que se está aislando una estructura hueca poco térmica como el block, si los



muros fuesen de termo arcilla o incluso de ladrillo la termicidad interior aumentaría. La resistencia de una vivienda térmica a la pérdida climática, permite que los equipos de clima sean de menor capacidad, que operen menos horas o ambas cosas.

Si el propósito solo es ahorrarse el recibo del agua o de la luz, además del aislamiento que puede llegar a representar un ahorro del triple en el costo de la energía eléctrica, existen múltiples constructivos para lograrlo. Incluso, el gasto de agua potable de la red podría ser mínimo si se implementara un sistema de recogida de aguas grises o de depuración de aguas grises, aunado a un dispositivo ahorrador de agua para regaderas y lavabos.

Si el propósito consiste en aportar a disminuir presión a la situación de estrés hídrico, y climatológico que experimentan las fuentes de abastecimiento y la región en la que se ubica la ciudad de Chihuahua, se recomienda implementar todos los sistemas constructivos sostenibles posibles dentro del hogar y complementar el diseño arquitectónico con la vegetación y espacios con orientación y ventilación adecuados, para poder no solo llegar a hacia un punto de sostenibilidad, si no de sustentabilidad.

El Desarrollo Sostenible busca satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro, contando con tres factores claves: sociedad, economía y medio ambiente. el Desarrollo Sustentable está enfocado únicamente en los recursos naturales y el medio ambiente; tratando de preservarlos, conservarlos y protegerlos, pensando en el futuro inmediato del entorno natural.

Sería un gran avance en términos de inteligencia social, así como en el combate al cambio climático que enfrenta la ciudad, que se disminuya el consumo de energía para climatizar el hogar en verano o invierno. Esto puede disminuir las emisiones de CO₂, lo que también podría representar un descenso de bombeo de agua para generación de energía mediante termoeléctricas que abastecen a la ciudad, así como para el abastecimiento de agua adicional por operación de aires evaporativos, Si adicionalmente se optara por utilizar diversas instalaciones especiales sostenibles en los hogares, se disminuye el aumento de la demanda de agua de primer uso, así como el incremento constante de abatimiento de los acuíferos. Esto es evidente si recordamos que conforme a



los censos de la CONAGUA, el servicio doméstico y público es el mayor consumidor de agua en el acuífero Chihuahua Sacramento un usuario muy importante en los acuíferos El Sauz-Encinillas y Tabalaopa-Aldama.

Es importante contemplar que el crecimiento demográfico y el aumento en los promedios de temperatura por el cambio climático, ha generado mayor demanda de agua. Dichos aumentos son progresivos por lo que la situación empeoraría si no tomamos acciones en masa en el presente. La ciudad creció 175 km² los últimos 33 años, al tiempo que según los estudios de DMA de los acuíferos que abastecen la ciudad, han experimentado un déficit creciente.

Se ha avanzado suficiente en cuestión de política y leyes para el cuidado del medio ambiente a nivel nacional y estatal, sin embargo, falta avanzar a nivel municipal, modificando el reglamento de construcción a favor de la sostenibilidad para así, convertir al cuidado ambiental en una obligación, porque como se ha observado en las últimas décadas, si se maneja como un tema de conciencia social, los resultados podrían conducir a una escasez de recursos naturales como el agua, aún más crítica que la que se tiene en la actualidad. Las soluciones que propone la Agenda Hídrica Municipal requieren importantes recursos económicos, sin embargo hay alternativas como las que se proponen en esta tesis, como es una modificación en un reglamento que no representa una infraestructura como tal, sino, simplemente una normatividad que obliga a cada habitante a participar.

El análisis del crecimiento de la ciudad con las imágenes satelitales muestra que la ciudad ya no tiene valle para crecer y se tiene que extender hacia las zonas serranas, las cuales son caracterizadas para ser zonas potenciales de recarga. Por lo que resulta pertinente no solo incluir en los reglamentos municipales la inclusión de sistemas constructivos sostenibles en las nuevas obras, sino también establecer áreas de reserva natural para salvaguardar la recarga de los acuíferos.

7.2 RECOMENDACIONES

Las acciones voluntarias no siempre son suficientes y oportunas, por lo que es importante hacer los cambios institucionales/gubernamentales, en los marcos legal, normativo y



regulatorio, relacionados con la edificación y construcción de vivienda, con lo que las nuevas construcciones serían sostenibles por ley.

Para lograr lo anterior se necesita que la comunidad científica, las instancias gubernamentales, la sociedad organizada, y puedan comunicar eficientemente y con oportunidad sus hallazgos y propuestas, con un lenguaje asequible al segmento que se enfoca, ya sean funcionarios de gobierno o la sociedad en general. La oportunidad que se tiene de adaptarse al cambio climático en el mundo requiere, además de las acciones gubernamentales previstas, de la participación de la sociedad a niveles básicos en su manera de pensar, en su conducta y en su estilo de vida, que conduzcan a desarrollar el respeto y cuidado del medio ambiente, incluyendo la conservación el líquido vital.

Una recomendación para cada ciudadano es identificar los sistemas constructivos sostenibles analizados en esta tesis, para analizar cuáles son aplicables a cada hogar, buscando contribuir no solo a la propia inversión, si no al bien común.

También se le recomienda al sector privado de la rama de la urbanización y construcción, ofrecer opciones sostenibles en sus diseños y vender al medio ambiente como prioridad para un hábitat saludable, recordando a sus clientes que el calentamiento global inició desde que dejamos de vivir con el planeta y empezamos a vivir en el. Pueden implementar tabuladores con los precios de inversión en los sistemas constructivos sostenibles y deseables, así como el ahorro en el recibo del agua, luz y gas a corto mediano o largo plazo para hacer llegar la información de la manera más conveniente.



Referencias

- [Gobierno de México, 2020. Se erige el estado de Chihuahua.]
- [Comisión Nacional del Agua, 2006. El agua en México.]
- [Dirección General de Geografía y Medio Ambiente (INEGI), 2022. Aspectos técnicos de las imágenes LANDSAT.]
- [Martínez C. 2018. Ideas para una casa ecológica. ISBN: 978-84-15227-85-4.]
- [CONAGUA, UACH, 2009. Actualización geohidrológica de los acuíferos: Chihuahua-Sacramento, Laguna El Diablo y El Sauz Encinillas, estado de Chihuahua. SGT-OCRB-NL-09-GAS-085-RF-CC.,]
- [Pérez J. et al., 2010. Estudio numérico de la resistencia térmica en muros de bloques de concreto hueco con aislamiento térmico. Vol.22(3), 27-38 (2011). DOI: 10.4067/S0718-07642011000300005.]
- [Sastre V., Santiago E., s/f. Herramienta de cálculo “Buscador de soluciones Termoarcilla”.]
- [SEMARNAT, CONAGUA, 2022. Situación actual de principales presas – Chihuahua.]
- [Municipio de Chihuahua, 2013. Reglamento de construcciones y normas técnicas para el municipio de Chihuahua. Aprobado por el Ayuntamiento en Sesión Ordinaria 17/13 de fecha 05 de septiembre de 2013. Publicado en el P.O.E., no. 80, de fecha 05 de octubre de 2013.]
- [Miller P., Van Atten C., 2004. Emisiones atmosféricas de las centrales eléctricas en América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte, 2004. ISBN: 2-923358-12-0]
- [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales nacionales de las 731 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial de la Federación. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.]
- [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.]
- [Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2014. ACUERDO por el que se dan a conocer los valores de cada una de las variables que integran las fórmulas para determinar durante el ejercicio fiscal 2014



las zonas de disponibilidad, a que se refieren las fracciones I y II, del artículo 231 de la Ley Federal de Derechos, vigente a partir del 1 de enero de 2014. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.]

[Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las Regiones Hidrológico-Administrativas que se indican. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.]

[Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2018. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas superficiales en las cuencas hidrológicas Río Bravo 1, Río Bravo 2, en la Subregión Hidrológica Seis Tributarios, integrada por las cuencas hidrológicas Río Florido 1, Río Florido 2, Río Florido 3, Río Parral, Río Balleza, Río Conchos 1, Río San Pedro, Río Conchos 2, Río Chuvíscar, Río Conchos 3, Río Conchos 4, Arroyo de las Vacas, Río San Diego, Río San Rodrigo, Río Escondido, Río Sabinas, Río Nadadores y Río Salado, en la Subregión Hidrológica Medio Bravo, integrada por las cuencas hidrológicas Río Bravo 3, Río Bravo 4, Río Bravo 5, Río Bravo 6, Río Bravo 7, Río Bravo 8, Río Bravo 9, Río Bravo 10 y Río Bravo 11 y en las cuencas hidrológicas Río Álamo, Río Salinas, Río Pesquería, Río San Juan 1, Río San Juan 2, Río San Juan 3, Río Bravo 12 y Río Bravo 13, mismas que forman parte de la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.]

[Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.]

[Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2020. ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.]

[CONAGUA, 2020. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Chihuahua-Sacramento (0830), estado de Chihuahua. Ciudad de México, diciembre 2020.]



- [CONAGUA, 2020. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero El Sauz Encinillas (0807), estado de Chihuahua. Ciudad de México, diciembre 2020.]
- [CONAGUA, 2020. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Tabalaopa-Aldama (0835), estado de Chihuahua. Ciudad de México, diciembre 2020.]
- [Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 1992. Ley de aguas Nacionales. Última reforma publicada DOF 11-05-2022. Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos. - Presidencia de la República.]
- [Shiguetomi A., 2016. Huella Hídrica a través de ciclo de vida en la vivienda unifamiliar de San Luis Potosí.]
- [Guerra M., 2013. Arquitectura Bioclimática como parte fundamental para el ahorro de energía en edificaciones. ISSN 2221-1136, Editorial Universidad Don Bosco, año 3, No.5, diciembre de 2012 – Mayo de 2013, pp. 123-133.]
- [Garzón B., Giuliano G., 2007. Evaluación de la aplicación de estrategias de diseño bioclimático – energético en una vivienda rural de Balderrama – Tucuman- y propuestas para su mejoramiento a partir de la simulación térmica. Vol. 11, 2007. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184]
- [Meiss A., 2019. Sistemas bioclimáticos en la arquitectura de España. Universidad de Valladolid.]
- [Galeano D., 2013. Estudio de medidas para mejorar la eficiencia energética de un centro polivalente para personas con discapacidad psíquica. Universidad politécnica de Valencia.]
- [Academia Colombiana de Arquitectura y Diseño, 2011. Ekoarquitectura 2011, consecuencias, políticas, desafíos y propuestas de arquitectura frente al cambio climático.]
- [U.S. Green Building Council, Inc., USGBC, 2009. Guía de Estudio de LEED AP Diseño y Construcción de Edificios del USGBC. Copyright. Estados Unidos.]
- [Cime: Soluciones Integrales para la Generación de Energía, 2021. Tabla de consumos energéticos. Atlas de México]
- [Acosta, D., 2009. Arquitectura y construcción sostenibles: conceptos, problemas y estrategias. University of California.]
- [J. Macknick, R. Newmark, G. Heath, K. C. Hallett, 2012. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity]



- generating technologies: a review of existing literature. National Renewable Energy Laboratory.]
- [Sesma D., 2020. El reto del agua en la producción de energía eléctrica. Universidad Pública de Navarra.]
- [Instituto Catalán de Energía., s/f. El Ciclo Combinado.]
- [Cano L., 2014. Inicia operaciones central eléctrica “El Encino” en Chihuahua.]
- [Universidad de Sonora., 2008. Datos generales del proyecto del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental.]
- [Gobierno de México., 2021. ¿Qué hace el CENACE?.]
- [INEGI., 2020. Esperanza de vida.]
- [Durán J., 1995. El vital líquido a través de los tiempos.]
- [Gobierno de México, 2018. Inodoros sustentables, otra forma de cuidar el agua.]
- [Pérez G., 2019. Evaluación del potencial de aplicación de sistemas de enfriamiento evaporativo en México. Memorias del XXV Congreso Internacional Anual de la SOMIM]
- [Pérez J., 2010. Estudio Numérico de la resistencia térmica en muros de bloques de concreto hueco con aislamiento térmico. Vol. 22 N°3 – 2011]
- [Gobierno del Estado Libre y Soberano de Chihuahua, 2021. Tarifa para el cobro del servicio público para el año 2022 de la JMAS]
- [INEGI, 2020. Panorama sociodemográfico de México 2020.]
- [CONAGUA, 2018. Inodoros sustentables, otra forma de cuidar el agua]
- [Gobierno de México, 2019. ¿Sabes cuánta agua consumes?]
- [LEEQUID, 2023. ¿Cuánta agua gasta una ducha por minuto?]
- [JAPAC, 2017. 12 consejos para ahorrar agua con tu lavadora]
- [Martínez R., Salas J., 2007. Consumo y desperdicio de agua de los sistemas evaporativos residenciales]
- [Martín I., Alarcón M., 2004. Análisis del comportamiento térmico y uso de la energía en dos viviendas de interés social, mediante simulación de transys. Centro de investigación en materiales avanzados S.C.]
- [Hernández A., 2009. Cálculo y selección del equipo de un sistema de aire acondicionado para un teatro en Puerto Vallarta, Jalisco. Instituto Politécnico Nacional.]



[Izquierdo C., 2020. Gestión para el diseño y construcción sostenible de viviendas urbanas en el cantón Caymbre, que permita el ahorro de agua y energía.]

[Flores C., s/f. Aproximación histórica a los sistemas constructivos modernos. ISBN: 978-607-484-648-5]

[Vaisman R., 2023. Esta casa familiar y sostenible tiene una de las mejores vistas de Chihuahua. AD Newsletter.]



Curriculum Vitae

Ana Del Río es una arquitecta originaria de Cuauhtémoc, Chihuahua, residiendo la mayor parte de su vida en la capital de Chihuahua. Estudió la carrera de Arquitectura en el Instituto Tecnológico de Chihuahua II (2012–2016). Su primer empleo fue en la empresa constructora “Grupo JCH Constructores Industriales”, donde laboró por un año (2016-2017), tomando experiencia en administración de obras habitacionales. Posteriormente, se fue un año a Boston, Massachusetts, Estados Unidos (2017-2018), con una familia judía que, a cambio de cuidar a sus 3 hijos, le brindaron comida, hospedaje y educación de cursos TOEFL en Framingham State University. De regreso a Chihuahua capital, trabajó con la empresa “Proyectos de inversión Cano Gonzales y asociados” construyendo un edificio de 3 niveles desde sus cimientos hasta la entrega e inauguración (2018-2019). Una vez entregado el edificio continuó trabajando como encargada de obras en el sector industrial para la empresa “Arqcon J+E S.A. de C.V” dentro de las maquiladoras Bimbo y Ford Motor Company (2019-2020). Por pandemia de COVID-19, perdió su empleo, y utilizó esta pausa para viajar por Estados Unidos. Después ejerció como encargada de proyectos en “Loop Arquitectura” (2020-2021). En el 2021 comienza a estudiar la Maestría de Ingeniería en Hidrología (2021-2022), culminando en el último semestre con una estancia en la Universidad de Sevilla, España. (Oct-Dic 2022), donde aprovechó para exponer su tema de tesis en el 3er Congreso Internacional de Comunicación de Cambio Climático. También trabajó en la Comisión Nacional del Agua en el área técnica de aguas superficiales y actualmente trabaja en la empresa COPACHISA como líder de diseño y consultor hidráulico.

Domicilio Permanente: <Veneto 2205, Las Aldabas>

<Chihuahua, Chihuahua, C.P. 31170>

Esta tesis/disertación fue mecanografiada por <Ana Carolina Del Río Rodríguez>.