

EVALUACIÓN DE LA

# Huella Hídrica:

A TRAVÉS DEL CICLO DE VIDA EN VIVIENDA  
UNIFAMILIAR DE SAN LUIS POTOSÍ

Arq. Alejandro Shiguetomi Díaz Infante



EVALUACIÓN DE LA

# Huella Hídrica:

A TRAVÉS DE CICLO DE VIDA EN LA  
VIVIENDA UNIFAMILIAR DE SAN LUIS POTOSÍ

Tesis para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS DEL HÁBITAT**

En Administración de la Construcción y Gerencia de Proyectos.

Presenta:

**Arq. Alejandro Shiguetomi Díaz Infante**

Director de tesis y tutor CONACYT:  
**Dr. Gerardo Javier Arista González.**

Sinodales:  
**MDB. Jorge Aguillón Robles**  
**DR. Manuel Guerrero Salinas**

Apoyado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)  
Nº de apoyo: 385115

Septiembre 2016

## Agradecimientos

Quiero agradecer a

Dios, por todas la bendiciones que me ha dado. Por rodearme de personas buenas, que me ayudan a crecer personal y profesionalmente día a día.

A mi esposa Paulina, mi motor, mi inspiración y mi gran amor. Por que juntos hemos logrado tanto y esté es uno mas de nuestros logros.

A mis padres que han dado todo por ayudarme, dedicando sus vidas y esfuerzos para darme todas las oportunidades para triunfar.

A mis hermanos Carlos y Sayuri, que han estado conmigo en cada paso que doy, siendo un ejemplo a seguir.

A todas las personas que trabajan conmigo, que me han apoyado a sacar adelante el trabajo y la maestría. Este es un logro en conjunto que nos permite mejorar y crecer en nuestra labor.

## Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo recibido para la realización de esta investigación.

Al Dr. Gerardo Arista, quien desde la licenciatura me ha apoyado y orientado, ahora como director de tesis y sobre todo un gran maestro a quien estimo y admiro.

Al MDB. Jorge Aguillón, por su ayuda, tiempo y dedicación, así como sus valiosas aportaciones para este documento.

Al Dr. Manuel Guerrero, quien me ha motivado y apoyado en todo momento durante la realización de esta investigación.

A cada uno de mis maestros y compañeros de la maestría, este documento es un reflejo del esfuerzo de todos.

A la UASLP y a la Facultad del Hábitat por ser mi máxima casa de estudios.

## Resumen

La escasez de agua, es uno de los más grandes problemas a los que se enfrenta la humanidad actualmente, es por ello que el cuidado del recurso hídrico se vuelve primordial, así como la búsqueda de alternativas para aminorar su consumo.

*Palabras Clave:*  
*Huella Hídrica*  
*Ciclo de Vida*  
*Consumo hídrico*

La Huella hídrica es un termino utilizado para medir toda el agua consumida para generar un producto incluyendo todo su proceso, mientras que el Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta que permite el estudio de las diferentes etapas de un producto.

Dentro de este proyecto de investigación se estudia el impacto en la Huella Hídrica de la vivienda unifamiliar de San Luis Potosí (desde la construcción hasta su uso aproximado de 50 años). La hipótesis principal de este proyecto, radica en que la tipología de vivienda (ya sea interés social, medio o residencial) determina el impacto en la huella hídrica; además se busca identificar en qué etapa del ciclo de una vivienda es en la que existe mayor impacto por consumo de agua, para que de esta manera se puedan proponer alternativas y soluciones que ayuden a disminuir el consumo del recurso hídrico dentro de la construcción y uso de la vivienda.

## Abstract

Water scarcity, is one of the biggest problems that humanity faces today, it is why the care of water resources become paramount, as well as the research of alternatives to reduce water consumption.

*Keywords:*  
*Water Footprint*  
*Water consumption*  
*Life-cycle*

Water footprint is a term used to measure all water consumed to generate a product. The life-cycle assessment is a tool that allows the study of the different stages of a product.

Within this research project, is studied the impact on water footprint of the dwelling in San Luis Potosí, Mexico (from construction to its use of approximately 50 years). The main hypothesis of this project is that the type of housing (social, medium or residential) determines the impact on water footprint. Besides, the research seeks to identify in which stage of the life cycle of a dwelling is where there is more water consumption, in order to be proposed alternatives and solutions that help reduce the consumption of water resources in the construction and use of housing.

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
Problema de Investigación .....	10
Objetivos .....	12
Objetivo General:.....	12
Objetivos específicos:.....	12
Pregunta General .....	13
Preguntas Especificas .....	13
Hipotesis .....	14
<b>CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES</b>	
1.1 Cambio climático y sustentabilidad.....	17
1.2 La sustentabilidad en el ámbito de la construcción .....	22
<b>CAPÍTULO 2: HUELLA HÍDRICA Y ESTRÉS HÍDRICO</b>	
2.1. Huella hídrica .....	27
2.1.1 Definición, características y componentes.....	27
2.1.2 Agua azul.....	31
2.1.3 Agua verde .....	33
2.1.4 Agua gris.....	34
2.1.4 Huella hidrica y agua virtual.....	35
2.1.5 Evaluación según water footprint network.....	37
2.2 Alternativas sustentables .....	39
2.2.1 WRAP .....	39
2.2.2 LEED .....	41
<b>CAPITULO 3: AGUA EN MÉXICO Y SLP</b>	
3.1 Agua en México y San Luis Potosí. ....	45

3.2 Índice de estrés hídrico en México .....	49
3.2.1 Cálculo y definición .....	49

#### **CAPÍTULO 4: CICLO DE VIDA**

4.1 Evaluación mediante el Ciclo de Vida.....	56
4.2 Ciclo de vida y su relación con construcción sustentable....	59
4.3 Etapas del ciclo de vida en la arquitectura .....	61

#### **CAPÍTULO 5: MARCO METODOLÓGICO**

5.1 Enfoque metodológico .....	67
5.2 Identificación de variables e indicadores .....	68
5.3 Unidad de análisis.....	70
5.3.1 Puerta (Etapa de construcción) .....	71
5.3.2 Vida (Etapa de uso) .....	72
5.3.3 Proyección a futuro .....	72
5.4 Diseño de instrumentos .....	73
5.4.1 Etapa 1 – Nacimiento (Etapa de Construcción).....	73
5.4.2 Etapa 2 – Uso de la vivienda .....	74
5.4.2.1 Zona de estudio 1: Col. Cumbres de San Luis .....	78
5.4.2.2 Zona de estudio 2: Fracc. Villa Antigua .....	78
5.4.2.3 Zona de estudio 3: Colonia Garita de Jalisco .....	79
5.4.2.4 Tamaño necesario de la muestra .....	79
5.4.3 Etapa 3 – Proyección a futuro .....	80

#### **CAPÍTULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

6.1 Huella hídrica en el ciclo de vida de la vivienda .....	83
6.1.1 Análisis etapa de construcción de una vivienda.....	84
6.1.1.1 Análisis documental .....	85
6.1.1.2 Análisis experimental .....	87
6.1.1.3 Confrontación de resultados teóricos y prácticos..	89
6.2 Análisis de la etapa de uso de una vivienda.....	90



6.2.1 Análisis documental .....	90
6.2.2 Análisis Investigación de Campo .....	91
6.2.3 Confrontación de resultados teóricos y prácticos.....	95
6.3 Proyección a futuro .....	96
6.3.1 Huella Hídrica de una vivienda en un Ciclo de Vida..	96
de 50 años. ....	96
6.3.2 Proyección de la vivienda a 50 años. ....	97
6.3.3 Proyección de la población a 50 años. ....	98
<b>DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>
<b>FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>113</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>114</b>

## INTRODUCCIÓN

México, aunque está catalogado mundialmente como un país con estrés hídrico moderado, en realidad, la información proveniente de la CONAGUA, el INEGI y el INE nos indica que de las mil cuatrocientas setenta y una cuencas que se tienen delimitadas en el país, la mayor parte presenta estrés hídrico, y no solamente debido a la disponibilidad en términos de volumen, sino también por la calidad del agua (Ventura, 2013).

Los hidrólogos miden la escasez de agua a través de la relación agua/población. Una zona experimentará estrés hídrico cuando su suministro anual de agua caiga por debajo de los 1.700 m<sup>3</sup> por persona. Cuando ese mismo suministro anual cae por debajo de los 1.000 m<sup>3</sup> por persona, entonces se habla de escasez de agua. Y de escasez absoluta de agua cuando la tasa es menor a 500 m<sup>3</sup>.

Según José Joel Carrillo (2015), el problema del agua no es la escasez, sino de ausencia de gestión. Su carencia no es producto de una falta física, sino de manejos deficientes y de una planificación territorial insuficiente en la tarea de favorecer un desarrollo nacional en armonía con la existencia y los ecosistemas.

El uso doméstico del agua representa un 15% del consumo, el resto se destina a la agricultura y la industria. Solo en San Luis Potosí en el 2014 fue equivalente a 149.4 hm<sup>3</sup> (INTERAPAS, 2015), 6.8hm<sup>2</sup> más que el 2009. El incremento en el consumo de

Problema de investigación.

agua se debe al incremento de población y aumento al abastecimiento del mismo.

Según la SHF (Sociedad Hipotecaria Federal) en San Luis Potosí, se registró una demanda de 23,241 viviendas, y se tiene un déficit de mil viviendas nuevas según INFONAVIT.

El consumo de agua en la vivienda no solo es durante su uso, su consumo comienza desde la fabricación de los materiales para su construcción y su aplicación durante la obra de la misma.

Existen cálculos y parámetros del consumo de agua de algunos materiales empleados en la industria de la construcción, así como el agua requerida para un proceso de construcción. Sin embargo los parámetros varían dependiendo la región donde se fabricó el material, usos y costumbres en su aplicación, región en donde se aplican, etc. Pero para realizar un cálculo de la Huella Hídrica, es necesario considerar otros factores como la procedencia del agua, volumen de agua empleada y clasificación de la misma.

Problema de investigación.

Para saber la Huella Hídrica de una vivienda es necesario calcularlo de acuerdo a su Ciclo de Vida, es decir, desde su construcción hasta su demolición. Por lo que se tiene que calcular la huella hídrica en el proceso de construcción de la vivienda y su uso en un lapso de 50 años.

#### Objetivo General:

Evaluar la huella hídrica de diferentes tipologías de viviendas unifamiliares y su proyección a futuro en la ciudad de San Luis Potosí a través de un análisis de estrés hídrico, mediante la cuantificación de su impacto desde su etapa de construcción hasta su etapa de uso.

#### Objetivos específicos:

- Cuantificar el impacto de la Huella Hídrica durante el proceso constructivo de viviendas unifamiliares de interés social, medio y residencial en San Luis Potosí.
- Analizar el consumo e impacto de la Huella Hídrica de la vivienda de interés social, medio y residencial durante su período de uso.
- Identificar la relación entre tipo de vivienda e impacto en la HH.
- Proyección de la Huella Hídrica de la vivienda unifamiliar en la ciudad de San Luis Potosí.

Objetivos.

### Pregunta General

¿Cuál es el impacto ambiental de la huella hídrica de las viviendas unifamiliares en San Luis Potosí, a través de un análisis de estrés hídrico?

### Preguntas Específicas

- ¿Cuál es el consumo de agua durante el proceso constructivo de viviendas unifamiliares en San Luis Potosí y cual es su impacto en la huella hídrica?
- ¿Cuál es el consumo de agua durante la etapa de uso de una vivienda unifamiliar de interés social, medio y residencial?
- ¿Tiene alguna relación el tipo de vivienda, con el impacto en la huella hídrica durante su ciclo de vida?
- ¿Cual es la proyección de presión hídrica en la ciudad de San Luis Potosí, de acuerdo a su crecimiento e impacto en su huella hídrica?

Preguntas de investigación

La hipótesis principal de este proyecto de investigación, radica en que de acuerdo al análisis de estrés hídrico, la tipología de vivienda, ya sea interés social, medio o residencial determina el impacto de la huella hídrica durante su construcción y posteriormente incide en un mayor impacto durante la etapa de uso.

Hipótesis



CAPÍTULO

ANTECEDENTES



# CAPÍTULO 1: Antecedentes



## 1.1 CAMBIO CLIMÁTICO Y SUSTENTABILIDAD

El cambio climático global está provocando, entre otras cosas, la intensificación de la variabilidad climática natural. Los fenómenos hidrometeorológicos extremos dañan los bienes y la integridad física de las personas, en una cadena compleja de impactos que afectan prácticamente a todas las dimensiones del desarrollo humano. La forma en que se prepara la sociedad frente a condiciones extremas del clima como las ondas de calor, las lluvias intensas, o las sequías prolongadas; es un elemento determinante de la vulnerabilidad de los países en el futuro.

En México la variabilidad climática se asocia con fenómenos con importantes impactos socioeconómicos y ambientales, que podrían verse exacerbados por el calentamiento global. El fenómeno “El Niño” (Fig. 1) explica una buena parte de la variabilidad climática interanual, relacionándose con la

ocurrencia de sequías severas en verano en el norte del país; o con lluvias intensas de invierno en el noroeste. Si los efectos de este extremo climático se incrementan, nuestro país se verá expuesto a eventos de desastre de origen hidrometeorológico, a menos que se corrijan prácticas sociales que incrementan la vulnerabilidad. Al respecto, se estima que en México cerca de 8 millones de personas están expuestas a los efectos adversos de ciclones tropicales, aproximadamente 6 millones a inundaciones y cerca de 8 millones pueden sufrir daños por sequías; de éstos últimos 5.6 millones viven bajo condiciones de alta y muy alta marginación. Bajo este panorama, la planeación y la acción frente a los riesgos hidrometeorológicos cobran gran relevancia (Landa, 2008).

**El fenómeno de El Niño**

Fenómeno meteorológico que genera, entre otras consecuencias, un aumento de las precipitaciones en la zona central de país.

Tiene una variabilidad cíclica irregular, que va entre los tres y cinco años.

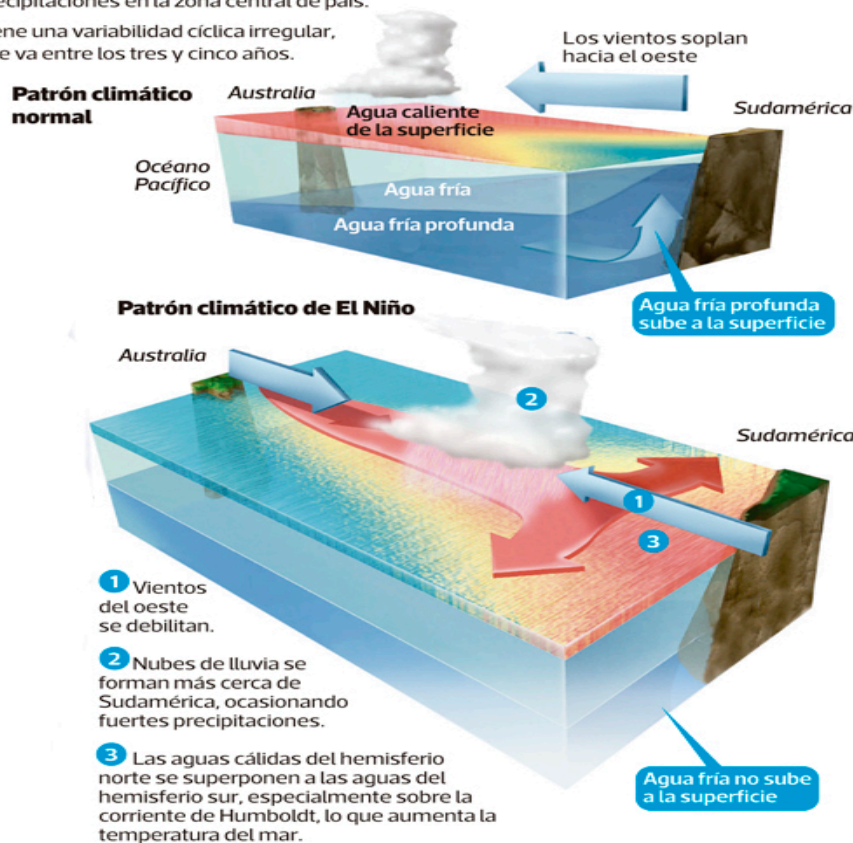


Figura 1. Fenomeno “El niño”

Fuente: <http://static.latercera.com/20140716/1976064.jpg>

En el año 2000, el químico y premio Nobel holandés Paul Crutzen y su colega Eugene Stoermer en el *Newsletter* del Programa Internacional de la Interacción entre la Biosfera y la Geosfera (IGBP) propusieron que los casi 11.000 años de estabilidad climática conocida como el Holoceno, era durante la cual habían florecido las civilizaciones humanas, estaba llegando a su fin. Mediados del siglo XIX sería la fecha de corte del Holoceno y de la inauguración de una nueva era geológica: el *antropoceno*, es decir, la era en que la civilización humana podía afectar de manera extraordinaria el clima. Ellos enlistan una serie de hechos como los siguientes para sacar su conclusión: el crecimiento de la población humana por encima de los 6.000 millones de habitantes; el crecimiento del ganado en el planeta por encima de los 1.400 millones; el crecimiento exponencial de las urbes; el incremento en el ácido sulfhídrico; la superficie de la tierra transformada en más del 50%; el impresionante incremento del nitrógeno como fertilizante para la agricultura; la polución por ozono fotoquímico; más de la mitad del agua consumible es ya usada por los humanos; la grave extinción de las especies por la acción humana; saturación de la atmósfera por gas carbónico y gas metano; pérdida del 50% de manglares en las áreas pantanosas de las costas; pesca que captura más del 25% de la producción primaria de los océanos y 35% de las aguas interiores. Si se consideran estos y otros importantes impactos de las “actividades humanas sobre la tierra y la atmósfera, en todas las escalas, incluida la global parece más que apropiado proponer el uso del término antropoceno para la época geológica actual” (Crutzen & Stoermer, 2000).

En el contexto de la globalización, las políticas hídricas han sido influenciadas por estructuras globales y actores transnacionales en función del riesgo de escasez mundial de agua, a fin de rediseñar su condición de bien público en bien de mercado. En los noventa se privatizó el abastecimiento urbano y a partir del año 2000, se promueve la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) en las cuencas. La conflictividad se manifiesta en los foros internacionales por la acción de movimientos sociales en defensa del agua como bien social y derecho humano bajo gestión pública participativa.

**Tres pilares de la GIRH: Áreas de Cambio**



Figura 2: Pilares de la GIRH  
Fuente: GWP (2002).

En el debate sobre cambio climático la gestión del agua es considerada un componente esencial que deberá adaptarse bajo el modelo GIRH, y su no aplicación es entendida como un límite en el contexto institucional de cada país y de los usuarios del agua a la adaptación. El análisis de la problemática hídrica desde la perspectiva de la sociedad del riesgo lleva a la conclusión que dada la conflictividad suscitada por el modelo GIRH en torno a la gobernabilidad, las medidas de adaptación deberán estar asociadas a la capacidad de diseñar políticas

hídricas socialmente aceptadas, lo cual depende del grado de participación y acuerdo social y su efectiva implementación.

La GIRH es un concepto empírico que nace de la propia experiencia de campo de los profesionales. Aunque muchos de los elementos del concepto han estado presentes durante décadas, de hecho desde la primera conferencia global en Mar del Plata en 1977. Sin embargo, no fue hasta después de la Agenda 21 y de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 1992 en Río cuando el concepto de GIRH fue objeto de profundos debates que incluían sus implicaciones en la práctica. La definición que da la Asociación Mundial para el Agua (GWP) de la GIRH es hoy la más aceptada: “La GIRH es un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.” (*Integrated Water Resources Management in Action. WWAP, DHI Water Policy, PNUMA-DHI Centro para el Agua y el Medio Ambiente. 2009*)

La sostenibilidad o sustentabilidad significa la existencia de condiciones económicas, ecológicas, sociales y políticas que determinen su funcionamiento de forma armónica a lo largo del tiempo y del espacio. Consiste en satisfacer las necesidades de la actual generación sin sacrificar la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades. Es un término ligado a la acción del hombre en relación a su entorno, se refiere al equilibrio que existe en una especie basándose en su entorno y todos los factores o recursos que tiene para hacer

posible el funcionamiento de todas sus partes, sin necesidad de dañar o sacrificar las capacidades de otro entorno.

## 1.2 LA SUSTENTABILIDAD EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN

Las principales causas del impacto ambiental de la construcción se encuentran en el consumo de recursos no renovables y en la generación de residuos contaminantes, ambos en aumento acelerado. Su principal efecto es el aceleramiento de la destrucción del stock de capital natural por degradación entrópica, algo que resulta especialmente tangible cuando observamos sus efectos más visibles o conocidos, como la tala de los bosques nativos, el agotamiento de los combustibles fósiles, la disminución de las reservas de agua dulce, o la contaminación de la atmósfera por la emisión de gases que se traducen en el efecto invernadero, la lluvia ácida y la destrucción de la capa de ozono (Wadel, 2010).



Figura 3: Modelo de Sustentabilidad

Fuente: <http://www.bico.com.mx/wp-content/uploads/2/sustentabilidad-21.jpg>

El término de construcción sostenible abarca, no sólo los edificios propiamente dichos, sino también cuenta el entorno y la

manera cómo se integran para formar las ciudades. El desarrollo urbano sostenible (urbanismo sostenible) tiene el objetivo de crear un entorno urbano que no atente contra el medio ambiente, y que proporcione recursos urbanísticos suficientes, no sólo en cuanto a las formas y la eficiencia energética y del agua, sino también para su funcionalidad, como un lugar que sea mejor para vivir.

La experiencia ha demostrado que no resulta fácil cambiar el sistema de construcción de los edificios y de gestionar su funcionamiento. Para ello debe romperse con la rutina y los hábitos adquiridos por décadas por el actual sistema de construcción que no ha tenido en cuenta el papel finito de los recursos naturales. Esto conlleva un cambio en la mentalidad de la industria y las estrategias económicas con la finalidad de priorizar el reciclaje, re-uso y recuperación de materiales frente a la tendencia tradicional de la extracción de materias naturales y de fomentar la utilización de procesos constructivos y energéticos basados en productos y en energías renovables.

El diseño sustentable en arquitectura y edificación es un *proceso de creación* en el que se manejan criterios de arquitectura sustentable: reducción de gastos en los recursos empleados, reducción de contaminación del suelo, del agua y del aire, mejoramiento del confort interno y externo del edificio (preferentemente de manera pasiva), ahorro económico y financiero en el proceso constructivo, reducción de los desperdicios derivados de todo el ciclo de vida del edificio (diseño, construcción, uso, mantenimiento y fin del inmueble) y mejoramiento de la tecnología que da servicio en los edificios,

como aparatos, máquinas y otros dispositivos tanto mecánicos como eléctricos (Givoni, 1997).

El diseño sustentable de proyectos de arquitectura también tiene un proceso que conduce a su consecución, Hernández Moreno (2010) los describe de la siguiente manera:

1. **Prediseño.** Se realizan las primeras trazas y consideraciones del diseño general. Es parte de la primera etapa del ciclo de vida del edificio.
2. **Fase de anteproyecto.** Son estudios y planos que se hacen de los primeros bosquejos de la fase preliminar de diseño; cuentan con un trazado ordenado e incluyen los elementos básicos de un proyecto. También forma parte de la primera etapa del ciclo de vida del edificio.
3. **Desarrollo del diseño.** Se define el diseño detallado y ejecutivo del proyecto. Forma parte de la segunda etapa del ciclo de vida de los edificios.
4. **Documentos y estudios para la construcción.** En esta fase se realiza el resto de los documentos, estudios y planos para el diseño sustentable del proyecto (éstos, sin embargo, nos sirven mucho para la etapa de construcción).
5. **Fase de construcción.** Esta fase concluye el proceso de diseño del proyecto al ejecutarse la obra, de acuerdo con los estudios realizados en las cuatro fases anteriores. Esta etapa pertenece a la segunda parte del ciclo de vida del edificio.





CAPÍTULO

2

HUELLA HÍDRICA Y  
ESTRÉS HÍDRICO

## CAPÍTULO 2: Huella Hídrica y Estrés Hídrico



### 2.1. HUELLA HÍDRICA

#### 2.1.1 DEFINICIÓN, CARACTERÍSTICAS Y COMPONENTES.

El concepto de huella hídrica fue introducido en 2002 por el profesor Arjen Hoekstra de UNESCO-IHE como un indicador alternativo del uso del agua (Hoekstra, 2003). El concepto fue refinado y los métodos de contabilidad se establecieron en una serie de publicaciones realizadas por Ashok Kumar Chapagain y Arjen Hoekstra en el Instituto UNESCO-IHE. La cooperación entre las instituciones globales líderes en el campo ha llevado a la creación de la Water Footprint Network en 2008 que tiene como objetivo coordinar los esfuerzos para desarrollar y difundir el conocimiento sobre los conceptos de huella hídrica, métodos y herramientas (WWAP, 2009).

Hoekstra (2003) menciona que la huella hídrica es un indicador del agua dulce que es palpable no solo en el uso del agua directo de un consumidor o productor, si no también en su uso

indirecto. El objetivo de evaluar las huellas hídricas es analizar como las actividades humanas o de productos específicos afectan a las cuestiones de escases de agua y su contaminación y ver como las actividades y los productos puedan ser más sostenibles desde la perspectiva del agua.

“La evaluación de la huella hídrica” es una herramienta de análisis, puede ser eficaz en ayudar a comprender cómo las actividades y productos se relacionan con la escasez de agua y su contaminación y los impactos asociados y qué se puede hacer para asegurarse que las actividades y productos no contribuyan a un uso insostenible del agua dulce. Al utilizarla como herramienta, la evaluación de la huella hídrica proporcionará una visión más profunda. En vez de decirnos lo “debemos hacer”, nos incita a comprender lo que se podría hacer. (Hekstra, 2003)

CONAGUA (2007) define la huella hídrica (HH) como un indicador de toda el agua que utilizamos en nuestra vida diaria; para producir nuestra comida, en procesos industriales y generación de energía, a través de esos mismos procesos. Este indicador nos permite conocer la cantidad de agua que aprovecha una persona, un grupo consumidores, una región, país o toda la humanidad.

La importancia de conservar el agua, su tratamiento y su uso, ha sido cada vez mas urgente y necesario, el agua es fundamental para la subsistencia y desarrollo del ser humano; las actividades del hombre giran en torno al vital liquido el cual requiere para riego, industria auto abastecedora, consumo, construcción, etc.



Figura 4: Huella Hídrica de diferentes productos  
Fuente: <http://www.vivesustentable.cl/wp-content/uploads/2015/10/ilustraciones-agua12.jpg>

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el 97.5 por ciento del agua se encuentra en los océanos y mares de agua salada, por lo que solo el 2.5 por ciento de agua es dulce. La gravedad de la materia es que de esté 2.5 por ciento de agua dulce, el 69 por ciento se concentra en los polos y cumbres de las montañas, 30 por ciento se localiza en la humedad del suelo y los mantos acuíferos profundos y 1 por ciento escurre por las cuencas hidrográficas en forma de arroyos y ríos y se deposita en lagos, lagunas y en otros cuerpos superficiales de agua (Saldaña, 2011).

Por lo tanto, el agua subterránea se puede considerar como el recurso hídrico más importante para el abasto de agua en la población. Sin embargo la creciente demanda del recurso ha provocado que los pozos profundos sean sobre explotados, poniendo en riesgo la continuidad del vital liquido así como su abasto a futuro.

El Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, 2014) en el documento "Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica" se establece que en México 58% de la huella hídrica que consumimos es de producción interna, en total, el sector agropecuario representa 91% de la huella hídrica, mientras que el consumo doméstico e industrial es responsable del nueve restante (El Universal, 2014).

La huella hídrica varía de una región a otra conforme a las condiciones socioeconómicas y geografías particulares, es por eso que las cifras sobre la huella hídrica de un producto tienen considerables variantes de un país a otro.

Hoekstra (2003) clasifica las fuentes de agua en tres componentes: el agua azul, el agua verde y el agua gris:

- La huella de agua azul es el volumen de agua dulce consumida de los recursos hídricos del planeta (aguas superficiales y subterráneas).
- La huella del agua verde es el volumen de agua evaporada de los recursos hídricos del planeta (agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad).
- La huella de agua gris es el volumen de agua contaminada que se asocia con la producción de los bienes y servicios. Este último puede ser estimado como el volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes hasta el punto de que la calidad del agua se mantiene en o por encima de las normas acordadas de calidad del agua.

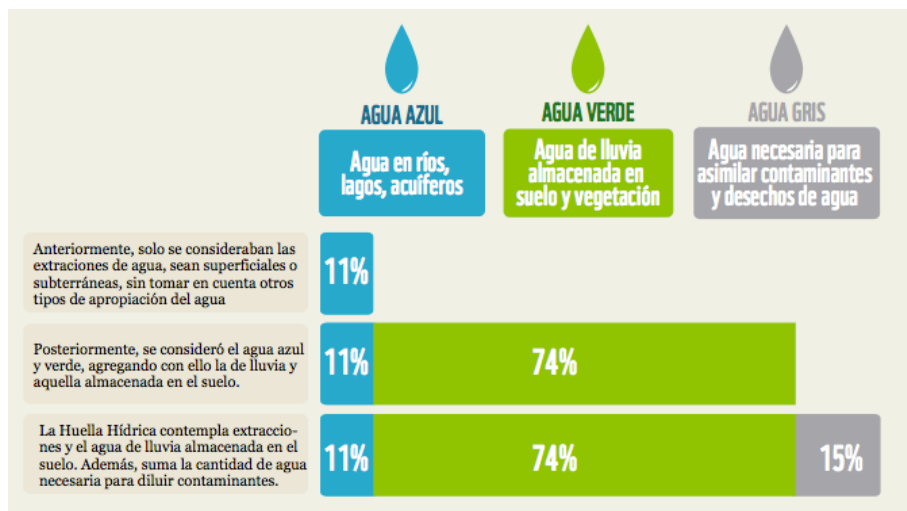


Figura 5: Agua Azul, Agua Verde y Agua Gris.  
Fuente: (WWF, 2012).

Así pues, la HH no sólo se refiere a volumen contenido de agua de cada producto, sino a un indicador multidimensional que hace explícito el lugar de origen, la fuente (color) y el momento en que el agua es utilizada y regresada (al lugar de origen o bien a otro lugar) (Arreguín, 2007).

### 2.1.2 AGUA AZUL

Desde hace unos veinte años se comenzó a aludir al agua de los ríos, lagos y acuíferos como agua azul. Esta es la parte del ciclo hidrológico que los seres humanos han tratado de modificar para su provecho mediante la construcción de estructuras más o menos convencionales, fundamentalmente canales y presas. En la última mitad del siglo veinte también se ha producido un aumento espectacular del uso de las aguas subterráneas (Llamas, 2005).

Según Naciones Unidas, el volumen anual de agua azul utilizada para el regadío de unos 400 millones de hectáreas es del orden de 2.000 a 2.500 km<sup>3</sup>/año; pero de esta cantidad, según la

misma fuente, solamente unos 900 km<sup>3</sup>/año son los realmente consumidos por las cosechas.

Shah (2005) estima que el uso de las aguas subterráneas puede bien ser actualmente del orden de 800 km<sup>3</sup>/año.

“Ahora bien, las cifras anteriores se refieren al agua usada o extraída o aplicada pero no al agua consumida, es decir, la que no vuelve a la fase superficial o subterránea del ciclo, sino que se vuelve a la atmósfera en forma de vapor o si vuelve a la fase superficial o subterránea lo hace con un grado de contaminación que la hace inutilizable. El regadío, cuando es eficiente, suele ser del orden del 80-90% del agua aplicada. En los regadíos tradicionales por inundación la eficiencia no suele ser superior al 50%. En los usos urbanos se suele estimar que vuelve a la red de alcantarillado el 80% del agua suministrada, si bien vuelve contaminada y hay que limpiarla en la correspondiente planta de tratamiento. Esto quiere decir que el agua azul puede tener una serie de tonos que van desde el muy claro del agua potable hasta el muy oscuro de las aguas contaminadas por las ciudades o industrias. De todas formas, cada vez más esas aguas se consideran como un recurso que previo tratamiento, es reutilizable”.

Según Hoekstra (2003), en un estudio presentado para la UNESCO, presenta información sobre la disponibilidad de agua azul por continente, en donde resalta que la Agricultura representa el 92% del agua azul consumida mundialmente. Sin embargo recalca el consumo del agua azul varia de acuerdo a la



estación y al clima durante cada mes, por lo que presenta dos gráficas en donde representa la disponibilidad de agua azul por continente y el agua virtual, la muestra mediante la siguiente gráfica:

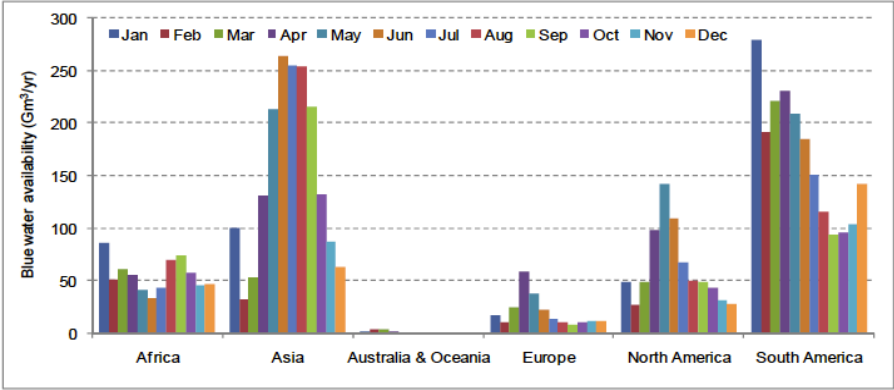


Figura 6: Disponibilidad de agua azul por continente.  
Fuente: Hoekstra (2003).

### 2.1.3 AGUA VERDE

El agua verde es la que queda empapando el suelo, a veces se llama también agua del suelo o agua de la zona no saturada. Esta agua del suelo es la que permite la existencia de la vegetación natural (bosques, praderas, matorral, tundra, etc). Esta agua vuelve a evaporarse directamente desde el suelo o por la transpiración de las plantas.

Hoekstra (2003) la define como el volumen de agua de lluvia evaporado o incorporado al producto durante el proceso de producción.

CONAGUA (2007) describe el agua verde como el agua de lluvia almacenada en el suelo como la humedad. El agua de lluvia ocupada durante el flujo de la evo transpiración del suelo que se utiliza en la agricultura y producción forestal.

## 2.1.4 AGUA GRIS

La distinción entre el agua verde y el agua azul fue introducida en 1995 (Falkenmark, 1995). La huella hídrica gris es un concepto aún más reciente, utilizado por primera vez en 2008 por Hoekstra. La huella hídrica gris es un indicador de la contaminación de agua dulce que puede estar asociada con la fabricación de un producto y con su cadena de suministro. Se define como el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes hasta llegar a concentraciones que cumplan con normas de calidad de agua (Hoekstra, 2010).

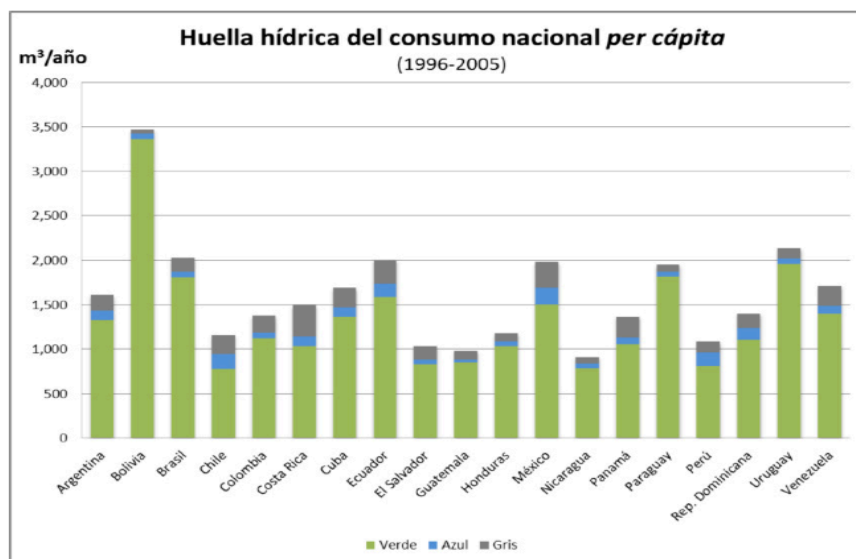


Figura 7. Huella Hídrica del consumo nacional per cápita.  
Fuente: Hoekstra (2010).

Se calcula como el volumen de agua que se requiere para diluir los contaminantes hasta el punto en que la calidad del agua se mantenga por encima de las normas acordadas de calidad del agua. La huella hídrica gris ha generado mucha polémica debido a que no es un volumen que se emplee en realidad para diluir la

carga contaminante y a que su cálculo se basa en el contaminante más crítico.

De acuerdo a CONAGUA (2007) es toda el agua contaminada durante un proceso. Sin embargo, ésta no es un indicador de la cantidad de agua contaminada, sino de la cantidad de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes dadas las concentraciones naturales conocidas de éstos y los estándares locales de calidad del agua vigentes.

#### 2.1.4 HUELLA HIDRICA Y AGUA VIRTUAL

A través del cálculo de la Huella Hídrica se puede llegar a relacionar el consumo diario de agua y los problemas de contaminación y distribución de agua en lugares donde se producen los bienes y, por tanto, cuantificar los efectos del consumo y comercio en el uso de los recursos hídricos.

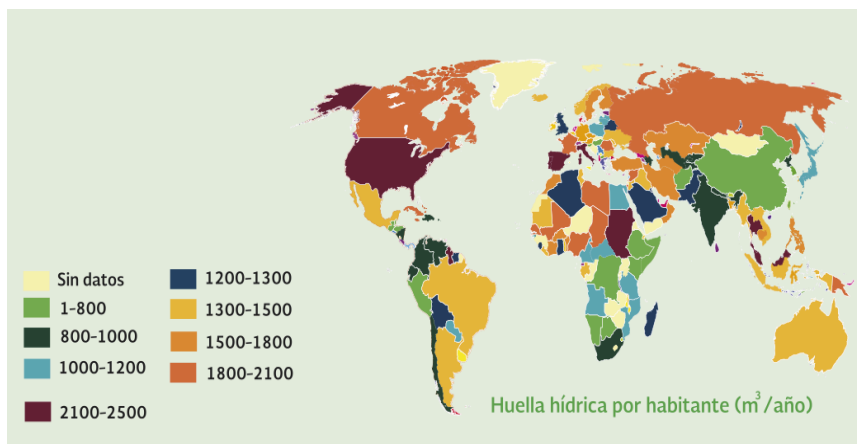


Figura 8: Huella Hídrica por habitante  
Fuente: Hoekstra y Chapagain, 2008

La “huella hídrica” de un producto es similar a lo que otros autores han llamado alternativamente el “contenido de agua virtual del producto o incorporado, contenido, exógeno al producto o su sombra del agua (Hoekstra y Chapagain, 2008).

Los términos de contenido virtual de agua y agua contenida, sin embargo, se refieren al volumen de agua incorporada en el producto solamente, mientras que el término “huella hídrica” se refiere no sólo al volumen, sino también al tipo de agua que se utilizó (verde, azul, gris) y cuando y donde el agua se utilizó.

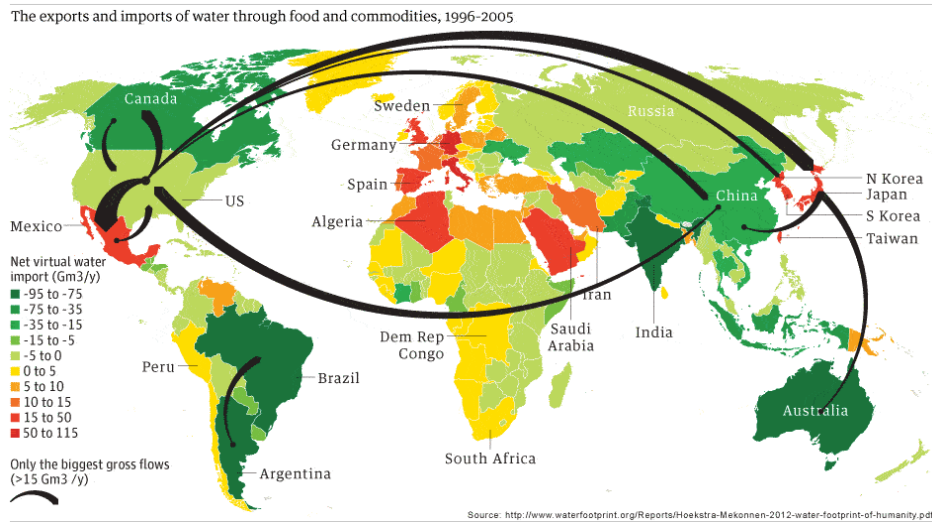


Figura 9. Importaciones y exportaciones de agua a través de los alimentos y materias primas.

Fuente: [www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)

La huella hídrica de un producto es un indicador multidimensional, mientras que "el contenido de agua virtual" o "integrado de agua" se refieren a un solo volumen. Se recomienda el uso del término “huella hídrica” debido a su alcance más amplio. El volumen es sólo un aspecto del uso del agua, el lugar y el momento del uso del agua y el tipo de agua que se utiliza es igual de importante. Además, la huella hídrica a largo plazo también puede ser utilizada en un contexto donde se habla de la huella hídrica de un consumidor o productor. Sería extraño hablar sobre el contenido de agua virtual de un consumidor o productor.

Se utiliza el termino de "agua virtual" en el contexto de flujos de agua virtual internacionales (o interregionales). Si una nación o

región exporta o importa un producto, también exporta o importa agua en forma virtual. En este contexto se puede hablar de exportación o importación de agua virtual, o más generalizadamente, sobre los flujos o comercio de agua virtual.

#### 2.1.5 EVALUACIÓN SEGÚN WATER FOOTPRINT NETWORK

La huella de agua establecida por la WFN cuantifica los diversos tipos o colores del agua de forma individual para, después, sumarlos en una métrica final. Las aguas superficiales y subterráneas suelen englobarse con el calificativo de *agua azul*, en contraposición a la *verde* con el que se designa a la que procede de las precipitaciones, está en la zona superior del suelo y permite la existencia de la mayor parte de la vegetación. El *agua gris* es la contaminada en los procesos de uso y consumo, y representa el volumen que se necesitaría para diluir los contaminantes hasta los niveles fijados por los estándares de calidad (Hoekstra *et al.*, 2011).

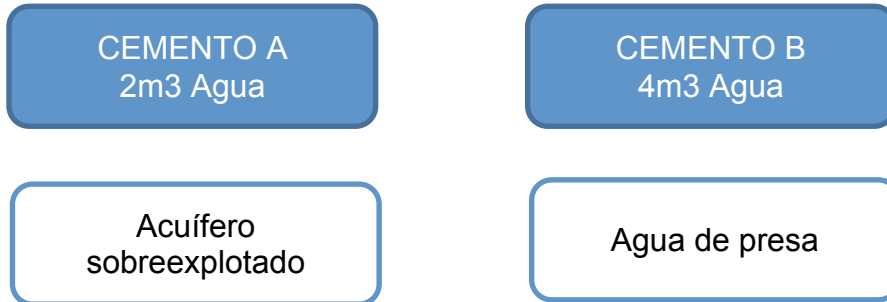
Como parte del proceso la evaluación de la Huella Hídrica para un proceso, Hoekstra propone formular varias preguntas previas. ¿Qué proceso se debe considerar? ¿Un proceso específico, o procesos alternativos, sustituibles (a fin de comparar las huellas hídricas de técnicas alternativas)? ¿A qué escala? ¿Un proceso específico en un lugar específico, o el mismo proceso en diferentes lugares?. Con el fin de estimar la huella hídrica de un solo producto tendremos que empezar a estudiar la forma en que se produce tal producto. Por esa razón, hay que identificar el "sistema de producción". Un sistema de producción consiste en una secuencia de "etapas de proceso".

Para calcular la huella hídrica de un producto, habrá que dividir el sistema de producción en un número limitado de pasos vinculados del proceso. Además, cuando se tiene la intención de ir más allá de un análisis muy superficial basado en medias globales, habrá que especificar los pasos en el tiempo y el espacio, lo que significa que se tendrá que investigar el origen de los productos. Las circunstancias de producción y las características de proceso serán diferentes de un lugar a otro, de modo que un lugar de producción influirá en el tamaño y el color de la huella hídrica. Además, al final nos puede interesar señalar geográficamente el mapa de la huella hídrica de un producto final, así que esa es otra buena razón para realizar un seguimiento del lugar.

Esta metodología de la WFN, al sólo considerar volúmenes, requiere de más análisis para realizar una toma de decisiones, pues una huella menor no necesariamente es la mejor opción; por ejemplo, un producto *A* que consume 2 m<sup>3</sup> de un acuífero sobreexplotado no es mejor que uno *B* que consume 4 m<sup>3</sup> de agua verde. Tampoco se puede comparar el volumen de líquido extraído de una zona de alta disponibilidad (por ejemplo el estado de Chiapas) con el mismo volumen proveniente de una zona de baja disponibilidad (por ejemplo el Distrito Federal).

Debido a lo anterior, en fecha reciente se le ha agregado al método una nueva etapa de evaluación de sustentabilidad (Hoekstra *et al.*, 2011), la cual puede otorgar mayor información acerca del uso del agua en aspectos económicos y sociales; sin embargo, hace más lejana la posibilidad de reportar una métrica en ecoetiquetas y aún carece de la evaluación de los impactos ambientales provocados por el uso del agua.

Podemos tomar el siguiente ejemplo para un mayor entendimiento:



A primera vista parecería que el cemento “A” es mejor, por que su huella hídrica es menor. Sin embargo el cemento B, pese a tener mayor huella hídrica, tiene un menor impacto al medio ambiente por que el agua proviene de la presa.

Un tomador de decisión estaría tentado a escoger la huella menor sin considerar los impactos al medio ambiente.

## 2.2 ALTERNATIVAS SUSTENTABLES

### 2.2.1 WRAP

En el Reino Unido la organización WRAP se ha enfocado en el desperdicio de agua durante el proceso constructivo, mediante estudios y análisis en distintos casos de estudio ha encontrado que el desperdicio de agua en obra ocurre en las siguientes actividades principalmente:

- Eliminación de polvo en general, limpieza de calles y lavados de ruedas.
- Uso de agua a alta presión
- Lavado de camiones en general

- Lavado de maquinarias y herramientas
- Limpieza en general
- Puesta en marcha de instalaciones

Propone algunas estrategias para minimizar el desperdicio como:

- No ignorar las fugas: Las fugas no controladas pueden ser el mayor desperdicio de agua en una obra. Su origen puede ser instalaciones dañadas, mangueras, grifería, entre otras.
- Controlar el uso de agua a presión: El ajuste correcto de las pistolas evita el desperdicio de agua permitiendo su uso controlado solo para la función deseada.
- Lavado de calles: El uso de vehículos específicos para el trabajo es un 90% más eficiente que otras técnicas.
- Lavado de Herramientas: Privilegiar el lavado de herramientas con el uso de baldes en vez de agua corriendo.
- Reutilizar el agua en pruebas de instalaciones: Los grandes volúmenes de agua que se utilizan durante puesta en servicio de instalaciones genera grandes desperdicios. Considerar estrategias que permitan la recirculación del agua contribuye fuertemente a disminuir este impacto.

Finalmente facilita guías para el control del agua que se pueden aplicar durante el proceso constructivo, así como una metodología para la cuantificación del volumen de agua empleado, traduciéndolo finalmente en un impacto económico.



A nivel internacional WRAP (Waste and Resources Action Programme) ha trabajado en identificar el consumo de recursos en los sectores más importantes, en donde se puede controlar y reducir el consumo de agua, desperdicios, CO2, etc. Esta organización ha estudiado las características de los materiales, productos y desperdicios, relacionados con la industria de la construcción en Inglaterra, Irlanda del Norte y Gales. Promueve la sustitución de materiales por aquellos que sean mas amigables con el medio ambiente, propone herramientas para la disminución del consumo de agua y emisión de carbón, así como una guía que permite valorar el desperdicio de agua durante el proceso de construcción.

### 2.2.2 LEED

La certificación LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) es un sistema de calificación de edificios verdes creado por la USGBC (U.S. Green Building Council). La certificación verifica por parte de un tercero que un edificio fue diseñado y construido tomando en cuenta estrategias para mejorar el desempeño ambiental. LEED establece un marco de referencia conciso para identificar e implementar soluciones prácticas y medibles en el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los edificios verdes. El sistema LEED ha sido una guía para diseñadores y constructores que a pesar de no requerir su certificación, utilizan el sistema para el diseño y construcción de sus proyectos.

La certificación LEED tiene varios sistemas de evaluación de acuerdo al proyecto que se busca certificar.

- Diseño y construcción de edificios

- Diseño y construcción de interiores
- Operación y mantenimiento de los edificios
- Mejoramiento del entorno
- Casas

En 1996 se estableció la norma ISO 14000, el cual es un estándar internacional de gestión ambiental. Se basa en la norma británica BS7750, publicada por la British Standards Institution (BSI). Dentro de la norma, la ISO 14001 proporciona un ahorro y uso eficiente de recursos naturales como electricidad, agua y gas. El que una empresa cuente con la certificación 14001 significa que es consciente de la legislación ambiental y cumple con requisitos legales.

Todas las normas ISO 14000 fueron desarrolladas sobre la base de los siguientes principios:

- Deben resultar en una mejor gestión ambiental.
- deben ser aplicables a todas las naciones.
- deben promover un amplio interés en el público y en los usuarios de los estándares.
- Deben ser costo efectivas, no prescriptivas y flexibles, para cubrir diferentes necesidades de organizaciones de cualquier tamaño en cualquier parte del mundo.
- Como parte de su flexibilidad, deben servir a los fines de la verificación tanto interna como externa.
- Deben estar basadas en conocimiento científicos.
- Tienen que ser practicas, útiles y utilizables.



CAPÍTULO

# 3

AGUA EN MÉXICO  
Y SAN LUIS POTOSÍ

## CAPITULO 3: AGUA EN MÉXICO Y SAN LUIS POTOSÍ

# 3

### 3.1 AGUA EN MÉXICO Y SAN LUIS POTOSÍ.

En México el agua a nivel nacional tiene diferentes contrastes ya que las cuencas de abastecimiento no son las mismas, por lo que la situación de cada estado se debe entender de una manera diferente.

El agua potable se distribuye de la siguiente manera, agrícola 76.6%, abastecimiento publico 14.5%, energía eléctrica (excluyendo hidroelectricidad) 4.9% y la industria autoabastecida 4.0%. Sin embargo ¿En donde entra la industria de la construcción? La industria de la construcción por su naturaleza es común que se abastezca de las tomas domiciliarias, por lo que forman parte del 14.5% del abastecimiento publico, pero durante el proceso de fabricación de sus materiales forma parte dentro del 4.0% de la industria autoabastecida (Fig. 10) (Conagua. Subdirección General de Planeación, 2013).

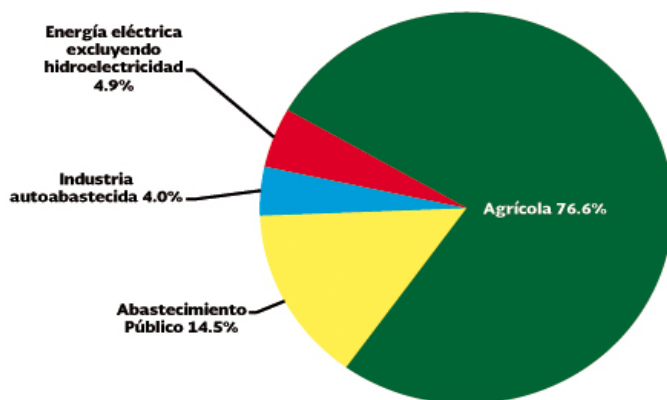


Figura 10. Distribución del volumen de agua.

Fuente: (Diario Oficial de la Federación,2000)

Según la CONAGUA, cada año se ha requerido extraer mayor volumen de agua subterránea, así como el uso del agua superficial (Fig. 11, 12). Se puede interpretar de las dos figuras que no se ha logrado revertir la situación, por lo contrario, se ha incrementado el estrés hídrico, así como la explotación del acuífero del valle de San Luis.

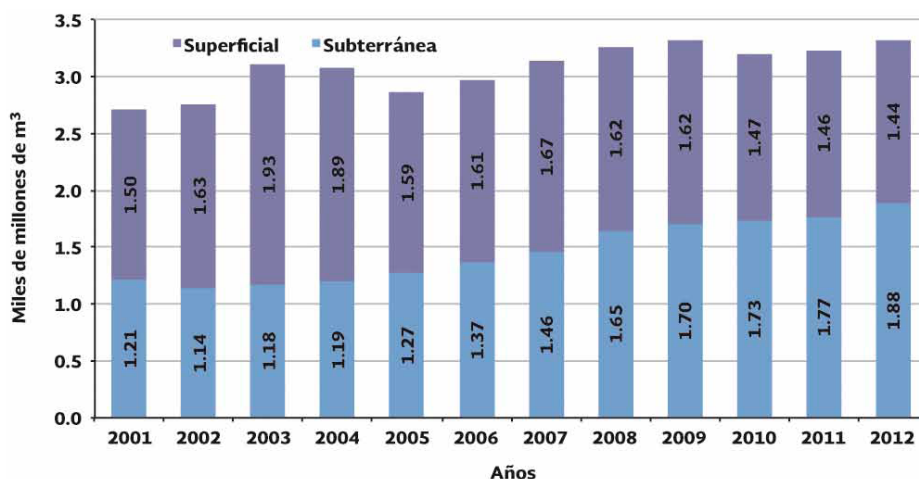


Figura 11. Fuente de abastecimiento Industria Autoabastecida

Fuente: (CONAGUA, Subdirección General de Planeación,2013)

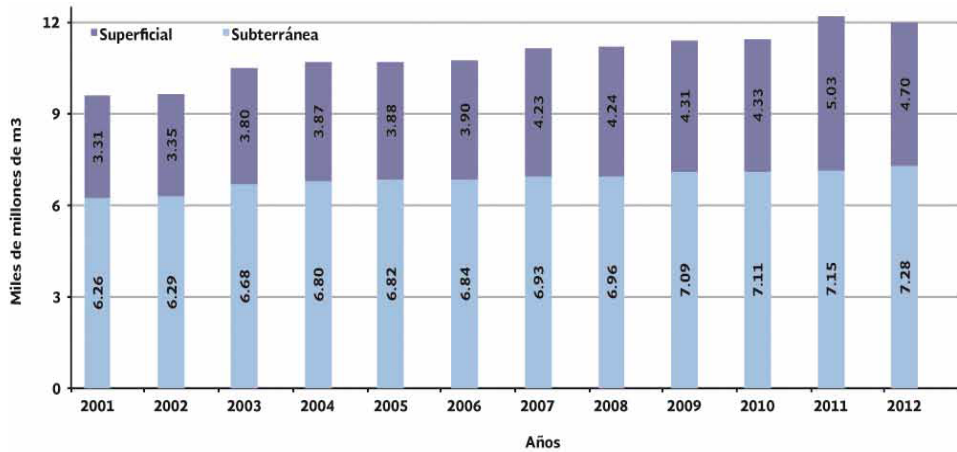


Figura 12. Fuente de abastecimiento Público

Fuente: (CONAGUA, Subdirección General de Planeación, 2013)

México es un país donde caen 1500 kilómetros cúbicos de lluvia al año y donde se trata apenas el 15% del agua residual en promedio, este sistema de captación de agua de lluvia, reciclaje y tratamiento de las aguas residuales es una alternativa para resolver la demanda de este recurso de manera sencilla y barata (Leon E, 2008). San Luis Potosí se abastece a través del acuífero del Valle de San Luis Potosí en un 84% de aguas subterráneas que son extraídas mediante 122 pozos profundos activos con profundidades de hasta 700mts, que producen en su conjunto 3,300 litros por segundo; el 16% restante se abastece a través del sistema de presas El Peaje, El Potosino y San José, con una capacidad de almacenamiento total de 13.5 millones de metros cúbicos. (INTERAPAS, 2013).

Con el propósito de disminuir la sobre explotación del acuífero del Valle de San Luis Potosí, el 30 de Junio de 1961 se hizo un decreto de veda por tiempo indefinido para el alumbramiento de aguas de subsuelo, establecida en la región del Valle de San Luis Potosí. Según el Diario Oficial de la Federación, el acuífero

del Valle de San Luis Potosí tiene un déficit de 76.56 millones de metros cúbicos anuales, representando el doble de su recarga natural. Figura 9. (DOF,2000)

CLAVE	ACUIFERO	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DEFICIT
		CIFRAS EN MILLONES DE METROS CUBICOS ANUALES					
<b>ESTADO DE SAN LUIS POTOSI</b>							
2411	SAN LUIS POTOSI	78.1	0.0	154.681342	113.5	0.000000	-76.581342

R: recarga media anual; DNCOM: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado de agua subterránea; VEXTET: volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: disponibilidad media anual de agua subterránea. Las definiciones de estos términos son las contenidas en los numerales "3" y "4" de la Norma Oficial Mexicana "NOM-011-CONAGUA-2000, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales".

FIGURA 13. Sobre explotación del acuífero del valle de San Luis Potosí

Fuente: (Diario Oficial de la Federación,2000)

Según Carlos Contreras (2008) en San Luis Potosí se tienen contempladas ocho plantas de tratamiento, sumadas las privadas y las municipales. Las tres principales, que son Tenorio, El Morro y la Norte, tienen comprometida la mayor parte de su agua para riego. Un gran porcentaje de los usuarios de agua doméstica tienen temor de utilizar agua tratada por miedo a infecciones. La presión por la demanda del recurso ha generado, desde el comienzo de la gestión, la competencia por su uso y por su asignación, otro de los problemas presentes en el valle de San Luis. Entre estos conflictos está la competencia entre la distribución del agua para uso doméstico y para uso industrial. Para atender el crecimiento poblacional hasta el año 2010, se necesitan 20 millones de metros cúbicos adicionales, este volumen se podría obtener si se redujeran las actuales fugas al 50%, sin necesidad de ampliar la explotación del acuífero.



## 3.2 ÍNDICE DE ESTRÉS HÍDRICO EN MÉXICO

### 3.2.1 CÁLCULO Y DEFINICIÓN

El estrés hídrico se produce, según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), cuando la demanda de agua excede la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su baja calidad restringe su uso (Fernandez, 2008).

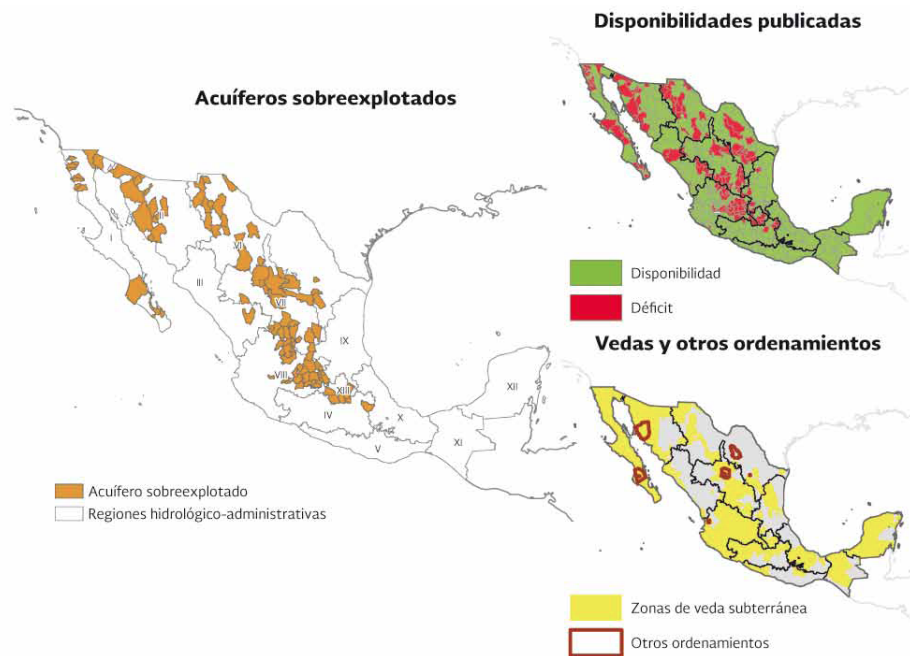


Figura 14: Acuíferos sobreexplotados en México.

Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Planeación, 2013.

El grado de estrés es un indicador porcentual de la presión a la que se encuentra sometido el recurso hídrico y es comúnmente definido como el cociente entre el volumen total de agua concesionada y la renovable. El porcentaje que representa el agua utilizada para usos consuntivos respecto a la renovable es un indicador del grado de presión que se ejerce sobre el recurso hídrico en un país, cuenca o región. Se considera que si el

porcentaje es mayor a 40% la presión es fuerte (CONAGUA, 2010).

La disponibilidad de agua global se puede medir con el modelo WaterGap2, con el cual es posible monitorear aguas superficiales y subterráneas, con la posibilidad de simular diferentes escenarios, involucrando el cambio climático (Alcamo *et al.*, 2003). Este modelo es útil en especial para comparar cuencas a nivel global; utiliza una base de datos climáticos y de precipitación promedio del periodo (1961-1990) para desarrollar mapas mundiales que muestran diferentes grados de estrés en más de 10 mil cuencas; sin embargo, es preferible utilizar bases de datos actualizadas si están disponibles. En el caso de México, la precipitación promedio del periodo 1961-1990 programada en el WaterGap2 es de 357 km<sup>3</sup>/año, mientras que la base de datos actualizada del intervalo 1971-2000 es de 329 km<sup>3</sup>/año (CONAGUA, 2010).

La cuantificación del grado de estrés hídrico (WTA, por sus siglas en inglés) de una cuenca *i* donde diferentes usuarios *j* (industria, agricultura y habitantes) extraen agua, se realiza a partir de la disponibilidad anual de agua (*WA<sub>i</sub>*) y de las extracciones realizadas por los diferentes usuarios (*WU<sub>ij</sub>*) respectivamente para cada cuenca *i*:

$$WTA_i = \frac{\sum_j WU_{ij}}{WA_i}$$

El método de Pfister (Pfister *et al.*, 2009) utiliza los mapas del WaterGap2 para generar una nueva categoría de impacto de *privación de agua*, que se usa como un indicador de estrés

hídrico (*WSI*, por sus siglas en inglés); en ella se acopla el valor del grado de presión hídrica de acuerdo con la variación de la precipitación durante el año, obteniendo un valor de *WTA\**:

$$WTA^* = \sqrt{VF} \times WTA$$

En donde, *VF* = se deriva de la desviación estándar de la distribución pluvial (aproximadamente 3.24). Dado que la presión hídrica no es lineal con respecto a *WTA\**, se realiza un ajuste al valor de *WSI* a una función logarítmica que proporciona valores continuos entre 0.01 y 1:

$$WSI = \frac{1}{1 + e^{-6.4 \cdot WTA^* \left( \frac{1}{0.01} - 1 \right)}}$$

La curva resultante otorga un valor a *WSI* de 0.5 para una presión hídrica de 40%, que es el umbral entre el estrés hídrico moderado y fuerte.

De esta manera, se obtienen factores de caracterización que representan la escasez de agua. Los volúmenes del líquido consumidos pueden ser multiplicados por estos factores para obtener resultados caracterizados y, después, pueden ser sumados como una categoría intermedia de impacto en la escasez del agua.

**Valores del índice de estrés hídrico (WSI) modificados para las 13 RHA de México**

Región hidrológico-administrativa (RHA)	Grado de presión hídrica <sup>a</sup> (WTA) (%)	WTA* <sup>b</sup> (adim) $WTA^* = \sqrt{VF \cdot WTA}$	WSI <sub>MEX</sub> <sup>c</sup>
I Península de Baja California	75.9	1.36576	0.98441
II Noroeste	91.4	1.64558	0.99737
III Pacífico Norte	40.7	0.73322	0.52434
IV Balsas	49.4	0.88863	0.74877
V Pacífico Sur	4.1	0.07415	0.01598
VI Río Bravo	77.4	1.39241	0.98683
VII Cuencas Centrales del Norte	48.6	0.87511	0.73216
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	41.5	0.74624	0.54508
IX Golfo Norte	18.6	0.33452	0.07913
X Golfo Centro	5.2	0.09307	0.01800
XI Frontera Sur	1.4	0.02499	0.01171
XII Península de Yucatán	8.0	0.14378	0.02472
XIII Aguas del Valle de México	132.3	2.38190	0.99998
<b>Total</b>	<b>17.4</b>	<b>0.31251</b>	<b>0.06946</b>

a CONAGUA, 2010.  
b Pfister et al., 2009.  
c Elaboración propia.

FIGURA 15: Valores del Índice de estrés hídrico (WSI)  
Fuente: CONAGUA (2014)

México experimenta un grado de presión de 17.4%, lo cual se considera moderado; sin embargo, las zonas centro, norte y noroeste del país presentan uno fuerte. Puesto que la gestión del agua en la nación se realiza a través de 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA), se propone evaluar el WSI adaptado a México (WSIMEX) utilizando los valores actualizados de presión hídrica que reporta la Comisión Nacional del Agua para cada región (CONAGUA, 2010) y no utilizar los mapas del WaterGAP2 que establece el método de Pfister. En el cuadro 1 se proporcionan los valores del WTA, el WTA\* y el WSIMEX adaptados al país del método de Pfister.

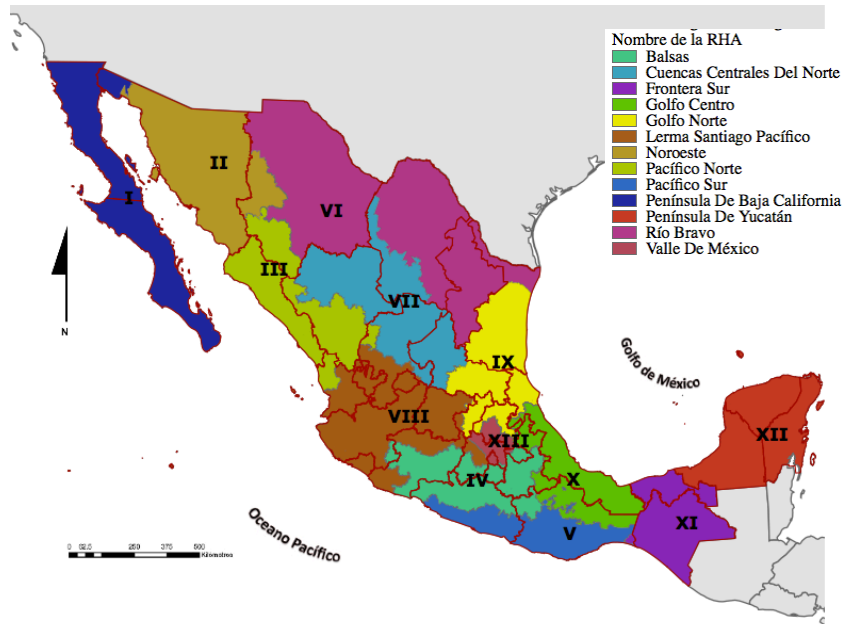


FIGURA 16: Regiones Hidrológicas Administrativas de México.

Fuente: CONAGUA (2014)

El estado de San Luis Potosí se encuentra en dos regiones hidrológicas administrativas (RHA) en la Cuencas Centrales del Norte y en la Golfo Norte, la ciudad de San Luis Potosí se encuentra en la de Cuencas Centrales del Norte, con un índice de estrés hídrico de 48.6% mientras que por ejemplo en la cuenca de la Frontera Sur donde se encuentra Chiapas el índice de estrés hídrico es de 1.4%. Entre mayor sea el porcentaje mayor estrés hídrico se tiene.



---

CAPÍTULO

4

CICLO DE VIDA

---

## CAPÍTULO 4: CICLO DE VIDA



### 4.1 EVALUACIÓN MEDIANTE EL CICLO DE VIDA

La definición de la International Standards Organization (ISO), en su serie 14044-2006 (ISO 14044, 2006), determina que el Análisis de Ciclo de Vida es:

“...una técnica para estimar los aspectos ambientales y los impactos potenciales asociados con un producto, a través de: la compilación de un inventario de entradas y salidas relevantes de un sistema producto, la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados con estas entradas y salidas, y la interpretación de los resultados del inventario y de las etapas de evaluación del impacto en relación con los objetivos del estudio”.

El Ciclo de Vida evalúa los impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o servicio desde



la extracción de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final y reciclado, hasta su disposición final.



Figura 16. Ciclo de Vida  
Fuente: ISO 14044, 2006

Existen cuatro fases requeridas para hacer un estudio de Ciclo de Vida de acuerdo con la norma mexicana NMX-SAA-14044-IMNC-2008 Gestión ambiental - Análisis de ciclo de vida - Requisitos y directrices, la cual cumple con los requisitos mandatorios de la norma ISO 14044:

- Definición del objetivo y el alcance del análisis.
- Análisis del Impacto del Ciclo de Vida.
- Realización de la Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida.
- Interpretación.

Dentro de la normalización ISO se deben distinguir normativas e informes técnicos. A día de hoy se han elaborado cuatro normativas relacionadas con el ACV:

•**ISO 14040:** Gestión medioambiental, ACV, Principios y estructura. Especifica el marco general, principios y necesidades básicas para realizar un estudio de ACV, no describiéndose la técnica del ACV en detalle.

•**ISO 14041:** Gestión medioambiental, ACV, Definición del objetivo y alcance y el análisis del inventario del ciclo de vida (1998). En esta normativa se especifican las necesidades y procedimientos para elaborar la definición de los objetivos y alcance del estudio y para realizar, interpretar y elaborar el informe del análisis del ICV (LCI).

•**ISO 14042:** Gestión medioambiental, ACV, Evaluación del Impacto del Ciclo de Vida; Environmental management LCA-LCIA/Life Cycle Impact Assessment (2000). En ella se describe y establece una guía de la estructura general de la fase de Análisis del Impacto del Ciclo de Vida (AICV) (LCIA). Se especifican los requerimientos para llevar a cabo un AICV y se relaciona con otras fases del ACV.

•**ISO 14043:** Gestión medioambiental, ACV, Interpretación del ciclo de vida. Environmental management, LCA-LCI (2000). Esta normativa proporciona las recomendaciones para realizar la fase de interpretación de un ACV o los estudios de un ICV, en ella no se especifican metodologías determinadas para llevar a cabo esta fase (*ISO 14044, 2006*).

El Ciclo de Vida es una herramienta muy aceptada y aplicada para medir las intervenciones ambientales causadas por diversos productos, desde la cuna a la tumba (Schnoor, 2009

citado por Farrell et al. 2013). Al evaluar el desempeño ambiental de un producto por medio del Ciclo de Vida se hace énfasis en los materiales y energía consumida, sobre todo en las emisiones de gases de efecto invernadero. Es por esto que el Ciclo de Vida logra reportar la huella de carbono de manera precisa; sin embargo, cuando se trata del recurso hídrico, el análisis no es tan completo.

Los volúmenes de agua utilizados en las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto o proceso se detallan durante la etapa del inventario, mas no existen métodos ni modelos que evalúen el impacto provocado por el uso del líquido. Las dificultades radican en que su utilización, en muchas ocasiones, no es consuntivo sino parte del ciclo hidrológico, por ejemplo, el agua de lluvia que alimenta los cultivos. Además, la disponibilidad de agua dulce varía cada día alrededor del mundo y diferentes calidades de ella permiten usos distintos.

#### 4.2 CICLO DE VIDA Y SU RELACION CON LA CONSTRUCCION SUSTENTABLE.

Numerosos autores, como Margarita de Luxán (1996), reivindican el Ciclo de Vida como una herramienta necesaria en una arquitectura más sustentable:

“Para descubrir la incidencia de la construcción y el alojamiento en los problemas medioambientales hoy, se debe de analizar por entero el proceso que engloba la edificación. Habitualmente al hablar de alojamiento, se valora la adecuación o la conciencia energética de los edificios en función solamente del gasto o ahorro

energético en la climatización e iluminación durante su uso, así como la contaminación que produce en su entorno inmediato. Sin embargo, las relaciones entre edificación y medio ambiente son mucho más extensas y complejas.

Si se analiza la actividad entera que implica una construcción, se habrá de valorar su incidencia medioambiental en todo el proceso:

- Extracción de rocas, minerales y materiales de todo tipo.
- Gastos energéticos y procedimientos para la fabricación de elementos constructivos.
- Gastos energéticos y procedimientos para la fabricación de sistemas y equipos de instalaciones.
- Transportes de materiales, elementos y equipos.
- Puesta en obra, medios y maquinaria.
- Gastos energéticos en climatización e iluminación y contaminación derivada.
- Mantenimiento y uso, agua, residuos y vertidos.
- Reutilización y procedimientos para cambios de uso.
- Derribo y derivaciones del abandono de las edificaciones (Luxán, 1996)".

Es fundamental que como arquitectos se tome en cuenta todo el proceso para poder crear una consciencia medioambiental que ayude en el momento de la toma de decisiones a optar por materiales que impacten menos en el medio.

## 4.3 ETAPAS DEL CICLO DE VIDA EN LA ARQUITECTURA

El Ciclo de Vida de la arquitectura considera los edificios o estructuras físicas que constituyen el espacio urbano.

### THE LCA OF A CONSTRUCTION PRODUCT

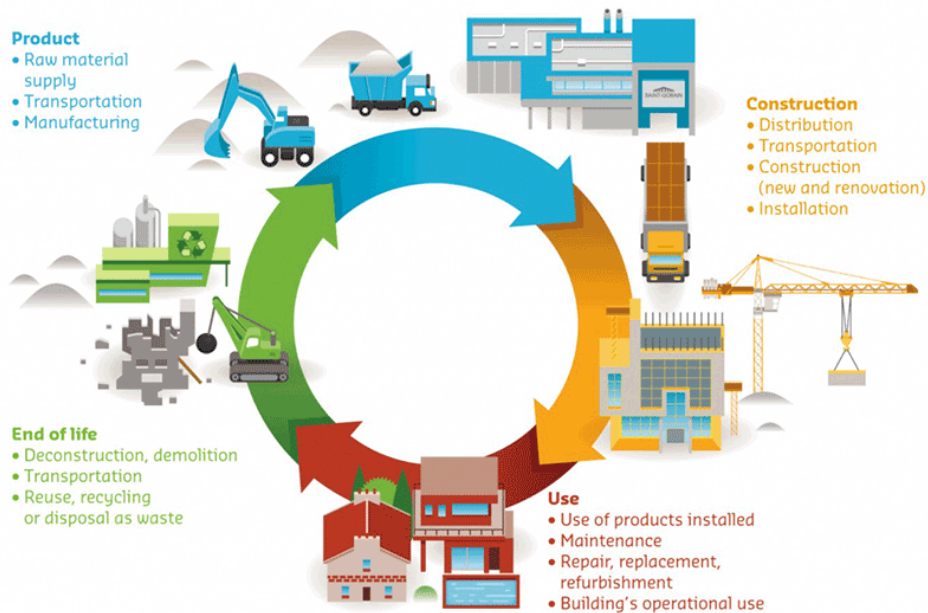


Figura 17. Ciclo de Vida de un Material de Construcción.

Fuente: [https://www.saint-gobain.com/sites/sg\\_master/files/lca\\_construction\\_product.png](https://www.saint-gobain.com/sites/sg_master/files/lca_construction_product.png)

“Según Antón Vallejo (2004) se podrían considerar las siguientes etapas:

- **Extracción de recursos:** en la construcción de edificios se utiliza una gran variedad de materiales, algunos renovables, otros no. En cualquier caso, la construcción dinamiza actividades con importantes impactos

ambientales como la tala de madera o la explotación de canteras.

- **Producción de materiales.**
- **Distribución:** los materiales tradicionales eran, por cuestiones de transporte, materiales locales; actualmente con las facilidades de transporte que existen, los materiales tienen orígenes geográficos diversos, especialmente cuando incluyen ciertas maderas y metales de orígenes lejanos.
- **Construcción:** desde el punto de vista de un análisis de Ciclo de Vida, los edificios tienen la característica de que, en la gran mayoría de los casos, son terminados en su lugar de implantación, el solar es en sí mismo una industria donde los materiales se acoplan o se añaden en procesos físicos de producción; además las construcciones suelen realizarse al descubierto produciendo impactos medioambientales como el ruido o las partículas.
- **Ocupación y mantenimiento:** los impactos más importantes derivados del uso suelen ser los relacionados con el consumo de energía. La forma en que se utiliza un espacio puede generar más o menos impactos ambientales por los residuos generados, el consumo de agua, etc. En esta etapa también es importante considerar las reparaciones, remodelaciones o cualquier intervención que no implique la demolición.
- **Demolición:** en un edificio que se va a demoler se puede considerar la reutilización de ciertos componentes de su estructura, sus revestimientos, etc. Otros pueden ser materiales reciclables”.

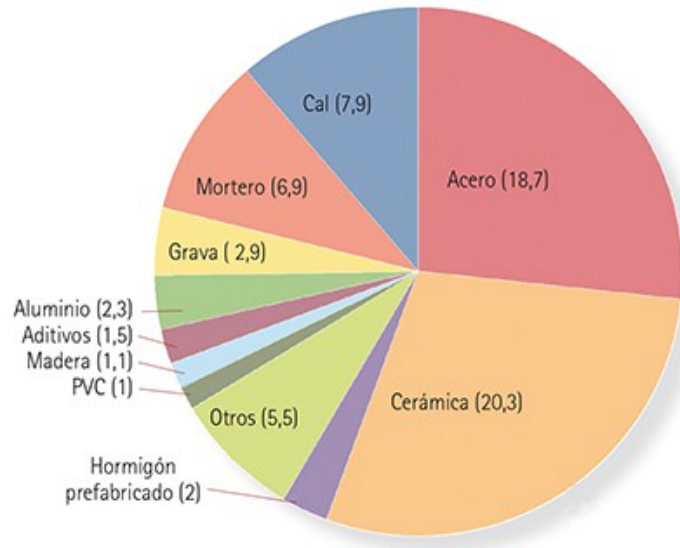


Figura 18: Contribución de los materiales necesarios para la construcción de 1 m<sup>2</sup> sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a su fabricación.

Fuente: Cuchí A, Wadel G, Lopez F, Sagrera A, 2007.

Según Antón Vallejo (2004) algunas de las estrategias en el diseño derivadas de tener en cuenta el ACV en arquitectura son:

**“Sobre el edificio:**

-Extensión del tiempo de vida del edificio.

La extensión del tiempo de vida permite ahorrar recursos y generar menos desechos ya que el número de unidades consumidas disminuye si aumenta la duración de éstas. Hay distintas medidas que permiten alargar la vida útil de un producto:

**-Materiales duraderos** (que aguanten el desgaste y la degradación ambiental): los materiales arquitectónicos suelen ser objetos duraderos aunque, los elementos exteriores como pinturas y revestimientos se degradan más rápidamente.

**-Materiales adaptables:** en la elección de materiales y en el diseño de estructuras, instalaciones, distribuciones interiores, etc. se puede tener en cuenta que exista una futura necesidad de usarlos para resolver nuevas funciones. En muchos casos este ejercicio no se hace y sólo queda la opción de demoler.

**-Mantenimiento y reparación:** intervienen directamente sobre la vida útil de la construcción. Se podrían denominar acciones de regeneración. Los impactos medioambientales por demolición y construcción son en la gran mayoría de los casos superiores a los de mantenimiento.

**-Mejoras del proceso, administración e información.** En arquitectura por ejemplo la aplicación de soluciones de diseño bioclimático y de aislamiento térmico permiten reducir el gasto energético, hay sistemas de reciclaje y reaprovechamiento del agua, etc.

### **Sobre los materiales:**

**-Selección del material.** La selección de los materiales basándose en la identificación de la fuente de materia prima, la evaluación de impactos sobre el medio ambiente ocasionados por la adquisición, el procesamiento y uso del material, y la administración del producto en el final de su ciclo de vida. Se puede dar preferencia por ejemplo a materiales reciclables, pero en cualquier caso la elección de materiales basada en su ciclo de vida es una tarea muy compleja. Una iniciativa interesante por ejemplo es el rotulado ecológico, pero está todavía en sus inicios y presenta dificultades como es el elevado coste que presentan algunos productos más ecológicos.



**-Reducción del material:** La reducción del material puede conseguirse aumentando la eficiencia de los procesos (implica reducción de energía consumida, etc.) y reduciendo la masa utilizada en la construcción. Por ejemplo, aunque la vivienda está (o tendría que estar) relacionada con las necesidades sociales, se puede optar entre tipologías más o menos consumidoras de material y suelo (ciudad compacta frente a ciudad dispersa, etc).

**-Prolongación de la vida del material.** El reciclaje de materiales tras la demolición de edificios permite reducir la deposición en el medio natural y la extracción de nuevos recursos. Aunque presenta desventajas respecto a la reutilización ya que en ese proceso puede haber pérdidas o degradación de materiales, transporte, etc.

**-Distribución y transporte eficaces.** Tener en cuenta las necesidades de transporte que implica la elección de ciertos materiales. Actualmente, con la globalización, el coste económico que supone el transporte de dichos productos, no refleja el impacto ambiental que genera. Este impacto se relaciona con las distancias recorridas, la capacidad de los medios de transporte utilizados (medios de mayor capacidad de transporte ofrecen menos consumo por material transportado), el embalaje necesario (hay productos que no necesitan ser empaquetados, los embalajes pueden ser reutilizables o no, etc)".

CAPÍTULO

5

MARCO METODOLÓGICO

## CAPÍTULO 5: MARCO METODOLÓGICO



### 5.1 ENFOQUE METODOLÓGICO

El abordaje metodológico en una investigación, es parte fundamental de misma. Es en donde se define, describe y profundiza en el método empleado. El método como tal, según Palazolo (2013) es el conjunto de procesos y procedimientos establecido y organizado para llevar adelante el cumplimiento de los objetivos de investigación.

El proyecto de investigación es de enfoque del tipo mixto, incluyendo aspectos cualitativos y cuantitativos, ya que esta basado en la comprensión y profundización del fenómeno del consumo de agua, apoyado con una investigación de campo para obtener datos cuantitativos que ayuden a la explicación y comportamiento del consumo de agua en las viviendas. Dicha investigación de campo, permitirá la comparación de información documental contrastada con la experimental.

La investigación tiene el propósito de analizar el ciclo de vida de una vivienda, por lo que será una investigación longitudinal, analizando el consumo de agua en el proceso de construcción y durante su uso.

El ciclo de vida de la vivienda se analiza en sus etapas de nacimiento y vida (de la puerta a la tumba). Posteriormente se realizó una proyección a futuro de acuerdo a las estadísticas de crecimiento de población y consumo de agua. Esto con el propósito de analizar la Huella Hídrica de una vivienda, y así multiplicarlo por la cantidad de viviendas actuales y de acuerdo al crecimiento de la población. Por lo tanto en cada etapa del ciclo de vida se realizaron dos análisis, uno documental y otro experimental. La intención era conocer si la información documental es correcta o coincide con la información arrojada el análisis experimental.

Aunado a esto, la investigación permitió reconocer si existe alguna diferencia en la HH dependiendo la tipificación del tipo de vivienda, en relación a los metros cuadrados de construcción y su HH durante su ciclo de vida (Ver Capítulo 6).

## 5.2 IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES E INDICADORES

Partiendo de cada uno de los objetivos de la investigación, se procedió a la identificación de cada una de las variables que intervienen en el proyecto, así como sus respectivos

indicadores, lo cual permitió en su momento detectar cuales eran los principales indicadores y enfocar la atención ellos.

La principal herramienta para la obtención de la información fue mediante el análisis documental y los principales datos son los volúmenes de agua consumidos tanto en la construcción, como en el uso de la vivienda. (Tabla 1):

Variables e Indicadores					
	Objetivo	Variables	Tipo	Indicadores	Herramientas
1	Cuantificar el impacto de la HH en el proceso constructivo de viviendas unifamiliares en San Luis Potosí	Proceso Constructivo Usos y Costumbres	Cualitativo	Consumo de agua	Investigación campo
			Cuantitativo	Tipo de agua	Investigación campo
			Cuantitativo	Material	Análisis documental
2	Analizar el consumo e impacto de la HH de la vivienda durante su uso	Usos y Costumbres	Cuantitativo	Consumo de agua	Investigación campo Análisis documental
3	Realizar una proyección a futuro del impacto en la HH durante la construcción y uso de una vivienda unifamiliar en la ciudad de San Luis Potosí.	Etapa Ciclo de Vida	Cuantitativo	Consumo de agua Huella Hídrica	Análisis documental

Tabla 1. : Variables e Indicadores.  
Archivo Shiguetomi D.I., (2015).

En esta tabla, se indican los objetivos planteados en la investigación, se determinan las variables y su tipo. Cada variable tiene un conjunto de indicadores, los cuales pueden ser cuantitativos o cualitativos.

En el primer y segundo objetivo se requiere cuantificar el impacto en al Huella Hídrica en el proceso constructivo de

viviendas unifamiliares en San Luis Potosí, las variables son los procesos de construcción y su indicador es el consumo de agua. Las herramientas serán el análisis documental y el experimental mediante casos de estudio.

El tercer objetivo pretende analizar el impacto en la Huella Hídrica en el consumo de agua en las viviendas unifamiliares, la variable es el tipo de vivienda como vivienda de interés social, medio y residencial. Los indicadores son el consumo de agua, el cual se calculó mediante estadísticas de consumo proporcionadas por organismos de agua y también se contrastó dicha información con la investigación campo. La intención de contrastar el análisis documental con la investigación de campo, fue para verificar que las cifras promedio determinadas por los organismos coinciden con las recabadas en los casos de estudio. Estos dos objetivos al conjuntarse nos puede arrojar si existe alguna relación en el tipo de vivienda con su impacto en la Huella Hídrica, o si no tiene relación alguna.

Por ultimo para completar el impacto de la huella hídrica en la cuenca se analizó la proyección a futuro del crecimiento de población y construcción de viviendas en San Luis Potosí. Esto con el propósito de determinar el incremento en la Huella Hídrica y la presión en la cuenca por la explotación del recurso.

### 5.3 UNIDAD DE ANÁLISIS

El estudio de la Huella Hídrica, se realizó con el método ciclo de vida de la vivienda, el cual es un marco metodológico para estimar y evaluar los impactos medioambientales atribuibles a un producto o servicio durante todas las etapas de su vida. El principio básico de la herramienta es la identificación y

descripción de todas las etapas del ciclo de vida de los productos o procesos, desde la extracción y retratamiento de las materias primas, la producción, la distribución y uso del producto final hasta su posible reutilización, reciclaje o deshecho del producto.

El ciclo de vida de una vivienda puede ser muy complejo y con muchas variables, por lo que es importante delimitar los alcances y las etapas que se estudiarán en cada fase de su ciclo, así como identificar aquellas variables que tienen un impacto en la huella hídrica.



Figura 19. Ciclo de Vida del Producto

Fuente: <http://static1.squarespace.com/static/52bc9091e4b0aee2c11ccf01/t/>

### 5.3.1 Puerta (Etapa de construcción)

El estudio de esta etapa se realizó mediante análisis documental y experimental: en el documental se utilizó información ya desarrollada por la CMIC, mientras que en el experimental se analizaron casos de estudio, en donde se observó y documentó el consumo de agua en el proceso de la construcción, observando usos y costumbres, así como el consumo real. El

propósito de realizar de esta manera fue el comparar los datos de las fuentes documentales y los resultados del análisis experimental. Se concluyó con un consumo de agua por metro cuadrado de construcción (ver capítulo 6).

En la etapa de la puerta no se tiene considerado la procedencia de la materia prima y/o elementos que se fabriquen fuera de la obra, como ejemplo, el concreto premezclado a pesar de tener una huella hídrica durante su proceso de fabricación, ésta no se considerara dentro de la etapa de construcción, solo aquellos materiales y procesos que requieran agua durante su elaboración, como el concreto hecho en obra. La finalidad es estudiar únicamente la huella hídrica del proceso constructivo.

### 5.3.2 Vida (Etapa de uso)

Esta etapa se desarrolló mediante el análisis documental y fue apoyada con el análisis histórico. Se acudió a las cifras proporcionadas por INTERAPAS, a la par se realizaron encuestas para determinar el consumo de agua por persona en San Luis Potosí, lo anterior con el fin de contrastarlo con las cifras que indica INTERAPAS.

### 5.3.3 Proyección a futuro

Mediante un análisis documental se analizó la evolución de crecimiento de la ciudad de San Luis Potosí. La intención de realizar una proyección a futuro es estimar el grado de presión del agua de acuerdo al crecimiento poblacional y al consumo de agua en un plazo.



A continuación se presentará el diseño de instrumentos para la recolección de información para cada etapa del ACV de la vivienda.

5.4 DISEÑO DE INSTRUMENTOS

5.4.1 ETAPA 1 – NACIMIENTO (Etapa de Construcción)

El propósito de esta etapa es identificar cuál es el consumo de agua durante el proceso de construcción de una vivienda. Existen cifras ya estudiadas respecto al volumen de agua que se requiere para ciertos procesos y elementos en la construcción. Sin embargo, existen usos y costumbres que pueden hacer que estas cifras varíen. Por lo que mediante la tabla 2, se registrarán los elementos y procesos que se requieren para la construcción de una vivienda.

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA			M2 DE CONSTRUCCIÓN			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	VAGUA x U	AGUA AZUL	AGUA GRIS	HH
TOTAL VOLUMEN DE AGUA						

Tabla 2. : Huella Hídrica del proceso de construcción.  
Fuente: Archivo Shiguetomi D.I., (2015).

Posteriormente se identifican los procesos de construcción para edificación de la vivienda. Para esta etapa es importante mencionar que por cada tipo de vivienda se que realizaron dos tablas. Ya que en una tabla se vaciaron los datos de consumo de agua de acuerdo a la CMIC y en otra tabla los resultados de

investigación de campo. De esta manera al final se podrán contrastar los resultados obtenidos por el análisis documental contra los resultados obtenidos en campo mediante la observación, medición y cuantificación.

Ya teniendo estos resultados se resumirá en seis cifras importantes:

1. Huella Hídrica por m<sup>2</sup> de construcción de una vivienda de interés social de acuerdo al análisis documental y otro de acuerdo a la investigación de campo.
2. Huella Hídrica por m<sup>2</sup> de construcción de una vivienda de tipo medio de acuerdo al análisis documental y otro de acuerdo a la investigación de campo.
3. Huella Hídrica por m<sup>2</sup> de construcción de una vivienda residencial de acuerdo al análisis documental y otro de acuerdo a la investigación de campo.

Finalmente se podrá concluir si el tipo de vivienda tiene alguna relación con su Huella Hídrica, es decir si una casa de interés social tiene un mayor o menor impacto en su Huella Hídrica por el simple hecho de ser de interés social. Finalmente se concluirá en un valor de consumo hídrico por metro cuadrado de construcción sin importar el tipo de vivienda.

#### 5.4.2 ETAPA 2 – Uso de la vivienda

Para determinar el consumo de agua durante el uso de la vivienda, se acudió a las cifras y estadísticas otorgadas por los organismos operadores de agua en San Luis Potosí (INTERAPAS). Sin embargo, dichas cifras se contrastaron con

un análisis experimental que se realizó. El propósito fue identificar si el consumo de agua por habitante y por vivienda es similar dependiendo del tipo de vivienda.

Para esto, se realizarán encuestas respecto al consumo de agua en tres partes de la ciudad:

Para el estudio de las diferentes unidades de análisis, se identificó una zona al sur poniente de la ciudad, la cual tiene la particularidad de que en un mismo punto estén adyacentes tres zonas con tres tipologías de vivienda diferentes.



Figura 20: Macro localización.

Archivo Shiguetomi D.I., (2015) Mapa: INEGI 2015.

Se propone el estudio de tres zonas, la col. Garita de Jalisco con un nivel social bajo, la col. Cumbres de San Luis con un nivel social medio y el Fracc. Villa Antigua con un nivel social alto.

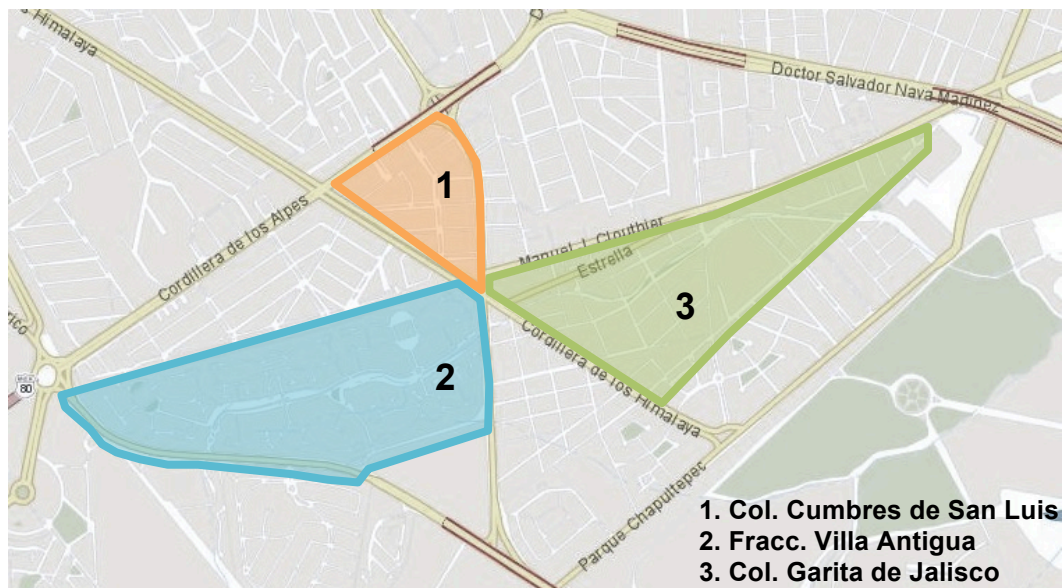


Fig. 21: Micro localización: Zonas de estudio.

Fuente: Archivo Shiguetomi D.I., (2015) Mapa: INEGI 2015.

El INEGI presenta el Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE), una herramienta que permite asociar la información estadística del Censo 2010 con el espacio geográfico al que pertenece. El SCINCE ofrece una serie de indicadores sociodemográficos por entidad federativa, municipio, localidad, áreas geostatísticas básicas (AGEB), manzanas urbanas y zonas metropolitanas. (INEGI, 2015). Un AGEB es un área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios, comercial, etcétera, y sólo son asignadas al interior de las localidades urbanas (INEGI, 2015).

Para este proyecto de investigación se manejará únicamente la cantidad de viviendas habitadas por colonia, según el Inventario Nacional de Viviendas del INEGI (2012):

COLONIA	NUMERO DE VIVIENDAS HABITADAS
Villa Antigua	353
Cumbres de San Luis	165
Garita de Jalisco	450

Tabla 3: Numero de Viviendas Habitadas  
Fuente: Intenvario Nacional de viviendas (INEGI, 2012)

Es relevante mencionar que territorialmente la Colonia Garita de Jalisco es mucho mayor que el Fracc. Villa Antigua y que la col. Cumbres, pero en este fraccionamiento se encuentran viviendas de interés social, medio y residencial. Por lo que para efectos de esta investigación solo se considerarán las viviendas de interés social para dicha colonia. Para delimitar la cantidad de viviendas en esta colonia, se realizó un barrido en campo y se cuantificó la cantidad de viviendas de interés social. Descartándose los multifamiliares y/o complejos de vivienda. Limitando la cuantificación solo a aquellas viviendas unifamiliares.

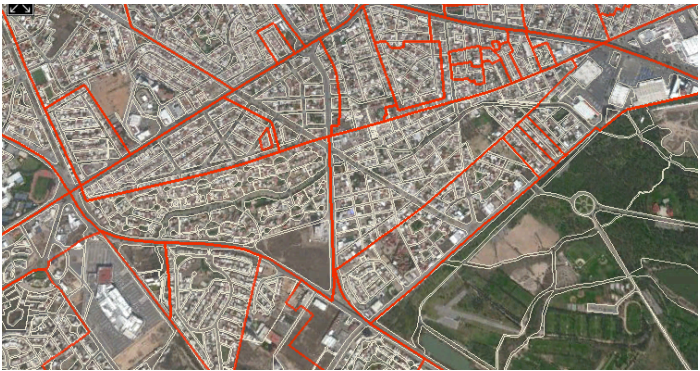


Figura 22: Sectorización por colonias  
Fuente: Inventario Nacional de viviendas (INEGI, 2012)

#### 5.4.2.1 Zona de estudio 1: Col. Cumbres de San Luis

Esta zona de estudio cuenta con una cantidad de viviendas habitadas de 165 (INEGI, 2010), se caracteriza por estar rodeada de vías de fácil acceso, y en su mayoría de las calles secundarias amplios camellones.



Figura 23: Col Cumbres de San Luis  
Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2015).

#### 5.4.2.2 Zona de estudio 2: Fracc. Villa Antigua

Esta zona cuenta con 355 viviendas habitadas, es un fraccionamiento privado y de los que tienen mayor renombre en la ciudad, sus lotes están caracterizados por estar arriba de los 250 m<sup>2</sup> de terreno y cuenta con grandes áreas verdes.



Figura 24: Acceso Fracc. Villa Antigua  
Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2015).

#### 5.4.2.3 Zona de estudio 3: Colonia Garita de Jalisco

Esta colonia tiene una extensión mayor comparada con las otras dos, cuenta con 1055 viviendas de las cuales están repartidas en vivienda unifamiliar y vivienda multifamiliar: Dentro de este universo de viviendas, solo se consideraron las que pudieron ser catalogadas como viviendas unifamiliares de interés social.



Figura 25: Col. Garita de Jalisco  
Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2015).

#### 5.4.2.4 TAMAÑO NECESARIO DE LA MUESTRA

Para determinar la cantidad de casas a estudiar, se procedió a emplear la formula citada por Ronald M. Weiers (1991) como parte esencial del metodo científico,

$$n = \frac{P(1 - P)}{\frac{E^2}{Z^2} + \frac{P(1 - P)}{N}}$$

n = tamaño necesario de la muestra

Z = número de unidades de desviación estándar en la distribución normal que producirá el grado deseado de confianza. (Para 95%, Z = 1.96; para 99%, Z = 2.58)

P = proporción de la población que posee la característica de interés. (si puede estimar la proporción, úsela, si no P = .5)

N = tamaño de la población

E = error, o máxima diferencia entre la proporción muestral y la proporción de la población que estamos dispuestos a aceptar en el nivel de confianza que hemos señalado.

Para determinar el tamaño necesario de muestra, se maneja un 95% de grado deseado de confianza, por lo que  $Z=1.96$ . El tamaño de la población, se estimará según la cantidad de viviendas habitadas mencionadas en el apartado anterior.

Por lo tanto:

Para la Col. Garita de Jalisco, donde  $N= 41$  Muestras

Para la Col. Cumbres de San Luis, donde  $N= 29$  Muestras

Para el Fracc. Villa Antigua, donde  $N= 37$  Muestras

#### 5.4.3 ETAPA 3 – PROYECCION A FUTURO

Al termino de la etapa 1 y 2 se obtienen los siguientes resultados:

- Huella Hídrica por tipo de vivienda y por  $m^2$  de construcción.
- Huella Hídrica por habitante y por vivienda.

Si se analizan estas cifras se podrá determinar la huella hídrica de una población, teniendo los valores como cantidad de viviendas y de población.

Por lo tanto, si se logra determinar la Huella Hídrica actual, es posible hacer un estimado con base al crecimiento de la población y a la construcción de viviendas. El propósito de esta etapa, es el saber hacia donde vamos como ciudad en relación a su crecimiento y a su impacto en la Huella Hídrica, que se traduce en el grado de presión por el recurso hídrico.





CAPÍTULO

# 6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## CAPITULO 6: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

# 6

### 6.1 ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL CICLO DE VIDA DE LA VIVIENDA

La metodología del Ciclo de Vida, considera las diferentes etapas de vida de un producto, desde la extracción de la materia prima, el traslado, la construcción, el uso, y el fin de la vida del producto pensando en una ultima fase de reciclaje (Ver capitulo 4).

Dentro de este proyecto de investigación se analizó la huella hídrica de la vivienda utilizando el Ciclo de Vida como una herramienta, dentro de las fases de la puerta a la tumba, considerando la etapa de construcción y uso de una vivienda.

Los resultados son presentados en esas dos fases del Ciclo de Vida incluyendo diferentes tipos de vivienda: interés social, medio y residencial. Diferenciándose estos tres tipos principalmente por su tamaño (cantidad de m<sup>2</sup> de construcción) y por el tipo de acabados utilizados.

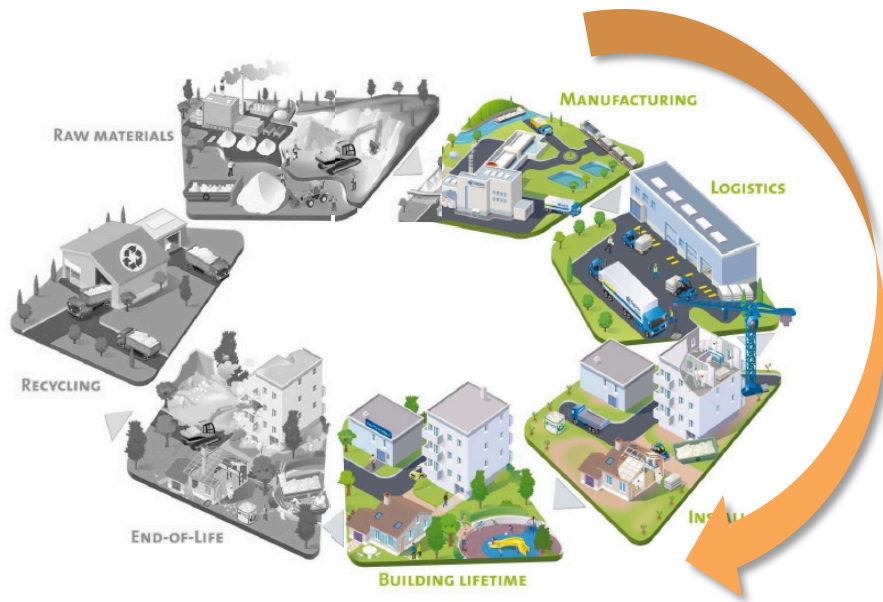


Figura 26. Ciclo de Vida  
Fuente: ISO 14044, 2006

### 6.1.1 ANÁLISIS DE LA ETAPA DE CONSTRUCCION (PUERTA) DE UNA VIVIENDA.

Dentro de esta etapa se presenta una comparativa entre datos teóricos y datos prácticos, mediante un análisis documental y uno experimental.

Es importante recalcar, como se mencionó en el capítulo 5, que en esta etapa no se tiene considerado la procedencia de los materiales que se fabriquen fuera de la obra, si no únicamente se enfoca en el proceso constructivo.

### 6.1.1.1 Análisis documental

Para el análisis documental se tomaron los volúmenes de agua, previamente estudiados y manejados dentro de la base de datos ECOSTOS, la base de datos de Costos de Construcción más completa y confiable de México, la cual cuenta con mas de 70 mil materiales y miles de matrices de Precios Unitarios.

A continuación se presentan los diferentes casos de estudio:

- **Vivienda Residencial:**

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA: VIVENDA RESIDENCIAL			M2 DE CONSTRUCCIÓN: 636.97	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	vAGUA x U	AGUA AZUL
<b>PREELIMINARES Y CIMENTACION</b>				<b>12.732208</b>
Terracerias. Limpia y trazo de terreno	46.34	m3	0.05460	2.530164
Plantilla de concreto hecho en obra para cimentación	8.51	m3	0.25350	2.157919
Zapata corrida sección 60x20cm. Concreto hecho en obra F'c=250 kg/cm2	33.87	m3	0.23750	8.044125
<b>ALBAÑILERIA</b>				<b>55.487570</b>
Dala de desplante concreto hecho en obra F'c=200kg/cm2	6.94	m3	0.12520	0.869045
Anclaje de castillos, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	13.03	m3	0.12520	1.631043
Muro de ladrillo rojo	264.10	m3	0.12830	33.884030
Dala de cerramiento, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	18.05	m3	0.12520	2.259304
Losa de concreto hecho en obraF'c=200 kg/cm2.	27.65	m3	0.15360	4.247040
Curado de losa de concreto	71.23	m3	0.14538	10.355417
Enladrillado en azotea	15.74	m3	0.14242	2.241691
<b>ACABADOS</b>				<b>221.491205</b>
Repellado acabado fino con cemento:arena	1109.43	m2	0.06554	72.711715
Aplanado de yeso	413.65	m2	0.17460	72.223290
Piso y azulejo ceramico	736.40	m2	0.06400	47.129600
Pintura en muros y plafones	2627.38	m2	0.01120	29.426600
<b>TOTAL VOLUMEN DE AGUA EN M3</b>				<b>289.7110</b>

Tabla 4: Consumo hídrico teórico en el proceso constructivo: Vivienda Residencial. Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

- **Vivienda Interés Social:**

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA: <b>VIVIENDA INTERES SOCIAL</b>			M <sup>2</sup> DE CONSTRUCCIÓN: <b>139.33</b>	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	vAGUA x U	AGUA AZUL
<b>PREELIMINARES Y CIMENTACION</b>				<b>2.665212</b>
Terracerías. Limpia y trazo de terreno	6.70	m3	0.05460	0.365602
Plantilla de concreto hecho en obra para cimentación	1.84	m3	0.25350	0.466110
Zapata corrida sección 60x20cm. Concreto hecho en obra F'c=250 kg/cm2	7.72	m3	0.23750	1.833500
<b>ALBAÑILERIA</b>				<b>12.496167</b>
Dala de desplante concreto hecho en obra F'c=200kg/cm2	1.50	m3	0.12520	0.187714
Anclaje de castillos, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	3.10	m3	0.12520	0.388120
Muro de ladrillo rojo	59.84	m3	0.12830	7.676896
Dala de cerramiento, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	3.90	m3	0.12520	0.488010
Losa de concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2.	6.20	m3	0.15360	0.952320
Curado de losa de concreto	15.93	m3	0.14538	2.315903
Enladrillado en azotea	3.42	m3	0.14242	0.487205
<b>ACABADOS</b>				<b>48.209040</b>
Repellado acabado fino con cemento:arena	239.64	m2	0.06554	15.705730
Aplanado de yeso	91.45	m2	0.17460	15.967170
Piso y azulejo ceramico	159.06	m2	0.06400	10.179994
Pintura en muros y plafones	567.51	m2	0.01120	6.356146
<b>TOTAL VOLUMEN DE AGUA EN M3</b>				<b>63.3704</b>

Tabla 5: Consumo hídrico teórico en el proceso constructivo:  
Vivienda Interés Social. Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

- **Vivienda Interés Medio:**

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA: <b>VIVIENDA INTERES MEDIO</b>			M <sup>2</sup> DE CONSTRUCCIÓN: <b>280.00</b>	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	vAGUA x U	AGUA AZUL
<b>PREELIMINARES Y CIMENTACION</b>				<b>4.757858</b>
Terracerías. Limpia y trazo de terreno	12.40	m3	0.05460	0.677040
Plantilla de concreto hecho en obra para cimentación	3.41	m3	0.25350	0.863168
Zapata corrida sección 60x20cm. Concreto hecho en obra F'c=250 kg/cm2	13.55	m3	0.23750	3.217650
<b>ALBAÑILERIA</b>				<b>23.009987</b>
Dala de desplante concreto hecho en obra F'c=200kg/cm2	2.78	m3	0.12520	0.347618
Anclaje de castillos, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	5.21	m3	0.12520	0.652417
Muro de ladrillo rojo	110.81	m3	0.12830	14.216474
Dala de cerramiento, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	7.22	m3	0.12520	0.903722
Losa de concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2.	11.06	m3	0.15360	1.698816
Curado de losa de concreto	29.50	m3	0.14538	4.288710
Enladrillado en azotea	6.34	m3	0.14242	0.902231
<b>ACABADOS</b>				<b>88.596482</b>
Repellado acabado fino con cemento:arena	443.77	m2	0.06554	29.084686
Aplanado de yeso	165.46	m2	0.17460	28.889316
Piso y azulejo ceramico	294.56	m2	0.06400	18.851840
Pintura en muros y plafones	1050.95	m2	0.01120	11.770640
<b>TOTAL VOLUMEN DE AGUA EN M3</b>				<b>116.3643</b>

Tabla 6: Consumo hídrico teórico en el proceso constructivo:  
Vivienda Residencial. Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

### 6.1.1.2 Análisis experimental

Para contrastar y validar los datos teóricos, se buscó monitorear el consumo de agua en la práctica. Se llevó una bitácora de la cantidad empleada en las diferentes fases del proceso constructivo de una vivienda, observando usos y costumbres de los trabajadores, al inicio, durante y al finalizar cada tarea, para así obtener un parámetro de consumo real.

A continuación se presentan los casos de estudio:

- **Vivienda Residencial:**

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA: <b>VIVIENDA RESIDENCIAL</b>			M <sup>2</sup> DE CONSTRUCCIÓN: <b>636.97</b>	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	vAGUA x U	AGUA AZUL
<b>PREELIMINARES Y CIMENTACION</b>				<b>21.305532</b>
Terracerías. Limpia y trazo de terreno	46.34	m3	0.09137	4.233868
Plantilla de concreto hecho en obra para cimentación	8.51	m3	0.42420	3.610969
Zapata corrida sección 60x20cm. Concreto hecho en obra F'c=250 kg/cm2	33.87	m3	0.39742	13.460695
<b>ALBAÑILERIA</b>				<b>92.850527</b>
Dala de desplante concreto hecho en obra F'c=200kg/cm2	6.94	m3	0.20950	1.454222
Anclaje de castillos, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	13.03	m3	0.20950	2.729318
Muro de ladrillo rojo	264.10	m3	0.21469	56.700087
Dala de cerramiento, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	18.05	m3	0.20950	3.780623
Losa de concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2.	27.65	m3	0.25703	7.106815
Curado de losa de concreto	71.23	m3	0.24327	17.328313
Enladrillado en azotea.	15.74	m3	0.23832	3.751150
<b>ACABADOS</b>				<b>370.633911</b>
Repellado acabado fino con cemento:arena	1109.43	m2	0.10967	121.672674
Aplanado de yeso	413.65	m2	0.29217	120.855365
Piso y azulejo ceramico	736.40	m2	0.10709	78.864657
Pintura en muros y plafones	2627.38	m2	0.01874	49.241214
<b>TOTAL VOLUMEN DE AGUA EN M3</b>				<b>484.7900</b>

Tabla 7: Consumo hídrico real en el proceso constructivo: Vivienda Residencial. Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

- **Vivienda Interés Social:**

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA: <b>VIVIENDA INTERÉS SOCIAL</b>			M <sup>2</sup> DE CONSTRUCCIÓN: <b>139.33</b>	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	vAGUA x U	AGUA AZUL
<b>PRELIMINARES Y CIMENTACION</b>				<b>3.672500</b>
Terracerías. Limpia y trazo de terreno	6.70	m3	0.07524	0.503777
Plantilla de concreto hecho en obra para cimentación	1.84	m3	0.34931	0.642272
Zapata corrida sección 60x20cm. Concreto hecho en obra F'c=250 kg/cm2	7.72	m3	0.32726	2.526451
<b>ALBAÑILERIA</b>				<b>17.218957</b>
Dala de desplante concreto hecho en obra F'c=200kg/cm2	1.50	m3	0.17252	0.258658
Anclaje de castillos, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	3.10	m3	0.17252	0.534806
Muro de ladrillo rojo	59.84	m3	0.17679	10.578295
Dala de cerramiento, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	3.90	m3	0.17252	0.672448
Losa de concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2.	6.20	m3	0.21165	1.312239
Curado de losa de concreto.	15.93	m3	0.20032	3.191174
Enladrillado en azotea.	3.42	m3	0.19625	0.671338
<b>ACABADOS</b>				<b>66.429120</b>
Repellado acabado fino con cemento:arena	239.64	m2	0.09031	21.641540
Aplanado de yeso	91.45	m2	0.24059	22.001788
Piso y azulejo ceramico	159.06	m2	0.08819	14.027411
Pintura en muros y plafones	567.51	m2	0.01543	8.758381
			<b>TOTAL VOLUMEN DE AGUA EN M3</b>	<b>87.3206</b>

Tabla 8: Consumo hídrico real en el proceso constructivo:  
Vivienda Interés Social. Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

- **Vivienda Interés Medio:**

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA: <b>VIVIENDA INTERÉS MEDIO</b>			M <sup>2</sup> DE CONSTRUCCIÓN: <b>280.00</b>	
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	vAGUA x U	AGUA AZUL
<b>PRELIMINARES Y CIMENTACION</b>				<b>7.156557</b>
Terracerías. Limpia y trazo de terreno	12.40	m3	0.08213	1.018373
Plantilla de concreto hecho en obra para cimentación	3.41	m3	0.38130	1.298338
Zapata corrida sección 60x20cm. Concreto hecho en obra F'c=250 kg/cm2	13.55	m3	0.35724	4.839846
<b>ALBAÑILERIA</b>				<b>34.610599</b>
Dala de desplante concreto hecho en obra F'c=200kg/cm2	2.78	m3	0.18832	0.522871
Anclaje de castillos, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	5.21	m3	0.18832	0.981337
Muro de ladrillo rojo	110.81	m3	0.19298	21.383787
Dala de cerramiento, concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2	7.22	m3	0.18832	1.359338
Losa de concreto hecho en obra F'c=200 kg/cm2.	11.06	m3	0.23104	2.555283
Curado de losa de concreto	29.50	m3	0.21867	6.450887
Enladrillado en azotea	6.34	m3	0.21422	1.357095
<b>ACABADOS</b>				<b>133.262884</b>
Repellado acabado fino con cemento:arena	443.77	m2	0.09858	43.747890
Aplanado de yeso	165.46	m2	0.26263	43.454023
Piso y azulejo ceramico	294.56	m2	0.09627	28.356099
Pintura en muros y plafones	1050.95	m2	0.01685	17.704873
			<b>TOTAL VOLUMEN DE AGUA EN M3</b>	<b>175.0300</b>

Tabla 9: Consumo hídrico real en el proceso constructivo:  
Vivienda Interés Medio. Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).



### 6.1.1.3 Confrontación de resultados teóricos y prácticos

En la figura 27 se exponen la síntesis de los análisis documentales y teóricos, se puede hacer énfasis en la diferencia del consumo dependiendo del tipo de vivienda, teniendo una mayor diferencia en la construcción de vivienda del tipo residencial, con un 167.34% más del consumo teórico, mientras que en la vivienda de interés medio se consume un 150.42% mas y en la social un 137.79% de los m<sup>3</sup> establecidos.

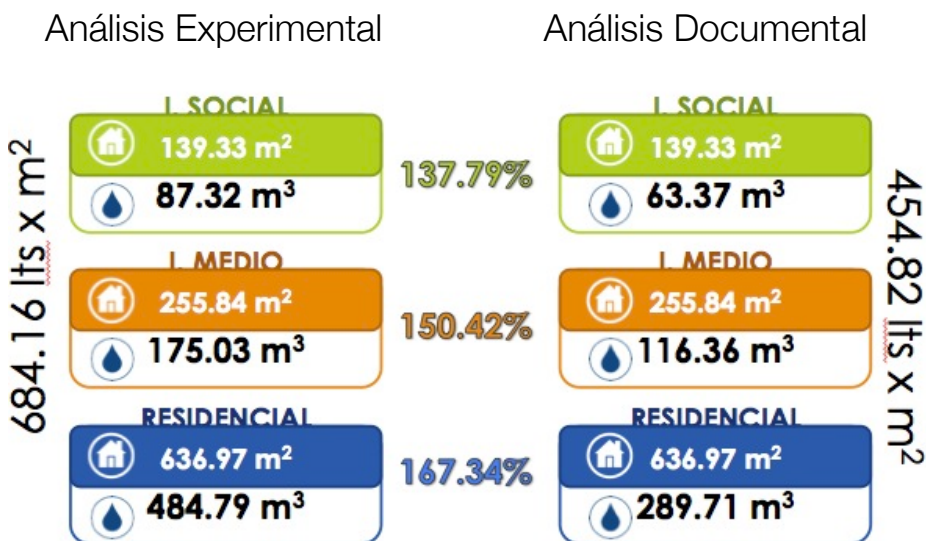


Figura 27. Análisis de datos reales vs datos teóricos.  
 Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

Si se promedian los consumos se obtiene que teóricamente se consumen 454.82 litros por m<sup>2</sup> de construcción, mientras que realmente se consumen 684.16 litros por m<sup>2</sup> de construcción, 229.34 litros más por cada m<sup>2</sup>, y en general se necesitan 249.05 m<sup>3</sup> de agua por construcción de una vivienda en promedio.

## 6.2 ANÁLISIS DE LA ETAPA DE USO DE UNA VIVIENDA.

Dentro de esta etapa del Análisis de Ciclo de Vida de una vivienda, es en donde se analiza el consumo de agua durante el uso aproximado de 50 años. Para lograr el objetivo se llevó a cabo un análisis documental y una investigación de campo, manejando la misma metodología de la etapa de construcción, donde se obtuvieron datos teóricos que fueron confrontados con datos prácticos.

### 6.2.1 Análisis documental

INTERAPAS (2013), organismo regulador del agua potable en la mayor parte de la zona metropolitana de San Luis Potosí, establece que:

“El **84%** de la población en San Luis Potosí, recibimos agua gracias al sistema de abasto subterráneo por **126 pozos** que producen **3 mil litros** de agua por segundo. El **16%** restante, a través de las presas San José, El Peaje y El Potosino, con caudal de **3 mil 654 litros** de agua por segundo, potabiliza en las plantas Los Filtros e Himalaya, lo que equivale proporcionar **240 litros de agua por habitante, por día**, con el tratamiento necesario y calidad apta para el consumo humano conforme a la Norma Oficial Mexicana”

El consumo de agua por habitante en México, según CONAGUA (2007) es de 360 litros aproximadamente. Mientras que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda una cantidad aproximada a 20 litros al día por habitante para cubrir

las necesidades básicas de higiene y alimentos (CONAGUA, 2007).

### 6.2.2 Análisis Investigación de Campo

La recolección e interpretación de la información recabada fue mediante encuestas, llevadas a cabo en las tres unidades de análisis mencionadas en el capítulo anterior (Capítulo 4): la col. Garita de Jalisco con un nivel social bajo, la col. Cumbres de San Luis con un nivel social medio y el Fracc. Villa Antigua con un nivel social alto.

La parte fundamental de la encuesta se centró en el consumo en  $m^3$  de agua, la cantidad de habitantes de la vivienda y un estudio aproximado del tamaño de la vivienda para poder obtener una cantidad de  $m^2$  de construcción por vivienda. Este último punto fue basado en la observación y complementado con *Google Earth*, para poder medir ancho y profundidad de la construcción. La cantidad de  $m^3$  consumidos fueron obtenidos de la lectura del recibo de agua en cada vivienda.

#### **-Zona de estudio 1: Col. Cumbres de San Luis:**

Se encuestaron 32 viviendas en esta zona en el periodo Octubre de 2015 a Enero de 2016.

El estudio de esta zona arrojó datos importantes como un promedio de  $19.25 m^3$  de consumo al bimestre, un promedio de 3.53 habitantes por vivienda y un consumo de  $0.07 m^3$  de consumo de agua por  $m^2$  de construcción.

## Fracc. Cumbres de San Luis

No. Viviendas	Consumo (m <sup>3</sup> )	m <sup>2</sup> Construcción	Habitantes	Consumo Agua x Hab	Consumo Agua x m <sup>2</sup>
1	7.00	246.00	2	3.50	0.03
2	13.00	325.00	3	4.33	0.04
3	38.00	375.00	5	7.60	0.10
4	15.00	220.00	3	5.00	0.07
5	19.00	343.00	4	4.75	0.06
6	7.00	156.00	2	3.50	0.04
7	21.00	308.00	5	4.20	0.07
8	27.00	380.00	4	6.75	0.07
9	15.00	188.00	3	5.00	0.08
10	15.00	190.00	5	3.00	0.08
11	21.00	296.00	3	7.00	0.07
12	26.00	315.00	4	6.50	0.08
13	9.00	195.00	2	4.50	0.05
14	5.00	240.00	4	1.25	0.02
15	2.00	284.00	5	0.40	0.01
16	25.00	298.00	3	8.33	0.08
17	14.00	315.00	3	4.67	0.04
18	21.00	280.00	4	5.25	0.08
19	52.00	360.00	4	13.00	0.14
20	2.00	175.00	1	2.00	0.01
21	20.00	180.00	3	6.67	0.11
22	14.00	220.00	3	4.67	0.06
23	40.00	190.00	3	13.33	0.21
24	18.00	256.00	4	4.50	0.07
25	10.00	239.00	3	3.33	0.04
26	10.00	198.00	5	2.00	0.05
27	12.00	245.00	4	3.00	0.05
28	11.00	185.00	4	2.75	0.06
29	51.00	349.00	5	10.20	0.15
30	21.00	234.00	4	5.25	0.09
31	42.00	213.00	4	10.50	0.20
32	13.00	189.00	2	6.50	0.07
<b>PROMEDIO</b>	<b>19.25</b>	<b>255.84</b>	<b>3.53</b>	<b>5.41</b>	<b>0.07</b>

Tabla 10: Consumo hídrico Fracc. Cumbres San Luis.  
 Período: Octubre 2015 –Enero 2016.  
 Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

Algunas de las viviendas con poco consumo indicaron haber salido de vacaciones y en su mayoría las viviendas rondaban entre los 200 y 300 m<sup>2</sup> de construcción.

## -Zona de estudio 2: Fracc. Villa Antigua

Villa Antigua se tomó como zona de estudio del tipo residencial, se encuestaron 37 viviendas, con un promedio de 4.59 habitantes por vivienda y un consumo promedio de 7.25 m<sup>3</sup> por habitante.

Fracc. Villa Antigua					
No. Viviendas	Consumo (m <sup>3</sup> )	m <sup>2</sup> Construcción	Habitantes	Consumo Agua x H	Consumo Agua x m2
1	31.00	352.00	5.00	6.20	0.09
2	100.00	660.00	6.00	16.67	0.15
3	27.00	595.00	4.00	6.75	0.05
4	39.00	748.00	5.00	7.80	0.05
5	53.00	685.00	5.00	10.60	0.08
6	54.00	670.00	4.00	13.50	0.08
7	11.00	644.00	3.00	3.67	0.02
8	50.00	645.00	5.00	10.00	0.08
9	36.00	720.00	4.00	9.00	0.05
10	39.00	545.00	4.00	9.75	0.07
11	17.00	655.00	4.00	4.25	0.03
12	84.00	768.00	5.00	16.80	0.11
13	35.00	720.00	4.00	8.75	0.05
14	72.00	595.00	5.00	14.40	0.12
15	15.00	378.00	3.00	5.00	0.04
16	33.00	680.00	5.00	6.60	0.05
17	32.00	678.00	5.00	6.40	0.05
18	26.00	720.00	4.00	6.50	0.04
19	36.00	650.00	5.00	7.20	0.06
20	28.00	745.00	5.00	5.60	0.04
21	38.00	645.00	5.00	7.60	0.06
22	46.00	710.00	4.00	11.50	0.06
23	6.00	580.00	5.00	1.20	0.01
24	17.00	615.00	4.00	4.25	0.03
25	23.00	720.00	5.00	4.60	0.03
26	7.00	450.00	4.00	1.75	0.02
27	49.00	740.00	6.00	8.17	0.07
28	13.00	650.00	4.00	3.25	0.02
29	38.00	705.00	5.00	7.60	0.05
30	23.00	695.00	5.00	4.60	0.03
31	26.00	634.00	5.00	5.20	0.04
32	30.00	596.00	4.00	7.50	0.05
33	42.00	670.00	5.00	8.40	0.06
34	38.00	615.00	5.00	7.60	0.06
35	10.00	490.00	5.00	2.00	0.02
36	10.00	580.00	4.00	2.50	0.02
37	26.00	620.00	5.00	5.20	0.04
<b>PROMEDIO</b>	<b>34.05</b>	<b>636.97</b>	<b>4.59</b>	<b>7.25</b>	<b>0.05</b>

Tabla 11: Consumo hídrico Fracc. Villa Antigua  
 Período: Octubre 2015 –Enero 2016.  
 Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

### -Zona de estudio 3: Colonia Garita de Jalisco.

Dentro de esta zona se encontraron numerosas viviendas multifamiliares y condominios, los cuales fueron exentos para poder tener igualdad de condiciones en las tres zonas de estudio. Se encuestaron 41 viviendas con un promedio de 139.33 m<sup>2</sup> de construcción, 3.88 habitantes en promedio por vivienda y un consumo de 3.38 m<sup>3</sup> de agua por bimestre.

Col. Garita de Jalisco					
No. Viviendas	Consumo (m <sup>3</sup> )	m <sup>2</sup> Construcción	Habitantes	Consumo Agua x Hab	Consumo Agua x m <sup>2</sup>
1	12.00	130.00	4.00	3.00	0.09
2	8.00	180.00	3.00	2.67	0.04
3	14.00	168.00	4.00	3.50	0.08
4	12.00	84.00	3.00	4.00	0.14
5	2.00	120.00	1.00	2.00	0.02
6	12.00	145.00	4.00	3.00	0.08
7	6.00	90.00	3.00	2.00	0.07
8	8.00	85.00	3.00	2.67	0.09
9	5.00	112.00	2.00	2.50	0.04
10	14.00	125.00	3.00	4.67	0.11
11	42.00	215.00	6.00	7.00	0.20
12	28.00	240.00	5.00	5.60	0.12
13	12.00	72.00	3.00	4.00	0.17
14	17.00	285.00	2.00	8.50	0.06
15	4.00	136.00	2.00	2.00	0.03
16	12.00	123.00	5.00	2.40	0.10
17	19.00	288.00	6.00	3.17	0.07
18	8.00	260.00	3.00	2.67	0.03
19	7.00	152.00	4.00	1.75	0.05
20	16.00	128.00	5.00	3.20	0.13
21	18.00	108.00	6.00	3.00	0.17
22	9.00	110.00	3.00	3.00	0.08
23	19.00	115.00	6.00	3.17	0.17
24	14.00	125.00	3.00	4.67	0.11
25	15.00	182.40	4.00	3.75	0.08
26	12.00	40.00	5.00	2.40	0.30
27	18.00	120.00	4.00	4.50	0.15
28	17.00	143.00	5.00	3.40	0.12
29	16.00	123.00	4.00	4.00	0.13
30	11.00	123.00	5.00	2.20	0.09
31	5.00	145.00	4.00	1.25	0.03
32	7.00	134.00	5.00	1.40	0.05
33	22.00	95.00	3.00	7.33	0.23
34	26.00	95.00	6.00	4.33	0.27
35	11.00	120.00	3.00	3.67	0.09
36	13.00	135.00	4.00	3.25	0.10
37	15.00	182.00	5.00	3.00	0.08
38	12.00	98.00	3.00	4.00	0.12
39	1.00	115.00	1.00	1.00	0.01
40	10.00	123.00	4.00	2.50	0.08
41	12.00	143.00	5.00	2.40	0.08
PROMEDIO	13.20	139.33	3.88	3.38	0.10

Tabla 12: Consumo hídrico Col. Garita de Jalisco  
 Período: Octubre 2015 –Enero 2016.  
 Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016).

### 6.2.3 Confrontación de resultados teóricos y prácticos

En vivienda de interés social, con promedio de 139.33 m<sup>2</sup> de construcción se consumen 79.20 m<sup>3</sup> anuales que representan 216.98 litros por día, con un consumo de 55.63 litros por habitante.

En vivienda de interés medio, con promedio de 255.84 m<sup>2</sup> de construcción se consumen 115.50 m<sup>3</sup> anuales que representan 316.44 litros por día por vivienda, o un consumo de 90.41 litros al día por habitante.

En vivienda residencial, con promedio de 636.97 m<sup>2</sup> de construcción se consumen 204.30 m<sup>3</sup> anuales que representan 559.72 litros por da por vivienda o un consumo de 121.68 litros al día por habitante.

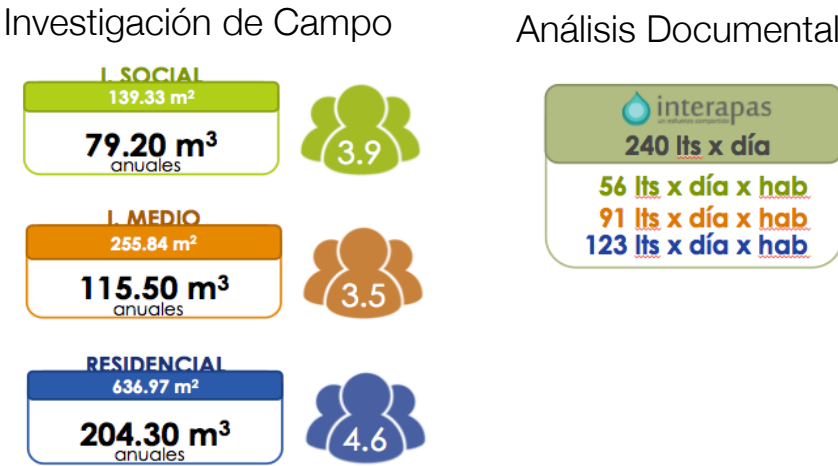


Figura 28. Análisis de datos reales vs datos teóricos.  
Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2015).

Son realmente contrastantes los resultados obtenidos con los datos arrojados por INTERAPAS, que reflejan que el consumo

es mucho menor de lo establecido, lo cual invita a reflexionar sobre la validez de la información.

Se puede apreciar también que así como el consumo de agua en el proceso constructivo varía dependiendo el tipo de vivienda, durante el uso se presenta el mismo fenómeno, duplicándose el consumo de agua en una vivienda residencial a una de interés social. Esto puede deberse a numerosos factores como el tamaño de jardín, si se cuenta con sistemas de riego, usos y costumbres, cantidad de habitantes por vivienda, si se tiene alberca o jacuzzi, ya que cada elemento tiene un impacto en el consumo y por lo tanto en la huella hídrica.

6.3 PROYECCIÓN A FUTURO

6.3.1 Huella Hídrica de una vivienda en un Ciclo de Vida de 50 años.

Si se hace una proyección, por tipo de vivienda, y se considera los m<sup>3</sup> de agua utilizados para la construcción mas los m<sup>3</sup> de consumo en 50 años, la huella hídrica por una vivienda seria la siguiente:

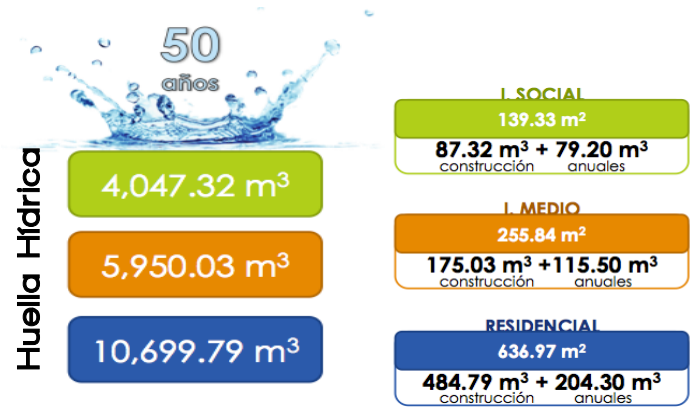


Figura 29: Huella Hídrica de una vivienda en un Análisis de Ciclo de Vida de 50 años. Fuente: Archivo Shigetomi D. I. (2015).



### 6.3.2 Proyección de la vivienda a 50 años.

Conforme la población de una ciudad aumenta, se requieren servicios, infraestructura, recursos, etc. Por lo que se pretende calcular la demanda de viviendas, así como de recurso hídrico para su construcción y para su uso.

De acuerdo a cifras del INEGI, en el 2000 en San Luis Potosí había un total de 504,990 viviendas, para el 2005 un total de 567,915 y en el 2010 un total de 631,587 viviendas.

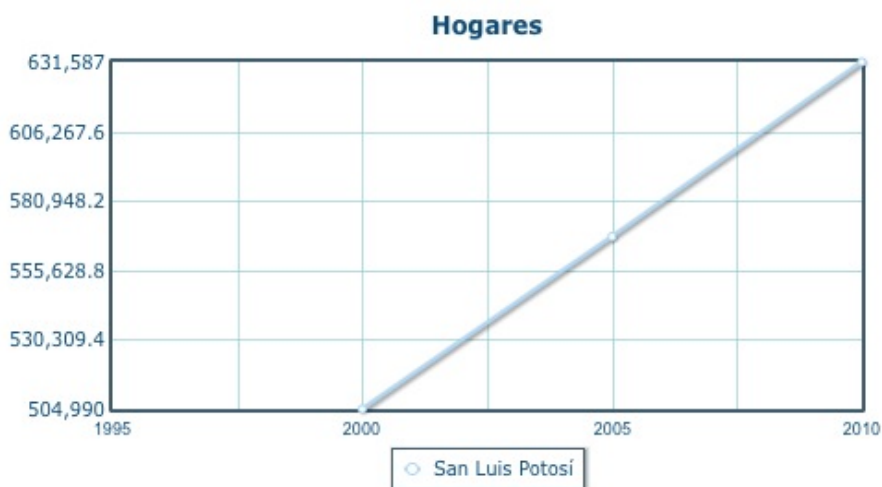


Figura 30: Hogares en San Luis Potosí  
Fuente: Inventario Nacional de viviendas (INEGI, 2012)

Tomando en cuenta este crecimiento, se puede esperar que en San Luis Potosí, en un periodo de 50 años, se lleguen a construir 1'456,361 viviendas. Llegando a un total de 2'162,728 viviendas para el 2065.

PROYECCIÓN DE VIVIENDAS EN SAN LUIS POTOSÍ			
AÑO	VIVIENDAS NUEVAS	TOTAL VIVIENDAS	AGUA REQUERIDA EN M3
2005	62,925	567,915	15,671,261.50
2010	63,672	631,587	15,857,299.36
2015	74,780	706,367	18,623,685.03
2020	83,634	790,001	20,828,729.34
2025	93,536	883,537	23,294,850.89
2030	104,611	988,148	26,052,961.23
2035	116,997	1,105,144	29,137,631.84
2040	130,849	1,235,993	32,587,527.45
2045	146,342	1,382,335	36,445,890.70
2050	163,668	1,546,003	40,761,084.16
2055	183,047	1,729,050	45,587,196.53
2060	204,720	1,933,770	50,984,720.60
2065	228,958	2,162,728	57,021,311.52
TOTAL DE AGUA REQUERIDA EN 50 AÑOS EN M3			362,701,904.27
TOTAL DE VIVIENDAS NUEVAS AL 2065			1,456,361

Tabla 13: Proyección de viviendas y agua requerida para su construcción, en San Luis Potosí..

Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016), en base a INEGI (2010).

Con base a los resultados del objetivo 1 de esta investigación, se determinó que el consumo de agua para la construcción de una vivienda en promedio es de  $249.05\text{m}^3$ . Por tanto, para la construcción de 1'456,361 viviendas, será requerido un total de  $362'701,904.27\text{ m}^3$ .

### 6.3.3 Proyección de la población a 50 años.

De acuerdo a cifras del INEGI, San Luis Potosí ocupa el lugar No 11 de las zonas metropolitanas del país con más de 500,000 habitantes, con un total de 1,040,443 habitantes al año 2010, en la zona conurbada de San Luis Potosí- Soledad de Graciano Sánchez.

ZONAS METROPOLITANAS DEL PAIS CON MAS DE 500,000 HABITANTES.		
NO.	NOMBRE DE LA ZONA METROPOLITANA	POBLACION TOTAL MUNICIPAL 2010
1	DEL VALLE DE MEXICO	20,116,842
2	DE GUADALAJARA	4,434,878.00
3	DE MONTERREY	4,089,962.00
4	DE PUEBLA-TLAXCALA	2,668,437.00
5	DE TOLUCA	1,846,116.00
6	DE TIJUANA	1,751,430.00
7	DE LEON	1,609,504.00
8	DE JUAREZ	1,332,131.00
9	LA LAGUNA	1,215,817.00
10	DE QUERÉTARO	1,097,025.00
11	DE SAN LUIS POTOSI-SOLEDAD DE GRACIANO SANCHEZ	1,040,443.00
12	DE MERIDA	973,046.00
13	DE MEXICALI	936,826.00
14	AGUASCALIENTES	932,369.00
15	DE CUERNAVACA	876,083.00
16	DE ACAPULCO	863,431.00
17	DE TAMPICO	859,419.00
18	DE CHIHUAHUA	852,533.00
19	SALTILLO	823,128.00
20	DE MORELIA	807,902.00
21	DE VERACRUZ	801,295.00
22	DE VILLAHERMOSA	755,425.00
23	DE REYNOSA-RIO BRAVO	727,150.00
24	DE CANCUN	677,379.00
25	DE XALAPA	666,535.00
26	TUXTLA GUTIERREZ	640,977.00
27	DE OAXACA	593,658.00

Tabla 14: Zonas Metropolitanas del País con más de 500,000 habitantes.  
Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016), en base a INEGI (2010).

De acuerdo a un estudio elaborado por el IMPLAN, se seleccionó un grupo de 16 municipios similares a San Luis Potosí, con una población en un rango de los 500,000 a 1'500,000 habitantes y una población urbana mayor del 70% y menor al 98%. Quedando San Luis Potosí en el lugar No. 8 con una población de 772,604 habitantes.

MUNICIPIOS DEL PAIS CON RANGOS DE POBLACIÓN DE 500,000 A 1'500,000 HABITANTES Y POBLACION URBANA MAYOR AL 70%				
NO.	MUNICIPIO	POBLACION TOTAL	POBLACION URBANA	% POBLACION URBANA
1	Puebla, Pue.	1,539,819	1,434,062	93.13%
2	León, Gto.	1,436,480.00	1,238,962.00	86.25%
3	Mérida, Yuc.	830,732.00	777,615.00	93.61%
4	Chihuahua, Chih.	819,543.00	809,232.00	98.74%
5	Querétaro, Qro.	801,940.00	626,495.00	78.12%
6	Aguascalientes, Ags.	797,010.00	722,250.00	90.62%
7	Hermosillo, Son.	784,342.00	715,061.00	91.17%
8	San Luis Potosí, S.L.P.	772,604.00	722,772.00	93.55%
9	Morelia, Mich.	729,279.00	597,511.00	81.93%
10	Saltillo, Coah.	725,123.00	709,671.00	97.87%
11	Benito Juárez, Cancun, Q. Roo.	661,176.00	628,306.00	95.03%
12	Torreón, Coah.	639,629.00	608,836.00	95.19%
13	Reynosa, Tmps.	608,891.00	589,466.00	96.81%
14	Durango, Dgo.	582,267.00	518,709.00	89.08%
15	Tuxtla Gutiérrez, Chis.	553,374.00	537,102.00	97.06%
16	Irapuato, Gto.	529,440.00	380,941.00	71.95%

Tabla 15:  
Municipios del país con rangos de población de 500,000 a 1 500,000 hab.  
Fuente: Archivo Shiguetomi D. I. (2016), en base a INEGI (2010).

Sin embargo, ocupa el lugar No. 15 de crecimiento, comparado con las demás ciudades, alcanzando una tasa de crecimiento de 1.43.

POBLACION TOTAL Y TASA DE CRECIMIENTO						
NO.	MUNICIPIO	POBLACION TOTAL			INC. POBLACION 2000-2010	TASA CRECIMIENTO 2000-2010
		2000	2005	2010		
1	Benito Juarez, Cancun, Q. Roo.	419,815	572,973	661,176	241,361	4.65
2	Reynosa, Tmps.	420,463.00	526,888.00	608,891.00	188,428.00	3.77
3	Hermosillo, Son.	609,829.00	701,838.00	784,342.00	174,513.00	2.55
4	Tuxtla Gutierrez, Chis.	434,143.00	503,320.00	553,374.00	119,231.00	2.46
5	León, Gto.	1,134,842.00	1,278,087.00	1,436,480.00	301,638.00	2.39
6	Saltillo, Coah.	578,046.00	648,929.00	725,123.00	147,077.00	2.29
7	Querétaro, Qro.	641,386.00	734,139.00	801,940.00	160,554.00	2.26
8	Aguascalientes, Ags.	643,419.00	723,043.00	797,010.00	153,591.00	2.16
9	Chihuahua, Chih.	671,790.00	758,791.00	819,543.00	147,753.00	2.01
10	Torreón, Coah.	529,512.00	577,477.00	639,629.00	110,117.00	1.91
11	Irapuato, Gto.	440,134.00	463,103.00	529,440.00	89,306.00	1.86
12	Durango, Dgo.	491,436.00	526,659.00	582,267.00	90,831.00	1.71
13	Mérida, Yuc.	705,055.00	781,146.00	830,732.00	125,677.00	1.65
14	Morelia, Mich.	620,532.00	684,145.00	729,279.00	108,747.00	1.63
15	San Luis Potosí, S.L.P.	670,532.00	730,950.00	772,604.00	102,072.00	1.43
16	Puebla, Pue.	1,346,916.00	1,485,941.00	1,539,819.00	192,903.00	1.35

Tabla 16: Población total y tasa de crecimiento.  
Fuente: Archivo Shigetomi D. I. (2016), en base a INEGI (2010).

De acuerdo a estas cifras, se puede calcular que para el 2065, en San Luis Potosí, habrá una población de 1,686,982. Por lo que se requerirá un volumen de agua de 1,354,685,790m<sup>3</sup> para lograr abastecer a la población del vital recurso, solo para su uso al 2065.

PROYECCIÓN DE HABITANTES EN SAN LUIS POTOSÍ		
AÑO	HABITANTES	M3 AGUA X AÑO
2005	730,950	66,699,188
2010	772,604	70,500,115
2015	829,448	75,687,115
2020	890,474	81,255,746
2025	955,990	87,234,085
2030	1,026,326	93,652,276
2035	1,101,838	100,542,681
2040	1,182,905	107,940,044
2045	1,269,936	115,881,663
2050	1,363,371	124,407,581
2055	1,463,680	133,560,788
2060	1,571,369	143,387,436
2065	1,686,982	153,937,074
TOTAL AGUA PARA USO VIVIENDAS		1,354,685,790.08

Tabla 17: Proyección a futuro de población y requerimientos de agua.  
Fuente: Archivo Shigetomi D. I. (2016), en base a INEGI (2010).

De acuerdo a la proyección realizada respecto al incremento de viviendas en San Luis Potosí, así como el incremento de población, se determina que para garantizar el crecimiento se requerirá un total de 1,717'387,694 m<sup>3</sup>. De los cuales la industria de construcción de vivienda representa el 21.12% y el 78.88% restante corresponde al uso.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### OBJETIVO 1: Proceso Constructivo.

El objetivo 1 de esta investigación era cuantificar el impacto de la Huella Hídrica en el proceso constructivo en vivienda de interés social, medio y residencial de la ciudad de San Luis Potosí.

Las tres fases dentro del proceso constructivo que mayor volumen de agua requieren son la construcción de muros de ladrillo rojo, el concreto, los repellados y aplanados de yeso. Mientras que en la parte teórica se indican  $0.1283 \text{ m}^3$  (128.3 lts) de agua por  $\text{m}^2$  de muro de ladrillo, en la practica se ocupan 241.7 litros por  $\text{m}^2$ .



Figura 31: Muros de ladrillo.

Fuente: <http://teoriadeconstruccion.net/blog/wp-content /10/ladrillo-mod.jpg>

El material que más agua requiere es el concreto, ya que necesita gran cantidad de agua para ser preparado y curado. Por cada  $m^3$  de concreto se requieren teóricamente  $0.2535 m^3$  de agua (253.5 litros) mientras que en la práctica se requieren  $0.4242 m^3$  (424.2 litros), ya incluyendo el agua empleada en el curado.



Figura 32: Curado de un firme de concreto.

Fuente: <http://teoriadeconstruccion.net/blog-de-construccion-640x360.jpg>

El curado del concreto es un proceso que consiste en mantener en un ambiente húmedo el concreto por varios días después del vaciado, con el propósito de que adquiera la totalidad de su resistencia ( $f'c$ ). El concreto alcanza un porcentaje significativo de su resistencia tan sólo a los 7 días del vaciado. Por ejemplo, si se usa un cemento tipo I, su resistencia llegará a la semana al 70% del  $f'c$  especificado. Su resistencia final, al 100%, dependerá en gran medida de la humedad del concreto. De no realizarse el correspondiente curado, el resto de la resistencia que le falta adquirir, es decir el 30%, puede perderse por un secado prematuro del concreto, lo cual lo convertiría en un material de baja calidad. (Aceros Arequipa, 2015). Para evitar esta peligrosa situación, el concreto debe curarse al menos durante 7 días, y en trabajos más delicados, hasta 14 días.

La forma mas común de curar un concreto es mediante la aplicación continua y directa del agua, sin embargo pudiera hacerse mediante mantas o alfombras empapadas de agua para evitar el desperdicio del agua.

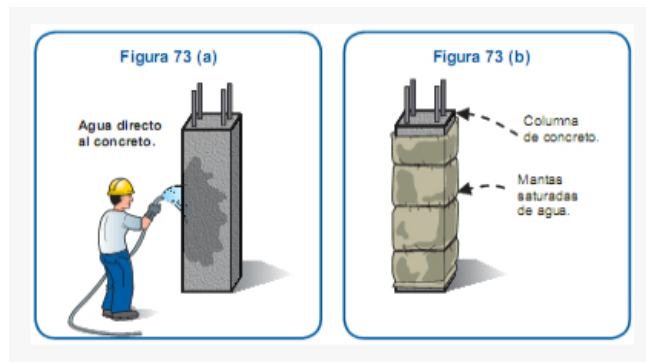


Figura 33: Alternativas del Curado del Concreto.

Fuente: Aceros Arequipa (2015)

Los repellados de muros y aplanados de yeso, en si no requieren tanta agua como la fabricación del concreto, sin embargo son los conceptos analizados con mayor volumen de obra, lo que los hace que impacten de manera relevante en la huella hídrica. El aplanado de yeso requiere en la práctica, 292.1 litros por m<sup>2</sup> de yeso, mientras que el repellado requiere 109.67 litros.

Una alternativa propositiva en la construcción, es el uso de agua de mar y agua tratada. Según un estudio realizado en la ciudad de Trujillo en Perú (Díaz Rodríguez, B., Ríos Alvinco, N., Murga Alayo, K., Robles González L.,2014), en donde se hicieron pruebas de laboratorio de resistencia a la compresión con agua de rio, agua potable y agua de mar, en concreto, se concluía que el utilizar agua de mar ayuda a obtener mayores valores en cuanto a la resistencia del concreto a la compresión.



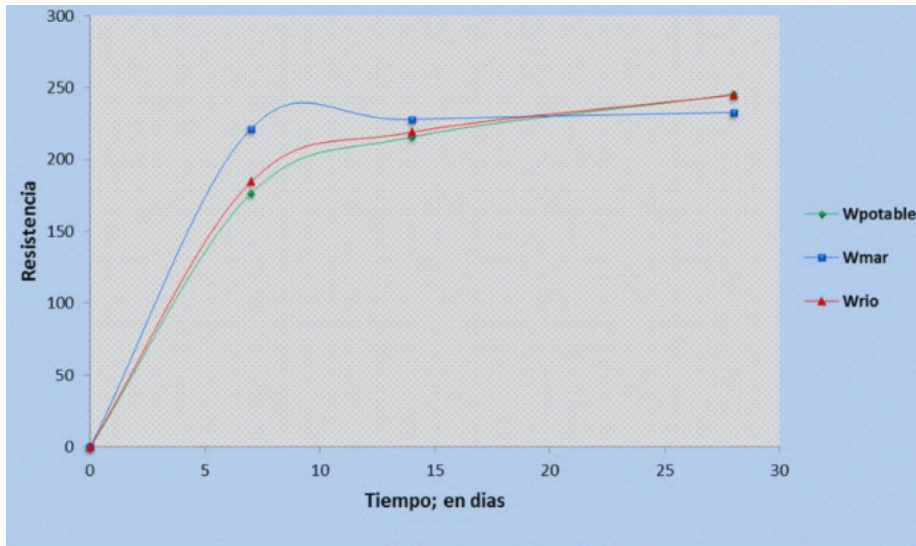


Figura 34: Comparación de Resistencia a compresión a 28 días.

Fuente: Díaz Rodríguez, B., Et. Al. , 2014)

Profesores y alumnos del área de construcción de la UAM Azcapotzalco, han estudiado la implementación del agua tratada en la construcción:

“En 1996, la industria del concreto premezclado tuvo una producción anual de 2,630,000 m<sup>3</sup> a escala nacional, de los cuales 1,430,000 m<sup>3</sup> corresponden a la zona metropolitana. Con estas cifras se tiene que, para la elaboración 1,430,000 m<sup>3</sup> de concreto en el Distrito Federal, se utilizaron 235,950,000 lts de agua potable, equivalentes a 22 % de la demanda diaria”.

Según el proyecto de investigación de la implementación del agua tratada en la construcción, se estudió el agua tratada de tres plantas de tratamiento, se elaboraron pruebas de resistencia en concreto concluyendo que:

“Los resultados obtenidos de las resistencias a la compresión de los especímenes de concreto con agua potable fueron tomados como base de comparación, contra las resistencias de concretos elaborados con agua tratada.

A partir de los resultados de los especímenes sujetos a compresión, podemos decir que utilizar agua tratada procedente de las plantas de tratamiento no causa efectos negativos tales como reducción de la resistencia a la compresión; por el contrario, se tienen incrementos entre 10 y 40 por ciento en su resistencia”.

DÍAS	AGUA POTABLE			AGUA TRATADA 1			AGUA TRATADA 2			AGUA TRATADA 3		
	200 kg/cm2	250 kg/cm2	300 kg/cm2	200 kg/cm2	250 kg/cm2	300 kg/cm2	200 kg/cm2	250 kg/cm2	300 kg/cm2	200 kg/cm2	250 kg/cm2	300 kg/cm2
7	117	175	211	148	171	225	124	193	195	148	159	220
28	199	236	272	180	232	292	167	259	257	206	224	288
90	212	266	279	203	251	268	207	290	277	240	251	314

Tabla : Resistencia de concreto con agua tratada.

Fuente: Vázquez Rojas, A. et. al.(2015)

Con los análisis químicos se puede confirmar que, debido a la calidad del agua presentada por las plantas mencionadas anteriormente, la misma puede utilizarse para la elaboración del concreto, siempre y cuando se les dé un tratamiento adicional para eliminar o reducir el contenido de grasas y aceites presentados en las muestras, ya que es este parámetro el único que queda fuera de límite, pues podría causar efectos negativos en la adherencia entre el concreto y el acero, así como efectos de retardo en el fraguado (Vázquez Rojas, A. Et. Al., 2015).

Estos dos estudios son claros ejemplos de que la búsqueda de soluciones para disminuir el consumo de agua en la industria de la construcción esta presente, alternativas existen por lo que es importante crear conciencia y difundir estas técnicas.

## OBJETIVO 2: Uso de la Vivienda.

Los resultados presentados sobre la fase del uso de la vivienda son inquietantes al compararse con lo establecido como consumo por habitante por día por INTERAPAS, lo que invita a cuestionar ¿a que se deben estas variaciones?. Se tienen varias teorías:

1.- Los equipos empleados actualmente en la vivienda han logrado efficientizar el consumo hídrico logrando un consumo mucho menor.

En la siguiente tabla se puede apreciar como según un estudio en Alemania donde se ha monitoreado un consumo menor de agua por habitante, se ha logrado concientizar al hombre sobre el uso consciente y racional del agua.

Evolución del consumo en litros de agua por habitante y día en Alemania

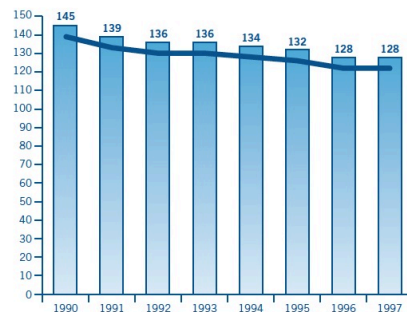


Figura 35: Evolución del consumo de agua en Alemania.

Fuente: <http://docplayer.es/Guia-de-sistemas-economizadores-de-agua.html>

Gran parte de esta disminución del consumo de agua por habitante se debe a la reducción de agua en los equipos y electrodomésticos utilizados en la vivienda:

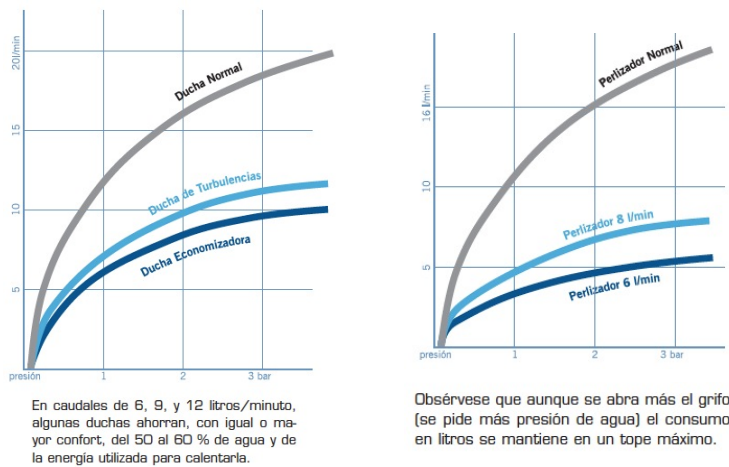


Figura 35: Diferencia en el consumo de agua con equipos economizadores.

Fuente: <http://docplayer.es/Guia-de-sistemas-economizadores-de-agua.html>

En la figura 36 se aprecia que en las regaderas y los excusados son los que tienen un impacto del 65% del consumo total de agua en la vivienda.

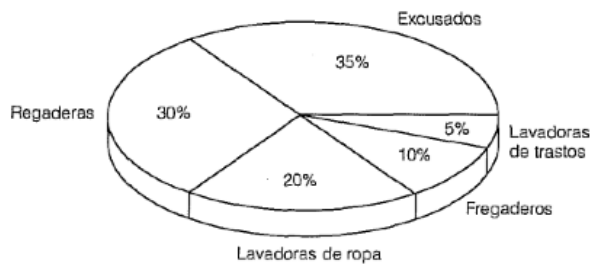


Figura 36: Uso del agua en una casa habitación.

Fuente: [http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/1276/1/RIH\\_081.pdf](http://repositorio.imta.mx:8080/cenca-repositorio/bitstream/123456789/1276/1/RIH_081.pdf)

A estos consumos, hay que añadir la gran cantidad de agua que los seres humanos desperdiciamos sin consumirla. Uno de los casos más comunes es el de las pérdidas. Un grifo que permite fugas de 10 gotas por minuto, provoca un desperdicio de 2.000 litros de agua al año y ¿que pasa con las fugas a nivel urbano?

En la figura 37, se puede apreciar como en el 2009, en San Luis Potosí del 100% de agua producida, un 45% no fue facturada, casi la mitad del agua se “perdió”, es aquí donde se puede suponer que los organismos de gestión de agua alteran sus cifras, incluyendo estos desperdicios en el consumo de agua por habitante.

Entidad Federativa	Ciudad	Año	Agua Producida (miles m3)	Agua facturada (miles m3)	Agua no contabilizada (%)	
Quintana Roo	Chetumal	2013	24,314.26	7,338.62	-	
		2000	57,317.00	30,361.00	47.03	
	Cancún	2001	56,281.57	31,194.12	44.57	
		2005	58,657.00	46,354.89	21.00	
		2007	59,918.40	31,496.86	-	
		2009	69,316.13	34,652.67	-	
		2007	3,844.24	2,662.60	-	
		2008	-	-	20.00	
		2009	4,351.97	3,126.08	28.00	
		2010	4,351.97	3,001.84	31.02	
		2011	3,910.46	3,094.10	20.88	
		2013	5,045.76	3,013.41	40.28	
	Playa del Carmen	2005	8,763.54	6,286.39	28.00	
		2009	12,929.76	8,898.45	31.00	
		2010	12,929.76	8,704.31	32.68	
		2011	12,929.76	8,708.94	32.64	
		2012	14,601.17	10,889.87	25.42	
		2013	-	-	-	
	San Luis Potosí	San Luis Potosí	2000	-	-	-
			2001	-	-	-
2004			-	-	40.00	
2005			99,181.00	59,792.02	40.00	
2006			-	-	40.00	
2007			99,969.12	51,375.78	48.61	
2009			103,211.97	57,047.47	45.00	
2012			-	-	47.94	
Ciudad Valles			2004	-	-	54.00
			2005	-	-	51.00
			2006	-	-	51.00
			2008	11,352.96	7,017.20	38.00
			2009	12,141.36	7,017.20	42.00
		2010	12,299.04	7,056.57	42.63	
		2011	12,299.04	7,663.31	37.69	
Matehuala		2012	13,055.90	7,242.78	44.52	
		2013	13,308.19	7,458.00	-	
		2004	-	-	55.00	
		2006	-	-	45.00	
		2007	5,140.37	-	26.48	
		2008	5,140.37	3,081.46	40.00	
		2009	-	-	58.00	
		2010	7,442.50	3,053.66	58.97	
		2011	7,852.46	3,232.47	58.83	
		2012	7,410.96	3,133.28	57.72	
2013		6,086.45	3,335.87	-		

Figura 37: Agua producida y facturada y no contabilizada.

Fuente: SEMARNAT (2015)

### OBJETIVO 3: Proyección a Futuro.

En relación a la proyección a futuro del impacto en la Huella Hídrica durante la construcción y uso de una vivienda unifamiliar en la ciudad de San Luis Potosí, podemos ver como llegan a ser incomprensibles los volúmenes de agua requeridos, por lo que manejaran a través de una escala que es de fácil entendimiento para los potosinos, la Presa San José:

*“En 1903, cuando se inauguró, la Presa San José tenía una capacidad de 9 millones de metros cúbicos, pero con el transcurrir de los años su captación quedó disminuida a sólo 5 millones de metros cúbicos, lo que representa el 55% de su capacidad, así lo señaló Humberto Ramos Contreras, vocero del Interapas” (Globalmedia, 2015).*

Según Interapas (2008) la capacidad de la Presa San José son 5,210,000 m<sup>3</sup> por lo que si se retoma que el impacto en la huella hídrica para la construcción de una vivienda residencial, que es de 10, 699.79 m<sup>3</sup> de agua únicamente alcanzaría un vaso de la presa para la construcción de 487 viviendas residenciales.

De la misma manera, según los resultados obtenidos para la construcción de las 1'456,361 viviendas nuevas que construirán en una proyección de 50 años, será requerido un total de 362'701,904.27 m<sup>3</sup>. Lo que sería un equivalente a llenar 70 veces la presa San José, únicamente para la construcción de las viviendas nuevas.

De acuerdo a las cifras presentadas en capítulo 6, se requerirá un volumen de agua de  $1,354,685,790\text{m}^3$  para lograr abastecer a la población del vital recurso, solo para su uso al 2065, lo que representa 260 veces el vaso lleno de la Presa San José.

Cabe mencionar que la relación con la Presa San José es solo un parámetro de referencia ya que no es la única fuente de abastecimiento de agua potable para la ciudad de San Luis Potosí, ver cap. 3.

Partiendo de lo anteriormente mencionado, se concluye que en los datos teóricos del volumen de agua utilizado en la construcción, únicamente se cuantifica aquella agua ocupada en los materiales en si, por ejemplo, en los muros únicamente se cuantifica el agua empleada en la preparación de la mezcla que une los ladrillos, y no se cuantifica el agua implementada en el proceso, específicamente en la humidificación de los ladrillos, la limpieza de las herramientas, los curados en general, lo que justifica la diferencia entre los 454.82 litros por  $\text{m}^2$  teóricos y los 684.16 litros por  $\text{m}^2$  presentados en el apartado 6.1.1 Análisis de la etapa de construcción de una vivienda (pág. 88).

Finalmente, los resultados presentados y analizados en este proyecto de investigación validan las hipótesis, que radicaban en que la tipología de vivienda, ya sea interés social, medio o residencial, determina el impacto en la huella hídrica, de acuerdo al ciclo de vida de la vivienda durante la etapa de construcción, datos que fueron corroborados, al ser diferente el impacto en cada tipo de vivienda. Además de que la etapa de construcción no es el proceso que involucra un mayor impacto a la huella hídrica durante el ciclo de vida de la vivienda, sino la etapa de

uso, con una proporción, de 21.12% la construcción y el 78.88% el uso, en ahí donde la búsqueda de las alternativas presentadas anteriormente se hacen necesarias para disminuir los consumos de agua en ambas fases.



## FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Es realmente importante indagar en el consumo de agua y la huella hídrica, para realizar proyectos y estrategias para aminorar el consumo hídrico, crear alternativas factibles en todos los sentidos, desde sociales, económicas y culturales para poder crear una conciencia de gestión adecuada del agua. Es por esto que se requieren más investigaciones que profundicen en estos campos.

A partir de este proyecto de investigación se plantean como futuras líneas de investigación, un estudio exhaustivo del consumo de agua en la vivienda, desde equipos, usos y costumbres.

Otra alternativa pudiera ser la captación y utilización de aguas grises en la vivienda, además de estrategias para la disminución del uso de agua así como la implementación de aguas tratadas en la construcción y no solo de vivienda si no en todo tipo de espacio. Este tipo de investigaciones son urgentes para aminorar el impacto de la construcción en la huella hídrica de una vivienda y sobre todo para crear una conciencia y un fomento de estas técnicas.

## REFERENCIAS

Arellano Gault, D. (2004) Gestión estratégica para el sector público. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.

Antón Vallejo, M. A. (2004) “Metodología del análisis del ciclo de vida”, en Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo, Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado el 29 de Mayo de 2016 de:

[http://www.tdx.cesca.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0420104-100039/#documents](http://www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0420104-100039/#documents)

Aceros Arequipa, 2015. Control de calidad del concreto. El curado del concreto. Recuperado el 08 de junio de 2016 de:

<http://www.acerosarequipa.com/maestro-obra/maestro-obras-manuales-digitales/manual-de-construccion-para-maestros-de-obra/3-control-de-calidad-del-concreto/36-curado.html>

Chapagain, A.Y. (2004) Water Footprints of Nations. Volume 1: Main Report. Recuperado el 01 de Junio de 2014 de: <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf>

Cortés Rocha, X. (2012) Ciudad y arquitectura sustentables. Recuperado el 04 de Marzo de 2015 de: <http://informatica.fquim.unam.mx/util/agendasiglo21/pdf/xaviercortes2.pdf>

Contreras Servín, C., Galindo Mendoza, M.G., (2008). Abasto futuro del agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México. San Luis Potosí, México.

CONAGUA (2007). Día Mundial del Agua. Recuperado el 08 de Junio de 2016 de: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera\\_agua\\_2015.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera_agua_2015.pdf)

CONAGUA (2012). Atlas digital del agua:2012 Recuperado el 01 de Junio de 2014 de: <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usosdelagua31.html>

CONAGUA (2014). Estadísticas del Agua en México. Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales, 2010. Recuperado el 01 de Junio de 2014 de: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>

Cuchí A, Wadel G, Lopez F, Sagrera A, (2007) Imponcto de los materiales de construcción en el Analisis de Ciclo de Vida.

Recuperado el 20 de Mayo de 2016 de:  
<http://www.ecohabitar.org/impacto-de-los-materiales-de-construccion-analisis-de-ciclo-de-vida/>

Diaz Rodriguez, B., Rios Alvinco, N., Murga Alayo, K., Robles Gonzalez L., (2014). INFLUENCIA DEL AGUA POTABLE, RÍO Y MAR EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE UN CONCRETO CONVENCIONAL NO ESTRUCTURADO, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ACERAS EN LA CIUDAD DE TRUJILLO. Recuperado el 08 de junio de 2016 de:  
<http://repositorio.upn.edu.pe/xmlui/bitstream/handle/11537/2995/Influencia%20del%20agua%20potable.pdf?sequence=1>

Global Media (2015). Christian García, Presa San José a Reventar. Recuperado el 03 de Octubre de 2016 de:  
<http://globalmedia.mx/noticia/37274/presa-san-jose-esta-a-reventar-la-mitad-es-lodo>

DOF (2010). Acuerdo por el que se dan a conocer los estudios técnicos del acuífero 2411 San Luis Potosí, en el Estado de San Luis Potosí : Recuperado el 06 de Septiembre de 2014 de:  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5150943](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5150943)

El Universal (2014). Huella Hidrica ¿Cuánta agua consumimos realmente?. Recuperado el 29 de Mayo de 2014 de:  
<http://archivo.eluniversal.com.mx/ciencia/2014/huella-hidrica-agua-consumimos-88687.html>

Farell Barril, C., Turpin Marlon, S., Suppen Reynaga, N. (2013). Huella de agua de uso público-urbano en México.

Recuperado el 01 de Junio de 2014 de:  
[http://www.inegi.org.mx/RDE/RDE\\_08/RDE\\_08\\_Art4.html](http://www.inegi.org.mx/RDE/RDE_08/RDE_08_Art4.html)

Fernández M, A. (2008). Estrés Hídrico. Recuperado el 29 de Mayo de 2014 de:  
[http://www.consumer.es/web/es/medio\\_ambiente/urbano/2008/10/23/180934.php#sthash.CyLRitvn.dpuf](http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/urbano/2008/10/23/180934.php#sthash.CyLRitvn.dpuf)

GWP (2002). Teoría desarrollada sobre la GIRH (Definición, principios, herramientas para su implementación). Tec. No. 4.

Hoekstra, A.Y. (2003) Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, IHE Delft, the Netherlands. Recuperado el 30 Mayo de 2014 de:  
<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf>

Hoekstra, A.Y. (2010) Manual de Evaluación de la huella hídrica. Manuscrito Final 2010

Instituto Valenciano de la Edificación, (2009) *Libro blanco de la edificación sostenible en la comunitat valenciana*. Valencia, España.

INTERAPAS (2008). Informe Histórico 2004-2008. Recuperado el 03 de Octubre de 2016 de:  
[http://www.interapas.mx/files/transparencia/art18\\_V/informe\\_historico\\_2004-2008.pdf](http://www.interapas.mx/files/transparencia/art18_V/informe_historico_2004-2008.pdf)

INTERAPAS (2013). Programa de mejora integral de gestión del INTERAPAS: Recuperado el 02 de Septiembre de 2014 de:  
[http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulic/noticias\\_principales/RNIH\\_2013/PDFS%20PANEL%201/2%20Lic.%20Mario%20Garcia%20Valdez.pdf](http://www.cmic.org/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulic/noticias_principales/RNIH_2013/PDFS%20PANEL%201/2%20Lic.%20Mario%20Garcia%20Valdez.pdf)

INTERAPAS (2015). AGUA POTABLE EN SLP. Recuperado el 08 de Junio de 2016 de:

<http://www.interapas.mx/index.php/tramites-y-servicios/agua-potable>

*ISO 14044 (2006) Environmental Management Life Cycle Assessment Requirements and Guidelines.* International Standards Organization: Brussels, Belgium.

Landa, (2008). Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF.

Luxán, M. (1996) “Arquitectura integrada en el medio ambiente”, en *La construcción de la ciudad sostenible. Primer catálogo español de buenas prácticas.* Madrid: Ministerio de Obras Publicas, Transportes y Medio Ambiente. Recuperado el 20 de Mayo de 2016 de: <http://habitat.aq.upm.es/cs/>

Martinez Austria, P. (2007) Efectos del cambio climatico en los recursos hídricos en México. Mexico: Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua

Nicoletti, G.; Notarnicola, B.; Tassielli, G. Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. Foggia, Italia

Noyola Medrano, M; Ramos Leal, J, Domínguez Mariani, E. Pineda Martínez, L. López Contreras Servín, C, Galindo

Mendoza, M. (2008) *Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México*. Colombia: Revista Colombiana de Geografía.

Noyola Medrano, M; Ramos Leal, J, Domínguez Mariani, E. Pineda Martínez, L. López Loera, H. Carbajal, N. (2008) *Factores que dan origen al minado de acuíferos en ambientes áridos: caso Valle de San Luis Potosí*. México: IPICYT

Organización Meteorológica Mundial, CONAGUA, (2008) *Proyecto de fortalecimiento del manejo integrado del agua en México*. México

Salazar Adams, A; Pineda Pablos, N. (2009) *Factores que afectan la demanda de agua para uso doméstico en México*. México: El colegio de Sonora.

Schteingart, M, d' Andrea, L, (1991) *Servicios urbanos, gestión local y medio ambiente*. El colegio de México, México.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2014). Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del Agua en México, Edición 2014. México.

SEMARNAT (2015) *Compendio de Estadísticas Ambientales 2015*. México.

Pfister, Stephan, Annette Koehler, and Stefanie Hellweg. (2009). "Assessing the Environmental Impacts of Freshwater

Consumption in LCA." Environmental Science & Technology. American Chemical Society

Plazolo, F. (2008) Claves para abordar el diseño metodológico. Recuperado el 10 de Abril de 2014 de: <http://perio.unlp.edu.ar/seminario/bibliografia/Palazzollo-Vidarte-Asorey.pdf>

Saldaña, Juan Francisco (2011). Material Basico sobre el agua Republica Dominicana.

Shah (2005) Avances científicos y cambios en viejos paradigmas sobre la política del Agua. Artículo publicado en REVISTA EMPRESA Y HUMANISMO. 2006 , Vol. IX, No. 2, pp. 67-108

UNESCO-IHE, (2003) Instituto de Educación del Agua. Recuperado el 30 Mayo de 2014 de: [http://unesco-ihe.worldcat.org/search?qt=affiliate&ai=wclocal\\_unesco-ihe&q=grey+water&scope=1&oldscope=1](http://unesco-ihe.worldcat.org/search?qt=affiliate&ai=wclocal_unesco-ihe&q=grey+water&scope=1&oldscope=1)

Vázquez Rojas A., González Díaz, F., Rocha Chiu, L. Y Flores Bustamante, J. A., (2015). Elaboración de concretos con aguas tratadas. Recuperado el 08 de junio de 2016 de: <http://www.imcyc.com/revista/2001/abril2001/concretos.htm>

WWAP (2009). World Water Assesment Programme

WWF (2012). Huella Hidrica en Mexico en el contexto de Norteamerica. Recuperado el 29 de Mayo de 2014 de: [http://www.ccmss.org.mx/descargas/Huella\\_hidrica\\_en\\_Mexico\\_en\\_el\\_contexto\\_de\\_Norteamerica.pdf](http://www.ccmss.org.mx/descargas/Huella_hidrica_en_Mexico_en_el_contexto_de_Norteamerica.pdf)