



**Universidad Autónoma de San Luis Potosí**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Centro de Investigación y Estudios de Posgrado**

**Propuesta para el manejo integral del agua en escuelas públicas.**  
**Caso: Escuela Francisco González Bocanegra, La Pila, S.L.P.**

**T E S I S**

Que para obtener el grado de:

Maestro en Tecnología y Gestión del Agua

Presenta:

Ing. Miguel Alejandro Mares Jasso

Asesor:

Dr. Marcos Algara Siller



A todas las personas que siempre me han apoyado en cada paso que doy

A mis padres y hermanas

A todos mis amigos y maestros

Quiero extender mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que me acompañaron, guiaron, apoyaron y compartieron palabras de aliento para siempre salir adelante y concluir el presente trabajo.



FACULTAD DE INGENIERÍA

17 de diciembre de 2020

**ING. MIGUEL ALEJANDRO MARES JASSO  
P R E S E N T E.**

En atención a su solicitud de Temario, presentada por el **Dr. Marcos Algara Siller**, *Asesor de la Tesis* que desarrollará Usted, con el objeto de obtener el Grado de **Maestro en Tecnología y Gestión del Agua**. Me es grato comunicarle que en la Sesión del H. Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 17 de diciembre del presente, fue aprobado el Temario propuesto:

**TEMARIO:**

**"Propuesta para el manejo integral del agua en escuelas públicas.  
Caso: Escuela Francisco González Bocanegra, La Pila, S.L.P."**

Introducción.

1. El recurso hídrico y la planeación urbana
2. Marco legal del recurso hídrico en México
3. El recurso hídrico en el contexto de la sostenibilidad
4. Metodología de la investigación
5. Diagnóstico de uso del agua en la escuela Francisco González Bocanegra
6. Propuesta para el manejo integral del agua en escuelas públicas
7. Discusión de resultados

Conclusiones.

Referencias.

**"MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURAS AUDEBO"**

**A T E N T A M E N T E**



**DR. EMILIO JORGE GONZÁLEZ GALVÁN  
DIRECTOR**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE SAN LUIS POTOSÍ  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN

[www.uaslp.mx](http://www.uaslp.mx)

Copia. Archivo.  
\*etn.

Av. Manuel Nava 8  
Zona Universitaria - CP 78290  
San Luis Potosí, S.L.P.  
tel. (444) 826 2330 al/39  
fax (444) 826 2336

**"1945-2020: 75 años de formación de profesionales en la Facultad de Ingeniería"**

|   |    |
|---|----|
| Contenido   |    |
| INTRODUCCIÓN .....  | 3  |
| Hipótesis .....   | 4  |
| Objetivo general.....   | 5  |
| Objetivos específicos .....   | 6  |
| CÁPITULO 1. El recurso hídrico y la planeación urbana.....                        | 8  |
| 1.1. Crisis mundial del agua .....  | 8  |
| 1.1.1. Crecimiento de la población .....  | 9  |
| 1.1.2. Urbanización.....  | 10 |
| 1.1.3. Calidad y contaminación de los recursos hídricos .....                     | 12 |
| 1.1.4. Cambio climático .....   | 12 |
| 1.2. Foros internacionales sobre el agua .....                                    | 13 |
| 1.3. Situación del agua en México .....   | 18 |
| 1.3.1. Aspectos geográficos y demográficos .....                                  | 18 |
| 1.3.2. Agua renovable.....  | 21 |
| 1.3.3. Clasificación de los usos del agua en México .....                         | 21 |
| 1.3.4. Agua y pobreza.....  | 23 |
| 1.4. El Derecho Humano a la Educación .....                                       | 23 |
| 1.5. Rol de la calidad de la infraestructura en el aprendizaje de los niños ..... | 25 |
| CÁPITULO 2. Marco legal del recurso hídrico en México .....                       | 30 |
| 2.1. Marco normativo en materia de INFE.....                                      | 30 |
| 2.1.1. Programa de escuela verde.....   | 34 |
| 2.2. Marco normativo mexicano en materia del agua.....                            | 36 |
| CÁPITULO 3. El recurso hídrico en el contexto de la sostenibilidad .....          | 40 |
| 3.1. Ciclo hidrológico urbano.....  | 40 |
| 3.2. Alternativas para el ahorro de agua .....                                    | 42 |
| 3.2.1. Mobiliarios adecuados y eficientes .....                                   | 42 |
| 3.2.2. Sistemas de captación del agua de lluvia.....                              | 43 |
| 3.2.3. Tratamiento y reutilización de aguas residuales .....                      | 46 |
| 3.2.4. Sistemas de tratamiento por humedales construidos .....                    | 49 |
| CAPITULO 4. Metodología de la investigación .....                                 | 54 |

|  |    |
|--|----|
| 4.1. Selección del sitio de estudio .....  | 55 |
| 4.2. Características del área de estudio .....   | 60 |
| 4.3. Precipitación media anual .....   | 62 |
| 4.4. Balance hídrico .....   | 64 |
| 4.5. Cálculo de la precipitación aprovechable .....                                      | 67 |
| 4.6. Dimensionamiento y diseño del sistema de tratamiento <i>in-situ</i> .....           | 68 |
| CAPÍTULO 5. Diagnóstico de uso del agua en la escuela Francisco González Bocanegra ..... | 76 |
| 5.1. Análisis y de la precipitación .....  | 76 |
| 5.2. Usos del agua en el plantel .....   | 77 |
| CAPÍTULO 6. Propuesta para el manejo integral del agua en escuelas públicas .            | 82 |
| 6.1. Cambio de muebles sanitarios .....  | 82 |
| 6.2. Aprovechamiento de agua de lluvia .....   | 84 |
| 6.3. Tratamiento y reuso de aguas residuales .....                                       | 86 |
| CAPÍTULO 7. Discusión de resultados .....  | 90 |
| CONCLUSIONES.....  | 94 |
| REFERENCIAS.....   | 96 |

## INTRODUCCIÓN

La crisis ambiental que se está viviendo sólo se puede mitigar mediante soluciones interdisciplinarias, y de esto son conscientes algunos investigadores de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, quienes han tenido la visión de llevar fuera de los muros de la universidad estrategias, experiencias y aprendizajes que permitan a la sociedad hacer uso eficiente de los recursos naturales disponibles, cambiar sus hábitos, comportamientos, estilos de vida, y así, en el mediano plazo, alcanzar el desarrollo sostenible.

Por ello es que, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, se creó el Laboratorio Casa Viva, con el objetivo de proponer y ejecutar proyectos interdisciplinarios que contribuyan a mejorar la ciudad desde la perspectiva de las siete dimensiones de la seguridad humana, para contribuir con el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

El equipo Casa Viva gestionó la construcción de un Techo Vivo en uno de los edificios de la Facultad de Ingeniería con el objetivo de demostrar que se puede aumentar el área verde en las ciudades al aprovechar las azoteas, las cuales en su mayoría no se les da algún uso, además de ser aprovechado como laboratorio de prácticas, aula al aire libre y como un espacio para fomentar la producción de alimentos in situ mediante huertos urbanos.

Derivado de la aceptación y el impacto positivo generado en la comunidad universitaria con el Techo Vivo, es como se amplió la intervención de la universidad en la sociedad. Gracias a la sinergia entre la Asociación Filantrópica Cummins (AFIC) y el equipo de Casa Viva, se comenzó a trabajar en el diseño y puesta en marcha de un proyecto piloto que propusiera soluciones concretas para erradicar algunas de las necesidades más sentidas de la comunidad y que se alinean a los ejes de acción que AFIC persigue: educación, justicia social y cuidado del ambiente.

El sitio elegido para la intervención fue la escuela Francisco González Bocanegra, en la Delegación de La Pila, sitio en que AFIC había estado trabajando previamente en otros proyectos. La comunidad tiene altos niveles de marginación, la escuela es un sitio de encuentro y convivencia no solo para los niños, sino también para los padres de familia y, los directivos del plantel y padres de familia son muy proactivos en la búsqueda por mejorar constantemente las condiciones del plantel.

El proyecto fue concebido bajo los principios del desarrollo sostenible y siempre considerando la opinión de la comunidad escolar, con el fin de lograr la apropiación del proyecto y generar un cambio en comportamientos, hábitos y estilos de vida. Un componente clave del proyecto, fue el diseño de una propuesta de

incorporación de contenidos sobre ambiente y sostenibilidad para ser vistos en clase como parte del currículo formal para todos los grados. El macroproyecto fue llamado “Modelo de Sostenibilidad para la Gobernanza de Comunidades Vulnerables”.

La intervención de la presente investigación se centró en el manejo de recurso hídrico, que es la base para la vida y clave para alcanzar el desarrollo sostenible.

En muchas ocasiones, el agua, se usa como si fuera un recurso abundante e ilimitado lo cual no es así, su disponibilidad y acceso es uno de los problemas más esenciales que el mundo afronta, debido a diferentes factores, por ejemplo, el crecimiento demográfico sumamente acelerado de la población de las últimas décadas, aunado con cambios en sus hábitos de consumo, lo que trae como consecuencia el aumento de la demanda para la elaboración de muchos de los bienes de consumo y satisfacción de las necesidades básicas.

Tanto a nivel global como local las principales fuentes de abastecimiento de agua son las aguas superficiales (ríos, lagos, etc.) y las aguas subterráneas. Lamentablemente, muchas fuentes presentan problemas de contaminación, resultado de las mismas actividades humanas; otras proveen agua de calidad no apta para consumo humano y otras se encuentran sobreexplotadas.

El escenario de referencia de Perspectivas ambientales mundiales de la OCDE 2012 prevé que aumentarán las tensiones en la disponibilidad de agua dulce hacia el año 2050, se estima que más del 40% de la población mundial vivirá en zonas de estrés hídrico severo. También pronostica que la demanda mundial de agua aumentará en un 55%, debido a la creciente demanda de la industria, la generación de energía y el uso doméstico.

Existen regiones en las que la población no experimenta la problemática del agua de igual manera, porque siempre han sido dotados con cantidad suficiente y de calidad aceptable, provocando que un sector de la sociedad utilice de manera ineficiente este recurso. Sin embargo, en varias de estas zonas empiezan a presentarse problemas de escasez, por lo que genera la necesidad de encontrar la manera de gestionar mejor los recursos hídricos aun disponibles y siempre motivar a la población para que participe más activa y enérgicamente.

#### Hipótesis

La implementación de ecotecnologías que permitan captar y aprovechar agua de lluvia en el plantel, la reducción en el consumo de la misma para los diferentes usos y el reuso de agua tratada, permitirán que la demanda de agua potable al sistema de abastecimiento público disminuya en al menos un 20%.

## Objetivo general

Ante estas problemáticas, es necesario buscar alternativas viables para optimizar el uso del recurso hídrico y que sea referente para otros planteles. Por ello el objetivo general de esta investigación fue aplicar ecotecnias que permitieran la captación de agua de lluvia y optimizar el aprovechamiento del agua dentro del plantel para crear un modelo piloto de manejo integral del agua en la escuela primaria Francisco González Bocanegra, ya que la escuela como espacio en el que se imparte conocimiento, debe prestar atención a la educación ambiental, cultivar en el comportamiento sobre el cuidado del medio ambiente y la difusión del concepto de desarrollo sostenible (Dong-Xue, *et al*, 2015).

La gran mayoría de las soluciones propuestas para la mitigación de los impactos negativos al ambiente se han dado desde un enfoque tecnocéntrico, es decir, sugieren que el sólo hecho de ejecutar una u otra tecnología permitirán abatirlo. Sin embargo, Ortiz *et al*, (2014), sugieren que dicha tecnología debe ser concebida de manera diferente para ser adaptada e integrada en la sociedad a largo plazo, además de contribuir en la reducción de la vulnerabilidad de la población marginada.

Las ecotecnologías surgen como una opción para hacer frente a tales problemas ambientales y son la continuidad de movimientos como las tecnologías apropiadas, tecnologías limpias y las innovaciones de base social. Ortiz *et al*, (2014), considera que las ecotecnologías deben cumplir con ciertos criterios ambientales, sociales y económicos cómo: 1) ser accesibles para los más pobres de la población; 2) ser adaptadas al contexto de cada sitio, 3) promover el uso eficiente de los recursos naturales, 4) ser ejecutadas a pequeña escala y de manera descentralizada y concebidas mediante el diseño participativo.

El documento se integra por la propuesta sobre el manejo integral del agua en el plantel, que permita tener un uso más eficiente del mismo en los diferentes usos y se asegure contar con cantidad suficiente para los diferentes usos, sin olvidar que esta intervención forma parte del Modelo de Sostenibilidad para la Gobernanza de Comunidades Vulnerables.



## Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general se propusieron los siguientes objetivos específicos:

1. Realizar un balance hídrico dentro plantel antes de la implementación de las ecotecnias y otro una vez implementadas.
2. Rediseñar las instalaciones de los sanitarios con base a los resultados del balance
3. Diseñar un sistema de tratamiento in situ a bajo costo de aguas residuales.

Las preguntas de investigación que guiaron el presente trabajo fueron: ¿Qué impacto tendrá la implementación de ecotecnologías en el plantel en el ciclo hidrológico de la comunidad? ¿qué porcentaje del agua que se requiere en el plantel se puede obtener de la precipitación del sitio? ¿Qué factores inciden en que la comunidad escolar se apropie de la propuesta? Desde una escuela pública ¿cuáles son los principales obstáculos a superar para hacer frente a la crisis global del agua? ¿realmente hace falta tecnología o es simplemente apatía de las autoridades?

La propuesta metodológica del presente trabajo se definió en cinco etapas:

- La primera etapa consistió en realizar un análisis del contexto socioeconómico del sitio seleccionado mediante la investigación documental, mediante la obtención de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), observación directa en el sitio de estudio y pláticas informales con los integrantes de la comunidad.
- En la segunda etapa se realizó un estudio hidrológico de la zona de estudio para determinar de manera más puntual la precipitación media anual de la zona y se comparó con la cantidad que se tiene registrada para la región donde se encuentra el sitio de estudio de este trabajo.
- En la tercera etapa, se realizó un balance hidrológico en la escuela para determinar los usos del agua en el quehacer diario.
- La siguiente etapa consistió realizar los cálculos pertinentes para la implementación de técnicas para el ahorro del agua, el aprovechamiento del agua de lluvia y el diseño de un sistema de tratamiento in situ de aguas residuales.
- La última etapa consistió ilustrar los diferentes escenarios después de la implementación de las técnicas calculadas en la etapa anterior, mediante gráficos en los que se distingue los ahorros alcanzados en el consumo de agua del plantel.

El estudio comienza con un análisis de los principales factores que intervienen en el ciclo del agua que producen la crisis del agua. En seguida se

presentan los diferentes esfuerzos internacionales que se han realizado en las últimas décadas para llegar a un consenso sobre las acciones a tomar para hacer frente a dicha crisis del agua, seguido de la situación que se vive en el país.

A continuación, se presenta el marco normativo en relación a la infraestructura física educativa del país y la relación que la calidad de la misma influye en el desempeño de los estudiantes, y cómo es que si se considera que se debe contar con elementos que contribuyan a mitigar los efectos negativos en el ambiente; y el marco normativo mexicano en materia de agua, para entender las características que debe tener este recurso para su reuso y aprovechamiento.

Después se hace una revisión sobre las alternativas que se han implementado para la optimización del uso del agua y que permitió definir las que se implementarían en el desarrollo de este proyecto.

## CÁPITULO 1. El recurso hídrico y la planeación urbana

El crecimiento de la población y la migración de personas del campo a la ciudad, traen como consecuencia un crecimiento desordenado en las ciudades, lo que tiene como consecuencia una mayor demanda de agua potable y por ende un incremento en la generación de aguas residuales. Otra de las problemáticas, es el aumento de escurrimiento de agua de lluvia, como consecuencia de la urbanización, mismas que se debe buscar la manera de evacuar para evitar daños a propiedades y la suspensión de labores. Está claro que la urbanización trae consigo efectos negativos para el ambiente, sin embargo, con una visión un tanto antropocéntrica, existen aspectos positivos, como importantes oportunidades para el desarrollo económico y social, mejores servicios de salud, índices de bienestar elevados, por mencionar algunos, pero para que ellos lleguen a todos y cada uno de los integrantes de la ciudad, se debe tener una administración muy bien estructurada, lo cual sigue siendo uno de los principales retos de la humanidad (Campos, 2010).

### 1.1. Crisis mundial del agua

La ONU, desde su primer informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo publicado en el tercer foro mundial del agua en la ciudad de Kioto, menciona que la verdadera crisis mundial del agua, es resultado de la mala gestión de los recursos hídricos, donde el sector pobre de la población es el más afectado (UNESCO, 2003). El acceso a agua limpia representa una preocupación de primera importancia, por lo indispensable que es para la vida y el sustento de los ecosistemas (Papa Francisco, 2015)

A pesar de que 71 % de la superficie del planeta está cubierta por agua, no toda es apta para el consumo humano. Del total del agua que se estima existe en el planeta, el 97.5% es el agua salada de los océanos, y el 2.5% restante es agua dulce (CONAGUA, 2016), sin embargo, de esta cantidad no toda se encuentra disponible para ser aprovechada, se calcula que de ésta, el 77% se encuentra confinada en los glaciares, 22% es agua subterránea, y sólo una pequeña porción, 0.61 %, se encuentra accesible en lagos, ríos pero muchas de estas fuentes se localizan lejos de las zonas pobladas, lo que dificulta su aprovechamiento; el 0.31% restante forma parte de la atmósfera y la humedad del suelo (USGS, 2017).

El mundo experimenta una dinámica de cambio constante que en muchos casos trae consigo efectos sobre la situación del agua. El crecimiento de la población, aunado con el desarrollo socioeconómico y el cambio de hábitos de consumo afectan el uso del agua en el mundo, mismo que desde los años 80's ha

incrementado a una tasa del 1% anual y continuará así hasta el año 2050 (UNESCO, 2019).

### 1.1.1. Crecimiento de la población

El crecimiento de la población trae consigo la demanda de mayor cantidad de recursos naturales, incluyendo el agua, de la cual se espera que para 2050, abastecer al sector industrial y doméstico esté entre un 20% y 30% arriba del nivel actual (UNESCO, 2019). Al aumentar el número de habitantes, disminuye la disponibilidad per cápita. Actualmente en el planeta, habitan alrededor de 7,700 millones de personas y se estima que para el año 2050 aumente alrededor de 9,700 millones, según el informe *Perspectivas de la Población Mundial 2019: Aspectos Destacados*, publicado por la División de Población del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, (UN, 2019) ver Figura 1.1. De igual modo, se estima que entre 2011 y 2050 la demanda de alimentos aumentará un 60%, lo que provoca un aumento de las necesidades de agua para la agricultura, actualmente alrededor de 70% de agua dulce del mundo se destina para este sector; además se prevé que la población que vivirá en zonas urbanas representará el 68% de la población del mundo (UN, 2019), lo que trae consigo la necesidad de contar con infraestructura para el abastecimiento de agua y saneamiento adecuado, sin embargo, la situación se agrava debido al crecimiento insostenible de las ciudades. ONU-Hábitat enfatiza la necesidad de la incorporación del ciclo hidrológico en el ordenamiento territorial, la promoción de la reducción en el consumo y favorecer la reutilización segura de aguas residuales, entre otras, como parte de las estrategias para alcanzar ciudades sostenibles.



Figura 1.1 Proyección de incremento poblacional. (UN, 2019)

### 1.1.2. Urbanización

El crecimiento de las ciudades del mundo está arraigado a una cultura de beneficio económico de corto plazo y frecuentemente a prácticas de consumo y producción desenfrenados que comprometen el equilibrio del ambiente (Clos, ONU-Habitat, 2016), vivimos en lo que podría denominarse una sociedad consumista, además, el consumo de bienes se ha convertido en algo más allá que solamente un eslabón de la cadena de la actividad económica, se ha vuelto una manera de relacionarse entre sí y de formar la propia identidad de los individuos (Rodríguez, 2012). El mundo cada vez está más interconectado y los nuevos estilos de vida marcan el rumbo de las aspiraciones en todo el globo. La creciente demanda de bienes y servicios de la sociedad moderna causan mayor presión sobre la disponibilidad del vital líquido. La disponibilidad del agua, está estrechamente relacionada con el estado de integridad de los ecosistemas dulceacuícolas, los cuales han sido afectados por la misma actividad humana al producir tales bienes (Martínez et al, 2012).

El abastecimiento de agua en las grandes urbes, ha representado un reto complejo el cual ha sido superado gracias a los avances científicos y tecnológicos para la extracción de fuentes subterráneas. Las aguas subterráneas han sido la principal fuente para el consumo humano y casi la mitad de la población mundial depende de éstas, lamentablemente del total del agua extraída en el mundo, según las estimaciones, aproximadamente el 30% no llega a los usuarios debido a que se pierde por fugas en la red de distribución. Todo esto deriva en la sobreexplotación de las aguas subterráneas al grado que las principales fuentes del mundo se encuentren en peligro (Richey et al, 2015). A pesar de esto se pronostica que para el 2050 la extracción de agua subterránea será mayor a 1,100 km<sup>3</sup>/año, que representa un 39% de la extracción respecto al 2010 (UNESCO, 2018). Los datos mostrados en la Tabla 1.1 son conservadores, ya que las estimaciones se realizaron asumiendo que las áreas de cultivo serían constantes, respecto al 2010, pero se prevé que la extracción de agua sea aún mayor como consecuencia de la expansión de áreas de cultivo.

Tabla 1.1 Ranking de países con mayor extracción de agua subterránea.

| Extracción de agua subterránea |       | km <sup>3</sup> /año |                                 |      |                                 | Tasa de cambio |
|--------------------------------|-------|----------------------|---------------------------------|------|---------------------------------|----------------|
| Ranking                        | País  | 2010                 | % respecto a extracción mundial | 2050 | % respecto a extracción mundial |                |
| 1                              | India | 201                  | 25                              | 278  | 25                              | 138            |
| 2                              | USA   | 103                  | 13                              | 118  | 11                              | 115            |

| Extracción de agua subterránea |                | km <sup>3</sup> /año |                                 |      |                                 |                |
|--------------------------------|----------------|----------------------|---------------------------------|------|---------------------------------|----------------|
| Ranking                        | País           | 2010                 | % respecto a extracción mundial | 2050 | % respecto a extracción mundial | Tasa de cambio |
| 3                              | China          | 102                  | 1%                              | 152  | 14                              | 149            |
| 4                              | Iran           | 60                   | 8                               | 73   | 7                               | 122            |
| 5                              | Pakistan       | 60                   | 8                               | 70   | 6                               | 117            |
| 6                              | México         | 25                   | 3                               | 32   | 3                               | 128            |
| 7                              | Russia         | 22                   | 3                               | 37   | 3                               | 168            |
| 8                              | Arabia Saudita | 22                   | 3                               | 29   | 3                               | 132            |
| 9                              | Bangladesh     | 11                   | 1                               | 13   | 1                               | 118            |
| 10                             | Japón          | 11                   | 1                               | 12   | 1                               | 109            |
| 11                             | Turquía        | 11                   | 1                               | 17   | 2                               | 155            |
| 12                             | Italia         | 9                    | 1                               | 11   | 1                               | 122            |
| 13                             | Taiwán         | 9                    | 1                               | 19   | 2                               | 211            |
| 14                             | Uzbekistán     | 9                    | 1                               | 12   | 1                               | 133            |
| 15                             | Bulgaria       | 8                    | 1                               | 23   | 2                               | 288            |
| 16                             | Brasil         | 8                    | 1                               | 12   | 1                               | 150            |
| 17                             | Alemania       | 7                    | 1                               | 9    | 1                               | 129            |
| 18                             | Francia        | 6                    | 1                               | 7    | 1                               | 117            |
| 19                             | España         | 5                    | 1                               | 6    | 1                               | 120            |
| 20                             | Argentina      | 5                    | 1                               | 8    | 1                               | 160            |
|                                | Mundial        | 800                  | 100                             | 1113 | 100                             | 139            |

Fuente: Burek *et al*, (2016)

La construcción de grandes obras hidráulicas, como las presa, es otra estrategia empleada para incrementar la disponibilidad de agua, no obstante, este tipo de infraestructura traen consigo impactos negativos para el ambiente, como la pérdida de flora y fauna, eutrofización de las aguas, erosión de los cauces, alteración de los ecosistemas rivereños, entre otros (Mézquila et al, 2018). También genera impactos sociales como el desplazamiento involuntario de comunidades enteras, debido a la pérdida de sus tierras de cultivo, la Comisión Mundial de Represas (WCD por sus siglas en inglés) indica que entre 80 y 40 millones de personas se han visto forzadas a dejar los sitios donde vivían a raíz de la construcción de dicha infraestructura. Estos impactos inherentes probablemente sobrepasen los beneficios (Ruelas, 2013). La WCD (2016), estima que hasta el 2015, más de la mitad del cauce de los principales ríos del mundo han sido alterados por la construcción de al menos 57,000 presas, catalogadas como grandes presas (WCD, 2015). La Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés) define a éstas como aquellas que miden más de 15 metros de altura o tiene una capacidad de almacenaje mayor a 3 millones de metros cúbicos.

### 1.1.3. Calidad y contaminación de los recursos hídricos

Dentro de las preocupaciones sobre los recursos hídricos, se enlista la calidad con la que se encuentran, lamentablemente muchos de los ríos, lagos y acuíferos, que incluso cuentan con cantidad suficiente para abastecer las demandas actuales, se encuentra contaminados, tanto por actividades humanas como por causas naturales (UNESCO,2003). Los ríos de muchas áreas urbanas de países en desarrollo son los vertederos de aguas residuales, cuyos efluentes contienen desechos tóxicos de todo tipo de industria, lo que causa el deterioro de la calidad del agua. Muchos de estos países, que en el siglo pasado fueron colonias de otros, han logrado su independencia y ejercer su capacidad de autogobernarse, sin embargo, tienen una estructura económica inestable que impide se asignen recursos suficientes para la gestión adecuada del agua (UNESCO,2003). Esta situación se presenta poco en países desarrollados, en dónde se ha implementado programas de remediación y monitoreo con el fin de reducir los peligros y riesgos ambientales y a la salud pública (Sikder et al, 2013).

### 1.1.4. Cambio climático

Otro factor que agrava la situación del agua en el mundo es el cambio climático, ya que puede modificar la intensidad y la frecuencia de fenómenos meteorológicos extremos, como sequías e inundaciones. El quinto informe de evaluación del Grupo Intergubernamental sobre Cambio Climático (2014) refiere que hay regiones húmedas que se vuelven más húmedas y otras regiones secas que se vuelven aún más secas. Esta alteración en el clima compromete la disponibilidad del agua ya que los patrones de precipitación se modifican, algunas cuencas y países reciben cantidades de agua relativamente abundantes en periodos muy cortos de tiempo, mientras que, en otras, la lluvia puede ser escasa durante muchos meses. Estas zonas de baja precipitación deben contar con suficiente infraestructura artificial y/o natural para almacenar y manejar el agua que llega durante los pocos meses de lluvia para poder abastecer a su población.

Como se ha mencionado, hay varios factores que afectan la disponibilidad de agua, se estima que actualmente casi la mitad de la población del mundo se encuentra en zonas con riesgo de padecer escasez de agua, por lo menos un mes al año, y este número puede aumentar entre los 4,800 y 5,700 millones de habitantes para el año 2050 (UNESCO, 2018). La FAO (2018) publica que el promedio mundial del estrés hídrico es de entre 11% y 13%, a pesar de ello, existen

32 países que padecen de un estrés hídrico de entre 25% y 70%, y otros 22 superan estas estimaciones, por lo que se consideran que sufren de estrés grave. El estrés hídrico es un indicador de la presión que ejerce la actividad antropogénica sobre los recursos de agua dulce y se define como la proporción total de agua dulce extraída al año para todos los sectores, respecto a la cantidad total de recursos renovables (expresada como porcentaje).

En los últimos años, la porción de agua destinada a la agricultura, que representa la actividad que más consume, ha ido disminuyendo, lo que se significa que la porción de otros usos va en aumento. A raíz de esta situación, la FAO hace énfasis en la importancia de encontrar la manera de reducir el actual estrés hídrico.

## 1.2. Foros internacionales sobre el agua

En los últimos 50 años se han llevado a cabo diferentes conferencias internacionales en la que se ha abordado el tema del agua.

En marzo de 1977 tuvo lugar en Mar del Plata, Argentina, la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Agua, en donde se reconoció al agua no solo como un bien disponible para ser usado, sino como un bien que tiene que ser cuidado y administrado de la mejor manera. Desde ese tiempo ya se vislumbraba una crisis del agua, por lo que en las sesiones llevadas a cabo se debatió que la misión de dicha Conferencia debía ser adoptar políticas que favorecieran un uso eficiente de los recursos hídricos y así evitar que se agravará la crisis.

Posteriormente, la década del 1981 a 1990, se declaró como el Decenio Internacional del Agua Potable y el Saneamiento Ambiental por las Naciones Unidas, cuyo objetivo era lograr para finales de 1990, que toda la población tuviera acceso y abastecimiento adecuado de agua al igual que contará con los medios para el saneamiento adecuado (UNESCO, 2003).

En septiembre de 1990, en la ciudad de Nueva Delhi, tuvo lugar la Consulta mundial sobre el agua potable y el saneamiento ambiental seguros para la década de los 90, organizada por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, con el lema de “compartir el agua de forma más equitativa”, lo que derivó en la aprobación de la Declaración de Nueva Delhi sobre Ambiente y Salud, con cuatro principios rectores: el primero, enuncia que para lograr la sostenibilidad y mejorar la salud, era necesario gestionar de manera integral los recursos hídricos y los desechos líquidos y sólidos; el segundo, impulsaba reformas con enfoque integral que incluyera la participación de las mujeres e influyera cambios en los procedimientos de todas las instituciones de este sector; el tercer principio, buscaba



fortalecer la organización de las comunidades para gestionar por sí mismas los servicios relacionados con el agua y el saneamiento; y por último el cuarto principio, abordó el tema de las fuentes de financiamiento para lograr la sostenibilidad a largo plazo.

En la Declaración Mundial sobre la supervivencia, la protección y el desarrollo del niño, aprobada en septiembre de 1990 en la Cumbre Mundial sobre Infancia, los líderes presentes acordaron promover el suministro de agua potable para todos los niños de las comunidades al igual que acceso universal al saneamiento, para hacer frente al problema detectado, miles de niños que morían a causa de enfermedades transmitidas por aguas contaminadas o por enfermedades causadas por no contar con agua para su aseo personal.

Años más tarde, en 1992 en la ciudad de Dublín se llevó a cabo la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente, de ésta derivó la Declaración de Dublín sobre Agua y Desarrollo Sostenible que contiene cuatro principios que forman parte esencial de buena parte de los acuerdos internacionales en materia de políticas sobre el agua. Éstos se listan a continuación:

- Principio 1: El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.
- Principio 2: El aprovechamiento y la gestión del agua deben inspirarse en un enfoque participativo, que involucre usuarios, planificadores y responsables de las decisiones a todos los niveles.
- Principio 3: La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la salvaguarda del agua.
- Principio 4: El agua tiene un valor económico en todos los diversos usos competitivos a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico.

A partir de esta conferencia, el sector privado se involucró más en los temas relacionados con el abastecimiento del vital líquido, bajo la premisa de lo que Bakker (2007) llamó “fracaso del estado”, refiriéndose a que los gobiernos son incapaces de administrar adecuadamente los sistemas de suministro de agua por la falta de recursos y por la corrupción. Por ello, muchos de los participantes expresaron su aprobación para que el sector privado gestionara el suministro de agua potable.

Bakker (2007) indica que, a partir de estos cambios en la política internacional sobre el agua, muchas compañías establecieron reuniones con entidades financieras, gobiernos y agencias de ayuda bilateral con el objeto de desarrollar soluciones a los problemas mundiales del agua. Aunque también existe la opinión opuesta, la privatización del agua, no es la mejor solución ya que el sector privado ve por sus intereses antes que por los de la población.

La Declaratoria de Rio sobre Medio Ambiente y Desarrollo aprobada por la Asamblea General en la Conferencia de Naciones Unidas en la ciudad de Rio de Janeiro en 1992, retoma los principios de la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio Humano de 1972 y los principios de la Declaración de Dublín, derivó en un conjunto de ejes estratégicos para lograr el desarrollo sostenible a través del documento denominado Agenda 21. El Capítulo 18 titulado, “Protección de la calidad y el suministro de los recursos de agua dulce: aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce” fue determinado con el objeto de velar para que toda persona en el mundo contaran con agua suficiente y de calidad adecuada, sin que la actividad humana comprometiera las diferentes funciones de los ecosistemas, se sugirieron siete áreas para que los países desarrollaran programas en el sector hídrico (Del Castillo, 2009):

- Ordenación y aprovechamiento de los recursos hídricos.
- Evaluación de los recursos hídricos.
- Protección de los recursos hídricos, la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.
- Abastecimiento de agua potable y saneamiento.
- El agua y el desarrollo urbano sostenible.
- El agua para la producción sostenible de alimentos y el desarrollo rural sostenibles.
- Repercusiones del cambio climático en los recursos hídricos

Con la finalidad de informar y dar seguimiento a los avances en los compromisos adoptados, se creó la Comisión de Desarrollo Sostenible.

Años más tarde, en 1995, se aprobó la Declaración de Copenhague sobre Desarrollo Social y el Programa de Acción de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Social, en la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Social, dónde una vez más se hizo hincapié sobre la necesidad de incrementar y mejorar el acceso de agua y el saneamiento, para reducir los índices de pobreza.

El objetivo siete de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio aprobados por los Estados miembros de las Naciones Unidas en la Cumbre del Milenio en el año 2000, tuvo como meta reducir para el 2015, a la mitad la proporción de personas que no contaran con acceso al agua potable y al saneamiento o que no tuvieran los recursos económicos suficientes para solventar estos servicios. De igual manera, los miembros se comprometieron a desarrollar estrategias de gestión del agua en diferentes niveles para alcanzar el aprovechamiento sostenible de los recursos hídricos y lograr el acceso equitativo de los servicios de agua potable y saneamiento.

El Consejo Mundial del Agua (WWC, por sus siglas en inglés), integrada por especialistas en la materia, organizaciones gubernamentales y no gubernamentales ha convocado a varios foros desde 1997, y durante el foro del año 2000 realizado en La Haya, Países Bajos, llegaron al acuerdo de realizar dichos foros cada tres años. En este año se emitió la declaración ministerial de La Haya sobre la seguridad Hídrica en el siglo XXI. Los foros posteriores fueron realizados en Japón (2003) donde se discutieron los siguientes temas: el agua como derecho humano; financiamiento para infraestructura: la participación del sector privado; la gobernabilidad; el manejo de los recursos hídrico; el agua y los ecosistemas y; el agua y el cambio climático (WWC, 2013). En el IV Foro realizado en México en 2006, “acciones locales para un reto global”, se establecieron mecanismos de cooperación y coordinación para transformar la visión global en acciones concretas. Los foros siguientes se llevaron a cabo en Turquía, Francia, República de Corea y en Brasil.

En septiembre de 2015, los líderes del mundo adoptaron la agenda 2030 durante la Cumbre sobre Desarrollo Sostenible, para complementar los logros alcanzados por los Objetivos del Desarrollo del Milenio y lograr las metas que no fueron conseguidas. Esta agenda se integra por 17 objetivos, los cuales rigen la



Figura 1.2 Objetivos del Desarrollo Sostenible

dirección de los esfuerzos de los países para alcanzar un mundo sostenible, éstos incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, la igualdad de la mujer, la defensa del medio ambiente o el diseño de

nuestras ciudades, lo que representa todo un reto, para encontrar las medidas que promuevan el desarrollo y al mismo tiempo protejan el ambiente. Los ODS se deben abordar de manera integrada, ya que todos dependen unos de otros, es decir, se deben abordar con un enfoque sistémico (Murenzi, 2019).

El Objetivo 6, agua limpia y saneamiento, busca garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua al igual que el saneamiento para todos. Es alentador que se haya listado un objetivo específico para el cuidado y la gestión del agua, ya que se muestra como el agua y el saneamiento es considerado una prioridad para los Estados Miembros. Este objetivo está integrado por 8 metas:

- 6.1 Lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible, para el 2030.
- 6.2 Lograr para 2030, el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos y erradicar la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres y las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad.
- 6.3 Reducir la emisión de materiales peligrosos y productos químicos vertidos a cuerpos de agua; reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar, lo que ayudará a mejorar la calidad del agua; y aumentar el reciclado y reutilización sin que esto represente un riesgo.
- 6.4 Aumentar significativamente para 2030, el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua.
- 6.5 Implementar la gestión integrada de los recursos hídricos a todos los niveles, incluso mediante la cooperación transfronteriza.
- 6.6 Proteger y restaurar los ecosistemas relacionados con el agua para el 2020.
- 6.a Ampliar y fortalecer la cooperación internacional y el apoyo a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento.
- 6.b Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la gestión del agua y el saneamiento.

Para cumplir este objetivo y los relacionados con el tema del agua, es necesario que exista voluntad de los diferentes agentes que interactúan en la sociedad, para que las acciones que se tomen lleguen a los más vulnerables, no sólo influye el aspecto financiero, sino que el diseño de las intervenciones sea pensado desde un enfoque sistémico.

### 1.3. Situación del agua en México

México es una nación que cuenta con una enorme variedad de paisajes que le confieren gran diversidad de ambientes y climas, debido a su ubicación en el globo y a su orografía, esto ha permitido que en todo el territorio nacional se desarrollen diferentes y muy variadas actividades económicas, lamentablemente ocurre lo que, en muchas partes del mundo, la pérdida de sus ecosistemas. Por ello es que la disponibilidad de agua no es la misma en todo el territorio y la problemática que se tiene es cada zona del país es diferente. A continuación, se mencionan algunos de los principales puntos que influyen en la problemática hídrica del país.

#### 1.3.1. Aspectos geográficos y demográficos

El territorio nacional cuenta con una extensión territorial de 1.964 millones de km<sup>2</sup>, de los cuales 1.959 millones corresponden a la superficie continental y el resto a las áreas insulares, por su ubicación en el globo y su orografía, se encuentran los

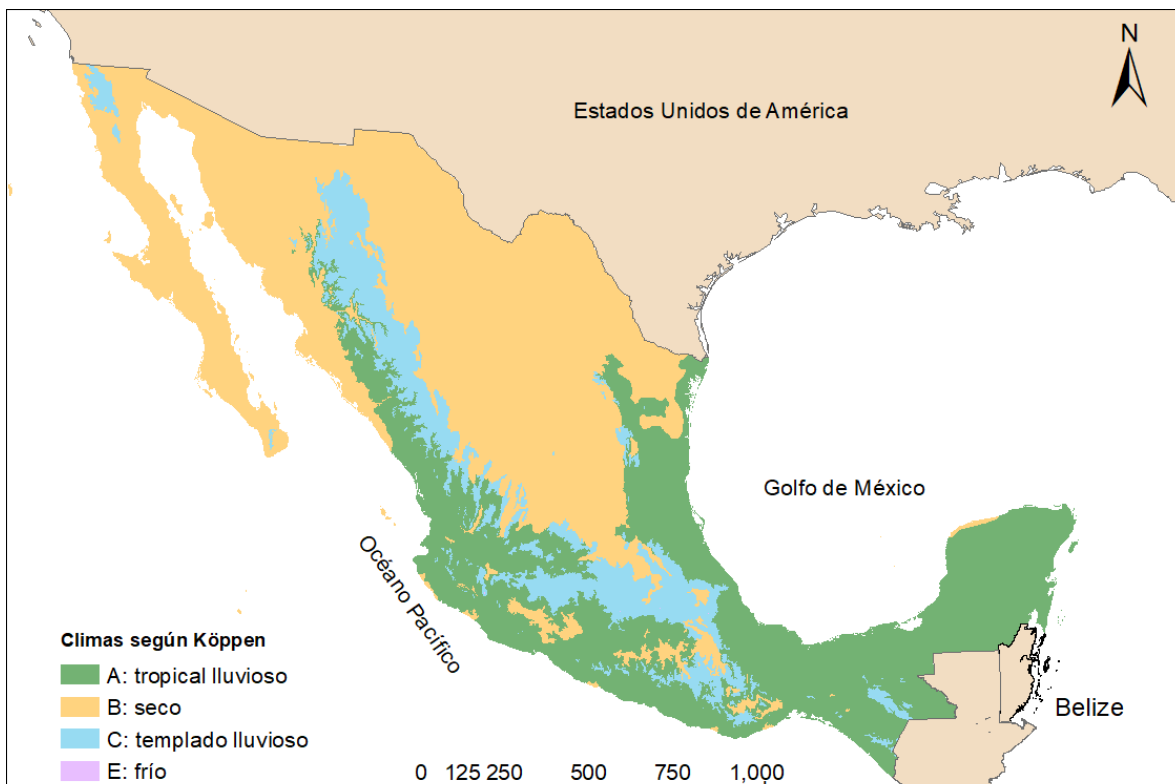


Figura 1.3 Climas de México según Köppen. Fuente: CONABIO, 2015.

climas A, B, C y E de Köppen, como se muestra en la Figura 1.3 Los climas tropicales lluviosos (grupo A), se extienden a lo largo de las vertientes de los mares

y en la mayor parte de la península de Yucatán. Los climas templados lluviosos (C) se encuentran en zonas montañosas o llanuras con altitudes superiores a los 1000 metros, los climas secos (B) se extienden en las zonas céntricas del país que no se encuentran expuestas a los vientos húmedos del mar debido a las principales sierras y a que se ubica en la zona subtropical de alta presión (García, 2004). Esto nos permite comprender porque dos terceras partes del territorio son áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que una tercera parte, el sureste, es húmedo, con precipitaciones anuales por arriba de los 2000 mm por año (CONAGUA,2018).

Como ya se había mencionado, otro aspecto que incide en la disponibilidad del agua, es la demografía. En base a datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en México de 1950 a 2015 la población se ha cuadruplicado y se estima que ha llegado a poco más de 119.5 millones de personas, y paso a ser predominantemente urbana, lo que implica fuertes presiones sobre el ambiente como consecuencia de la mayor demanda de servicios.

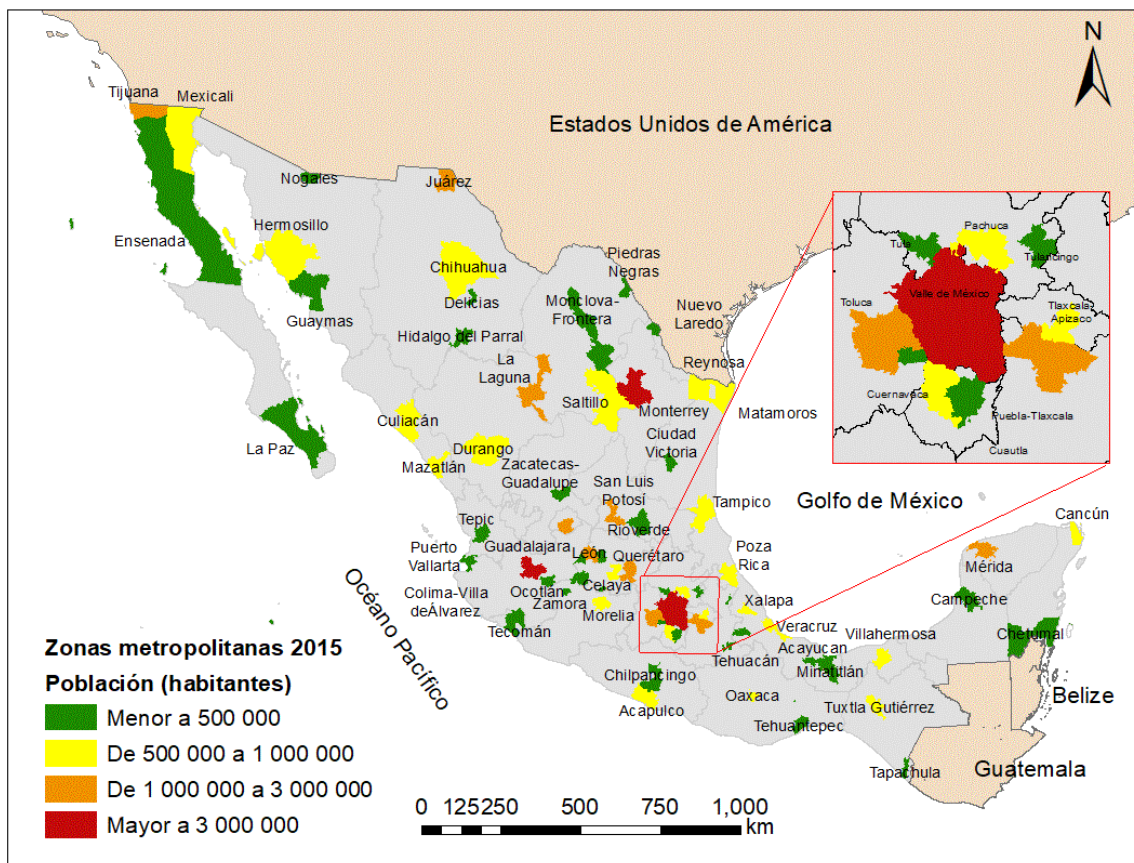


Figura 1.4 Zonas metropolitanas 2015. Fuente: CONAGUA, 2017.

El crecimiento acelerado de las ciudades, ha dado como resultados que éstas abarquen a más de un municipio. Este tipo de ciudades se denominan, zona metropolitana cuya población es mayor a 100 mil habitantes. En base a la encuesta



intercensal 2015 del INEGI, 74 zonas metropolitanas fueron definidas. La Comisión Nacional de Población determinó para el 2017, 62.57% de la población se encontraba en estas zonas metropolitanas; en el mismo año, se tenía estimado que aproximadamente el 40.63% de la población del país se concentraba en 15 zonas metropolitanas con una población mayor a un millón de habitantes (CONAGUA, 2018).

La distribución del agua renovable, de los principales asentamientos humanos y del PIB presentan variaciones importantes a lo ancho y largo del territorio nacional. En México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es el órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua, por lo que para desempeñar de menor manera esta labor, el territorio ha sido dividido en trece regiones hidrológico-administrativas (RHA) que abarcaban las 37 regiones

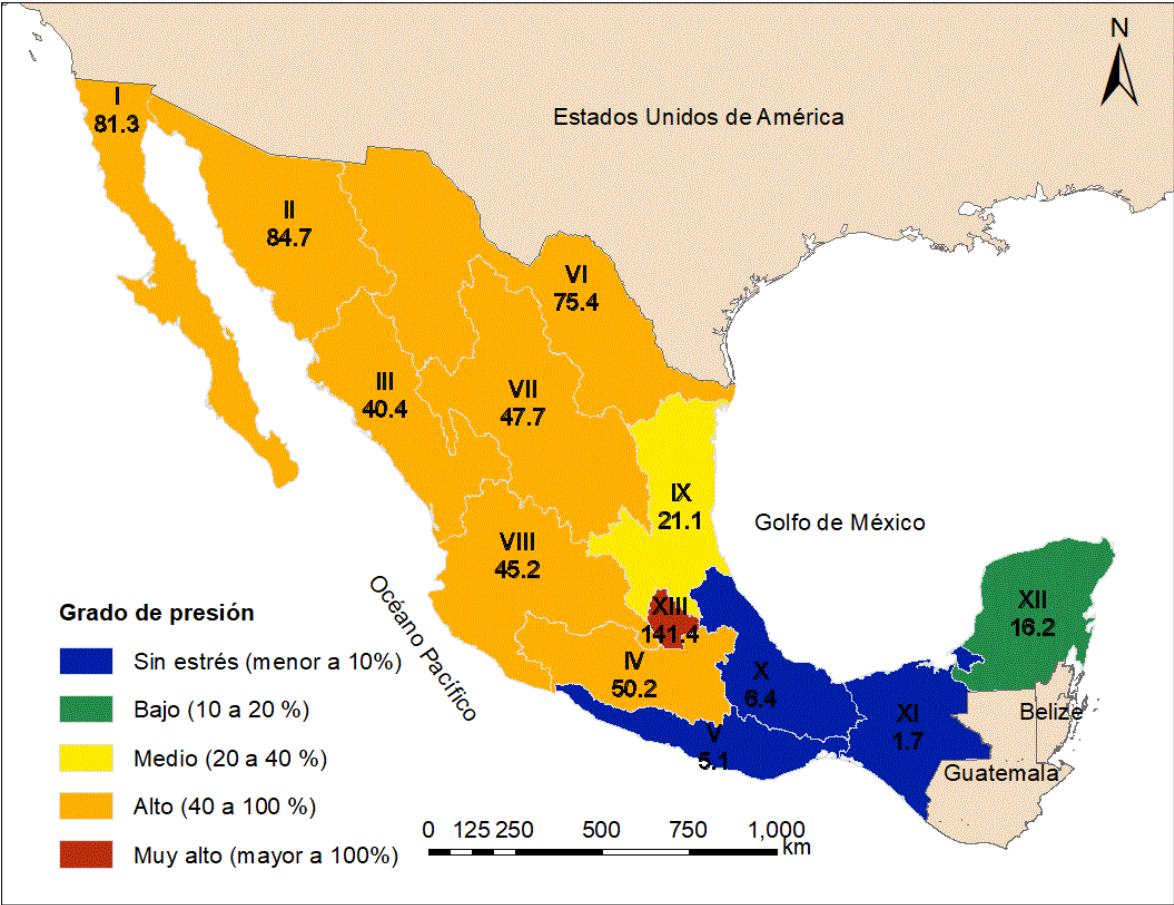


Figura 1.5 Grado de presión sobre recursos hídricos. Fuente: elaboración con datos de CONAGUA 2017

hidrológicas naturales. Las RHA del sureste presentan dos terceras partes del agua renovable del país con una quinta parte de la población que aporta la quinta parte

el PIB nacional, mientras que el resto del territorio cuenta con una tercera parte del agua renovable y cuatro quintos de la población que aporta el 80% del PIB nacional.

Esta circunstancia contribuye a que el porcentaje de estrés hídrico en el país sea muy variado. A nivel nacional se tiene un promedio de estrés hídrico del 19.5%, el cual es considerado de nivel bajo, no obstante, el centro, norte y noroeste del país padecen un estrés alto. En la Figura 1.5 se muestra este indicador en cada RHA de la república.

### 1.3.2. Agua renovable

Gleick (2002) define como agua renovable a la cantidad máxima factible de explotar anualmente en una zona, es decir, es el agua renovada por la lluvia y el agua que proviene de otras regiones, cuencas o incluso países. Ésta se determina de la suma del escurrimiento natural superficial, la recarga total anual de los acuíferos y de los flujos de entrada y salida de agua, desde y hacia otras regiones.

De los 1,449 km<sup>3</sup> de agua que caen sobre el territorio nacional en forma de precipitación, el 72.1% se evapora y regresa a la atmósfera, el 21.4 % escurre por la superficie en los ríos o arroyos y el 6.4% restante, se infiltra y recarga los acuíferos. Al completar el balance con las importaciones y exportaciones de agua de los países vecinos, el territorio mexicano cuenta con 451 km<sup>3</sup> de agua dulce renovable.

### 1.3.3. Clasificación de los usos del agua en México

El volumen de agua concesionado a los diferentes usuarios de aguas nacionales se lleva en el Registro Público de Derechos de Agua, donde se clasifican en diferentes rubros. Las principales clasificaciones son el uso consuntivo y no consuntivo, el primero se entiende como

El agua de uso consuntivo se refiere al volumen de agua de determinada calidad que se usó en alguna actividad específica, éste es la diferencia del volumen de cierta calidad de agua extraída menos el volumen de agua de otra calidad que es descargada (LAN)

El 76% del agua concesionada para uso consuntivo se destina para la agricultura, el 14% para el abastecimiento público, 5% para la generación de energía eléctrica en centrales termoeléctricas y el 5% restante en la industria. Sin embargo, el aprovechamiento del agua se limita por algunas situaciones



particulares: la distribución temporal, ya que la mayor parte de la lluvia ocurre en el verano; la distribución espacial, pues existen regiones con precipitación abundante con baja concentración de población, mientras en otras zonas ocurre lo opuesto; y la distribución de la población.

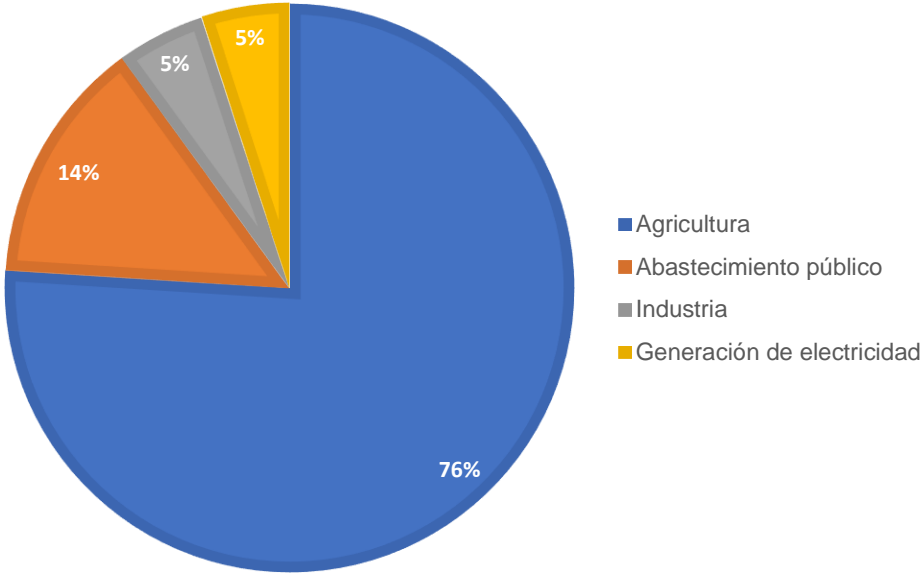


Figura 1.6 Distribución de usos de agua en México. Fuente: CONAGUA 2017.

Del total de agua empleada para uso consuntivo, el 61% proviene de fuentes superficiales, es decir, de ríos, arroyos y lagos, mientras que el 39% restante se extrae de fuentes subterráneas.

El 58% del agua para abastecimiento público se obtiene de fuentes subterránea, las cuales están divididas en 653 acuíferos, principalmente por fines administrativos, de los cuales para el año 2017 se reportaron 105 en calidad de sobreexplotados.

En párrafos anteriores se mencionó que la contaminación de las fuentes de agua es un factor que compromete la seguridad hídrica, debido a que se pone en riesgo la salud humana y el equilibrio del ambiente, de igual forma afecta la calidad de ésta, lo que impide que se pueda emplear para determinadas actividades o que requiera tratamientos especiales, lo que incrementa los costos.

La calidad del agua se ve alterada por diferentes factores, algunas veces por procesos naturales y otras por antropogénicos, entre ellos la sobreexplotación y la descarga de contaminantes, las cuales pueden ocurrir de manera difusa, por ejemplo, la infiltración de lixiviados de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos o industriales mal diseñados, por el uso indiscriminado de agroquímicos en

la agricultura, y de manera directa, por el vertido de aguas residuales sin tratamiento.

#### 1.3.4. Agua y pobreza

La carencia de agua y energía se ve como una limitante para el crecimiento económico y el desarrollo humano. En México la manera de medir la pobreza había sido desarrollada de manera unidimensional, tomando en cuenta solamente el ingreso como indicador del bienestar económico de la población, sin embargo, esta manera de ponderarla ha sido criticada, en base al argumento de que el concepto de pobreza es multidimensional, el cual no puede ser afrontado solamente con adquirir bienes y servicios que se ofrecen en el mercado, sino que también se asocia con el impedimento de gozar de servicios básicos, como el acceso al agua de buena calidad y el saneamiento, o a los servicios que forman parte esencial de los derechos humanos, económicos, sociales y culturales (CONEVAL, 2010).

La medición de la pobreza es un tema de gran complejidad, ya que incluso la falta de oportunidades o espacios para una auténtica participación en las decisiones que permitan un verdadero desarrollo, es una dimensión importante a tomar en cuenta.

En base a datos del CONEVAL al 2016 se estimó que 43.7% de la población nacional se ubica en situación de pobreza de los cuales, 9.4 millones de personas están en situación de pobreza extrema (CONEVAL, 2018).

Los impactos de la pobreza y sus características difieren mucho en el territorio rural y el urbano, a pesar de que ambas comparten carencias similares. El diseño de estrategias para afrontarla debe ser diferente en ambos territorios. La pobreza en las localidades urbanas afecta a poco más de 34 millones de personas de los 53 millones que viven en pobreza, lo que significa que poco más dos terceras partes de los pobres se encuentran en zonas urbanas (CONEVAL, 2019).

#### 1.4. El Derecho Humano a la Educación

El derecho a la educación se considera como derecho clave, ya que éste propicia el desarrollo integral de la persona, lo que le permitirá gozar de sus demás derechos humanos (Latapí, 2009), este derecho se contempla en un marco jurídico, tanto internacional como nacional, con énfasis en la accesibilidad y la disponibilidad

de los servicios de educación. Este se ha convertido en un punto de partida para promover y evaluar la obligación del Estado respecto a la educación.

Desde esta perspectiva se reconoce que no es suficiente contar con escuelas y docentes, sino que el Estado tiene la obligación de ofrecer un servicio educativo que propicie el aprendizaje de los estudiantes y se hagan valer el resto de sus derechos humanos, de igual manera es necesario que los planteles cuenten con los elementos adecuados y suficientes para respetar la dignidad de los estudiantes, por ejemplo, contar con las condiciones adecuadas en materia de seguridad e higiene (INEE, 2016).

El derecho a la educación se deja entrever en la legislación del Estado Mexicano en su Constitución Política, su artículo 3° establece que toda persona tiene derecho a la educación, y que el Estado debe garantizar que todos gocen del mismo. También se expresa en la Ley General de los Derechos de niños, niñas y adolescentes, dónde se enlistan, entre otros, el derecho a la educación de calidad que contribuya a su desarrollo integral, así mismo destaca el deber que tiene el Estado de garantizar la consecución de la misma, para lo cual deberá:

“...establecer las condiciones necesarias para fortalecer la calidad educativa, tales como la relevancia y pertinencia del currículo, la disposición de la infraestructura y equipamiento adecuados para el aprendizaje y para las prácticas de enseñanza, la evaluación docente, entre otras...” (Ley General de Derechos de Niños, 2019).

De igual modo, el tema de la equidad en la educación se aborda en la Ley General de la Educación, en su artículo 32 donde establece que “las autoridades educativas tomarán medidas tendientes a establecer condiciones que permitan el ejercicio pleno del derecho a la educación de calidad de cada individuo, una mayor equidad educativa, así como el logro de la efectiva igualdad en oportunidades de acceso, tránsito y permanencia en los servicios educativos” (Ley General de Educación, 2018).

El Plan Nacional de Desarrollo busca orientar las políticas y programas del gobierno durante la gestión del presidente a cargo. En ese documento traza los objetivos de las políticas públicas, y establece las acciones específicas para alcanzarlos.

El PND 2013-2018, propuso cinco metas nacionales y tres estrategias transversales para alcanzar el objetivo de llevar al país a su máximo potencial. Cada meta tiene sus propias líneas de acción para alcanzar tal meta. Las cinco metas nacionales fueron: 1) México en paz, 2) México incluyente, 3) México con educación de calidad, 4) México próspero y 5) México con responsabilidad social

El acceso a la educación se menciona en la meta 2, orientar los esfuerzos del Estado en este sentido, y asegurar el acceso a la población de otros servicios básicos que le permita a cada individuo desarrollarse de manera integral. También se aborda en la meta 3, México con educación de calidad, para alcanzar una sociedad más justa y próspera.

#### 1.5. Rol de la calidad de la infraestructura en el aprendizaje de los niños

Estudios realizados a partir de la eficacia escolar, evidencian que algunas características de la infraestructura influyen en el aprendizaje de los estudiantes principalmente en los países en vías de desarrollo; es decir, en contextos sociales en donde hay mayor desigualdad (Ruíz y Pérez, 2012). Algunos estudios con datos de América Latina, sugieren que mejores instalaciones y servicios públicos básicos (luz, agua potable, alcantarillado y teléfono) pueden crear mejores ambientes de enseñanza, más propicios para lograr los aprendizajes y reducir la brecha de aprendizaje asociada con la desigualdad social (Duarte et al., 2011).

Al mismo tiempo, los estudios contemporáneos sobre infraestructura escolar y calidad de la educación se orientan cada vez más a entender cómo los espacios físicos de aprendizaje producen condiciones y mediaciones que facilitan tanto los resultados académicos como el bienestar de los estudiantes (BID, 2017).

Miranda (2018) afirmar, que garantizar una infraestructura adecuada para todas las escuelas es un aspecto indispensable de la garantía del derecho a la educación; sin embargo, al no contar con una distribución equitativa, limita a aquellos estudiantes en situaciones más vulnerables y se acrecienta la brecha educativa entre los diferentes sectores de la sociedad.

Algunos autores han analizado los mecanismos causales del efecto de la infraestructura en el aprendizaje y han planteado dos tipos de influencia. La primera considera que la INFE tiene un rol motivador, sostienen que tanto los alumnos como los docentes tienden a experimentar una sensación de bienestar que los precondiciona a tener mejor actitud frente al aprendizaje y la enseñanza cuando se desenvuelven en un ambiente más agradable. Por otro lado, la segunda corresponde al tipo funcional, que opera de manera directa en facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje (Young, 2003, citado en Campana et al., 2014).

Si bien no existe una definición universalmente aceptada sobre escuelas verdes o escuelas sustentables, el Banco Interamericano de Desarrollo realizó una encuesta internacional y reveló algunos principios comunes, entre los que se destacan los siguientes: una escuela verde protege el ambiente, disminuye los

costos operativos, mejora la salud y la calidad del entorno de aprendizaje e integra las oportunidades de aprendizaje con el entorno construido.

Por otro lado, The Centre of Green School USGBC hace énfasis en las características generales a considerar para el diseño y construcción de escuelas verdes o sustentables (Dong-Xue, 2015):

- Conservación de la energía y recursos naturales.
- Mejorar la calidad del aire interior.
- Remover materiales tóxicos de los lugares donde los niños aprenden y juegan.
- Emplear estrategias para el aprovechamiento de la luz solar y mejorar la acústica de los salones.
- Bajar la demanda de agua potable de la red municipal.
- Mejorar la gestión de manejo de residuos en beneficio de la comunidad local y regional.
- Mantener en buen estado el agua potable y captación del agua pluvial.
- Fomentar la cultura del reciclaje.
- Promover protección de los hábitats.

El IDB enlista los beneficios de construir una escuela Sustentable (IDB, 2012):

- Se propicia el éxito escolar, ya que éste es la principal prioridad de un centro educativo, al construir espacios adecuados para el aprendizaje e involucrando y motivando a los alumnos.
- Se obtienen ahorros económicos al maximizar la eficiencia de los recursos empleados durante toda la vida útil del edificio. El consumo de energía eléctrica, por ejemplo, conlleva siempre a un costo importante donde igualmente se puede obtener un ahorro significativo al emplear luminarias más eficientes y mejor distribuidas en los espacios de trabajo, así como de igual modo aprovechar mejor la luz solar.
- Se motiva a la comunidad. Los edificios escolares son expresiones concretas de valores y representan una oportunidad única de involucrar a los alumnos y servirles de inspiración. Un edificio que ofrezca una activa gestión de la energía y programas de reducción de residuos, un diseño elegante y soluciones creativas para las cuestiones ambientales puede transformarse en una oportunidad de aprendizaje que haga partícipes e inspire a los alumnos demostrándoles que puede hacerse algo por nuestros problemas ambientales y energéticos, y los aliente a hacer algo más.
- Se fomenta en los niños una cultura de responsabilidad ambiental, ya que se les presentan acciones tangibles para mejorar la situación ambiental que se vive, enseñándoles también que el ser humano es parte del ecosistema y que nuestras acciones tienen un impacto positivo o negativo sobre la

naturaleza. Dependemos de la salud de los sistemas naturales para nuestro bienestar y, en última instancia, para nuestra supervivencia.

En 2012 se integró un comité de expertos para el establecimiento del “marco básico” de operación de las escuelas, el cual implica identificar las condiciones esenciales para considerar que el derecho a la educación de calidad y equidad se ejerce de manera aceptable, al igual que definir los criterios de evaluación para determinar en qué nivel se encuentran. Este marco es general para la educación obligatoria, incorpora siete ámbitos, cuatro de ellos son responsabilidad de las autoridades educativas y el resto de los centros educativos. Cada aspecto enlista diferentes condiciones mínimas necesarias por lograr su cometido. En la Tabla 1.2 se enlistan las dimensiones correspondientes a cada ámbito, dentro de los cuales se encuentra la INFE.

Tabla 1.2 Ámbitos y dimensiones del marco básico de operación de las escuelas.

| Ámbito   | Dimensiones   |
|--|---|
| Infraestructura para el bienestar y aprendizaje de los estudiantes | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Servicios básicos en el plantel</li> <li>• Espacios suficientes y accesibles</li> <li>• Condiciones básicas de seguridad e higiene</li> </ul>  |
| Mobiliario y equipo básico para la enseñanza y el aprendizaje      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mobiliario suficiente y adecuado</li> <li>• Equipamiento de apoyo para la enseñanza y aprendizaje</li> </ul>   |
| Material de apoyo educativo  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materiales curriculares existentes, libros de texto</li> <li>• Didácticos para implementación de currículo</li> </ul>  |
| Personal que labora en la escuela                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perfil profesional de directores y docentes de acuerdo a su función</li> <li>• Personal suficiente y que permanece durante el ciclo escolar</li> <li>• Oportunidades de actualización profesional en la escuela</li> </ul> |
| Gestión del aprendizaje  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso efectivo del tiempo para la implementación del currículo</li> <li>• Práctica docente orientada al aprendizaje</li> <li>• Estrategias de seguimiento y apoyo a la práctica docente y a los estudiantes</li> </ul>       |
| Organización escolar   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existencia del trabajo colegiado</li> <li>• Visión común de los docentes sobre la escuela</li> <li>• Participación de los padres de familia</li> <li>• Prácticas de admisión en la escuela</li> </ul>                      |

| Ámbito   | Dimensiones  |
|--|--|
| Convivencia escolar para el desarrollo personal y social | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relaciones interpersonales positivas</li> <li>• Prácticas de disciplina que respeten los derechos de los estudiantes y manejo pacífico de conflictos</li> <li>• Participación activa de los estudiantes</li> <li>• Prácticas de inclusión hacia los estudiantes de la escuela.</li> </ul> |

Fuente: INEE, 2015

Tomasevski (2004) propuso el esquema de las 4-A, por sus siglas en inglés (availability, accessibility, acceptability y adaptability), para evaluar el grado de cumplimiento del derecho a la educación al tiempo que reflejan las obligaciones del Estado como garante. La disponibilidad “significa que los gobiernos deben asegurar que haya educación gratuita y obligatoria para toda niña y niño en edad escolar, respetando los derechos de las minorías y de los indígenas; la accesibilidad se refiere a la obligación que tiene el Estado de brindar el servicio educativo sin obstáculos o discriminación; la aceptabilidad engloban el conjunto de criterios de calidad de los servicios educativos que van desde los relativos a la seguridad y la salud en la escuela, hasta las características con que debe funcionar para alcanzarse los fines educativos”; y la adaptabilidad implica que las escuelas se adapten a las características de los estudiantes o de sus contextos y no al contrario.

Cuando se construye un plantel con las condiciones adecuada que permita a los estudiantes realizar sus actividades escolares sin comprometer su seguridad, se garantiza el derecho a la educación desde la disponibilidad y la accesibilidad. La aceptabilidad y adaptabilidad se da cuando el diseño de la INFE contempla las características y necesidades físicas y educativas de los estudiantes,

La INFE desempeña un importante rol para garantizar la educación de calidad como derecho, sin embargo, las condiciones mínimas que debe cubrir no dependen solamente de las adecuaciones y mejoras hechas en el plantel, sino también de las condiciones de donde se ubica., por ejemplo, el estado de la INFE de comunidades rurales con alto rezago social es crítico (INEE, 2019).

A continuación, se presentan tres casos de escuelas que adoptaron con éxito medidas que les permitieron aprovechar el agua de una manera más eficiente:

La escuela primaria Chesswood, en el sur de Inglaterra, con población estudiantil de 480 niños en edades que van desde los 6 hasta los 13 años, y 43 adultos entre maestros y personal de mantenimiento. Se implementó un proyecto

en el año 2000 con el objetivo de verificar qué accesorios les permitirían usar de manera más eficiente el agua y generar ahorros (Rabab I. et al, 2019):

- Colocaron sensores en los sanitarios para evitar que descargue agua más de una vez por persona, evitaron el desperdicio por parte de los niños, en caso de que se pongan a jugar; esto les permitió ahorrar hasta un 68%.
- Se ajustó el caudal de los grifos, lo que les trajo un ahorro del 13%.
- Se colocaron recipientes dentro de los tanques de descarga de los WC, para disminuir la cantidad de agua requerida, lo que generó ahorros de entre el 3% y 6%.
- Colocaron un sistema de captación de agua de lluvia, la cual se utilizó para el riego de áreas verdes.

En general, con la implementación de estas medidas, obtuvieron ahorros de alrededor de un 73%, lo cual se tradujo en facturas más bajas, de alrededor de £3200 (Rabab I. et al, 2019).

Otro ejemplo, es la escuela primaria Beaumont, también en Inglaterra, que desde su diseño se contemplaron elementos que permitirán consumir menos agua. Su diseño incluyó la captación de agua de lluvia, que se almacena en una cisterna subterránea, la cual es bombeada para usarse en la descarga de baños y para el riego de áreas verdes. El aprovechamiento del agua de lluvia representó el 37% del agua requerida en todo el año. El hecho de contar con este tipo de sistemas dentro del plantel, permitió que se inculcara de manera palpable una conciencia del uso eficiente del agua en los estudiantes, que tomaban datos del agua captada para ejercicios prácticos en clases de ciencias y matemáticas (Rabab I. et al, 2019).

Otro de los casos a mencionar, es el de la escuela Sidwell Friends, ubicada en Tenley, Washington, D.C., en Estados Unidos, su construcción concluyó en 2006, y la gestión integral del agua fue el principal elemento en el diseño de este plantel. Cuenta con un humedal artificial que depara las aguas residuales, además de ser aprovechado para impartir clases de biología, química y medio ambiente. El agua residual tratada es empleada para la descarga en baños y para un sistema de enfriamiento, lo que les generó un ahorro del 93% de agua que no demandan de la red municipal (Rabab I. et al, 2019 ).



## CÁPITULO 2. Marco legal del recurso hídrico en México

México se ha comprometido a cumplir con las agendas internacionales en varios temas, por lo cual se han tenido que definir los esquemas nacionales que permitan la ejecución de tales agendas en el interior del país, las cuales tiene grandes retos, mismas que deber cumplir con la normativa vigente.

### 2.1. Marco normativo en materia de INFE

México cuenta con un marco normativo que busca impulsar la mejora educativa a través de la INFE de calidad. En párrafos anteriores se citó un fragmento del artículo 3° constitucional sobre el derecho a la educación y ahora resaltaremos la obligación que tiene el Estado de garantizar tal calidad en la educación obligatoria y de proporcionar los materiales y métodos educativos, la organización escolar, la infraestructura educativa para el alcance de esta garantía.

En 2008 se decretó la Ley de General de Infraestructura Física Educativa (LGIFE), con el objetivo de establecer los lineamientos generales para la construcción, equipamiento, mantenimiento y habilitación de INFE. En esta ley se define la infraestructura física educativa como:

“los muebles e inmuebles destinados a la educación impartida por el Estado y los particulares con autorización o con reconocimiento de validez oficial de estudios, en el marco del sistema educativo nacional, en términos de la Ley General de Educación, así como a los servicios e instalaciones necesarios para su correcta operación” (LGIFE, 2014: 2)

En esta ley se enlistan una serie de requisitos que debe cumplir la INFE, como lo son, “calidad, seguridad, funcionalidad, oportunidad, equidad, sustentabilidad, pertinencia y oferta suficiente de agua potable para consumo humano. De igual manera, a partir del 2014 se reformo un apartado de la ley en el que se menciona que, en los programas o proyectos de construcción, rehabilitación, equipamiento, mantenimiento de la INFE debe garantizar la existencia de bebederos con suministro constante de agua potable, asegurar que se implementen sistemas y tecnologías sostenibles, al igual que cumplir con las disposiciones de la Ley General para la Inclusión de Personas con Discapacidad.

En base a la LGIFE se creó el Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa (INIFED) como un organismo público autónomo descentralizado de la Administración Pública Federal, con el objetivo de fungir como un organismo con capacidad normativa, de consultoría y certificación de la calidad de la INFE del país. Este organismo tiene la responsabilidad de emitir normas y especificaciones

técnicas para proyectos referentes a la construcción, equipamiento, mantenimiento, rehabilitación, reforzamiento, reconstrucción, reconversión y habilitación de la INFE, así como llevar a cabo la supervisión de las mismas, por esta razón cualquier elemento o modificación realizada en los planteles, debe ser autorizada por el instituto. Así mismo, se le otorgó la facultad para de crear un sistema de información del estado físico de la INFE; formular y proponer programas de inversión para la construcción, mantenimiento, equipamiento, entre otros, de los espacios destinados a la educación que imparta el Estado.

Dentro de las estrategias del Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, se consideró que, para alcanzar mejores niveles de educación, es necesario asegurar que la INFE disponga de los servicios básicos y el equipamiento adecuado que permita cubrir adecuadamente los planes y programas de estudio.

El fortalecimiento de la calidad de la INFE del país se ha impulsado a través de 12 intervenciones, entre programas, estrategias y fondos, donde concurren diferentes órdenes de gobierno e instituciones, orientadas a la construcción, rehabilitación y equipamiento de los espacios educativos (INEE, 2019).

Tabla 2.1 Principales programas y acciones para la atención de la INFE, 2019.

| Programas  | Unidad responsable           |
|--|------------------------------|
| Fondo de Aportaciones Múltiples  | AEL                          |
| Programa Escuelas al CIEN  | INIFED y AEL                 |
| Programa de INFE   | INIFED                       |
| Programa Escuelas de Tiempo Completo                                       | DGDGE                        |
| Programa para la Inclusión y Equidad Educativa                             | DGDC, DGEI y SEMS (SEP)      |
| Programa de la Reforma Educativa,  | INIFED y DGDGE (SEP)         |
| Programa de Expansión de la Oferta Educativa de EMS y Superior             | SEMS (SEP)                   |
| Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social                       |                              |
| Programas regionales   | Gobierno estatal y municipal |
| Proyectos de Desarrollo Regional   |                              |
| Fondo Regional   |                              |
| Fondo de Aportaciones para el Fortalecimiento de las Entidades Federativas | Gobierno estatal             |

Glosarios: Autoridad educativa local (AEL), Dirección General de Desarrollo de la Gestión Educativa (DGDGE), Dirección General de Desarrollo Curricular (DGDC), Dirección General de Educación Indígena (DGEI). Fuente: INEE. 2019.

El fondo de aportaciones múltiples y el programa de escuelas al CIEN abordan directamente el tema de infraestructura física educativa. El Fondo de Aportaciones Múltiples se creó con el objetivo de financiar la construcción, rehabilitación y equipamiento de INFE de educación básica, entre otras, en este programa las escuelas son elegidas por las autoridades locales educativas en base a diagnósticos. El Programa Escuelas al CIEN, busca mejorar la calidad de los planteles de educación básica del país, principalmente los localizados en zonas más desfavorables, el programa contempla la intervención en ocho componentes: I) seguridad estructural y sus condiciones generales de funcionamiento; II) servicios sanitarios; III) bebederos y agua potable; IV) mobiliario y equipo; V) accesibilidad; VI) áreas de servicios administrativos; VII) infraestructura para la conectividad; y VIII) espacios de usos múltiples, los cuales permitirán que la "comunidad escolar" cuente con instalaciones dignas y pertinentes para la impartición de la educación.

A pesar de que se han desarrollado varios programas y estrategias para atender de manera directa o indirecta las carencias y necesidades de infraestructura, no se ha logrado potenciar los efectos positivos, ya que la intervención de tal diversidad de dependencias, impide que exista uniformidad en los objetivos, en las unidades responsables y en los criterios de selección.

En este contexto de desarticulación institucional, aun cuando la mayoría de estas acciones apunta hacia la mejora de la INFE, existen áreas críticas que dificultan avanzar de manera más consistente en la materia. Entre ellas destacan las siguientes (INEE.2019):

- Ausencia de una estrategia de mantenimiento oportuna y equitativa, lo que provoca que los padres de familia inviertan tiempo y recursos en este rubro, principalmente en localidades de rezago social alto.
- Desarticulación entre las tendencias de desarrollo pedagógico y el diseño de espacios educativos, lo que se explica porque los diseños arquitectónicos no están alineados a nuevos modelos pedagógicos, lo cual dificulta la promoción de nuevas habilidades en los estudiantes.
- Asimismo, las diferentes perspectivas y la falta de comunicación y coordinación entre funcionarios encargados del desarrollo pedagógico y aquellos dedicados al desarrollo de la INFE han abonado a esta disociación. Se suma a ello, la escasa consideración de los intereses y necesidades de los integrantes de las comunidades educativas en los proyectos de INFE.
- Insuficiencia de recursos económicos para la mejora de la INFE, así como escasa eficiencia y transparencia en su aplicación.

El INIFED determinó los lineamientos para un Programa Nacional de Certificación de la INFE. Con este programa se plasma que el Estado reconoce que la INFE requiere cumplir con determinados requisitos de calidad, funcionalidad, seguridad, oportunidad, equidad, sustentabilidad que le permitan definir su vocación como espacios educativos idóneos, adecuados y pertinentes.

Dentro de los lineamientos que se marcan para el cumplimiento y obtención de un certificado de calidad de la INFE, se debe dar cumplimiento a una serie de Normas Mexicanas, que son evaluadas mediante la aplicación de instrumentos diseñados por el propio INIFED, como la NMX-R-003-SCFI-2011 "Escuelas-Selección del Terreno para Construcción-Requisitos"; la NMX-R-021-SCFI-2013 "Escuelas-Calidad de la Infraestructura Física Educativa-Requisitos" y la NMX-R-024-SCFI-2009 "Escuelas-Supervisión de Obra de la Infraestructura Física Educativa-Requisitos".

El tipo y vigencia de la certificación que se le puede otorgar a la INFE se señalan en la NMX-R-021-SCFI-2013 y en el Reglamento de la Ley General de la Infraestructura Física Educativa, enlistados en la Tabla 2.2.

El 45% de los planteles de educación básica del país no cuentan con drenaje y 20% carecen de red de agua potable (INEE, 2019) a pesar de contar con la infraestructura formalmente adecuada, es decir, desde este criterio, se puede clasificar como “esencial” pero carecer del recurso necesario para su buen funcionamiento, por ejemplo, el agua.

Tabla 2.2 Clasificación de la INFE por nivel de operación.

| Tipo de certificado | Definición   | Vigencia |
|---------------------|--|----------|
| Esencial            | Es aquella que cuenta con los locales mínimos necesarios para las actividades curriculares, así como las instalaciones sanitarias básicas, cuyo estado asegura la integridad física de la comunidad educativa y el adecuado funcionamiento de la INFE  | 2 años   |
| Funcional           | Es aquella que cubre los aspectos señalados en el tipo esencial y presenta áreas complementarias para su quehacer académico. Los planteles deberán de contar con el equipamiento acorde a los avances pedagógicos y tecnológicos, además de garantizar su operación mediante acciones programadas de mantenimiento | 3 años   |
| Sustentable         | Es aquella que cumple con los aspectos señalados en el tipo funcional, pero incorpora en su operación programas de conservación del medio ambiente como serán: ahorro  | 5 años   |

| Tipo de certificado | Definición   | Vigencia |
|---------------------|--|----------|
|                     | de energía y agua; manejo de residuos sólidos, entre otros |          |

Fuente: MX-R-021-SCFI-2013

La carencia de agua en las escuelas revela que el derecho a una educación de calidad con equidad no está asegurado, principalmente en zonas pobres. Por ello es conveniente buscar que la infraestructura permita aprovechar los recursos naturales, por lo que captación de agua de lluvia y el tratamiento in-situ de las aguas residuales, son una buena alternativa.

### 2.1.1. Programa de escuela verde

En México durante el 2012 la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) en coordinación con la Secretaria de Educación Pública (SEP) lanzó el programa de certificación ambiental de escuelas llamado “Escuelas Verdes”, con el que se buscaba reconocer las acciones que organizara la comunidad escolar para mejorar el desempeño ambiental y contribuir a un mejor medio ambiente de manera cotidiana. El propósito del programa fue promover que las escuelas de educación básica impulsaran acciones integrales de gestión ambiental con la participación de la comunidad educativa, para contribuir a disminuir su impacto en el ambiente y al desarrollo de una ciudadanía ambientalmente responsable.

En este programa definieron la educación ambiental como un proceso formativo a lo largo de la educación básica y en distintos espacios comunitarios que tienen una orientación pedagógica, ética y política, proporciona elementos teóricos y prácticos, y contribuye a modificar actitudes, elevar la comprensión y enriquecer el comportamiento de cada comunidad educativa en su relación con el ambiente.

El plantel que quisiera participar debía elaborar una carta compromiso y un Programa de Acción Ambiental Escolar y registrar avances, mínimo cada dos meses durante el ciclo escolar. Las actividades del Programa de acción debían impulsaran alguna de las siguientes líneas de acción (SEMARNAT.2013):

1. Educación ambiental: actualización de maestros, utilización de libros de texto y materiales educativos complementarios, así como actividades de educación no formal y comunicación educativa articuladas con los programas de estudio.

2. Manejo de residuos sólidos: manejo y reducción de residuos sólidos generados en la escuela.
3. Eficiencia en el consumo de agua: consumo y manejo eficiente del agua en la escuela y acciones adicionales con la comunidad educativa.
4. Eficiencia en el consumo de electricidad: reducción y uso eficiente del consumo eléctrico del plantel escolar.
5. Acciones ambientales comunitarias: acciones de mejoramiento ambiental con la participación de las madres y padres de familia y/o o municipios y/u organizaciones de la sociedad civil, tales como cuidados y establecimiento de áreas verdes en las zonas de influencia de la comunidad educativa, acciones de limpieza de áreas contaminadas o campañas en los hogares que promuevan el cuidado del ambiente y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales.

El nivel de certificación que las escuelas podrían acreditar, estaba en función del desempeño que tuvieran respecto a las líneas de acción enlistadas anteriormente. Estos niveles se muestran en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Niveles de certificación.

| Nivel                         | % de avance | Acompañamiento   |
|-------------------------------|-------------|--|
| Escuela verde Nivel uno       | 20 al 35%   | Realizado el diagnóstico y el Programa de Acción Ambiental   |
| Escuela verde Nivel dos       | 36 a 65%    | Realizado el diagnóstico y operando, registrando y documentando el Programa de Acción Ambiental, reportando avances y evidencias en al menos dos líneas de acción  |
| Escuela verde Nivel tres      | 66 a 85%    | Realizado el diagnóstico y operando, registrando y documentando el Programa de Acción Ambiental reportando avances y evidencias en cuatro líneas de acción   |
| Escuela verde Líder ambiental | 86 a 100%   | Realizado el diagnóstico y operando, registrando y documentando el Programa de Acción Ambiental, que tenga un alto nivel de consolidación al interior de la escuela y con la comunidad escolar, reportando avances y evidencias significativas en todas líneas de acción |

Fuente: SEMATNAT, 2013.

El programa comenzó a operar en fase piloto en el ciclo escolar 2011-2012. A nivel nacional 1214 escuelas recibieron la acreditación de Escuela Verde (De

León, 2014). Lamentablemente no se tiene evidencia de cuales fueron los resultados de este programa, ni las razones por las cuales dejo de operar, ya que en los sitios de estas dependencias no hay información al respecto.

Por otro lado, existen organizaciones de la sociedad civil que trabajan en escuelas para lograr el desarrollo sostenible. En la Ciudad de México la asociación Escuelas Sustentables A.C., tiene el objetivo de promover, impulsar, desarrollar, construir e instrumentar un desarrollo sustentable que garantice el respeto al medio ambiente, sea habitable, seguro y de calidad, en planteles escolares y su entorno en todos los niveles educativos públicos y privados. Esta asociación sólo ha trabajado en planteles públicos de comunidades rurales.

## 2.2. Marco normativo mexicano en materia del agua

El tema del agua se abordó en el PND 2013-2018, en la meta 2, un México incluyente en el sentido de que las acciones del estado se deberían enfocar en garantizar que los derechos sociales sean efectivos a través del acceso a servicios básicos que permitan el pleno desarrollo del individuo, entre estos se encuentran: acceso a agua potable, drenaje, saneamiento, electricidad, seguridad social, educación, alimentación y vivienda digna. La meta 4, un México próspero, orienta sus estrategias hacia la implementación de un manejo sostenible del agua para que todos los mexicanos gocen de este recurso.

Derivado del PND 2013-2018 y del programa sectorial de medio ambiente 2013-2018, se desarrolló el Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018 como documento rector de la política hídrica en el país con el objetivo de lograr la seguridad y la sostenibilidad hídrica de México, a través de cinco ejes rectores: 1) el agua como elemento integrador de los mexicanos; 2) el agua como elemento de justicia social; 3) sociedad informada y participativa para desarrollar una cultura del agua; 4) el agua como promotor del desarrollo sustentable y 5) México como referente mundial en el tema del agua, y alineados a ordenamientos legales, como la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Planeación, la Ley de Aguas Nacionales, entre otras.

La gestión del agua se ha institucionalizado desde el siglo pasado, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es el órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la dicha tarea, sin embargo, la falta de armonía entre las políticas públicas, mengua la confianza de la sociedad en las instituciones del sector y genera impactos ambientales negativos, que repercuten en la calidad de los recursos hídricos (PNH 2014-2018).

Las crecientes demandas de agua, han provocado que en algunas cuencas del país se desarrollen conflictos entre los diferentes usuarios lo que provoca inestabilidad social, económica y política. En el artículo 14 BIS de la Ley de Aguas Nacionales, se establece como base de la política hídrica nacional la gestión integrada de recursos hídricos por cuenca hidrológica. Se reconoce la participación de la sociedad a través de los consejos de cuenca, como órganos colegiados, para lograr la adecuada gestión de los recursos hídricos. Estos consejos de cuenca se integran por cuatro órganos para su funcionamiento: la asamblea general de usuarios, un comité directivo, una comisión de operación y vigilancia y la gerencia operativa.

En la Ley de Aguas Nacionales se establecen los principios que deben regir a la política hídrica del país, algunos de estos principios son:

- El agua como bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social, económico y ambiental, cuya preservación en cantidad y calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del Estado y la Sociedad, así como prioridad y asunto de seguridad nacional.
- La gestión de los recursos hídricos se llevará a cabo en forma descentralizada e integrada privilegiando la acción directa y las decisiones por parte de los actores locales y por cuenca hidrológica.
- Los estados, Distrito Federal, municipios, consejos de cuenca, organizaciones de usuarios y de la sociedad, organismos de cuenca y “la Comisión”, son elementos básicos en la descentralización de la gestión de los recursos hídricos.
- El aprovechamiento del agua debe realizarse con eficiencia y debe promoverse su reúso y recirculación.
- La participación informada y responsable de la sociedad, es la base para la mejor gestión de los recursos hídricos y particularmente para su conservación; por tanto, es esencial la educación ambiental.

En el 2008 se lanzó un programa para incentivar el desarrollo organizacional de los Consejos de Cuenca, ya que, en un ejercicio previo de planeación estratégica, se había identificado que éstos no estaban contribuyendo como se esperaba a la gestión integral de recursos hídricos.

La participación ciudadana es muy importante en la gestión integral de los recursos hídricos, sin embargo, no se da de manera espontánea, hay otros ámbitos en los que se debe trabajar previamente para llegar a ella.

En el PNH se enfatiza la necesidad de continuar con la búsqueda de sinergia interinstitucional y romper con el paradigma del paternalismo gubernamental para



lograr soluciones que contribuyan al bien colectivo, y así alcanzar la seguridad hídrica.

Las estrategias y líneas de acción del PNH 2014-2018 se plantearon para alcanzar 6 objetivos:

- Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua, a través de:
  - Ordenar y regular los usos del agua en cuencas y acuíferos
  - Ordenar la explotación y el aprovechamiento de aguas en cuencas y acuíferos
  - Modernizar e incrementar la medición del ciclo hidrológico
  - Mejorar la calidad del agua en cuencas y acuíferos
  - Fortalecer la gobernanza del agua
  - Mejorar la organización de los Consejos de Cuenca
  - Fortalecer la participación de academia y ONG's en la administración del agua
  - Fortalecer la gobernabilidad del agua
  - Adecuar el marco jurídico vigente
  - Aumentar la vigilancia de extracciones y vertidos
  - Promover el pago de servicios ambientales para conservación de RH
- Incrementar la seguridad hídrica ante sequía e inundaciones
  - Proteger e incrementar la resiliencia de zonas de riesgo
  - Reducir la vulnerabilidad a los efectos de cambio climático
- Fortalecer el abastecimiento de agua y el acceso a los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento
  - Incrementar la cobertura de servicios de agua potable y alcantarillado
  - Mejorar las eficiencias de los servicios de agua de los municipios
  - Promover la aplicación de equipos de bajo consumo en abastecimiento público, industrias y servicios
  - Sanear las AR municipales e industriales con enfoque integral de cuenca y acuífero
  - Promover proyectos que contribuyan a mitigar el hambre
  - Promover los instrumentos que den certeza jurídica para garantizar el DH al acceso al agua
- Incrementar las capacidades técnicas, científicas y tecnológicas del sector
  - Fomentar la educación y conocimiento hídrico de la población para contribuir en la formación de una cultura del agua
  - Impulsar la educación continua y certificación de los actores de sector hídrico
  - Impulsar la investigación científica y el desarrollo tecnológico para el logro de los objetivos del sector

- Generar y proveer información sobre el agua
- Asegurar el agua para el riego agrícola, energía, industria, turismo y otras actividades económicas de manera sostenible
  - Mejorar la productividad del agua en la agricultura
  - Utilizar de manera sostenible el agua para impulsar el desarrollo en zonas con disponibilidad.
- Consolidar la participación de México en el contexto internacional de materia de agua
  - Fortalecer la cooperación internacional para el desarrollo
  - Consolidar la participación del sector hídrico mexicano en el diálogo político internacional
  - Fortalecer la relación con los países vecinos para mejorar la gestión transfronteriza del agua

El sistema mexicano cuenta con una serie regulaciones técnicas que son emitidas por Dependencias de la administración pública federal, las Normas Oficiales Mexicanas, éstas son de observancia obligatoria, dentro de ellas se establecen reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación

La CONAGUA es la encargada de elaborar las normas oficiales mexicanas en el sector hídrico sobre la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas, a fin de garantizar el derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.

## CÁPITULO 3. El recurso hídrico en el contexto de la sostenibilidad

El agua es un recurso que está en el centro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo de muchas de las actividades humanas, de ser mal gestionado se vuelve un recurso no renovable.

### 3.1. Ciclo hidrológico urbano

Para comprender de mejor la distribución y disponibilidad de los recursos hídricos a través del espacio y el tiempo, es necesario entender el ciclo hidrológico, como el proceso de circulación del agua a través de los diferentes componentes de la hidrósfera y como el medio por el que el agua dulce se renueva constantemente. Como se sabe, un ciclo no tiene principio ni fin, por lo tanto, describir este ciclo se puede comenzar por cualquier punto.

En este trabajo se toma como inicio cuando la radiación solar provoca el calentamiento de la superficie terrestre, lo que favorece la evaporación del agua que se encuentre sobre ella o muy cerca, gracias a las propiedades termodinámicas del agua, no es necesario que se alcance la temperatura de ebullición (100 °C a 1 atmosfera de presión) para lograr este cambio de estado. El vapor de agua es transportado por el viento a través de la atmosfera en forma de nubes hacia las masas continentales hasta que se condensa y precipita sobre la superficie, ya sea en forma de lluvia, nieve o granizo. Durante la precipitación, una fracción puede volver a evaporarse y pasar a la atmósfera, otra interceptada por la vegetación, y el resto que alcanza la superficie terrestre, fluye por corrientes hasta grandes cuerpos de agua, como lagos y presas, o retorna a los océanos. Otra parte del agua logra infiltrarse en el subsuelo y vuelve a la atmosfera por medio de la evapotranspiración de las plantas, el resto, fluye por debajo de la superficie a través de corrientes subterráneas hasta llegar al mar u otros cuerpos de agua, o se dirige a grandes depósitos subterráneos que posteriormente llegan a aflorar en manantiales, ríos o en el mar (Aparicio, 1992).

Campos (2010) afirma que los principales componentes del ciclo hidrológico natural se mantienen sin alteración, a pesar de la intervención humana, pero en las áreas urbanas, dichas intervenciones generan alteraciones de tal forma que se habla de un ciclo hidrológico urbano.

El ciclo hidrológico urbano es más complejo a causa de las influencias e intervenciones de humano. Los componentes de este ciclo son: 1) la fuente de agua, dividida principalmente en la precipitación y el abastecimiento de las alcaldías, que

hoy día es común que se importe agua desde fuera de la ciudad, incluso, desde otras cuencas; 2) el sistema de distribución, dónde ocurren grandes pérdidas por fugas de modo que retorna a las fuentes subterráneas y 3) las aguas residuales, que después de ser aprovechadas, en el mejor de los casos, reciben algún tratamiento para volver a las aguas superficiales y/o subterráneas. La precipitación dada en áreas urbanas está sujeta a pérdidas hidrológicas por evaporación, almacenamiento en depresiones y por intercepción de la vegetación, sin embargo, la fracción que llega a formar escurrimientos, típicamente es conducida por sistemas de drenaje para ser evacuada lo más rápido posible del área urbana (Figura 3.1).

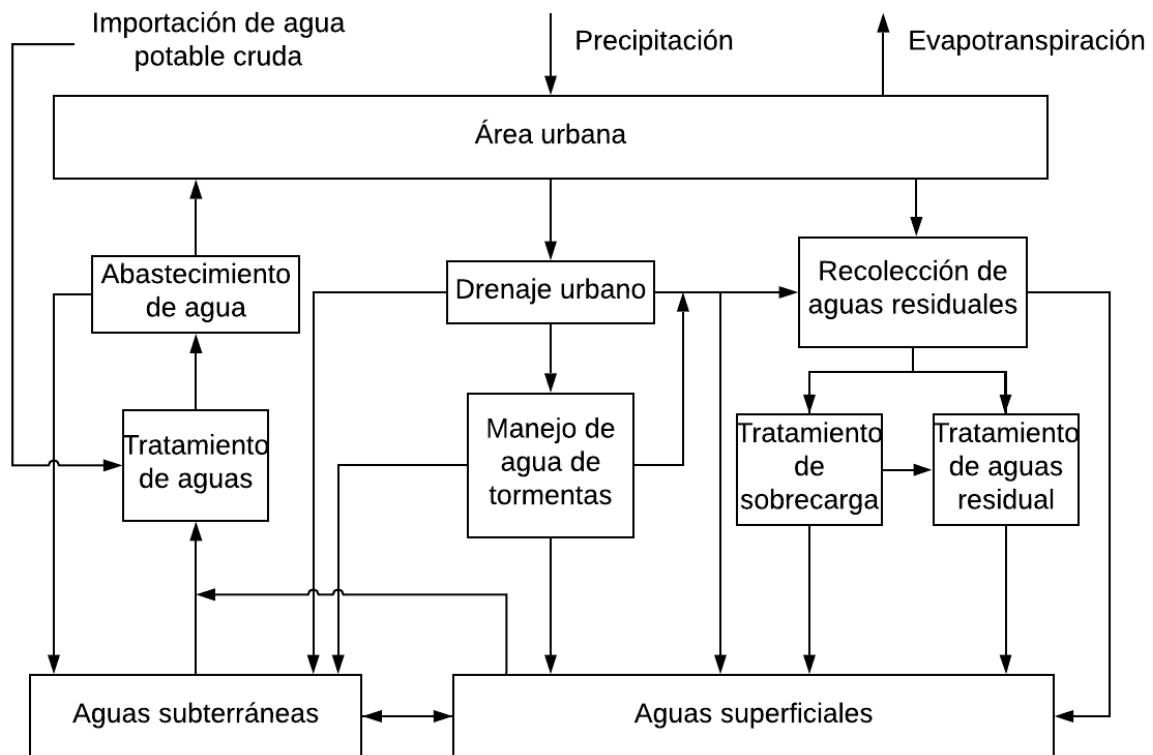


Figura 3.1 Principales componentes del ciclo hidrológico urbano Fuente: Campos, 2010.

Por otro lado, cabe mencionar, que el concepto del nexus agua-energía-alimentos ha tomado fuerza en los últimos años alrededor del mundo debido a que la humanidad se ha cuestionado cómo satisfacer los requerimientos de agua, energía y alimentos frente a un planeta con recursos naturales limitados y cada día más degradados, y ante una población que sigue creciendo. Tal situación ha permitido dejar de ver la gestión del agua, la producción de alimentos y el acceso a la energía de manera aislada y adoptar un pensamiento sistémico que permita ver la problemática de manera más sostenible e integral (Bazilian et al., 2011).

El enfoque del nexus entre el agua, la energía y los alimentos, depende desde la perspectiva de la parte interesada, si lo vemos desde la perspectiva del agua, entonces, los sistemas energéticos y de alimentos son usuarios de este recurso; desde la perspectiva de los alimentos, el agua y la energía, son insumos; y desde la perspectiva de la energía, el agua se considera un insumo y los alimentos un producto. Por supuesto que, para la distribución de agua y alimentos se requiere grandes cantidades de energía, lo mismo que para purificar el agua, así como darle tratamiento una vez que pasa a ser agua residual (Bazilian et al., 2011).

### 3.2. Alternativas para el ahorro de agua

Debido a los múltiples factores que influyen para alcanzar la seguridad hídrica, Díaz (2017) considera imprescindible generar técnicas que permitan un manejo más eficiente del recurso hídrico y que al mismo tiempo sensibilice e informe a la población para que pueda tener una participación más activa sobre los aspectos referentes al desarrollo de su entorno.

Toledo (2002), nos menciona que muchas de las soluciones propuestas para hacer frente a los problemas del agua, se enfocan por el lado de la oferta, es decir, se asume que el déficit de agua siempre se puede tomar del ciclo hidrológico mediante la construcción de infraestructura física, cada vez más compleja, la cual requiere de inversiones estratosféricas que muchos países pobres no tienen. Esta manera tradicional de pensar la solución a los problemas relacionados con el abasto del agua ha demostrado ser ecológica, económica y socialmente insostenible y debe cambiar por el bien de la humanidad, por lo que es necesario encontrar una manera novedosa y creativa de pensar las soluciones a los problemas del agua.

#### 3.2.1. Mobiliarios adecuados y eficientes

La problemática que se ha tenido en el Valle de México para dotar de agua a su población, la cual cada vez se obtenía de fuentes más lejanas, permitió que el departamento de lo que fue el Distrito Federal, a través de la Dirección de Construcción y operaciones hidráulicas y de la Secretaría de obras, se esforzaran por encontrar la manera de disminuir el consumo de los usuarios sin detrimento de su calidad de vida ni de sus actividades productivas. La estrategia se llevó a cabo a través del Programa de Uso Eficiente del Agua (PUEDA) en el DF, que consistió en sustituir muebles sanitarios de alto consumo por mobiliario de máximo 6 litros por descarga y la instalación de dispositivos y accesorios ahorradores.

Se realizó una prueba piloto en la Delegación Benito Juárez con la instalación de 4500 paquetes de bajo consumo en edificios públicos, escuelas, mercados, casas habitación y obtuvieron ahorros en el consumo de agua de aproximadamente el 30% (DGCOH, 1991).

Otro tipo de dispositivo que es muy usado en edificios públicos y privados, y en escuelas son los mingitorios, los cuales generalmente requieren de 4.8 litros de agua por descarga. Afortunadamente ya existen mingitorios secos, los cuales no requieren de agua para evacuar los líquidos y cuentan con una válvula especial que permite desalojar los líquidos al tiempo que impide que se regresen los gases causantes de olores desagradables (Picos, 2009).

### 3.2.2. Sistemas de captación del agua de lluvia

A lo largo de la historia de la humanidad se han desarrollado diferentes técnicas para la captación de agua de lluvia, las aguas superficiales fueron las principales fuentes de abastecimiento de las grandes civilizaciones agrícolas, por ejemplo.

Toda obra, procedimiento técnico o práctica que permita incrementar la disponibilidad de agua en un territorio determinado, se puede considerar como técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, generalmente, estas técnicas consisten en mejorar el manejo de suelos y agua, el manejo de cultivos y animales, al igual que la construcción y manejo de obras que permiten captar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia (FAO, 2013).

La FAO agrupa estas técnicas en diferentes modalidades de captación de agua de lluvia: microcaptación, macrocaptación, derivación de manantiales y cauces de agua, cosecha de agua en superficies impermeables y captación de aguas atmosférica, a continuación, se da una breve explicación de cada una de ellas.

La microcaptación básicamente consiste en captar la escorrentía que se da dentro de terrenos de cultivo y en terrenos aledaños con el fin de lograr la mayor infiltración del agua y que sea aprovechada por los cultivos.

La técnica de la macrocaptación consiste en captar la escorrentía de terrenos más extensos que en la microcaptación y que además se encuentran aparte de las áreas de cultivo, esta técnica es un poco más complicada que la anterior, debido que esta es considerada como el área de cosecha de agua, por lo que debe incorporar infraestructura que permita conducir el agua al área de cultivo y que,

además, se pueda controlar su flujo, esta técnica es más empleada en regiones áridas.

Derivaciones de manantiales y curso de agua, esta técnica consiste en aprovechar las corrientes de agua, como ríos y arroyos, no solo para riego de cultivo, sino incluso para consumo doméstico.

La captación de agua atmosférica se da solo en condiciones específicas de clima y orografía para que sea factible la captura y aprovechamiento de la humedad en forma de niebla.

La cosecha de agua de superficies impermeables es la forma más conocida de aprovechamiento de agua de lluvia, principalmente consiste en captar la escorrentía que se genera en superficies impermeables como los techos de las viviendas, patios de concreto, puede ser empleada para diferentes usos como para consumo de animales, producción vegetal, consumo doméstico, entre otros gracias a que estas superficies permiten obtener agua de mejor calidad. En este trabajo se hace referencia a esta técnica, cuando se hable de sistemas de captación de agua de lluvia.

Ballén *et al* (2006) en su documento, “Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia”, describe varios sistemas empleados por grandes civilizaciones del pasado para captar y aprovechar el agua de lluvia, algunos de éstos datan de más de 4000 años, como los descubiertos en el Desierto de Negev, en Israel y Jordania; otros han sido encontrados en lo que fue la antigua Roma, y en la provincia de Gansu en China. Del otro lado del mundo, en Centroamérica, el Imperio Maya en siglo X a.C. dotaba de agua a su población y áreas de cultivo mediante la captación de agua de lluvia recogida en áreas de 100 a 200 m<sup>2</sup> y almacenadas en cisternas excavadas en el suelo, impermeabilizadas con yeso a las que se les llamó “Chultuns” (Ballén *et al*, 2006).

En el mismo documento, los autores describen la situación que se vive en varias regiones alrededor del mundo que ha propiciado para que se empleen nuevamente los sistemas de captación de agua de lluvia, luego de que se dejaran de usar a causa de que se dotara de agua entubada hasta el domicilio. En pocas palabras Ballén *et al* (2006) sugiere que los sistemas de captación de agua de lluvia surgen nuevamente en las últimas décadas como alternativa viable para aquellas localidades en donde no existe red de agua potable, o el abastecimiento es ineficiente.

En el caso de México, hasta el 2006, Gleason (2006) consideraba que en esta materia el país se encontraba muy atrasado, ya que no se contaba con manuales, ni sistemas automatizados y aún más importante con una cultura del aprovechamiento del agua de lluvia como ocurría en otros países.

Sin embargo, hoy en día se cuenta con evidencia de varios sistemas de captación de agua de lluvia que se han implementado en diferentes partes del país, a diferentes usuarios y para diversos usos.

El Centro Internacional para la Formación y Demostración sobre el Aprovechamiento del Agua de Lluvia (CIDECALLI), del Colegio de Posgraduados (COLPOS), puso en operación varios sistemas de captación de agua de lluvia para después purificarla y abastecer a varias comunidades rurales (Anaya, 2008).

En la ciudad de México, Isla Urbana una asociación civil que desde el 2009 se ha dedicado a la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia en áreas de bajos recursos de todo el país, principalmente en aquellas en las que sufren de escasez o reciben agua de mala calidad y para abastecerse del vital líquido, se han visto en la necesidad de comprar agua en camiones cisterna, los cuales son más costosos. La asociación ha trabajado de la mano con la Dirección General de Coordinación de Políticas y Cultura Ambiental, de la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, a través del “Programa Sistemas de captación de lluvia en viviendas de la ciudad de México”, con el objetivo de instalar 10,000 sistemas, cómo estrategia para hacer frente a esta problemática.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), trabaja en colaboración con otras entidades el Programa para la Recuperación Ambiental de la Cuenca del Lago de Pátzcuaro con el objetivo de alcanzar la sostenibilidad de la cuenca del lago mediante la implementación de diferentes proyectos para el manejo integral de agua en comunidades rurales, dicho proyecto consistió en proporcionar un paquete de ocho tecnologías apropiadas entre las que se incluye el sistema de captación de agua de lluvia. Este paquete de tecnologías apropiadas se entregó en varios estados de la República como lo son: Chiapas, Chihuahua, Estado de México, Guerrero, San Luis Potosí y Yucatán (Díaz, 2017).

En el presente trabajo, cuando se mencione a los sistemas de captación de agua de lluvia, se hace referencia a la modalidad en que se aprovecha el agua de la escorrentía de superficies impermeables explicada en párrafos anteriores. Los principales componentes de estos sistemas son los siguientes (TWDB, 2005):

- Área de captación (techo cuenca), el material de estas superficies puede ser de concreto, lámina metálica galvanizada o tejas de arcilla, madera o plástico.
- Los bajantes y canaletas: son los conductos que colectan el agua y la mandan ya sea al sistema de primeras aguas o directamente al almacenamiento, los materiales más comunes empleados para este fin son láminas de acero galvanizado y tubería de PVC.
- Sistema de limpieza: que consiste en una malla metálica para separar sólidos grandes como hojas, ramas u otros sólidos grandes fácil de retener; y el



separador de primeras lluvias, que es donde se retiene el agua que lava la superficie, esto permite que dicha suciedad no pase a la cisterna de almacenamiento.

- Cisterna de almacenamiento: esta parte del sistema debe ser construida de tal manera que sea impermeable para evitar la pérdida de agua, debe contar con una tapa para evitar la entrada de polvo, bichos y la luz del sol, debe ser de fácil limpieza. El dimensionamiento de este depósito está en función de la hidrología del sitio, las necesidades de los usuarios y el área disponible de captación. Su construcción puede ser muy variada, pueden ser desde zanjas, tanques construidos de ferrocemento, cisternas de ladrillo repellado con cemento o cisternas de polietileno de alta densidad (HDPE).
- Otro aspecto a tomar en cuenta, que algunos no consideran como un factor importante, es un sistema de tratamiento, para eliminar cualquier sustancia o patógenos que se pudieran arrastrar del aire y/o de la superficie, previo a su uso final.

El sistema de captación de agua de lluvia, tiene la ventaja de que el volumen aprovechable sea cercano al volumen de lluvia, gracias a que la superficie es impermeable, por lo mismo, el volumen de agua que se puede aprovechar con estos sistemas esté en función de la hidrología de cada sitio.

### 3.2.3. Tratamiento y reutilización de aguas residuales

La mayoría de las actividades humanas en las que se requiere agua genera aguas residuales, mismas que para muchos se consideran como una carga o simplemente no se les presta la atención debida por ser un desecho. Por ello es que en muchos lugares no se ocupan en verterla de manera adecuada, lo que genera impactos negativos sobre los ecosistemas.

Sin embargo, debido al incremento de la demanda de recursos hídricos las aguas residuales comienzan a tomar importancia como fuente alternativa y confiable de agua, el paradigma de sólo tratar el agua y eliminarla está cambiando a reusarla para recuperar los recursos hídricos.

Las aguas residuales comienzan considerarse como una fuente rentable y sostenible de energía y nutrientes por la gran cantidad de materia orgánica que contienen, entre otros subproductos.

Las aguas residuales son consideradas como un recurso valioso en el contexto de la economía circular, que busca el balance entre el desarrollo económico y el equilibrio de los ecosistemas.

El tratamiento y la reutilización del agua in-situ se están implementando en ciudades como Nueva York, Portland, Seattle y Sydney como una estrategia de para la construcción de edificios sostenibles. La reutilización de aguas residuales permite el manejo de los recursos hídricos sea más eficiente y permite reducir la tasa de extracción de agua dulce.

El agua residual tratada se considera como agua no potable, es decir, que su calidad no es apta para el consumo humano, sin embargo, cumple con parámetros que permiten aprovecharla en otros usos como la descarga de inodoros, riego de áreas verdes, para sistemas de enfriamiento, agua de proceso, para el control de polvo y compactación del suelo, entre otros.

El costo para la reutilización y aprovechamiento de aguas residuales tratadas es más viable desde el aspecto económico, si el punto de aprovechamiento se encuentra cercano a la fuente.

La recolección y tratamiento de aguas residuales comúnmente se realiza de manera centralizada, es decir, los usuarios están conectados a una red de alcantarillado por la cual desechan su agua residual y se conducen a una planta de tratamiento para la eliminación de los desechos que contiene.

Las plantas centralizadas de depuración de aguas residuales, típicamente se integran por tres categorías de tratamiento: el primario, que tiene como objetivo la remoción física de los desechos mediante sedimentadores y tamices; el secundario o biológico, que busca la degradación de la materia orgánica mediante la digestión de bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), y el tratamiento terciario, que involucra el uso de reactivos químicos para remover compuestos más complejos (Tejada,2010).

Se estima que en México se generan 453 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales municipales (52%) y no municipales (48%). Del primer grupo se recolecta el 91% pero solamente reciben tratamiento el 63%, el resto, sin recibir tratamiento impacta en los cuerpos receptores.

El proceso de tratamiento de aguas residuales más empleado en el país es el sistema de lodos activados, las principales ventajas de este sistema son que tiene tasas altas de remoción de contaminantes, entrega agua de buena calidad, requiere relativamente poco espacio para tratar grandes volúmenes y requiere de bajo tiempo de retención hidráulico comparados con otros sistemas. Sin embargo, tiene impactos ambientales considerables dado que se requiere de grandes cantidades de energía para airear el sistema, la cual no siempre proviene de fuentes renovables, además se generan grandes cantidades de lodo que deben tratados para su correcta disposición final (Jung, Fong, Lim Y Hassell, 2009) y todo ello impacta en los costos de operación y mantenimiento, además de que requiere de personal especializado para la correcta operación y mantenimiento.

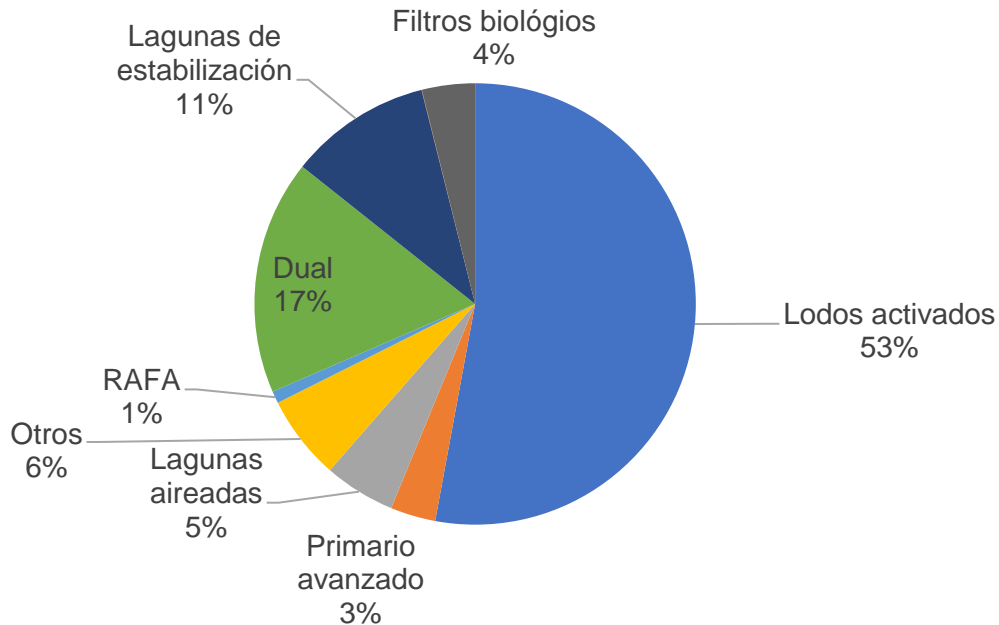


Figura 3.2 Principales sistemas de tratamiento de aguas residuales en México, 2017. Fuente: EAM, 2018.

En México se ha hecho un esfuerzo por aumentar la cobertura de saneamiento de aguas residuales, en los últimos años el número de plantas de tratamiento ha aumentado, hasta el 2017, la CONAGUA tiene un registro de 2526 plantas, sin embargo, de estas no se tiene el dato de cuántas están en operando adecuadamente.

Los sistemas centralizados para el tratamiento de aguas residuales a gran escala ya no serán la opción más viable para el saneamiento en zonas urbanas, se ha observado que los sistemas descentralizados diseñados para atender pequeños sectores, tienen costos de instalación de entre un 20 y 50% del valor de los sistemas convencionales, de igual manera, los costos de operación y mantenimiento son inferiores (UNESCO, 2017).

La tecnología en materia de tratamiento de aguas residuales ha ido evolucionando. La elección del sistema de tratamiento más adecuado para cada caso depende de factores como el económico, la disponibilidad de agua, aspectos relacionados con la calidad ambiental y el ordenamiento territorial, entre otros. Al principio los sistemas de lodos activados parecieron viables gracias a la inyección de oxígeno a las aguas residuales, lo que favorece el desarrollo de bacterias aeróbicas que digieren rápidamente la materia orgánica, posteriormente con el aumento de su población, forman colonias que se aglomeran y que pueden ser removidas por métodos físicos, pero como ya se mencionó antes, este tipo de sistemas demanda grandes cantidades de energía eléctrica para tal fin.

Posteriormente, se comenzaron a implementar los sistemas anaerobios, que requieren cantidades inferiores de energía eléctrica y además la generación de lodos es mucho menor a la producida en sistemas aeróbicos, adicionalmente tienen la ventaja de que generan biogás que puede ser aprovechado como combustible. Sin embargo, estos sistemas requieren de controles más estrictos en la operación para que el sistema se mantenga estable y los costos de instalación son más altos que los de un sistema aeróbico.

#### 3.2.4. Sistemas de tratamiento por humedales construidos

En las últimas décadas los humedales construidos han ganado importancia como alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales de pequeñas localidades o zonas urbanas que no tienen conexión al sistema de alcantarillado. Este tipo de sistemas tiene ciertas ventajas sobre los sistemas convencionales: se pueden construir en el mismo lugar donde se produce el agua residual, el personal requiere de capacitación muy poco técnica para su operación, requiere de cantidades relativamente bajas de energía (Solano, Soriano y Ciria, 2004), no se requiere de adicionar reactivos químicos y la infraestructura es relativamente simple y asequible. Otro factor que contribuye en el aumento del uso de este tipo de tecnologías para el saneamiento de las aguas residuales, es el cambio de mentalidad progresista de la sociedad hacia el desarrollo sostenible, el cual permite la búsqueda de solución a los problemas, pero sin generar otros (García y Corzo, 2008)

Los humedales construidos, son especialmente diseñados para eliminar los contaminantes del agua residual donde se replican los procesos que se tienen lugar en los humedales naturales, como los pantanos, las ciénagas, las marismas, etc.

En muchas zonas de Europa ya se han implementado los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales de localidades pequeñas, desde hace varias décadas. Hoy día, su aplicación tiende al alza en todo el mundo, como alternativa para el tratamiento, no solo de agua doméstica, sino también industriales, drenaje ácido de mina, desechos de la actividad agrícola y ganadera, lixiviados de rellenos sanitarios, incluso para la depuración de compuestos orgánicos persistentes (Alarcón et al, 2018).

Los humedales construidos son considerados como un sistema natural de depuración ya que la eliminación de los contaminantes es a través de mecanismos naturales, este tipo de tecnología también es conocida como tecnología no

convencional, sistemas de bajo costo, tecnología verde, entro otros (García y Corzo, 2008).

Los humedales construidos básicamente son estanques o canales con poca profundidad, menor a 1 metro, en los que se plantan especies vegetales de vida acuática que favorecen la depuración por procesos físicos, químicos y microbiológicos, gracias a la interacción entre el agua y el sustrato sólido, los microorganismos desarrollados, la vegetación e incluso la fauna. El diseño de éstos, es variado, pero generalmente el canal es aislado del suelo para impedir la infiltración y contaminación de los ecosistemas circundantes, igualmente están equipados para controlar el efluente en relación al flujo, dirección, tiempo de retención y la altura del espejo del agua

La clasificación más común de estos sistemas se sintetiza en la Figura 3.3, esta clasificación se basa en el tipo de circulación que experimenta el agua, humedales de flujo superficial y los de flujo subsuperficial. Otra clasificación se basa en el tipo de vegetación: humedales enraizados y humedales flotantes.

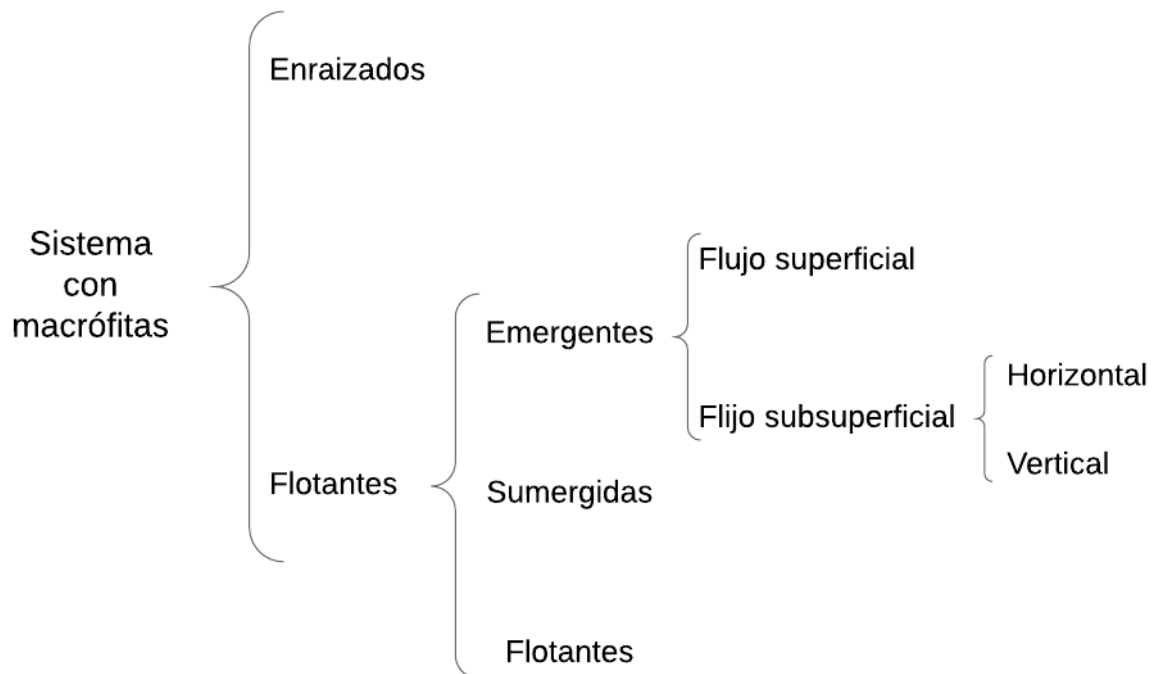


Figura 3.3 Clasificación de los humedales construidos. Fuente: Durán, 2010.

En los humedales de flujo superficial el agua se encuentra en contacto con la atmosfera y circula sobre la superficie del sustrato a través de los tallos de las plantas desde la entrada hasta el punto de descarga. Este tipo de sistemas se asemeja a las lagunas, en las que la lámina de agua tiene una profundidad entre los 30 y 40 centímetros (Figura 3.4).

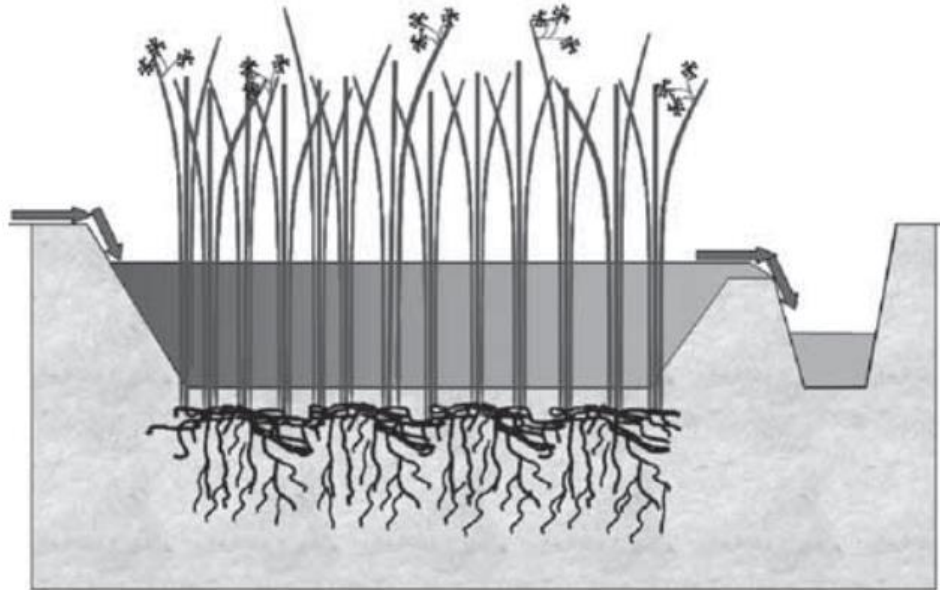


Figura 3.4 Humedal artificial de flujo superficial.

En los humedales de flujo subsuperficial, el agua circula a través de un material granular y está en contacto con las raíces y rizomas de las plantas. En éstos, la lámina de agua suele ser mayor, de entre 30 y 90 centímetros. Sobre el medio granular se desarrollan consorcios microbianos que forman biopelículas que, en conjunto con las raíces y los rizomas, juegan un papel fundamental en la depuración de la materia orgánica contenida en el agua residual (García y Corzo, 2008). Los humedales de flujo subsuperficial a su vez se dividen en dos tipos: de flujo horizontal y de flujo vertical.

Los humedales subsuperficiales de flujo horizontal han sido los más empleados en Europa. En estos sistemas el agua ingresa por la parte superior de un extremo y se recoge por la parte inferior opuesta a través de un tubo de drenaje. Otra de sus características, es que opera permanentemente inundados. El agua circula lentamente a través del medio poroso, se asemeja a un flujo pistón (Figura 3.5) (Durán, 2010).

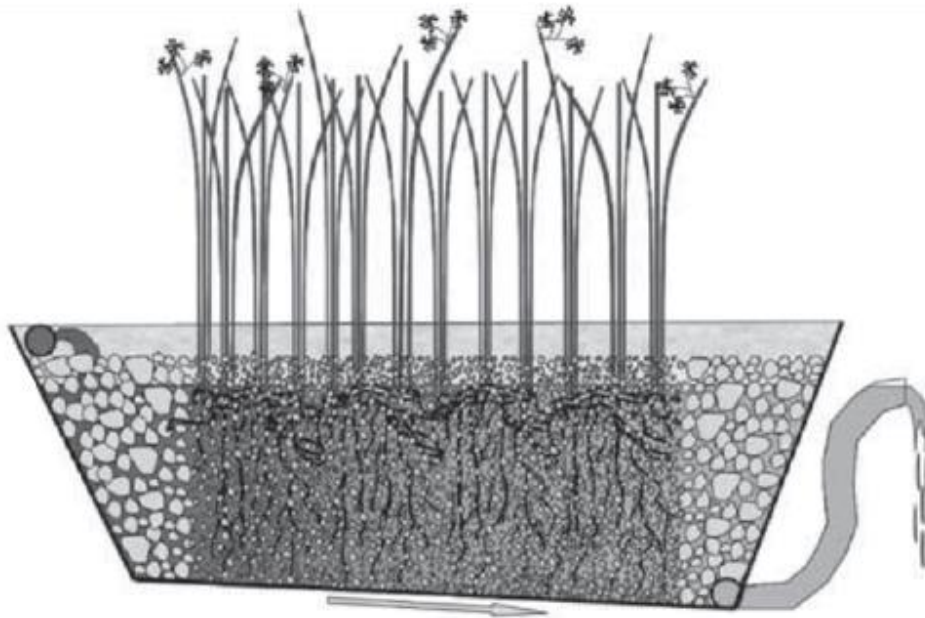


Figura 3.5 Humedal subsuperficial de flujo horizontal.

Por otro lado, los sistemas de flujo vertical (Figura 3.6), son cargados de manera intermitente, es decir, por pulsos, esto permite la entrada de oxígeno en el medio granular en los periodos que no se encuentra inundado. Esta configuración fue desarrollada en Europa como complemento de los humedales de flujo horizontal para crear sistemas que favorezcan procesos de nitrificación y desnitrificación (García y Corzo, 2008). Estos sistemas, también llamados filtros intermitentes, tienen mayor capacidad de tratamiento que los de flujo horizontal, por lo que requieren de menos superficie.

Los humedales artificiales en general están compuestos por los siguientes elementos: las estructuras de entrada, que deben permitir una distribución homogénea del agua en todo el sistema, el efluente tratado se recoge mediante tuberías perforadas localizadas en el fondo del humedal y conectadas a otra en forma de L, a fin de que permita manipular la altura del agua y en su tiempo drenar toda el agua para dar mantenimiento.

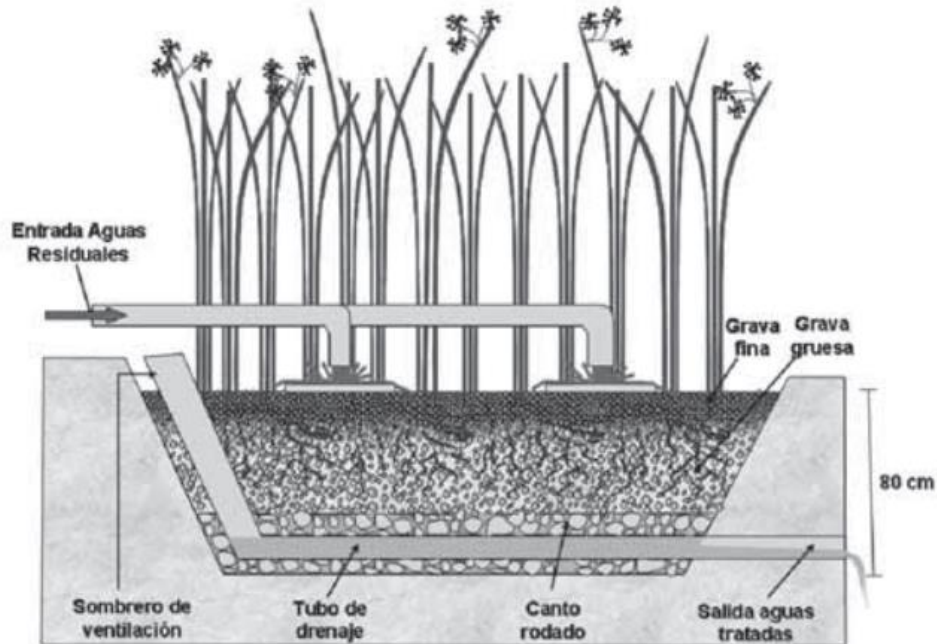


Figura 3.6 Humedal subsuperficial de flujo vertical.

El sistema se debe impermeabilizar a fin de evitar la contaminación de aguas subterráneas, el tipo de impermeabilización depende de las condiciones del sitio, en algunos casos es suficiente con la compactación del terreno, pero en otros se necesita colocar una lámina de arcilla o en su defecto utilizar membranas sintéticas.

El medio granular, hace referencia al sustrato colocado en el lecho del humedal, este material funciona como medio de soporte de las plantas, retiene parte de la materia en suspensión, favorece la degradación de la materia orgánica, la asimilación de los nutrientes y la inactivación de organismos patógenos (García y Corzo, 2008). Un aspecto que no se tiene que pasar por alto al momento del diseño, es la conductividad hidráulica, ya que de ésta depende el caudal que puede ser tratado.

Las especies vegetales empleadas permiten la transferencia de oxígeno de la atmósfera, a través de sus hojas y tallos, hasta la zona donde se encuentran las raíces, esto permite que se tenga una buena oxigenación en el medio granular, lo que favorece la degradación aeróbica. Las especies más usadas en los humedales son las plantas emergentes de las familias *Scirpus*, *Cyperus*, y *Typha* (Alarcón *et al*, 2018).



## CAPITULO 4. Metodología de la investigación

Esta investigación se desarrolló bajo el enfoque de investigación acción participativa (IAP), la cual rompe con la dicotomía sujeto-objeto de investigación y genera un equipo de investigación integrado por los expertos e integrantes de la comunidad estudiada, siendo estos últimos los gestores del proyecto de investigación y, por ende, los protagonistas de la transformación de su propia realidad.

Para Cano (1997) (citado por Bernal. T., 2010), la IAP es más que una actividad de investigación, es un proceso eminentemente educativo de autoformación y autoconocimiento de la realidad, en el que los integrantes de la comunidad donde recae el estudio, participan directamente en la definición del proyecto de investigación y de la producción de conocimiento de su realidad.

La meta de la IAP es lograr que el sujeto de la investigación sea autogestor del proceso de autoconocimiento y transformación de sí mismo, así como de la realidad estudiada, teniendo un control operativo, lógico y crítico. Por ello, en la IAP interesa dinamizar la capacidad del sujeto de la investigación para asumir, intrínsecamente y autónoma, consiente reflexiva y crítica, el curso de su vida, ya que las comunidades se van construyendo a partir del reconocimiento que éstas hacen de sí mismas, de sus posibilidades y potencialidades (Bernal, 2010).

Esta metodología cada vez se emplea más en países en desarrollo ya que los nuevos modelos y teorías del desarrollo enfatizan la importancia de la participación de la comunidad en sus propios procesos de desarrollo.

Como se ha mencionado, la IAP supone que la gente tiene la posibilidad de realmente participar, para que esto se logre y no quede sólo en simples declaraciones, se necesita tener un espacio físico en el que las personas puedan acudir y se les proporcione las herramientas adecuadas para saber cómo participar.

Se optó por seguir esta metodología dado que este proyecto es parte del Modelo de Sostenibilidad para la Gobernanza de Comunidades Vulnerables, que basa su intervención en la planeación participativa, que buscó formular soluciones escuchando la voz de los actores de la comunidad escolar de la escuela Francisco González Bocanegra.

De acuerdo con los expertos, el diseño metodológico de la IAP, no es conveniente que sea rígido, único y estandarizado, sin embargo, se pueden identificar tres fases en las que coinciden muchos de ellos.

En la fase inicial o de contacto con la comunidad, el investigador conoce la comunidad y la motiva o despierta en ellos el interés por dar solución a algunas de

las necesidades sentidas. La obtención de información, recurre a técnicas como reuniones, visitas de campo, diálogos anecdóticos, etc.

Para llevar a cabo las propuestas del Modelo, se realizaron visitas continuas al plantel, hubo observación directa, charlas informales con la comunidad escolar, reuniones con las autoridades escolares, entre otros. Desde el inicio, se involucró a los padres de familia, maestros y alumnos, para identificar y priorizar las necesidades a atender. A los niños se les pidió que realizaran dibujos, donde expresaran su percepción sobre su escuela. Los padres de familia también participaron en la elección de las ecotecnias a implementar.

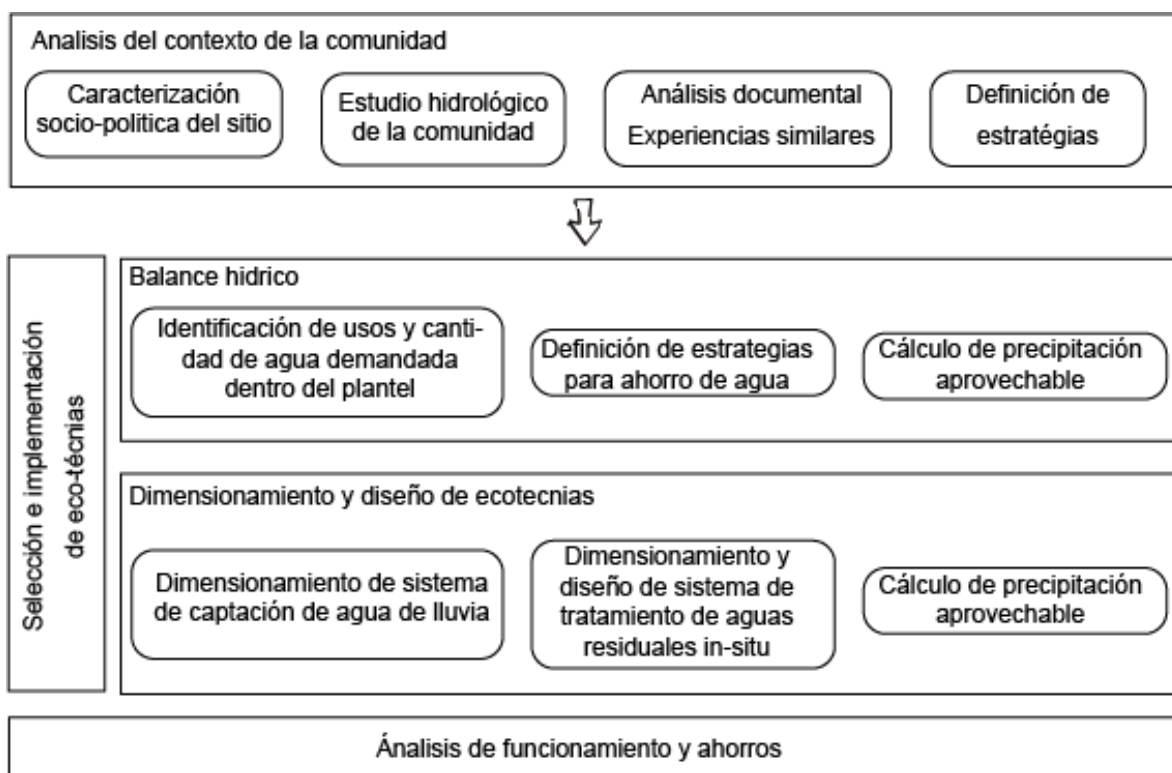


Figura 4.1 Metodología de investigación. Fuente: Mares Jasso, 2017.

#### 4.1. Selección del sitio de estudio

Este trabajo se desarrolló en la escuela primaria Francisco González Bocanegra, ubicada en la Delegación de La Pila, S.L.P. Este proyecto forma parte de un macro-proyecto llamado “Modelo de sostenibilidad para la gobernanza de comunidades vulnerables”, el cual derivó de los buenos resultados de proyectos previos, Unihuerto Urbano y Unitecho Verde, implementados dentro del campus

ponente de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí con el financiamiento de la Asociación Filantrópica Cummins A.C.

Este macro-proyecto se alinea con la visión de la UASLP de participar en la aportación de iniciativas que atiendan problemáticas que aquejen a la sociedad. En este caso, se busca participar con la comunidad escolar compartiendo estrategias, experiencias y aprendizajes que permitan a la comunidad hacer uso eficiente de los recursos naturales, mejorar hábitos, comportamientos, estilos de vida, y a así, lograr mejores niveles de bienestar.

El Modelo, es pionero en el país, por ser desarrollado en una institución pública de educación básico dentro de un área periurbana con alto grado de marginación, y por considerar como eje principal el nexus agua-energía-alimentos. El proyecto fue concebido mediante un proceso integrativo en el que se involucraron diferentes disciplinas ya que fueron varios ejes los que se busco abarcar. Colaboraron la facultad de Ingeniería, que estuvo a cargo de la dirección del proceso, y la Facultad de Psicología y Facultad de Enfermería y Nutrición. Durante la ejecución del modelo se involucraron alumnos de licenciatura, maestría y doctorado que, de un modo u otro contribuyeron en la puesta en marcha del Modelo. De la misma manera, personal de la empresa Cummins participaron en varios eventos como voluntarios.

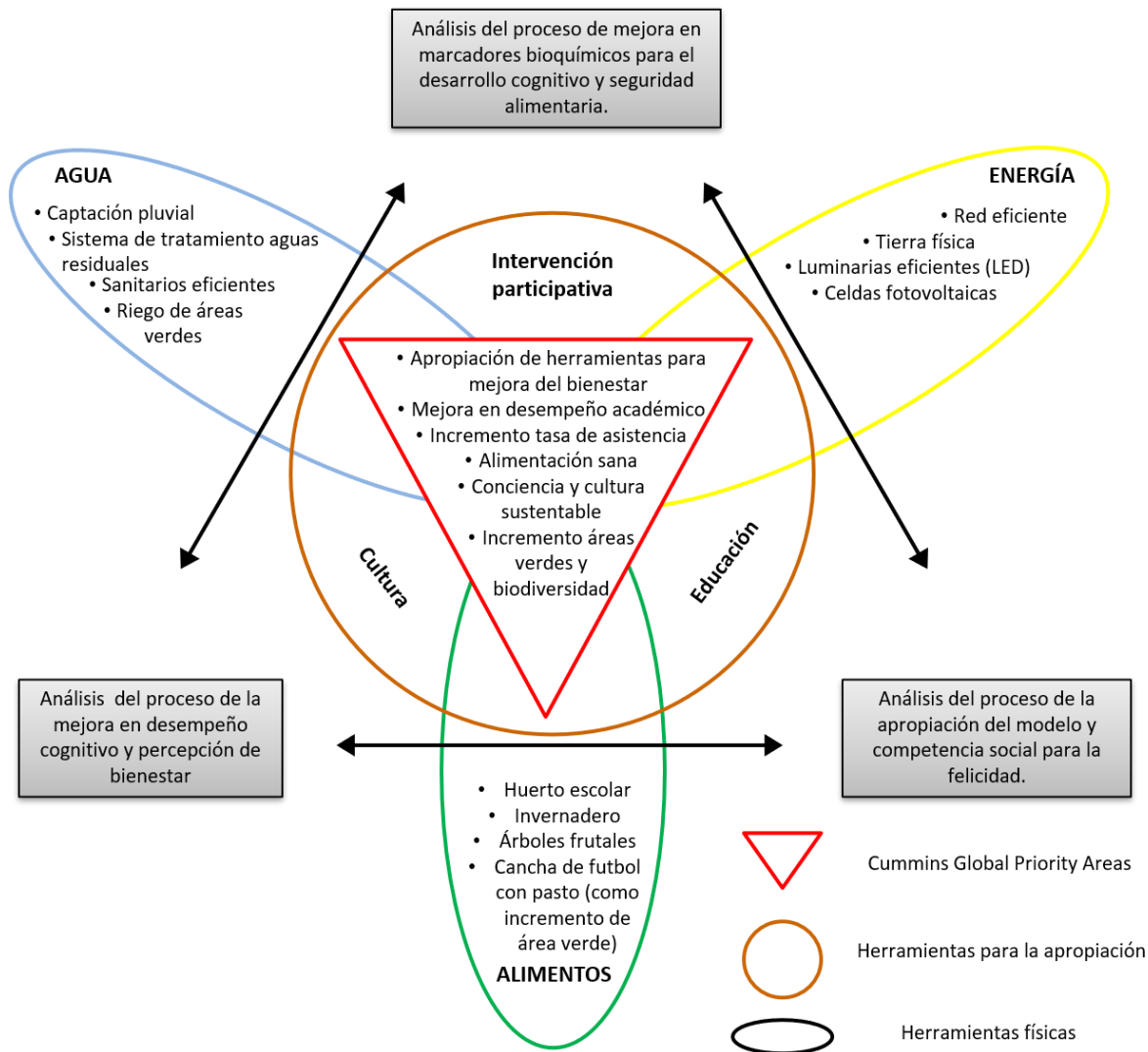


Figura 4.2 Representación gráfica del Modelo de Sostenibilidad para la Gobernanza de Comunidades Vulnerables. Fuente: Algara-Siller, Mares Jasso, 2017.

En este proyecto se llevó el modelo del Unihuerto Urbano a las comunidades vulnerables de la ciudad de San Luis Potosí y se incorporan las metodologías participativas como estrategia para la apropiación de las herramientas físicas propuestas. Se ha llamado herramientas físicas a todo aquel elemento de infraestructura innovadora que permita a la comunidad contar con agua y energía sin la dependencia de las condiciones económicas o políticas.

El Modelo busca responder a la necesidad de lograr la soberanía de comunidades vulnerables a través de las herramientas físicas (ecotecnias) y estrategias adecuadas para lograr la apropiación del modelo (diseño participativo).

Los gastos del plantel derivados de los servicios básicos (agua, energía eléctrica, teléfono), deberían ser cubiertos por el Estado, sin embargo, se cubren por cuotas que pagan los padres de familia al principio de cada ciclo escolar. Los datos sobre cobertura son obtenidos del registro de escuelas registradas con infraestructura de distribución de agua potable y energía, aun si en éstas no llega el recurso (agua y energía), o donde el nivel económico constituye una limitante para el pago de los mismos.

El Modelo es pionero en México por ser realizado en una comunidad periurbana con altos niveles de marginación, por integrar el nexus agua-energía-alimentos como eje principal y por ser ejecutado en una escuela de educación básica, dónde desde la perspectiva de Dong-Xue *et al*, (2015), es el espacio en el que se imparte conocimiento, y debe prestar atención a la educación ambiental, cultivar en el comportamiento sobre el cuidado del medio ambiente y la difusión del concepto de desarrollo sostenible.

Además, el Modelo contribuye al logro de metas de 10 de los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS):

- Objetivo 1: Poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo.
- Objetivo 2: Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y mejorar la nutrición.
- Objetivo 3: Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades.
- Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos.
- Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
- Objetivo 10: Reducción de las desigualdades.
- Objetivo 11: Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

Objetivo 16: Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.

## 4.2. Características del área de estudio

La delegación de la Pila pertenece al municipio de San Luis Potosí, es una comunidad periurbana catalogada por la CONAPO (2015) como una zona de alta marginación (Figura 4.3), lo que significa que la población enfrenta carencias que menoscaban su calidad de vida y les configura escenarios de alta vulnerabilidad social. Se ubica a 20 kilómetros al sureste de la ciudad capital y se conecta fácilmente gracias a la carretera federal 57, una de las principales vías de comunicación de la República Mexicana.

Tiene una población de 6,722 habitantes, de los cuales 3,375 son hombres y 3,347 son mujeres. El grado de escolaridad promedio es de 6.62, hay 478 habitantes analfabetos mayores de 15 años. Solo el 5% de los niños en edad de asistir a escuela o secundaria no lo hacen, a pesar de ello, parece que no es fácil que muchos de los que sí asisten concluyan una carrera universitaria, según las estadísticas, solo el 8% de los jóvenes en edad de asistir a la universidad lo hacen. (INEGI, 2010).

La población económicamente activa representa el 36% de total de la población, pero solo el 32% se encuentra ocupada. La principal actividad económica es del sector terciario, muchos acuden a la zona industrial que se encuentra muy cerca, en donde laboran como obreros, otros se dedican a oficios como la albañilería, plomería, entre otros.

La Delegación pertenece a la zona hidrogeológica de San Luis Potosí, ubicada dentro de la Región Hidrológica número 37 denominada El Salado, que se caracteriza por ser una cuenca endorreica. El 86% del agua que abastece a la población de la zona metropolitana de San Luis Potosí, y también de la delegación de la Pila, se extrae del acuífero de San Luis Potosí (INTERAPAS,2018), lamentablemente el acuífero tiene un déficit de 74.6 millones de metros cubico anuales, como resultado de la fuerte presión que se tiene en la zona y la baja recarga del mismo. El 14% restante del abastecimiento se complementa con el sistema de presas. La presa El Realito, es la mayor obra hidráulica que se ha construido para coadyuvar en el abastecimiento de la ciudad, cabe destacar que esta gran obra se localiza fuera del valle, en el estado vecino de Guanajuato, fue diseñada para dotar de 1 m<sup>3</sup>/s y ser transportada por un acueducto de 133 kilómetros de longitud.

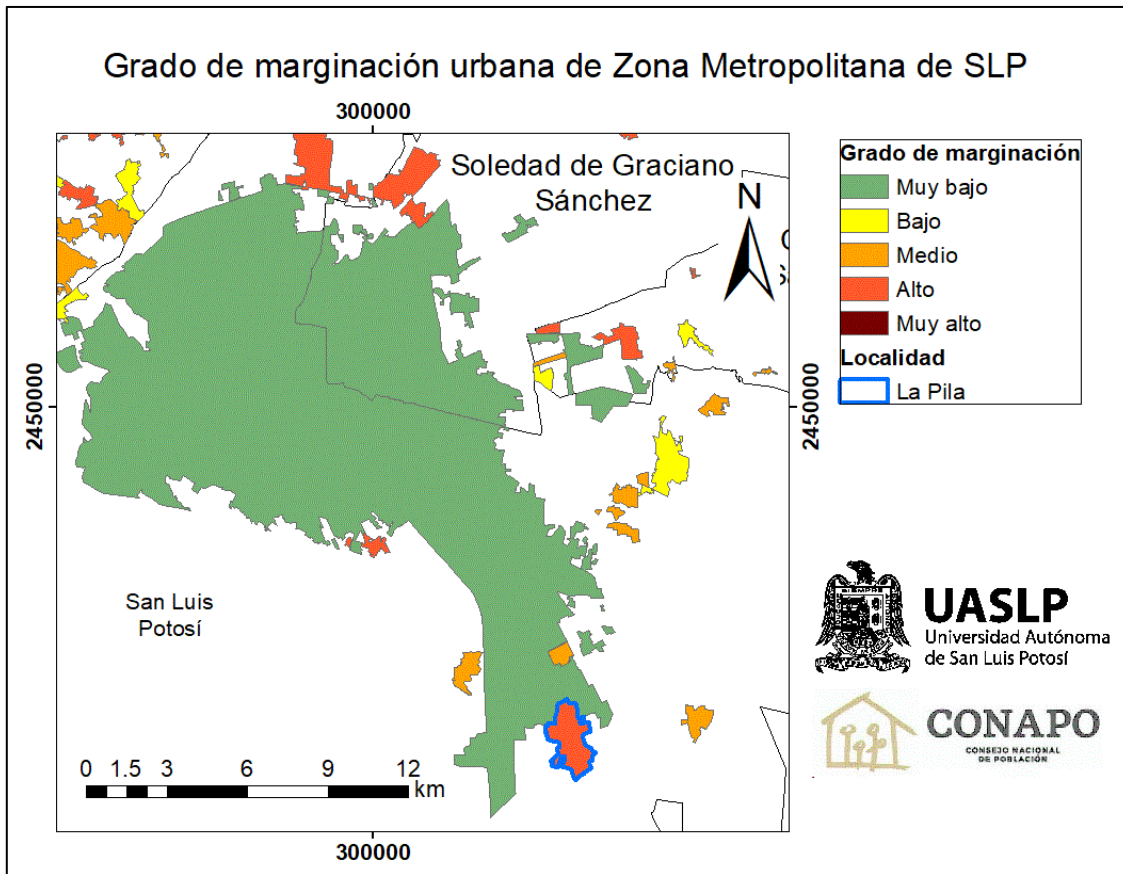


Figura 4.3 Grado de marginación de Delegación La Pila. Fuente: Mares Jasso, 2018.

En el caso particular de la Delegación la Pila, ésta no es beneficiada por la presa El Realito. La delegación continúa abasteciéndose de agua extraída del acuífero a través de pozo profundo, además, hay áreas en la comunidad donde se realizan tandeos para la dotación de agua.

La zona de estudio se localiza en la región central del país en la que predomina tipo de clima semiárido con lluvias en verano (BWkw) con temperatura media anual de 17.5°C, temperaturas máximas en los meses de mayo y junio, alcanzando los 21°C; durante el invierno, las temperaturas mínimas oscilan alrededor de los 13°C. El régimen de lluvias comprende los meses de junio a septiembre, alcanzando un promedio anual de entre 360 y 402 mm (Contreras, 2007).



### 4.3. Precipitación media anual

La planeación, dimensionamiento o revisión de alguna obra hidráulica requiere de varias estimaciones hidrológicas, para ello sirve la hidrología, ciencia que trata los procesos que estudia el agotamiento y recuperación de los recursos hídricos en áreas continentales en diversas etapas del ciclo del agua.

Aparicio (1992) considera que la precipitación, desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, es la principal fuente de agua de la superficie terrestre, y que la medición de ésta, es el punto de partida la correcta gestión de su uso y control. El instrumento que nos permite medir la precipitación, es el pluviómetro, recipiente en el cual se mide la altura de la lámina de agua captada. Cada milímetro representa la altura que tendría la lámina de agua en una superficie de un metro cuadrado, es decir, cada milímetro equivale a 1 litro por metro cuadrado de superficie.

La lectura de la altura de agua registrada en los pluviómetros representa la lluvia puntual del sitio donde está instalado el instrumento, y para los cálculos ingenieriles el dato requerido es la precipitación media de la zona. Para el cálculo de la precipitación media existen tres métodos, éstos son: aritmético. polígonos de Thiessen y método de las isoyetas (Aparicio, 1992).

El método aritmético es el más simple, sin embargo, no se toma en cuenta la distribución de las estaciones ni la distribución de la precipitación en el espacio, este método es más recomendable de usar sólo cuando se quiere tener una aproximación de la precipitación media. En cambio, el método de los polígonos de Thiessen, si considera la distribución de las estaciones dentro de la cuenca, pero no la topografía del sitio, el cual es un factor que influye en la distribución de la lluvia. El método de las isoyetas, es el más preciso, ya que sí considera la topografía del sitio, es por ello, que para este trabajo se usó éste para determinar la precipitación media de la delegación de la Pila.

El método de isoyetas consiste en usar la información de las estaciones meteorológicas para trazar líneas que unen puntos de igual altura de precipitación. Posteriormente se requiere conocer el área de la cuenca entre las isoyetas para definir la precipitación media anual mediante la aplicación de la ecuación (1).

$$h_p = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{h_{pi}} \times A_i)}{A_T} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde

$h_p$  =Precipitación media de la cuenca (mm)

$A_T$  =Área total de cuenca (m<sup>2</sup>)

$\overline{h_{pl}}$  =Precipitación media entre dos isoyetas (mm)

$A_i$  =Área entre dos curvas (m<sup>2</sup>)

Antes de continuar con el análisis de los datos, se debe verificar la continuidad y consistencia de los mismos, ya que es común que las estaciones tengan periodos de tiempo en lo que no se tiene registro de los mismos debido a diferentes razones, ya sea por daños en el instrumento, por falta de recolección de los datos por parte del personal a cargo, etc. Para completar los registros faltantes, se correlacionan los datos de precipitación de estaciones cercanas con lo que se puede deducir la precipitación de campo faltante (Aparicio, 1992).

Para la determinación de la precipitación media de la Delegación de la Pila se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas circundantes, los cuales se encuentran registrados en la base datos del sistema CLICLON. Los cálculos fueron realizados en base a cuatro estaciones meteorológicas, dos de ellas localizadas en el municipio de Zaragoza, una más en el municipio de San Luis Potosí y la última en el municipio de Villa de Reyes.

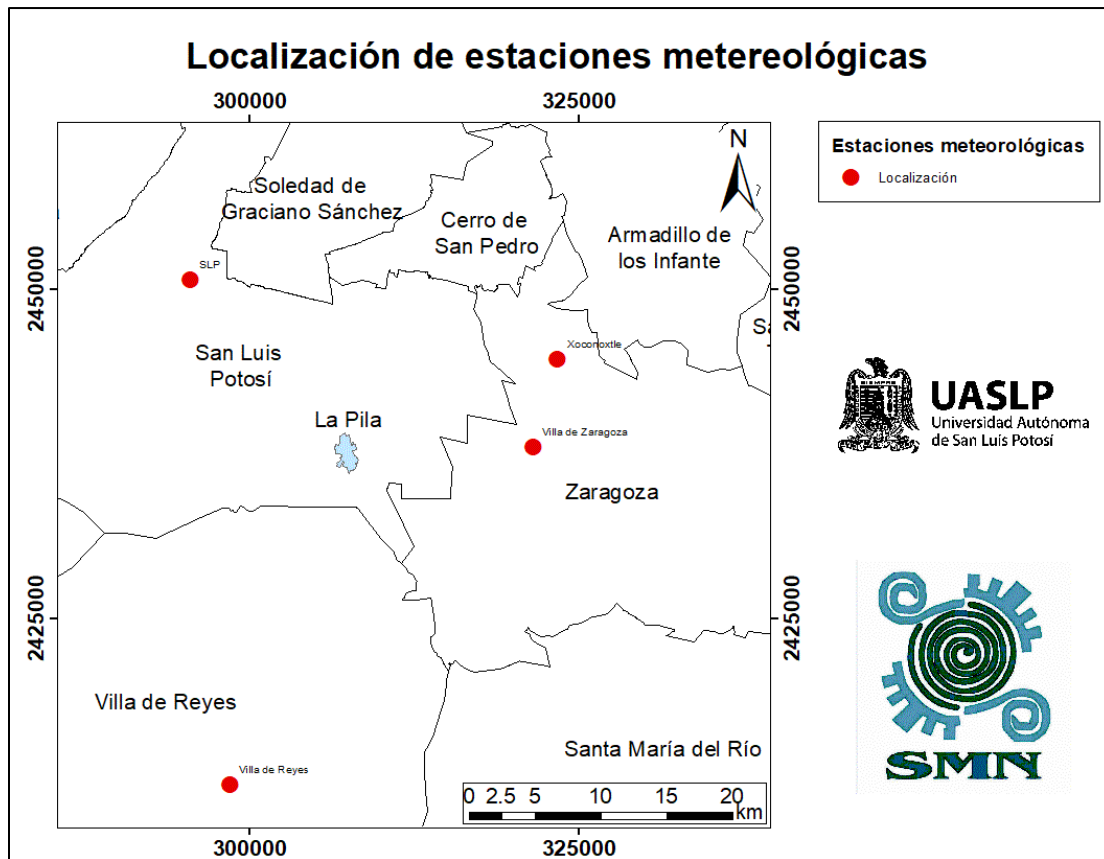


Figura 4.4 Localización de estaciones meteorológicas. Fuente: Mares Jasso, 2017.

#### 4.4. Balance hídrico

La manera de evaluar el manejo del agua en una cuenca es por medio de una expresión matemática de balance, que se integra por variables que representan los volúmenes de agua que circulan por el sistema. El agua obedece las leyes naturales de la física y química, por lo tanto, el ciclo de agua es una expresión la ley de la conservación de la materia, atribuida al químico francés Antoine Laurent Lavoisier, la cual establece que “la materia no se crea ni se destruye”. La expresión matemática del ciclo hidrológico es la ecuación de continuidad, para ello se delimita el sistema, el cual puede ser un acuífero, una cuenca, un edificio, en donde las entradas deben ser iguales a las salidas. La ecuación más sencilla de balance de una cuenca es:

$$E = S + \Delta A \quad \text{Ecuación (2)}$$

donde:

$E$  = volumen de entrada (precipitación directa y escurrimientos de otras cuencas)

$S$  = volumen de salida (infiltración, escurrimiento, evaporación)

$\Delta A$  = volumen almacenado en la cuenca

Para determinar el balance de agua de un sitio, se deben considerar todos los componentes en los que se usa el agua y para ello se debe contar con el registro de entradas y salidas de agua en el sistema. Típicamente la entrada al sistema escuela es la dotación por parte del organismo operador de agua potable del municipio y en muchos casos se complementa con autotanques, la salida es solamente la descarga a la red de alcantarillado (ver Figura 4.5).

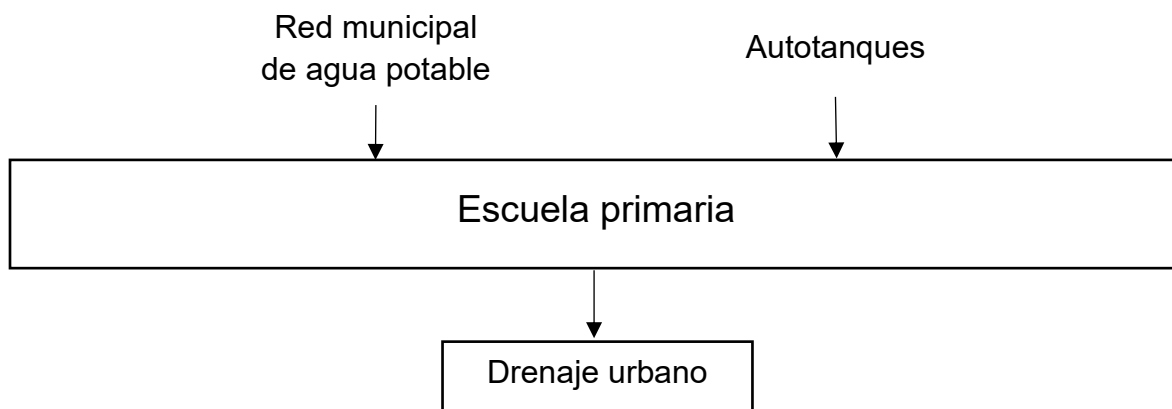


Figura 4.5 Balance hídrico típico de una escuela.

Para este trabajo, se consideró como entrada, el agua proveniente de la red municipal y la precipitación, como salida, el agua residual que se manda a la red de drenaje después de haber sido aprovechada para diferentes usos dentro del plantel, como la descarga de WC, la limpieza del plantel y para la higiene de la comunidad escolar (lavado de manos); y el agua usada para el riego del huerto escolar, propuesto por el macroproyecto “Modelo de sostenibilidad para la gobernanza de comunidades vulnerables” (ver Figura 4.6).

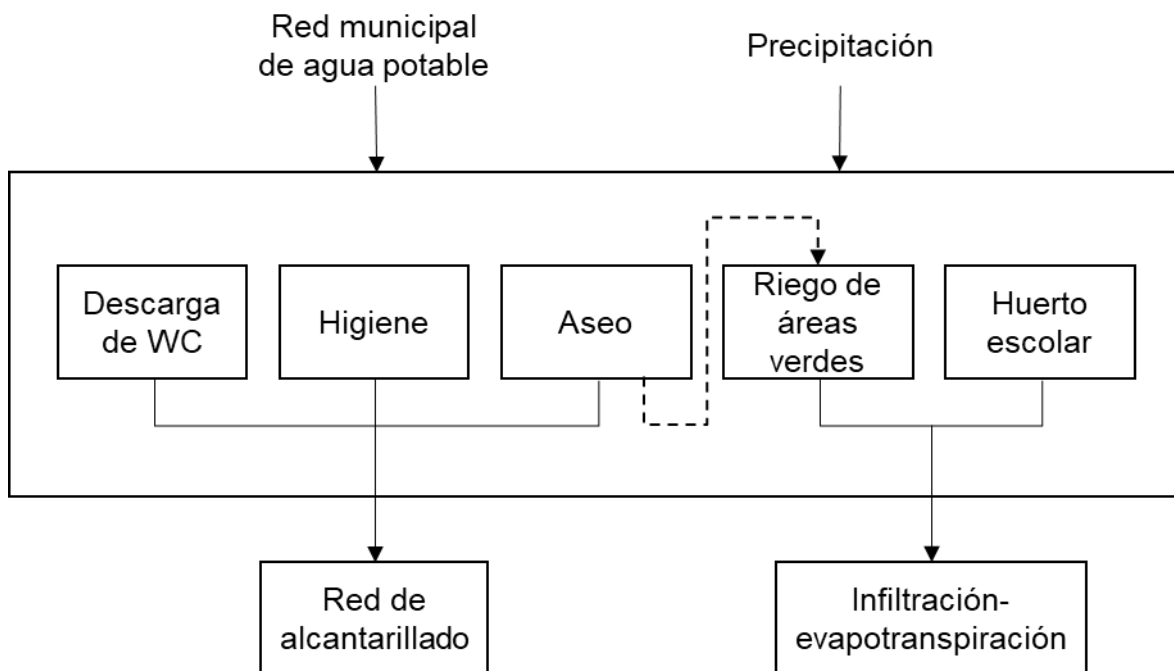


Figura 4.6 Usos del agua en Escuela Francisco González Bocanegra.

La manera de determinar el volumen de agua que sale del sistema puede determinarse de varias maneras, una de ellas es considerar el agua residual como un porcentaje del agua que entró, otra manera, es realizando un aforo a la salida.

Para este trabajo de investigación, no fue suficiente saber el volumen total del agua que entra y sale, si no qué volumen se requiere para cada uno de los usos identificados.

Para definir cada uno de los usos que se le da al agua en el plantel, se realizaron visitas y se observó todas y cada una de las actividades que requerían agua.

En la literatura se proponen diferentes metodologías para determinar el volumen de agua por descarga de WC:

- La primera consiste en medir las dimensiones del tanque de almacenamiento, determinar el área y luego medir la altura de agua desplazada luego de la descarga.
- La segunda metodología sugiere basarse en las especificaciones técnicas del equipo, los cuales generalmente informan sobre el volumen consumido por descarga.
- Una tercera metodología es usando medidores de caudal, ya sea analógicos o digitales. El dispositivo se coloca en la tubería de alimentación al tanque, del cual se puede registrar la lectura antes y después de la descarga, y por una simple diferencia aritmética determinar el volumen utilizado.

Para determinar el volumen consumido en la escuela por este concepto, se utilizó la información de la ficha técnica de los equipos. Posteriormente se multiplicó por el número de integrantes del plantel.

De manera similar, para determinar el volumen de agua requerido por el concepto de higiene, se puede basar en la ficha técnica de las llaves de agua para lavado de manos, donde se indica el gasto de cada una, otra manera es realizando un aforo.

En este caso, se realizó un aforo, utilizando un matraz de un litro para determinar el gasto de las llaves.

Cabe recordar el eje central del Modelo, el nexus agua-energía-alimentos, para entender porque se propuso la implementación de un huerto escolar dentro de las instalaciones como recurso didáctico para el aprendizaje de temas de ambiente y sostenibilidad de los alumnos de la escuela.

El consumo de agua en los cultivos corresponde a la evapotranspiración, que se integra por la suma del agua que evapora directamente del suelo y la transpirada por las plantas, en cierto sentido, el agua evaporada del suelo se considera agua no productiva. El agua de suelo es mejor aprovechada cuando la evaporación es baja y la transpiración alta, lo que se traduce como el agua que ha sido metabolizada por el cultivo para la generación de biomasa.

La producción agrícola no sólo es función de la disponibilidad del agua, sino que también influye la radiación solar, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, entre otros factores. El nivel de evapotranspiración es afectado por las condiciones climáticas, por características propias del cultivo, por características del suelo, por mencionar algunos.

El huerto escolar se trabaja bajo el método biointensivo de agricultura desarrollado por Joan Jeavons durante la década de los ochentas. Este método es empleado en más de 130 países. Se basa en repicar lo que ocurre en la naturaleza,

se busca asociar cultivos que hagan sinergia y se protejan entre sí, se colocan de tal manera que toda la superficie esté cubierta para evitar que los rayos del sol incidan directamente en el suelo, disminuyendo el nivel de evaporación del agua del suelo. El método es empleado como alternativa para la producción de alimentos *in-situ*, El huerto escolar cuenta con 36 m<sup>2</sup> disponibles para ser sembrados.

#### 4.5. Cálculo de la precipitación aprovechable

La precipitación media anual, permite estimar el volumen de agua que se puede captar, éste se entiende como el producto de la precipitación media anual, el área de la superficie destinada para la captación y un coeficiente de escurrimiento que está en función del material de que está construida tal superficie. Para una mejor comprensión, se presenta la ecuación (3):

$$V_{captar} = P_M \times A_C \times Ce \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde :  $V_{captar}$  es el volumen de agua captada, en litros

$P_M$  es la precipitación media, en mm

$Ce$  es el coeficiente de escurrimiento de la superficie, en porcentaje

El coeficiente de escurrimiento es un factor que se determina de la razón entre la magnitud de esorrentía y la magnitud de la precipitación, correspondiente a un periodo lluvioso sobre un área de captación determinada. En otras palabras, es la cantidad de agua que escurre sobre una superficie luego de una precipitación, mientras el valor sea más cercano a 1, significa que prácticamente toda el agua que cae sobre la superficie escurrirá, por el contrario, mientras menos sea el valor, significa que una parte se infiltra en la superficie.

Para el caso de proyectos de captación de agua de lluvia en áreas relativamente pequeñas, es conveniente que el valor de  $Ce$  sea lo más cercano a 1, para poder aprovechar la mayor cantidad de agua de lluvia. En la Tabla 4.1 se presentan los valores de  $Ce$  de algunos materiales más empleados en proyectos de este tipo.

Tabla 4.1 Coeficientes de escurrimiento de materiales comunes en techos.

| Tipo de material de áreas de captación | Coeficiente de escurrimiento (Ce) |
|--|-----------------------------------|
| Lámina plástica de polietileno         | 0.90*                             |
| Loza de concreto concreto              | 0.70-0.95**                       |
| Asfalto                                | 0.88*                             |
| Lámina metálica                        | 0.75-0.95**                       |

Fuente: \* FAO y \*\*García (2012).

Una vez que se tiene el volumen de agua aprovechable gracias a la superficie impermeable, se procede a dimensionar el tanque de almacenamiento, para ello, se debe contemplar la demanda de agua que se tiene en el sitio, dato obtenido previamente en la fase de evaluación de los usos de agua en el plantel.

#### 4.6. Dimensionamiento y diseño del sistema de tratamiento *in-situ*

La metodología general para el correcto diseño y dimensionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales a cualquier escala, requiere de datos esenciales como son: el volumen de agua residual a tratar por día y las características físico-químicas de la misma.

García 2007 sugiere que la determinación del caudal a tratar se puede obtener mediante el aforo, el cual es más práctico, pero tiene la desventaja de que son volúmenes aproximados los que se obtienen, en cambio, el método de la sonda es más preciso, pero es mucho más costoso, esta propuesta de García (2007) se aplica principalmente para determinar el caudal de poblaciones relativamente grandes, como una comunidad, una colonia o incluso una ciudad.

Picos (2010) en su estudio para la reducción de consumo de agua en la zona universitaria de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, se basó en el Manual de Agua Potable y Alcantarillado (MAPAS) de la CONAGUA, en donde se sugiere que el aporte de aguas residuales de edificios públicos es el 100 % de la dotación. En este mismo manual se especifica que la dotación para escuelas es de 25 litros por estudiante al día. Metcalf y Eddy (2014), también sugieren este método de estimación del caudal a tratar, en caso de no contar con el mismo.

Para este trabajo de investigación, el volumen de agua a tratar por día se determinó mediante el aforo en los diferentes usos de agua que se dan en el plantel y se comparó con la metodología sugerida por la CONAGUA en el MAPAS.

Las aguas residuales son una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, su composición varía en función del origen, por ejemplo, si se habla de las aguas residuales de una ciudad, éstas se integran por agua residual doméstica, es decir agua de usos residenciales, comerciales y de edificios públicos; industrial, en la cual los vertidos de cualquier tipo de industria son preponderantes; y en la mayoría de los casos agua pluviales, dada la falta de infraestructura que las separe e impida que se contamine con el resto de las aguas residuales.

Conocer las concentraciones de contaminantes en las aguas residuales es muy importante para el diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento. Para la caracterización de éstas, se emplean métodos analíticos que permiten determinar las características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales. Estas características se determinan mediante la toma de muestras representativas para ser enviados al laboratorio para su posterior análisis. En muchos casos, la variación de la concentración y composición de las aguas residuales, varía considerablemente, por lo que se requiere emplear metodologías especiales, para estos casos (Metcalf y Eddy, 2014).

Los contaminantes que se analizan en las aguas residuales están basados en la normativa que se requiere cumplir, en función de los usos posteriores al tratamiento que se le den al agua. En sí, la normativa regula la cantidad de materia orgánica, sólidos en suspensión y la presencia de microorganismos patógenos. En casos de ser vertida en cuerpos de agua se busca, además, eliminar nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, y metales pesados potencialmente tóxicos.

En caso de no contar información precedente de un análisis de laboratorio, se pueden usar valores reportados en la literatura para sitios con características semejantes al sitio de estudio en que se encuentre trabajando, esta metodología se emplea, por ejemplo, para proyectos nuevos de urbanización, en lo que no hay manera de tomar mediciones directas. En este proyecto se determinaron las características del agua residual en base a tablas de aportaciones promedio de contaminantes por habitante del Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Introducción al tratamiento de aguas residuales municipales de CONAGUA.

La elección de uno u otro sistema de tratamiento de aguas residuales está en función de las necesidades de los usuarios y/o beneficiarios, de sus posibilidades de financiamiento, tanto para la construcción como para el mantenimiento y operación, de las necesidades de personal calificado para su operación, la disponibilidad de espacio, el uso que se le dará al agua luego del tratamiento e incluso de la preocupación sobre sus impactos ambientales. También influyen las experiencias que se hayan tenido en otros lugares luego de la implementación de sistemas de tratamiento.



En la sección 2.6.4 se mencionaron algunas de las ventajas de la implementación de humedales subsuperficiales de flujo vertical (HFV) como tratamiento secundario para la depuración de aguas residuales, por ello es que se propone este método para el tratamiento de las aguas residuales del plantel.

El tratamiento de aguas residuales por cualquier tipo de humedal, requiere que éstas pasen antes por un pretratamiento y tratamiento primario. El pretratamiento tiene como objetivo principal la eliminación o reducción de materiales que colmaten los humedales, generalmente, como proceso unitario antes del humedal para cumplir esta función se colocan rejillas con separaciones de entre 1 y 10 cm o cribas.

Después de la eliminación de sólidos grandes, el agua pasa al tratamiento primario donde se busca la retención de buena parte de los sólidos en suspensión, éste puede ser un tanque imhoff, una fosa séptica, o incluso un reactor anaeróbico. En núcleos muy pequeños de población o en sistemas autónomos se suelen emplear la fosa séptica.

El dimensionamiento de la fosa séptica este en función del caudal diario y el tiempo de retención lo cual se expresa en la siguiente ecuación:

$$V = T_H Q_{medio} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Donde:

$V$  es el volumen en  $m^3$

$T_H$  el tiempo de retención, en días

$Q_{medio}$  el caudal medio en  $m^3/día$

Moussavi et al (2010), obtuvieron los mejores porcentajes de remoción de DQO, DBO y SST a un tiempo de retención hidráulica de 24 horas.

Una vez que se cuenta con los porcentajes de remoción de SST, se calcula la tasa de acumulación de lodos, dato con el cual se determina la frecuencia con la que deben ser purgados del sistema.

En la actualidad existen fosas sépticas prefabricadas para atender núcleos pequeños de población, las cuales están elaboradas de materiales ligeros y resistentes, principalmente polietileno de alta densidad (HDPE). Este tipo de fosas sépticas se ha empleado principalmente para la depuración de aguas residuales domésticas, por lo que requiere de mínimo mantenimiento y la extracción de lodos es relativamente poco frecuente.

En México, la empresa Rotoplas dedicada a la venta de productos para el manejo y almacenamiento de agua potable y ahora también para el manejo de

aguas residuales, patentó un modelo al que comercialmente le llama biodigestor autolimpiable, el cual tiene en su interior aros PET que hacen la función de soporte para la biopelícula además de ser el espacio en el que se retiene una fracción de los sólidos para ser digeridos por las bacterias que se encuentran allí. Este dispositivo cumple con la NOM-006-CNA fosas sépticas prefabricadas-especificaciones y métodos de prueba.

La ficha técnica del biodigestor rotoplas muestra los porcentajes de remoción de DQO, DBO y SS, que son más altos a los encontrados por Moussavi *et al* (2010).

Tabla 4.2 Eficiencia de remoción de contaminantes por fosa séptica.

| Parámetro             | % de remoción   |                 |
|-----------------------|-----------------|-----------------|
| DQO                   | 88 <sup>a</sup> | 77 <sup>b</sup> |
| DBO                   | 94 <sup>a</sup> | 85 <sup>b</sup> |
| Grasas y aceites      | 93 <sup>a</sup> | --              |
| Sólidos sedimentables | 98 <sup>a</sup> | 86 <sup>b</sup> |

Fuente: <sup>a</sup> manual de instalación Rotoplas. <sup>b</sup> Moussavi *et al* (2010).

La empresa maneja biodigestores de cuatro capacidades de almacenamiento y los determina en función de tipo de usuarios y número de beneficiarios, estos datos se muestran en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Capacidad de los diferentes modelos de biodigestor Rotoplas.

| Tipo de usuario | Aportación diaria (L) | RP – 600 (600 L) | RP – 1300 (1300 L) | RP – 3000 (3000 L) | RP – 7000 (7000 L) |
|-----------------|-----------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Zona rural      | 130                   | 5 personas       | 10 personas        | 25 personas        | 60 personas        |
| Zona urbana     | 260                   | 2 personas       | 5 personas         | 10 personas        | 23 personas        |
| Oficina         | 30                    | 20 personas      | 43 personas        | 100 personas       | 233 personas       |

Fuente: Ficha técnica de biodigestor autolimpiable Rotoplas

En la presente investigación se trabajó con el volumen de agua residual generado al día, determinado en etapas anteriores, y el tiempo de retención hidráulica propuesto por Moussavi *et al* (2010) para determinar la capacidad de la fosa séptica prefabricada a elegir empleando la ecuación (4), posteriormente se

comparó con las capacidades especificadas en la Tabla 4.3 y se corroboró si coinciden.

Los humedales de flujo vertical han sido ampliamente empleados en Europa gracias a que permiten transferir una gran cantidad de oxígeno al agua y propiciar efluentes nitrificados, proceso que no ocurre en los humedales de flujo horizontal. En general, los humedales de flujo vertical son más eficientes en la eliminación de DBO que los humedales de flujo horizontal, superior al 80 % para FSSV y superior al 70% para sistemas horizontales. Los sistemas verticales son alimentados intermitentemente, lo que permite que exista una tasa alta de transferencia de oxígeno en el lecho filtrante y esto favorece que los procesos de degradación aeróbica intervengan en la degradación de la materia orgánica (Kadlec y Wallace, 2009). La eliminación de SS para ambos sistemas de humedales presenta una eficiencia de eliminación superior al 85%.

El dimensionamiento de estos sistemas ha sido más empírico, el principal parámetro de diseño empleado en la práctica es el área requerida por habitante-equivalente (hab.e), pero los valores sugeridos varían incluso dentro de un mismo país, ya que se ve afectado por las condiciones climáticas de cada sitio. Mucha de la información, respecto a las áreas requeridas, es precedente de países europeos, como se observa en la Tabla 4.4.

Stefanakis *et al* (2014) encontró que aunque se tiende a utilizar valores menores a 3 m<sup>2</sup>/hab.e, se deben considerar las condiciones climáticas del sitio, dado que en sitios fríos se llegan a requerir de entre 4 y 5 m<sup>2</sup>/hab.e para asegurar la eficiencia del sistema, mientras que en sitios de clima más cálido los procesos de depuración son más intensos lo que deriva en requerir menos superficie, de entre 1 y 2 m<sup>2</sup>/hab.e.

Tabla 4.4 Valores de diseño para HFV propuestos en varios países.

| País            | Área requerida (m <sup>2</sup> /hab.e) | Referencia  |
|-----------------|--|---|
| Dinamarca       | 3.2                                    | Brix y Arias, (2005)  |
| Reino Unido     | 1.0 – 2.0                              | Cooper et al., (1997), Vymazal et al., (1998), Cooper, (2005, 1999), Weedon, (2010)   |
| Austria         | 4.0 – 6.0                              | Laber et al., (1997), Schönerklee et al., (1997), Vymazal et al., (1998), Langergraber et al., (2007), Mitterer-Reichmann, (2012) |
| República Checa | 1.5                                    | Vymazal y Kröpfelová, (2011)  |
| Alemania        | 2.25                                   | Kayser et al., (2002)   |
|                 | 3.0                                    | von Felde y Kunst, (1997)   |
|                 | 2.0 – 3.0                              | Bahlo y Wach, (1995)  |

| País                       | Área<br>requerida<br>(m <sup>2</sup> /hab.e) | Referencia                                  |
|----------------------------|--|---|
| Bélgica                    | 3.8  | L. Rousseau et al., (2004)                  |
| Francia                    | 2.0 – 2.5                                    | Molle et al., 2005), Paing y Voisin, (2005) |
| Grecia                     | 1.0 – 1.5                                    | Stefanakis y Tsihrintzis, (2012)            |
|                            | 3.0  | Gikas and Tsihrintzis, (2012)               |
| Italia                     | 1.3 – 3.2                                    | Foladori et al., (2012)                     |
| España                     | 1.0 – 3.2                                    | Puigagut et al., (2007)                     |
| Islas Canarias<br>(España) | 1.5  | Vera et al., (2013)                         |

Fuente: Stefanakis et al 2014.

Si bien es cierto que el parámetro de m<sup>2</sup>/hab.e es ampliamente empleado para el dimensionamiento de un HFV y que ha dado resultados aceptables, Stefanakis *et al.*, (2014) considera que no es suficiente, y recomienda tomar en cuenta la tasa de carga orgánica en gramos de DBO<sub>5</sub> o DQO por metro cuadrado al día (g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/d, g DQO/m<sup>2</sup>/d) y la tasa de carga hidráulica ( m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d). En la Tabla 4.5. se presentan las tasas de carga orgánica e hidráulica empleados por diferentes investigadores alrededor del mundo.

En base a la Tabla 4.5, el promedio del valor de carga orgánica empleado para el dimensionamiento de HFV, es de entre de 20-30 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/d y 80 g DQO/m<sup>2</sup>/d, y 0.05 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d para carga hidráulica. Nuevamente las condiciones climáticas de cada sitio influyen, en climas fríos se llegan a emplear cargas bajas, por ejemplo, 30 g DQO/m<sup>2</sup>/d y 0.01 a 0.10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d de carga hidráulica. En cambio, cuando el sitio tiene temperaturas más cálidas, los valores llegan a incrementarse, hasta 80 g DQO/m<sup>2</sup>/ d y 0.15 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d (Stefanakis *et al*, 2014).

Una de las desventajas del tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales, es que pueden llegar a requerir superficies relativamente grandes para llevar a cabo los procesos de depuración, en el caso de la escuela Francisco González Bocanegra el área disponible para este fin es limitada, además de que tiene una forma irregular. Para este caso se propone aprovechar toda la superficie disponible y posteriormente corroborar la carga orgánica e hidráulica del sistema y compararla con los valores reportados por los diferentes autores de la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Carga orgánica e hidráulica aplicada en HFV en varios países.

| País        | Carga hidráulica<br>m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d | Carga orgánica g/m <sup>2</sup> /d |             | Referencia                           |
|-------------|---|------------------------------------|-------------|--------------------------------------|
|             |   | DBO <sub>5</sub>                   | DQO         |                                      |
| Reino Unido | 0.119   | 13.7                               | 26.1        | Weedon (2003)                        |
|             | 0.05  | 56                                 |             | Weedon (2010)                        |
| Alemania    | 0.25  |                                    |             | Platzer (1999)                       |
|             | 0.05, 0.10, 0.15                                      |                                    | Hasta 70    | von Felde y Kunst (1997)             |
|             | 0-08-0.18   |                                    |             | Kayser et al. (2002)                 |
|             | 0.030, 0.044  | 10.01, 21.44                       | 20.6, 35.69 | Luederitz et al. (2001)              |
| Austria     |   |                                    | 20, 27, 40  | Langergraber et al. (2007a, 2008a,b) |
| Turquía     |   | 6.5                                |             | Korkusuz et al. (2004)               |
| Grecia      | 0.195-0.439   | 89.9-180.9                         | 107.2-219.6 | Stefanakis and Tsihrintzis (2012a)   |
| Egipto      | 0.044   | 2.62 – 7.65                        |             | Abou-Elela y Hellal (2012)           |
| México      | 0.04  | 4.6                                |             | Zurita et al. (2009)                 |
| Italia      | 0.055-0.123   |                                    | 37-87       | Abou-Elela y Hellal (2012)           |

Fuente: Stefanakis, *et al* (2014).

La profundidad del medio granular de los HFV varía entre 0.5 y 0.8 m, con una altura de resguardo de hasta 0.5 m, la configuración de la distribución de medio granular se conforma por capas de materiales de diferente granulometría, arenas y gravas, los más finos se localizan en superficie mientras los más gruesos en la parte inferior. La capa principal del sistema ocupa mayor profundidad y generalmente son de por lo menos 40 cm de arenas, la capa inferior, tiene la función de drenar el efluente y se conforma de 10 a 20 cm de gravas. La configuración de cada HFV varía de un país a otro, en la Tabla 4.6 se presentan el número de capas y sus dimensiones alrededor del mundo.

Tabla 4.6 Número de capas y profundidad de lecho de HFV alrededor del mundo.

| Número de capas | Profundidad de la cama<br>(cm) | País               |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|
| 1               | 50-180                         | Alemania y Austria |
| 1               | 50                             | Japón              |
| 3               | 62 (3-42-17)                   | Grecia             |
| 3               | 75 (50-10-15)                  | Austria            |
| 3               | 100 (80-5-15)                  | Reino Unido        |
| 1               | 100                            | Alemania           |

| Número de capas | Profundidad de la cama<br>(cm) | País        |
|-----------------|--------------------------------|-------------|
| 3               | 107 (2-98-7)                   | Alemania    |
| 3               | 75 (50+10+15)                  | Austria     |
| 2               | 100 (80-20)                    | Dinamarca   |
| 2               | 70 (40-30)                     | Reino Unido |
| 4               | 50 (10-15-10-15)               | Grecia      |
| 1               | 30                             | México      |
| 2               | 85 (50-25)                     | Egipto      |

Fuente: Stefanakis, *et al* (2014).

## CAPÍTULO 5. Diagnóstico de uso del agua en la escuela Francisco González Bocanegra

La planeación de cualquier obra hidráulica requiere de la determinación de parámetros hidrológicos básicos, la precipitación media anual es una de ellas. A continuación, se presentan los resultados de la precipitación media anual del área de estudio obtenida con el método de isoyetas, para posteriormente estimar el potencial de captación de agua de lluvia de las superficies de la escuela Francisco González Bocanegra.

### 5.1. Análisis y de la precipitación

En la Figura 5.1 se presentan las columnas de precipitación para las 4 estaciones meteorológicas circundantes al área de estudio que contaron con registros en el periodo del 1980 al 2015. La precipitación media para la región es de 350 mm. Se han registrado cuatro años con precipitación anual mayor a los 500 mm, y en 2015 se tiene registro de la mayor precipitación llagando casi a los 600 mm.

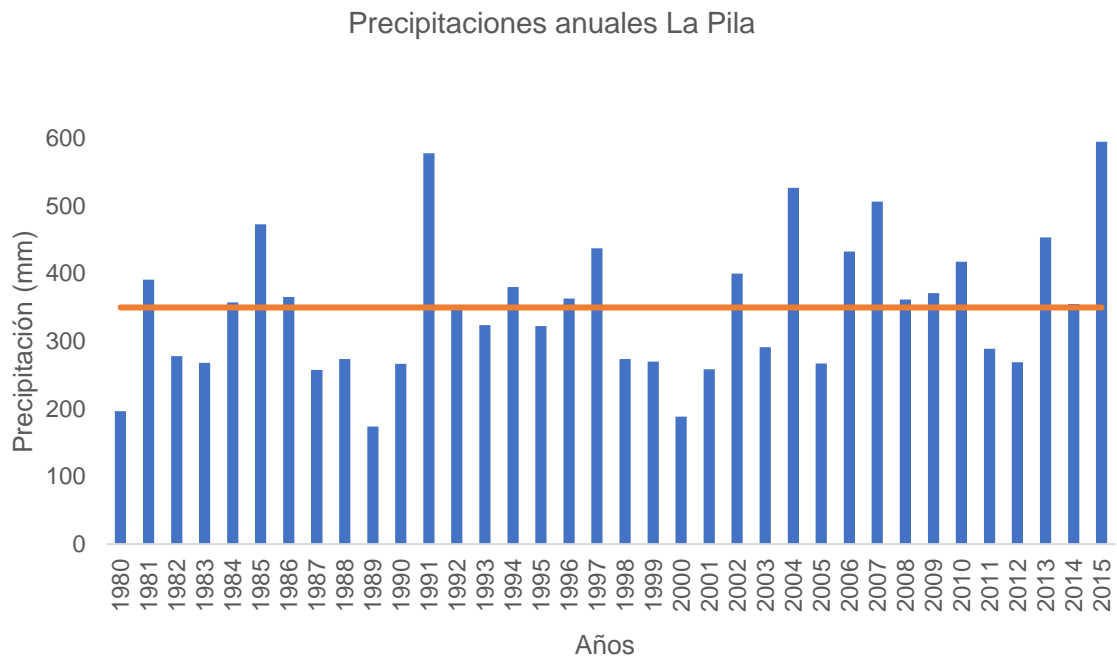


Figura 5.1 Precipitaciones anuales de Delegación La Pila.

En la Figura 5.2 se presenta la distribución de la precipitación mediante las isoyetas resultantes. Se puede apreciar que, al desplazarse al oeste, la precipitación media incrementa dado que se acerca más a la Sierra de San Miguelito. Este

incremento de la precipitación conforme se acerca a la Sierra está en concordancia con lo encontrado por Casabella (2015).

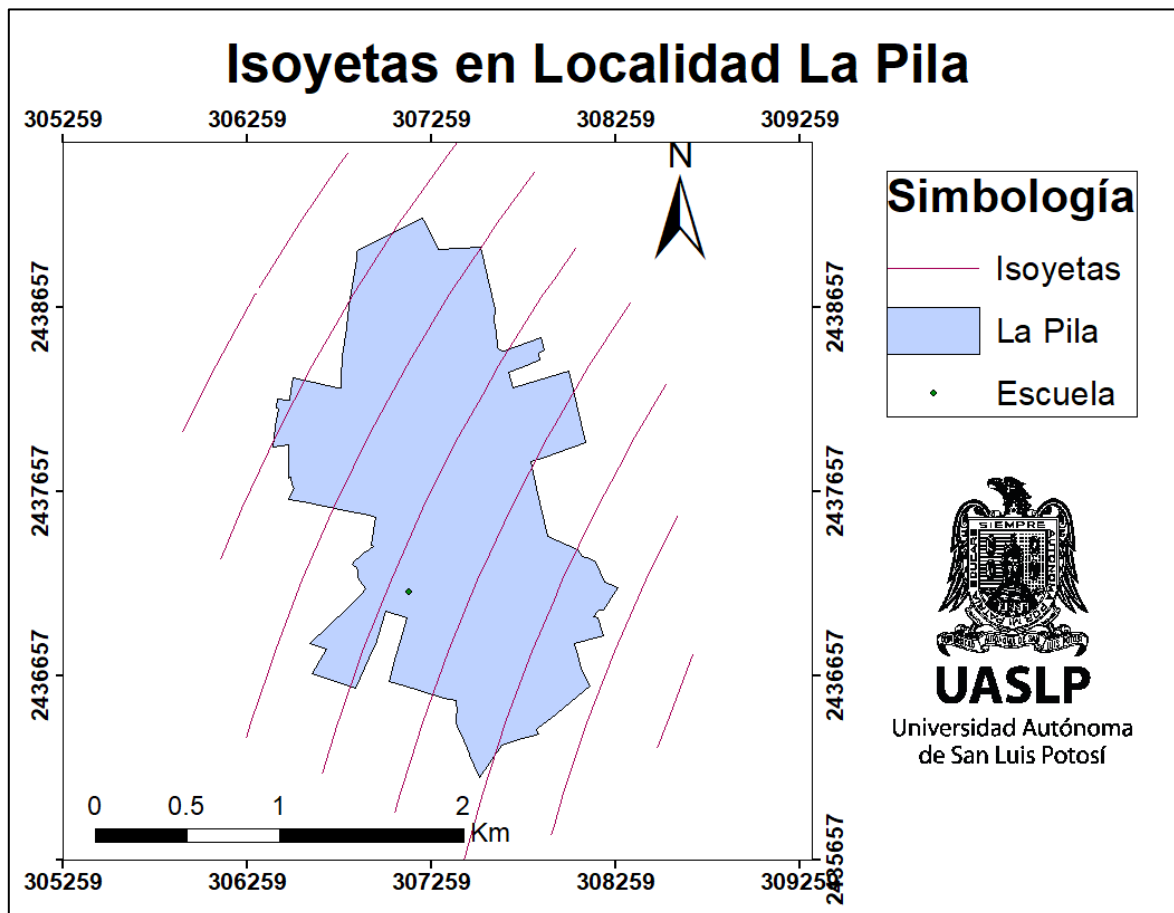


Figura 5.2 Isoyetas Delegación La Pila.

## 5.2. Usos del agua en el plantel

El balance de aguas en el plantel comprende el registro de las entradas y salidas, como se comentó en secciones anteriores, lo que más interés fue conocer el volumen de agua que se requiere para cada uno de los usos, los cuales se ilustran en la Figura 4.6 (descarga de WC, higiene, aseo de las instalaciones, riego de áreas verdes, incluido el huerto escolar).

Del análisis realizado para determinar el volumen de agua requerido en los baños, al arranque de las actividades del proyecto macro "Modelo de Sostenibilidad para la Gobernanza de comunidades vulnerables", el plantel contaba:



Tabla 5.1 Inventario de mobiliario en baños.

| Mobiliario                 | Baño de niños | Baño de niñas |
|----------------------------|---------------|---------------|
| WC (10/descarga)           | 4             | 6             |
| Mingitorios (4 l/descarga) | 2             | No aplica     |
| Lavabos (gasto 4 l/min)    | 4             | 4             |

La demanda de agua requerida para el concepto de baños fue un promedio de 4,000 litros diarios ( $4.0 \text{ m}^3/\text{día}$ ) de los cuales 3,600 correspondían para la descarga en WC y mingitorios, el resto era la necesaria para el lavado de manos.

El plantel cuenta con 11 aulas, la dirección, una pequeña biblioteca (inicio de los trabajos en el plantel era una bodega de material de intendencia) y los baños. Para la limpieza de cada uno de estos espacios se utilizan aproximadamente 15 litros de agua, es decir aproximadamente 250 litros al día para el concepto de limpieza.

Desde el comienzo de las actividades del modelo de sostenibilidad, la comunidad escolar exponía que no contaban con agua suficiente, por lo que constantemente solicitaban pipas para cubrir el déficit. El volumen total de agua requerida ascendía a 4,250 litros diarios ( $4.25 \text{ m}^3/\text{día}$ ) ver Figura 5.3. El ciclo escolar tiene en promedio 200 días de actividad, en la Tabla 5.2 se expone la cantidad de agua que se requiere por bimestre y se compara con la cantidad entregada al plantel en base a datos disponibles de las facturas de cobro por parte del organismo operador.

Tabla 5.2 Comparación del volumen de agua entregada contra el agua requerida.

| Bimestre                   | Días hábiles | Dotación bimestral | Requerimiento ( $\text{m}^3$ ) | Déficit ( $\text{m}^3$ ) |
|----------------------------|--------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------|
| INTERAPAS ( $\text{m}^3$ ) |              |                    |                                |                          |
| Enero-febrero              | 37           | 11                 | 158                            | 147                      |
| Marzo-abril                | 30           | 56                 | 128                            | 72                       |
| Mayo-junio                 | 38           | 65                 | 162                            | 97                       |
| Julio-agosto               | 20           | 25                 | 86                             | 61                       |
| Septiembre-octubre         | 41           | 97                 | 175                            | 78                       |
| Noviembre-diciembre        | 34           | 32                 | 145                            | 113                      |
| Total                      | 200          | 286                | 854                            | 568                      |

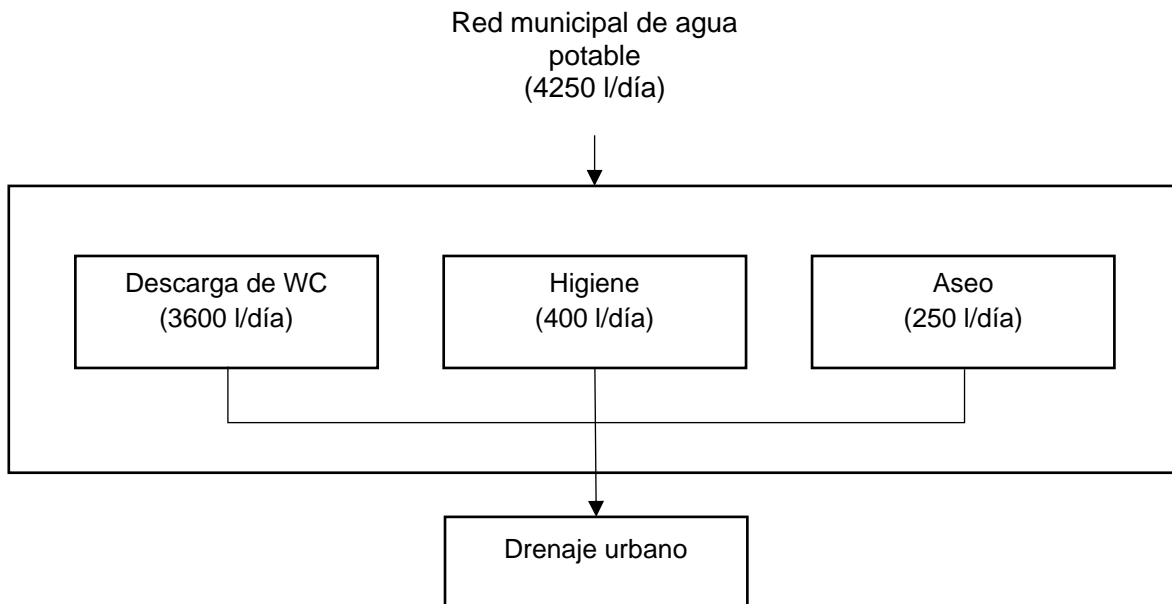


Figura 5.3 Distribución de usos de agua en plantel antes intervención del Modelo.

Cómo se observa en la Tabla 5.2, se estimó que la demanda anual de agua del plantel era de 854 m<sup>3</sup> anuales para una población de 279 integrantes. Se observa que el organismo operador no dota de la cantidad suficiente de agua. Por otro lado, se analizó la tarifa que se le cobra a la institución y se encontró que las lecturas del medidor no corresponden a los volúmenes de agua recibidos, por lo que constantemente se tiene que acudir a las oficinas a solicitar aclaraciones.

Se realizó un análisis económico con los datos obtenidos en este estudio y la aplicación de las tarifas indicadas en la Ley de cuotas y tarifas para la prestación de servicios públicos del organismo operador, publicado en el periódico oficial del estado de San Luis Potosí en diciembre de 2016. El organismo operador dotaba de una cantidad inferior a la requerida, y no se cuenta con un registro fiable de la cantidad de pipas que se solicitaron para cubrir la demanda, sin mencionar que algunas de éstas eran donadas por las autoridades de la delegación, y otras pagadas con fondos de los padres de familia. Al año, el gasto en el plantel por concepto de agua potable sería de casi 35,400.00, sin la implementación de mobiliario de bajo consumo (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Consumo de agua en plantel antes de intervención.

| Bimestre            | Sin equipos ahorradores | Cobro correspondiente |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|
| Enero-febrero       | 158                     | \$6,185               |
| Marzo-abril         | 128                     | \$5,011               |
| Mayo-junio          | 162                     | \$7,611               |
| Julio-agosto        | 86                      | \$2,693               |
| Septiembre-octubre  | 175                     | \$8,222               |
| Noviembre-diciembre | 145                     | \$5,677               |
| Total               | 854                     | \$35,399              |

El huerto escolar representa un uso de agua que en la mayoría de los planteles no se considera. Para este caso el huerto cuenta con una superficie de 36 m<sup>2</sup>. El requerimiento de agua que se necesita asegurar el buen funcionamiento del mismo se muestra en la Tabla 5.4, corresponde a una dotación promedio diaria de aproximadamente 200 litros.

Tabla 5.4 Requerimiento hídrico del huerto escolar.

| Mes        | Requerimiento (litros/mes) |
|------------|----------------------------|
| Enero      | 4,926                      |
| Febrero    | 6,226                      |
| Marzo      | 9,189                      |
| Abril      | 9,052                      |
| Mayo       | 8,318                      |
| Junio      | 6,127                      |
| Julio      | 5,611                      |
| Agosto     | 5,844                      |
| Septiembre | 4,246                      |
| Octubre    | 4,899                      |
| Noviembre  | 5,052                      |
| Diciembre  | 4,405                      |

El volumen de agua demandado inicialmente del plantel sumado con el volumen de agua necesario para el mantenimiento del huerto resulta en un total de 926 m<sup>3</sup> anuales. Una vez que se obtuvieron los volúmenes de agua requeridos en cada uso, incluyendo la necesaria para el huerto se obtuvo un nuevo balance, siendo el agua para baños lo que mayor cantidad requiere (Figura 5.4 y Figura 5.5)

Después de la limpieza de aulas, el agua usada se aprovecha directamente en las áreas verdes, gracias a que no se usa aromatizante directamente en el agua,

lo que permite tal aprovechamiento, por lo que este uso no demanda una cantidad extra.

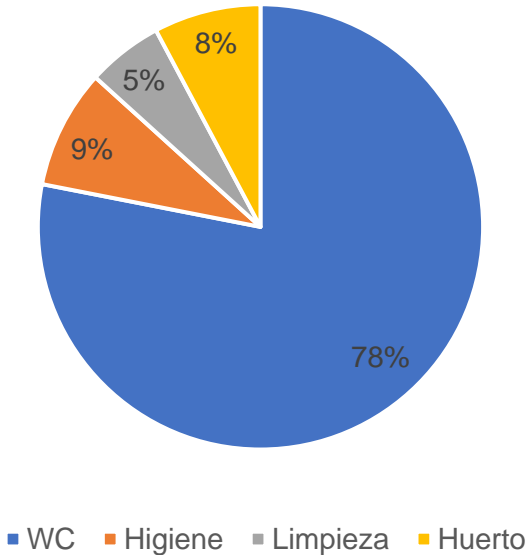


Figura 5.4 Distribución de usos del agua en Escuela Francisco González Bocanegra.

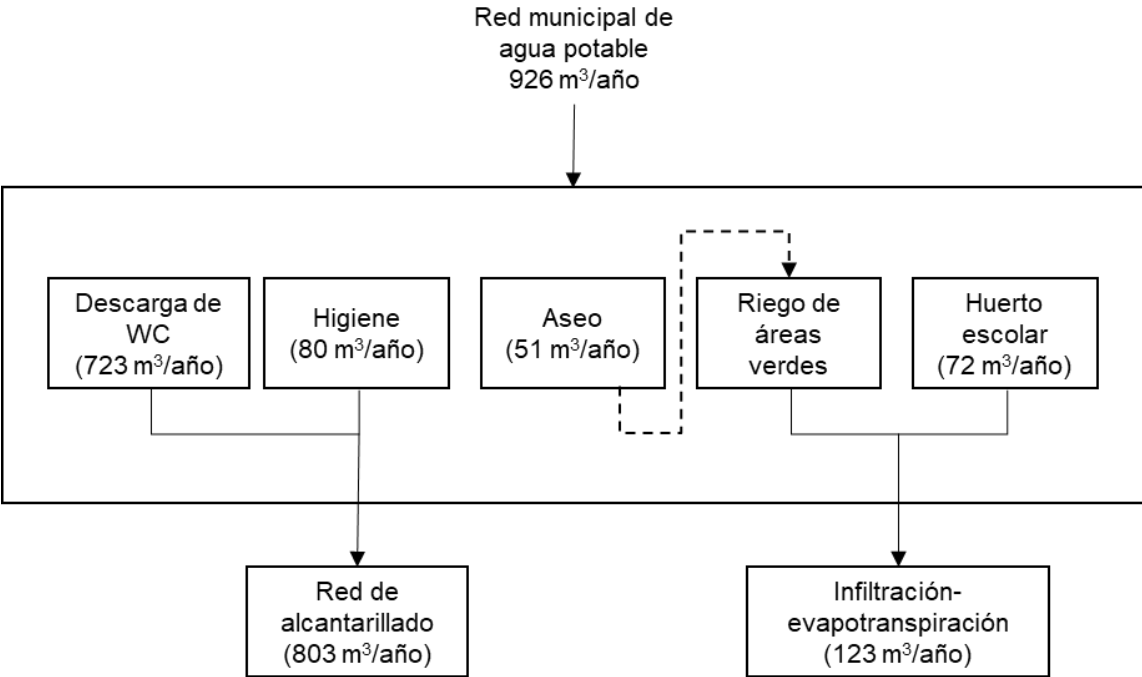


Figura 5.5 Balance hídrico inicial.

## CAPÍTULO 6. Propuesta para el manejo integral del agua en escuelas públicas

Cada una de las acciones y propuestas a implementar dentro del plantel, tuvieron como finalidad generar ahorros en el consumo global del agua, por lo que el ahorro será mayor en la medida que todas y cada una de las propuestas sean verdaderamente aplicadas y apropiadas por la comunidad escolar. Se presentaron diferentes escenarios como resultado de la combinación de las diferentes estrategias de ahorro.

Las propuestas en el presente trabajo son:

1. Cambio a mobiliario sanitario de bajo consumo
2. Captación y aprovechamiento de agua pluvial
3. Tratamiento de AR y reutilización para la descarga de WC

### 6.1. Cambio de muebles sanitarios

La escuela Francisco González Bocanegra contaba con muebles sanitarios tradicionales que gastan cantidades relativamente elevadas de agua por cada descarga. El principal objetivo de la sustitución de éstos por los de bajo consumo, fue disminuir la cantidad de agua requerida para tal fin

Se sustituyeron los sanitarios de tanque de 10 litros por descarga, por nuevos con descarga del 4.8 litros, se instalaron dos mingitorios secos, las llaves de los lavamanos se reemplazaron por llaves economizadoras con un gasto de 2 litros por minuto.

Como se mostró en la sección anterior el requerimiento anual del agua para la descarga de WC y mingitorios ascendía a los 723 metros cúbico, con el cambio del mobiliario el requerimiento para este concepto bajó a los 317 metros cúbicos, que representa un ahorro de 56%. Por concepto de agua necesaria para higiene, se debía asegurar una dotación de 80 metros cúbicos anuales, con la sustitución e implementación de los equipos economizadores, la demanda disminuyó a 53 metros cúbicos anuales, generando un ahorro del 34%,



Figura 6.1 Baños de bajo consumo de agua.



Figura 6.2 Mingitorios secos.



Figura 6.3 Llaves economizadoras de uso rudo.

En conjunto, este par de acciones permitió que la demanda de agua del plantel disminuyera un 47%. Mientras que el beneficio económico es aún mayor. En la Tabla 6.1 se compara el cobro bimestral correspondiente al consumo sin los equipos ahorradores contra el cobro que le corresponde al consumo después de la implementación de los equipos. La disminución del volumen requerido permitió que cada bimestre la tarifa aplicada por cada metro cúbico fuera menor, en base a la tabla de tarifas indicada en la Ley de cuotas y tarifas para la prestación de servicios

públicos del organismo operador. Por ejemplo, la tarifa aplicada para el rango de consumo bimestral de entre los 160 y 200 metros cúbicos, es de 30.00 pesos. Mientras que, si el consumo está entre los 100 y 160 metros cúbicos, el factor es de 20.00 pesos. Por dicha razón es que, aunque el consumo haya disminuido el 47 %, el ahorro económico es del 60%.

Tabla 6.1 comparación de ahorro económico generado por cambio de mobiliario eficiente.

| Bimestre            | Sin equipos ahorradores (m <sup>3</sup> ) | Cobro correspondiente | Con equipos ahorradores (m <sup>3</sup> ) | Cobro correspondiente |
|---------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
| Enero-febrero       | 168                                       | \$7,892               | 89  | \$2,787               |
| Marzo-abril         | 146                                       | \$5,716               | 81  | \$2,537               |
| Mayo-junio          | 176                                       | \$8,268               | 94  | \$2,944               |
| Julio-agosto        | 99  | \$3,101               | 53  | \$1,660               |
| Septiembre-octubre  | 183                                       | \$8,597               | 95  | \$2,975               |
| Noviembre-diciembre | 154                                       | \$6,030               | 81  | \$2,537               |
| Total               | 926                                       | \$39,604              | 493                                       | \$15,440              |

## 6.2. Aprovechamiento de agua de lluvia

Gracias a la implementación de equipos de bajo consumo, se determinó el nuevo volumen anual de agua requerido en el plantel, 493 metros cúbicos anuales.

La precipitación media anual de la Delegación de la Pila es de 350 mm. Dentro del plantel existen varias superficies que funcionan para la captación del agua de lluvia como son el techo de lámina galvanizada del patio principal (Figura 6.4), y el techo que cubre el área de juegos (Figura 6.5). El techo de concreto de los salones también puede servir para este fin, lamentablemente durante la ejecución del proyecto no fue posible la instalación de canaletas en los bordes de las aulas para poder canalizar el agua que escurre sobre dichas superficies.



Figura 6.4 Cubierta de lámina galvanizada del patio principal.



Figura 6.5 Cubierta de área de juegos.

En la Tabla 6.2 se muestran el potencial de captación de cada una de las superficies en base a la precipitación media mensual.

| Mes        | Precipitación<br>Media | Patio<br>principal | Área de<br>juegos | Total |
|------------|------------------------|--------------------|-------------------|-------|
| Enero      | 11.79                  | 6                  | 1                 | 7     |
| Febrero    | 10.17                  | 5                  | 1                 | 6     |
| Marzo      | 6.24                   | 3                  | 1                 | 4     |
| Abril      | 17.85                  | 9                  | 2                 | 11    |
| Mayo       | 34.50                  | 18                 | 3                 | 21    |
| Junio      | 51.70                  | 27                 | 5                 | 32    |
| Julio      | 60.33                  | 32                 | 5                 | 37    |
| Agosto     | 50.51                  | 27                 | 4                 | 31    |
| Septiembre | 60.51                  | 32                 | 5                 | 37    |
| Octubre    | 27.20                  | 14                 | 2                 | 17    |
| Noviembre  | 9.96                   | 5                  | 1                 | 6     |
| Diciembre  | 9.24                   | 5                  | 1                 | 6     |
|            | 350.00                 | 185                | 31                | 216   |

Como se muestra en la Tabla 6.2, el potencial de captación de agua del techo del patio y del área de juegos es de 216 m<sup>3</sup> al año, y representa el 44 % del requerimiento anual del plantel. La superficie de los salones de clase, suman en total 690 m<sup>2</sup>, en los cuales se pudieran captar 116 m<sup>3</sup> al año adicionales a los ya instalados, con ello, la captación de agua de lluvia en todos los techos del plantel puede representar hasta el 65% de la demanda actual del plantel.



### 6.3. Tratamiento y reuso de aguas residuales

Como se mencionó en apartados anteriores, el volumen de agua necesario para descarga en baños, representa más del 60% del total del agua requerida, cuando antes de implementar equipos de bajo consumo era mayor al 75 %. Este es un uso que no necesita agua de gran calidad y puede ser abastecido por agua tratada, como se mencionó en apartados anteriores en el caso de la escuela Sidwell Friends, Washington, D.C.

En este trabajo se planteó la posibilidad de implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales que cumplieran con los parámetros de la NOM-003.

En base a los datos obtenidos en etapas anteriores se determinó que el gasto de aguas residuales generadas es de 1,850 litros al día, generados en 7 horas.

Las características fisicoquímicas del agua se presentan a continuación:

Tabla 6.3 Características iniciales de agua residual del plantel.

| Parámetro                            | Valor    |
|--------------------------------------|----------|
| DQO (mg/L)                           | 1,659.00 |
| DBO (mg/L)                           | 814.50   |
| SST (mg/L)                           | 784.00   |
| NT (mg/L)                            | 121.00   |
| Q punta (l/hora)                     | 264.00   |
| Q medio al día (m <sup>3</sup> /día) | 1.85     |

Se seleccionó como sistema de tratamiento primario, la fosa séptica prefabricada, seguido de un humedal subsuperficial de flujo vertical, como tratamiento secundario y un tanque de contacto con cloro, para la eliminación de bacterias patógenas, que en conjunto integran el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Escuela Francisco González Bocanegra. El esquema del sistema de tratamiento será el mostrado en la Figura 6.6.

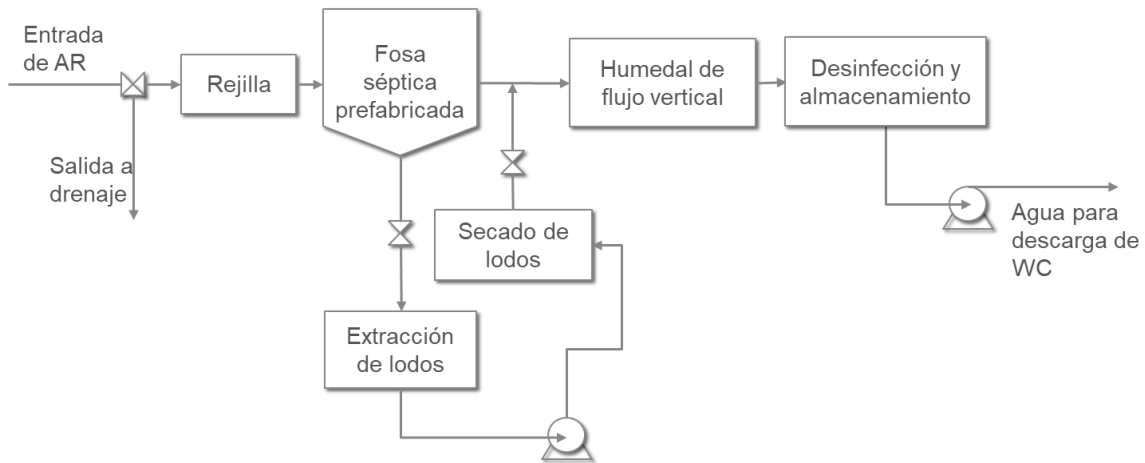


Figura 6.6 Proceso del tratamiento de aguas residuales de la escuela Francisco González Bocanegra

Con los datos de gasto y concentración de contaminantes, se diseñó el sistema de acuerdo a la bibliografía consultada, se diseñaron las unidades básicas para el sistema de tratamiento.

El dimensionamiento de la fosa séptica se realizó aplicando la ecuación 4 para un tiempo de retención hidráulica de un día (24 horas).

$$V = T_H Q_{medio} \quad \text{Ecuación (4)}$$

$$V = (1 \text{ día}) \left( 1.85 \frac{m^3}{\text{día}} \right)$$

$$V = 1.85 m^3$$

En base a los cálculos anteriores se requiere una fosa séptica de  $1.85 m^3$ , y el modelo que más se acomoda para cumplir con dicho criterio es la RP-3000 en la que se tendrá un tiempo de retención hidráulica de 1.6 días.

Posteriormente, con las especificaciones técnicas de remoción de contaminantes proporcionadas por el proveedor se estimó la calidad del agua después de pasar por este equipo.

Tabla 6.4 Balance de contaminantes en tratamiento primario.

| Parámetro  | % de remoción | Afluente | Efluente |
|------------|---------------|----------|----------|
| DQO (mg/L) | 88            | 1,659.00 | 199.00   |
| DBO (mg/L) | 90            | 814.50   | 81.45    |
| SST        | 85            | 784.00   | 116.60   |

El diseño del humedal de flujo vertical se realizó en base a la bibliografía consultada, los parámetros de diseño se muestran en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5 Características del humedal de flujo vertical.

| Parámetro                        | Valor   |
|----------------------------------|---|
| Área superficial                 | 16 m <sup>2</sup>                                 |
| Largo de celda.                  | 6.4 m   |
| Ancho de celda                   | 2.5 m   |
| Carga orgánica                   | 10.10 g DBO/m <sup>2</sup> d                      |
| Número de celdas                 | 2   |
| Número de capas por celda        | 3   |
| Capa de grava fina (2-8 mm)      | 30 cm   |
| Capa de grava (5-20 mm)          | 20 cm   |
| Capa de grava gruesa (20-40 mm)  | 20 cm   |
| Flora seleccionada               | Carrizo ( <i>Phragmites australis, communis</i> ) |
| Densidad de población de plantas | 4 ejemplares/m <sup>2</sup>                       |

En base a la bibliografía consultada, la eficiencia en remoción de materia orgánica de las aguas residuales es de arriba del 80%, con este dato se estima la calidad del agua residual después de pasar a través del humedal. En el tanque final se aplican choques de biosida para la eliminación de bacterias patógenas, para así cumplir con los límites máximos permisibles de la NOM-003-SEMARNAT-1997. Los resultados se muestran en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6 Balance de contaminantes durante depuración en humedal artificial.

| Parámetro  | % de remoción | Afluente | Efluente | LMP |
|------------|---------------|----------|----------|-----|
| DQO (mg/L) | 80            | 199.00   | 39.80    | NA  |
| DBO (mg/L) | 80            | 81.45    | 16.30    | 30  |
| SST (mg/L) | 80            | 116.60   | 23.30    | 30  |

La Figura 6.7 muestra la distribución propuesta de los diferentes componentes del tren de tratamiento, los cuales embonan bien en el terreno disponible, el cual en un principio se pensó sería un factor limitante.

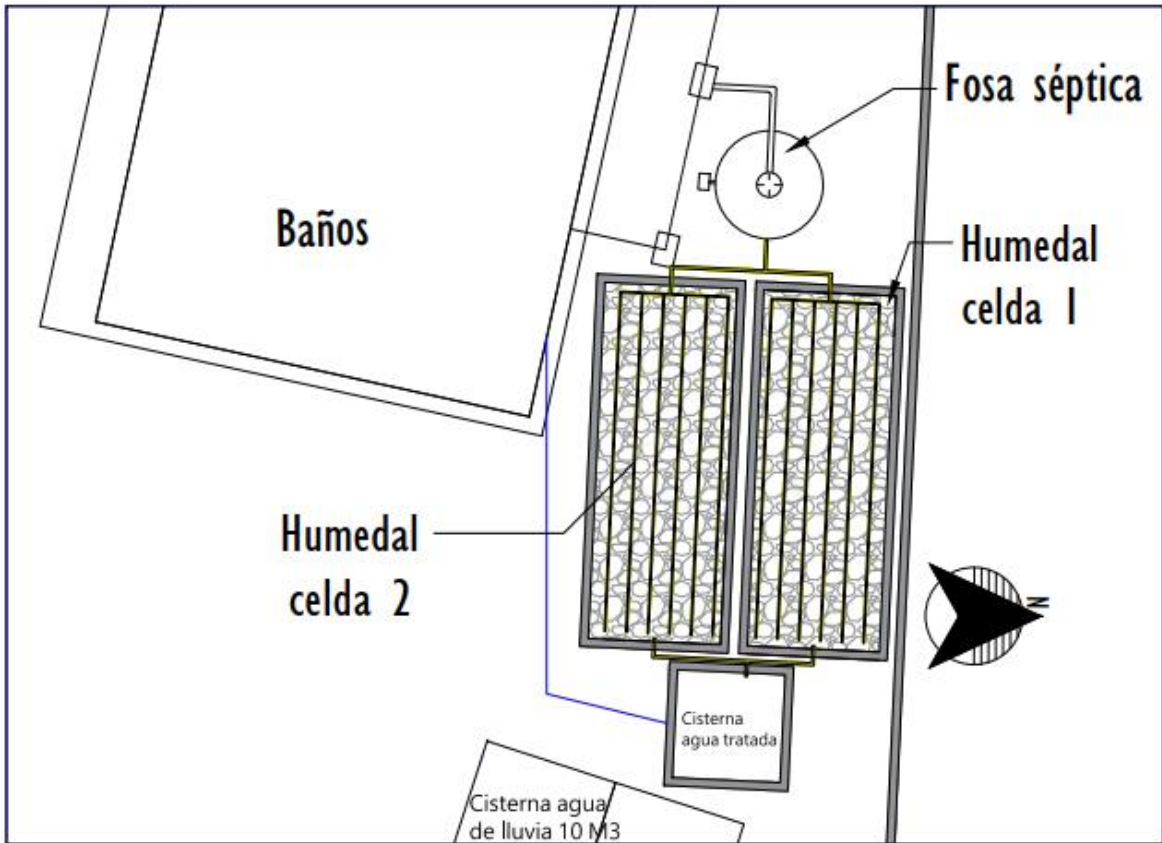


Figura 6.7 Croquis de la distribución de componentes del sistema de tratamiento.

El caudal de agua residual que entra al sistema es de aproximadamente 1850 litros al día, dado que la evapotranspiración de la zona es alta, se estima que un 10 % de ésta, pasa a la atmosfera, lo que resulta en tener un volumen de agua tratada de 1600 litros al día, prácticamente el agua necesaria por día para la descarga de WC. En base a la eficiencia del humedal de flujo vertical, en la remoción de contaminantes del agua, mostrada en la bibliografía consultada, éste entrega agua que cumple con la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

## CAPÍTULO 7. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación muestran que antes de la intervención del Modelo de Sostenibilidad para la Gobernanza de Comunidades Vulnerables, el plantel tenía una demanda de 854 m<sup>3</sup> anuales para cubrir las necesidades de higiene, limpieza y descargas en baños. Con este volumen de agua, a cada integrante de la comunidad escolar le corresponde aproximadamente 15 litros por día, valor que se encuentra dentro de los rangos de dotación recomendados para escuelas. Pero la dotación por parte del organismo operador había estado muy por debajo de dicho valor, por lo que era necesario complementar el déficit con pipas que, las cuales eran pagadas por los padres de familia, y en otras ocasiones donadas por la Delegación.

La implementación del huerto escolar, derivado del Modelo, incrementó el requerimiento de agua del plantel en 72 m<sup>3</sup> anuales, lo que significa que en total se requerirían 926 m<sup>3</sup>. En la Figura 5.4 se puede observar que el agua requerida para descarga de los WC es la que representa el mayor porcentaje (78%). Con la sustitución de mobiliario de alto consumo por equipos de bajo consumo se logró disminuir el requerimiento global de agua en el plantel, de 926 m<sup>3</sup> a 493 m<sup>3</sup> anuales, que representa un 47% de ahorro de agua.

El aprovechamiento de agua de lluvia, como fuente alterna de suministro del vital líquido, también suma en la búsqueda por disminuir la demanda de agua al organismo operador. Como se mostró en la sección correspondiente, en el plantel se tiene una capacidad instalada para la captación y aprovechamiento de agua pluvial, en base a la precipitación media anual, de 216 m<sup>3</sup> anuales, equivalente al 43% de los 496 m<sup>3</sup> requeridos (ya con los equipos de bajo consumo instalados y las necesidades del huerto escolar). Este porcentaje puede incrementarse hasta un 67% solamente canalizando el agua de los techos de todas las aulas.

El cambio de muebles sanitarios a más eficientes, no sólo representa la disminución de la demanda de agua, sino que también se refleja en menor generación de agua residual, misma que puede ser tratada mediante tecnologías de bajo costo, como los humedales artificiales. El agua residual tratada es una fuente alternativa de agua para aquellos usos que no requieren agua de calidad potable, como la descarga de WC o riego de áreas verdes, y que son los usos que se le ha dado en los casos mencionados en apartados anteriores.

Del total del agua residual generada se puede recuperar el 90%, que representa prácticamente la cantidad de agua necesaria para la descarga de los muebles sanitarios. De ser así, prácticamente las necesidades del agua del plantel pasarían de los 493 m<sup>3</sup> anuales a 176 m<sup>3</sup>, gracias al reuso por tratamiento. Como

resultado final del presente trabajo se define un nuevo balance de agua para el plantel, en cual se muestra en la Figura 5.8.

En la Figura 5.9 se muestra gráficamente el volumen requerido para los diferentes usos en el plantel en diferentes escenarios. En el escenario inicial se muestra el volumen total de agua requerido con la implementación del huerto, pero sin la instalación de equipos de bajo consumo en las descargas. La barra del escenario 1 ilustra la disminución de agua necesaria solo con la instalación de equipos eficientes. Si se compara con la barra de agua captada se puede determinar que el volumen de agua requerido por parte del organismo operador es menor a la mitad de lo requerido. La barra del escenario 2, muestra cómo disminuye drásticamente el volumen de agua potable requerido, luego de no considerar el volumen de agua para descargas, ya que este rubro es cubierto con el agua tratada en el sitio. De ser posible, la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales para usarlas para los baños, el abastecimiento del agua se podría cubrir con agua de lluvia.

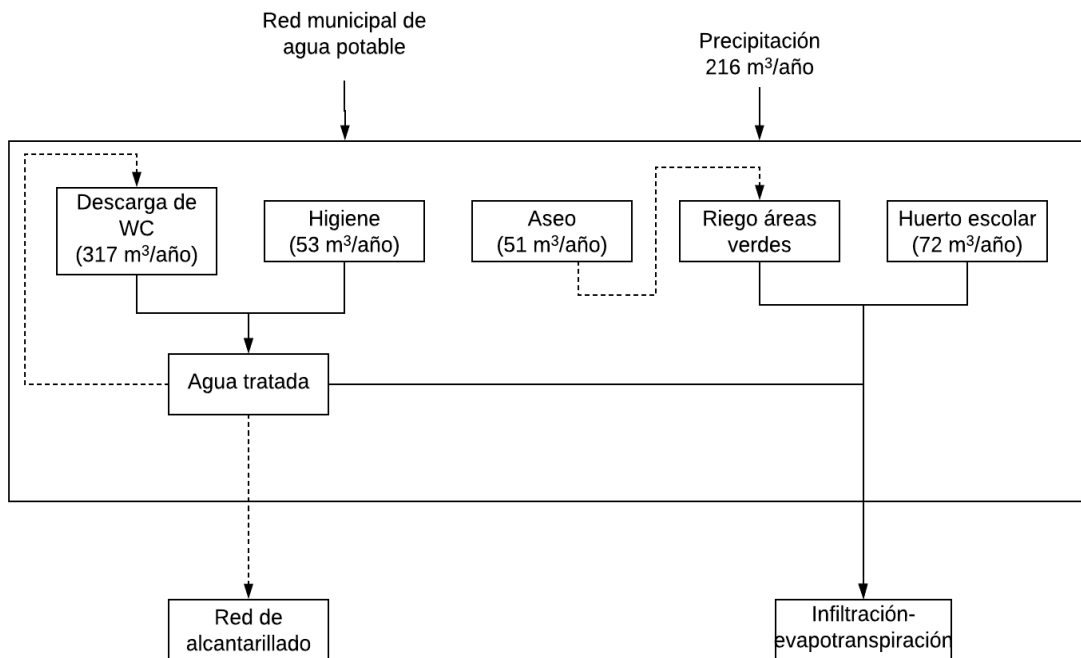


Figura 5.8

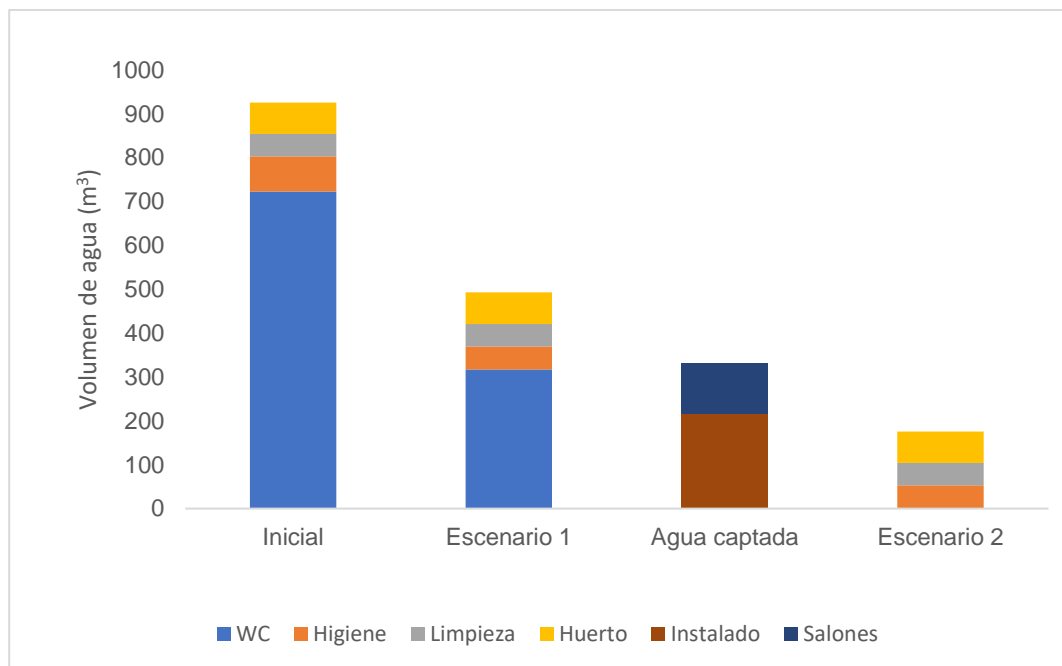


Figura 5.9 Comparación de volumen de agua requerido en diferentes escenarios.

La escuela se puede ver como un sistema abierto que intercambia materia y energía con el exterior. Para cubrir las diferentes necesidades que se tienen, se importa agua del exterior, misma que una vez utilizada sale del sistema, en este caso a través de la red de drenaje o por evaporación. Al momento de ser tratada se evita que salga del sistema y para reusar dentro del mismo sistema, por tanto, se disminuye la cantidad requerida desde el exterior. Como se ha mencionado anteriormente en distintas ocasiones, el mayor porcentaje se utiliza para la descarga de los WC, y ese uso no requiere de agua de calidad potable.

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo, el volumen de agua con calidad de potable que se requiere anualmente es el 35% de total del agua, dicha cantidad puede llegar a ser cubierta con el agua de lluvia (con su tratamiento correspondiente para llegar a tal calidad). Los patrones de precipitación son muy variables, por lo que no se puede esperar que se colecte la misma cantidad todos los años.

En su conjunto, los resultados obtenidos permitieron dar respuesta a las preguntas de investigación planteadas al inicio de este proyecto.

En la pregunta referente al impacto que tendría la implementación de ecotecnologías en el plantel en el ciclo hidrológico de la comunidad, se pudo encontrar que al igual que en el plantel de Sidwell Friend (Rabab et al., 2019), la cantidad de agua requerida para cubrir las necesidades es hasta 81% menor en

comparación con la requerida antes de la intervención, lo que se traduce en dejar de extraer, transportar y dar tratamiento hasta a 750 m<sup>3</sup> de agua al año.

La comunidad de La Pila, se localiza en una zona semi árida donde la precipitación es escasa, 350 mm anuales, lo que dificulta considerar al agua de lluvia como fuente que sustituya al agua proveniente de fuentes subterráneas. Sin embargo, debido a las grandes áreas de techo que se tienen en el plantel, la cantidad de agua que puede llegar a coleccionar, representa hasta un 40% de lo requerido. Durante la intervención, no fue posible medir con precisión el volumen de agua captada. Sin embargo, durante los meses de lluvia las cisternas se mantuvieron llenas, ambas suman 25 mil litros. Esto permitió que durante el año 2018 no se requiriera importar agua a través de pipas para el riego del huerto escolar.

Desde el punto de vista económico, el pago total por el agua requerida por el plantel antes de la intervención del Modelo, en caso de que esta hubiera sido proporcionada en su totalidad por el organismo operador, oscilaba alrededor de 40,000.00 pesos anuales, la sustitución del mobiliario sanitario, permite un ahorro económico del 47%. Cabe señalar, que este ahorro, no lo sintieron como tal debido a que la cantidad de agua que llegaba, por parte del organismo operador, siempre ha sido inferior a la necesaria para cubrir las necesidades del plantel.

Es necesario mencionar que además de la implementación y mejoras en la infraestructura, se complementó con los clubs de educación ambiental que se llevaron a cabo de manera paralela por otra parte del equipo de trabajo, y la intervención del grupo de trabajo dirigido al trabajo de empoderamiento de madres de familia.

Se coincide con lo que mencionan Rabab I. et al, 2019, de que un sistema de gestión sostenible del agua es el medio por el cual se puede lograr un desarrollo social y económico mediante el uso y aprovechamiento del agua de manera inteligente y que es un concepto que puede y debe estar integrado en los planteles educativos.



## CONCLUSIONES

Esta investigación permitió desarrollar los elementos mínimos requeridos en la escuela Francisco González Bocanegra para el manejo integral del agua, lo que favorece que la cantidad de agua necesaria para cubrir las diferentes necesidades sea menor.

Esta propuesta para el manejo integral del agua, complementa los demás elementos del Modelo de Sostenibilidad para la gobernanza de comunidades vulnerables, y funcionan como herramienta para que la comunidad escolar comprenda el nexus agua-energía-alimentos.

La participación activa de los padres de familia, maestros y alumnos, jugó un papel muy importante, ya que permitió comprender de mejor manera la dinámica que se vive en el plantel. Los padres de familia siempre han estado muy involucrados en la búsqueda de la mejora continua de las condiciones del plantel, lo que permitió que los elementos propuestos para el ahorro de agua, fueran aceptados positivamente.

El análisis de los usos de agua y los volúmenes necesarios para cada uno, permitió identificar cual fue el uso que mayor demanda, además de identificar que usos no requieren agua de calidad potable que pudieran ser abastecidos por alguna fuente alterna de agua. Gracias al balance hídrico del plantel, se identificó que el mayor volumen de agua que se requiere es utilizado para la descarga de WC.

La sustitución del mobiliario sanitario por modelos de menor consumo de agua permitió disminuir el volumen requerido, es decir, en caso de que el organismo operador dote de agua suficiente, se requiere de un 47% menos, además, se modificaron las instalaciones hidráulicas de forma que este uso sea abastecido con agua residual tratada in-situ en un futuro. Desde el punto de vista económico, el ahorro que representa en el pago por concepto de agua potable, genera ahorros del 61%.

Las aguas residuales generadas en el plantel son vertidas en la red de drenaje municipal, sin embargo, con el debido tratamiento se puede obtener una fuente de suministro para servicios en actividades que no requieran de agua de calidad potable. Este elemento del proyecto no se pudo realizar por la reasignación del recurso económico presupuestado para la instalación de otros elementos del Modelo. No obstante, se tienen los datos y las características del sistema de tratamiento que se diseñó para poder ser ejecutado en un futuro.

Se logró disminuir la demanda de agua del plantel gracias a la conjunción de las diferentes estrategias. Este tipo de intervenciones es la primera que se implementa en un plantel de educación pública en una zona periurbana con grado

de marginación alta y dentro de un clima semi árido. Otros proyectos parecidos se han ejecutado en zonas donde la precipitación es mayor y puede abastecer de agua suficiente por varios meses. Algunos otros se han ejecutado en casa habitación en el valle de México, donde las familias tiene problemas de abastecimiento.

El escenario que permite la menor demanda de agua del organismo operador es el que integra el mobiliario de bajo consumo, el aprovechamiento de agua de lluvia a través de todos los techos del plantel y el tratamiento y recirculación de aguas tratadas para los baños.

Se buscó la manera de involucrar a las autoridades responsables de construir y mantener la infraestructura física educativa, con el fin generar una sinergia para que en la construcción o proyectos de mejora de los planteles se considere la implementación de lo que este trabajo propuso.

Cabe mencionar que este trabajo permite señalar los puntos a considerar para lograr un mejor manejo del recurso hídrico desde los planteles educativos, mismos que se considera deben ser tomados en cuenta al momento de planear la construcción de nuevas escuelas.

El principal aporte de esta investigación, más allá de la cantidad de agua que se llegue a salvar dentro de las instalaciones del plantel, es contribuir en fortalecer un entorno que permita que la comunidad escolar (alumnos, maestros, padres de familia), aprehenda los conocimientos y herramientas para formar una sociedad activa respecto a la preservación de los recursos naturales. Es decir, al momento que el plantel cuanta con infraestructura que permite reducir el consumo de agua, y al mismo tiempo otros elementos con los cuales aprovechar el agua de lluvia, por mencionar algunos, los profesores tienen a su disposición elementos palpables que pueden ser usados para el fortalecimiento de los conocimientos teóricos vistos en el aula, o viceversa, usar dichos elementos como aula.

La integración de todos los elementos de la propuesta, benefician a la comunidad escolar, ya que dejarían de cancelar las clases, gracias a que se contará con la cantidad de agua suficiente que permite que satisfacer las diferentes necesidades hídricas y sin que esto represente elevados costos económicos por la operación.

Lamentablemente el Programa de Certificación de Escuelas Verdes, no se encuentra en operación, sin embargo, este tipo de certificaciones pudiera servir como reforzador positivo para que la comunidad escolar se esfuerce y se comprometa aún más para alcanzar el nivel más alto, y así diferenciarse más de los demás planteles que se encuentran en la localidad.

## REFERENCIAS

- Aparicio, M. F., (1992). *Fundamentos de hidrología de superficie*. México: Limusa
- Alarcón, M.T., Lara-Borrero J.A., Vidal, G. y Zurita M.F. (Ed.). (2018). Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina. Recuperado de <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2018/06/humedales-de-tratamiento-alternativa-de-saneamiento-de-aguas-residuales-aplicables-en-Am%C3%A9rica-Latina.pdf>
- Ballén, J., Galarza, M. y Ortiz, R. (2006). Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua, João Pessoa, Brasil.
- Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., Steduto, P., Mueller, A., Komor, P., Tol, R.S. y Yumkella, K.K., (2011). Considering the energy, water and food nexus; towards an integrated modelling approach. *Energy Policy* 39 (12), 7896-7906.
- Bernal, C.A. (2010). *Metodología de la investigación administración, economía, humanidades y ciencias sociales*. Bogotá. Colombia: Person. p. 61-63
- BID (2017). Suficiencia, equidad y efectividad de la infraestructura escolar en América Latina. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Suficiencia-equidad-y-efectividad-de-la-infraestructura-escolar-en-Am%C3%A9rica-Latina-seg%C3%BAAn-el-TERCE.pdf>
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B. y Wiberg, D. (2016). Water Futures and Solution: Fast Track Initiative (Final Report). IIASA Working Paper. Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). [pure.iiasa.ac.at/13008/](http://pure.iiasa.ac.at/13008/)
- Campana, Y., Velasco, D. y Guerrero, E. (2014), "Inversión en infraestructura educativa: una aproximación a la medición de sus impactos a partir de la experiencia de los colegios emblemáticos", Lima, Informe final del Proyecto Mediano presentado en el marco del Concurso de Investigación 2013 XV. CIES/IDRC/Fundación M.J. Bustamante.

- Casabella, M. J. (2015). Estudio de erosión hídrica en varias localizaciones de la Sierra de San Miguelito, SLP, México: Evaluación de erodibilidad de los suelos y modelado del proceso (tesis de maestría). Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. (2010). Metodología para la medición multidimensional de la pobreza en México, México DF. Recuperado de: <https://www.coneval.org.mx/InformesPublicaciones/InformesPublicaciones/Documents/Metodologia-medicion-multidimensional-3er-edicion.pdf>
- De León, A. e Infante, J. (2014). Una evaluación crítica de una experiencia de Educación Ambiental para la Sustentabilidad en el nivel educativo básico en Nuevo León, México. *La CPU-e, Revista de investigación educativa*, 18, 184-212
- Del Castillo, Lilian. (2009). Los foros del agua de Mar del Plata a Estambul 1977-2009. Consejo Argentino para las relaciones internacionales. Documento de trabajo N°86
- Durán, N.A. (Ed.). (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Cochabamba, Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA)
- FAO (2018). Progresos en el nivel de estrés hídrico: valores de referencia mundiales para el indicador 6.4.2 de los ODS
- García, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. México: UNAM
- Gleason, J. (2006). En carrillo, E., (30 de enero de 2006). Guadalajara desperdicia el agua de lluvia. *Gaceta universitaria*, pp.7.
- INEE. (2016), Evaluación de condiciones básicas para la enseñanza y el aprendizaje desde la perspectiva de los derechos humanos. Documento conceptual y metodológico. Recuperado de <https://publicaciones.inee.edu.mx/buscadorPub/P1/E/201/P1E201.pdf>
- INEE. (2019). Políticas para fortalecer la infraestructura escolar en México. Recuperado de <https://www.inee.edu.mx/wp-content/uploads/2019/02/Documento5-infraestructura.pdf>

- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. [www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/)
- Jing, C. Y., Fong, C. M., Lim L. C. y Hassell, D.G. (2009). A review on anaerobic–aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155 (2009) 1–18.
- Latapí, P. (2009). El derecho a la educación: su alcance, exigibilidad y relevancia para la política educativa. *Revista mexicana de investigación educativa*, 14(40), 255-287.
- Ley General de los Derechos de los Niños. (2019). Artículo 57, Sección IV
- Martínez, Y. A., Búrquez, A., y Calmus, T. (2012). Disyuntivas: impactos ambientales asociados a la construcción de presas. *Región y sociedad*, (3), 289-306.
- Mézquila, A. I., Ruelas, M. L., y Hernández, C. N. (2018). Conflictos socioambientales por construcción de hidroeléctricas: análisis de caso. En Hernández, C. N., Ruelas, M. L., y Nava, T. M. (Ed), *Sustentabilidad del desarrollo: desafíos y propuestas* (pp. 99-112). Xalapa, Veracruz, México: Secretaría de Educación de Veracruz.
- Miranda, L. (2018). Infraestructura escolar en México: brechas traslapadas, esfuerzos y límites de la política pública. *Perfiles Educativos* 40(161), 32-52.
- Murenzi, R. (12 julio 2019). Objetivos de Desarrollo Sostenible necesitan enfoque sistémico, *Prensa Latina, Agencia Informativa Latinoamericana*, Recuperado de: <https://www.prensa-latina.cu/index.php?o=rn&id=290316&SEO=objetivos-de-desarrollo-sostenible-necesitan-enfoque-sistemico>
- Papa Francisco, (2015). Carta encíclica *Laudato si'*. Sobre el cuidado de la casa común. Ed *Buena prensa*.
- Rabab I, EL-Nwsany, Ibrahim M. y Walwd, A. (2019). Water management as a vital factor for a sustainable school. *Alexandria Eng. J.* <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.12.012>
- Richey, A. S., Thomas, B. F., Lo, M. H., Reager, J. T., Famiglietti, J. S., Voss, K., Swenson, S. y Rodell, M. (2015). Quantifying renewable groundwater stress

with GRACE. *Water Resources Research*, 51(7) 5217–5238.  
[doi.org/10.1002/2015WR017349](https://doi.org/10.1002/2015WR017349)

Rodríguez, D. S., (2012). Consumismo y sociedad: una visión crítica del Homo Comsumens. *Critical Journal of Social and Juridical Science*, 34(2), <https://www.redalyc.org/pdf/181/18126057019.pdf>

Ruelas M. L., (2013). Water management in Mexico: analysis from the sustainability perspective. En Yáñez, A. A., Dávalos, S. R., W. D. J., y Reyes, E. (Ed), *Ecological dimensions for sustainable socio economic development* (pp. 69-85) Southampton, Boston. WIT Press.

Ruiz, G. y Pérez, G. (2012). Marco de referencia para la evaluación de condiciones básicas para la enseñanza y el aprendizaje. Documento interno del INEE. IDE.

SEMARNAT. 2013. Programa de certificación escuela verde.

Sikder, M. T., Kihara, Y., Yasuda, M., Yustiawati, Mihara, Y., Tanaka, S., Odgerel, D., Mijiddorj, B. , Syawal, S. M., Hosokawa, T., Saito, T., y Kurasaki, M. (2013). River Water Pollution in Developed and Developing Countries: Judge and Assessment of Physicochemical Characteristics and Selected Dissolved Metal Concentration. *Clean Soil Air Water*, 41(1) 60-68.

Solano, M.L., Soriano P y Ciria, M.P. (2004). Constructed wetland as a sustainable solution for wastewater treatment in small villages. *Biosystems Engineering*, 87(1) 109-118.

Stefanakis, A., Christos S. Akrotos, Vassilios A. Tsihrintzis. (2014). *Vertical Flow Constructed Wetlands. Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment*. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404612-2.00006-4>

United Nations. (2019). World Population Prospects 2019. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Recuperado de [https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019\\_PressRelease\\_ES.pdf](https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_PressRelease_ES.pdf).

United Nations. (2019). World Urbanization Prospects 2018, Highlights (421). Recuperado de <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>

ONU-Habitat. (2016). Urbanización y desarrollo: futuros emergentes. Recuperado de <http://70.35.196.242/onuhabitatmexico/Reportedelasciudades2016.pdf>

Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta ecológica*, (64) 9-18.

UNESCO. (2003). Agua para todos, agua para la vida: informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo; informe conjunto de los veintitrés organismos de Naciones Unidas relacionados con el agua dulce.

USGS,2017: <https://water.usgs.gov/gotita/waterdistribution.html>

World Water Development Report.

|   |       |         |      |
|---|-------|---------|------|
| World   | Water | Actions | 2003 |
| <a href="http://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/Forum_docs/wwa_overview_sp.pdf">http://www.worldwatercouncil.org/sites/default/files/Forum_docs/wwa_overview_sp.pdf</a> |       |         |      |