



Universidad Autónoma del Estado de México

Facultad de Química



Programa de Doctorado en Ciencias Ambientales

## TESIS

“Modelo urbano basado en humedales artificiales para la resiliencia hídrica”

**Que para obtener el grado de Doctora en Ciencias Ambientales**

Presenta

**M.E.C. Rosalía Ivonne Cruz Cervantes**

Comité de Tutores:

Dr. en C. Salvador Adame Martínez

Dra. en U. Verónica Miranda Rosales

Dr. en C.A. Eduardo Campos Medina

Toluca, México agosto 2021



**CONACYT**

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	11
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	13
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b> .....	15
<b>CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL: RESILIENCIA HÍDRICA, SUSTENTABILIDAD URBANA Y HUMEDALES ARTIFICIALES</b> .....	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Cambio climático.....	19
1.2.1 Causas del cambio climático .....	20
1.2.2 Consecuencias del cambio climático.....	22
1.2.3 Medidas de adaptación y mitigación .....	25
1.3 Resiliencia .....	28
1.3.1 Resiliencia Urbana.....	28
1.3.2 Resiliencia hídrica .....	31
1.4 La Sustentabilidad .....	33
1.4.1 La sustentabilidad urbana .....	35
1.5 Los humedales .....	39
1.5.1 Los humedales artificiales .....	40
1.5.1 Composición de los humedales artificiales. ....	43
1.5.2 Tipos de humedales .....	49
<b>CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA Y JURÍDICO</b> .....	55
2.1 El agua en México .....	55
2.2 Estudios sobre cambio climático global y agua en ciudades.....	58
2.2.1 Estudios Internacionales sobre Cambio Climático Global y agua en ciudades.....	60
2.2.2 Estudios Nacionales sobre cambio climático global y agua en ciudades .....	62
2.3 Estudios sobre resiliencia hídrica .....	64
2.3.1 Estudios internacionales sobre resiliencia hídrica.....	64
2.3.2 Estudios nacionales sobre resiliencia hídrica .....	70
2.4 Estudios sobre humedales artificiales.....	75

2.4.1 Estudios Internacionales sobre humedales artificiales .....	75
2.4.2 Estudios Nacionales sobre humedales artificiales .....	78
2.5 Legislación y normas referentes al tratamiento de agua en México.....	86
<b>CAPÍTULO 3. MODELO URBANO BASADO EN HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA RESILIENCIA HÍDRICA .....</b>	<b>94</b>
3.1 Criterio metodológico para la elaboración del modelo de resiliencia hídrica .....	94
3.1.1 Ciclo de Holling o ciclo adaptativo de sistemas socio-ecológicos.....	95
3.2 Proceso metodológico .....	97
3.3 Modelo urbano basado en humedales artificiales para la resiliencia hídrica .....	98
3.1.1 Descripción del Modelo y sus dimensiones .....	99
<b>CAPÍTULO 4. ESTRATEGIAS DE RESILIENCIA HÍDRICA A PARTIR DEL MODELO URBANO BASADO EN HUMEDALES ARTIFICIALES.....</b>	<b>106</b>
4.1 Aplicación de modelo en Ciudad Loreto, B.C.S. ....	106
4.2 Resiliencia hídrica: estrategias resultantes .....	112
4.2.1 Estrategia de humedales artificiales .....	113
4.2.2 Estrategia de infraestructura verde .....	133
<b>Referencias .....</b>	<b>144</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>151</b>
1. Análisis territorial de Cd. Loreto .....	151
2. Sociedad Cd. Loreto.....	164
3. Recurso hídrico en Cd Loreto .....	170
4. Tratamiento del agua en Cd. Loreto.....	175
5. Datos normativos y legislativos, medio ambiente y agua .....	177
6. Retrospección de desastres previos.....	180

## Índice de Tablas

Tabla 1. Principales efectos del cambio climático en el planeta .....	23
Tabla 2. Tratados ambientales internacionales relacionados con el cambio climático .....	25
Tabla 3. Procesos de remoción de contaminantes en humedales artificiales de flujo superficial .....	46
Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.....	49
Tabla 5. Semejanzas y diferencias de referentes internacionales sobre resiliencia hídrica.....	69
Tabla 6. Semejanzas y diferencias de referentes nacionales relacionados con resiliencia hídrica.....	74
Tabla 7. Referencias de Humedales Internacionales construidos .....	76
Tabla 8. Humedales construidos en México. ....	80
Tabla 9. Humedales desarrollados en México, España y Chile. ....	83
Tabla 10. Normas Oficiales mexicanas sobre agua.....	88
Tabla 11. Límites permisibles de características microbiológicas .....	89
Tabla 12. Las características físicas y organolépticas .....	90
Tabla 13. Límites de constituyentes químicos en mg/L.....	90
Tabla 14. Límites máximos permisibles de contaminantes.....	92
Tabla 15. Desglose de las dimensiones del modelo hídrico basadas en la resiliencia .....	98
Tabla 16. Modelo y su desglose por dimensiones.....	99
Tabla 17. Propuesta de las estrategias dirigidas hacia la resiliencia hídrica .....	104
Tabla 18. Aplicación del modelo. ....	106
Tabla 19. Definición de estrategias de caso de estudio.....	112
Tabla 20. Especies vegetales acuáticas humedal A.....	124
Tabla 21. Especies vegetales acuáticas humedal.....	126
Tabla 22. Coeficientes promedio de reflexión, transmisión y absorción de plantas de hoja verde para diferentes longitudes de onda. ....	135
Tabla 23. Iluminancia en zonas sombreadas por vegetación para 30ª latitud sur .....	136
Tabla 24. Variaciones de temperatura observadas bajo la sombra de vegetación.....	137
Tabla 25. Especies vegetales seleccionadas para la secuencia vegetal .....	138
Tabla 27. Principales fenómenos ante el cambio climático en Baja California. ....	155
Tabla 28. Vulnerabilidad total a la elevación del nivel del mar de los nueve sitios estudiados en BCS .....	156
Tabla 29. Temperatura, normales climatológicas periodo 1938-2016.....	160
Tabla 30. Precipitación, normales climatológicas periodo 1938-2016 .....	161
Tabla 31. Evaporación, normales climatológicas periodo 1938-2016 .....	162
Tabla 32. Características de las salidas de los acuíferos .....	170
Tabla 33. Sitios Ramsar en Loreto. ....	174
Tabla 34. Plantas tratadoras de agua residual de Loreto .....	176
Tabla 35. Regulación referente al agua en Baja California.....	177
Tabla 36. Ejes estratégicos de acción en relación al agua en el PEACC-BCS .....	178
Tabla 37. Bienes y servicios en las viviendas del municipio de Loreto (2010). ....	165
Tabla 38. Características de las habitantes en los hogares de cd. Loreto .....	166
Tabla 39. Características de las viviendas en Cd. Loreto.....	168

## Índice de Figuras

Figura 1. Dimensiones de la resiliencia urbana.....	30
Figura 2. Jerarquización de los conceptos teóricos de este trabajo. ....	31
Figura 3. Interrelación entre dimensiones de la resiliencia y la sustentabilidad .....	34
Figura 4. Diagrama de humedal de flujo superficial .....	51
Figura 5. Diagrama de humedal de flujo subsuperficial horizontal .....	52
Figura 6. Diagrama de humedal de flujo subsuperficial vertical.....	52
Figura 7. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos.....	89
Figura 8. El ciclo adaptativo de Holling.....	95
Figura 9. Localización en la ciudad de los humedales propuestos.....	119
Figura 10. Áreas de humedal 1 y 2.....	120
Figura 11. Vista de la carretera transpeninsular, a su lado el terreno para humedal .....	120
Figura 12, 13 ,14 y 15. Vistas hacia terreno donde se propone el sistema de humedal .....	121
Figura 16. Áreas de distribución de especies en Humedal A.....	123
Figura 17. Áreas de distribución de especies en Humedal 2.....	125
Figura 18. Esquema de funcionamiento del sistema de humedales y el biodigestor.....	128
Figura 19. Humedal 1, subsuperficial .....	129
Figura 20. Humedal 2, superficial .....	130
Figura 21. Recolección del carrizo de humedal en Coahuila .....	131
Figura 22. Ciudad de Loreto, calles para la ubicación de la infraestructura verde .....	137
Figura 23. Diseño de la secuencia vegetal propuesta.....	139
Figura 24. Municipios más vulnerables al cambio climático por entidad federativa .....	152
Figura 25. Vulnerabilidad al cambio climático en los municipios de México .....	153
Figura 26. Mapa de escenario cercano de temperatura máxima .....	153
Figura 27. Mapa de escenario cercano de precipitación. ....	154
Figura 28. Sitios con probable vulnerabilidad ante un incremento del nivel medio del mar en Baja California Sur. ....	156
Figura 29. Ubicación de Loreto en Baja California Sur.....	158
Figura 30. Localidades de Loreto, BCS .....	158
Figura 31. Municipio Loreto (a la izquierda) y Ciudad de Loreto (a la derecha) .....	159
Figura 32. Vegetación (a la izquierda) y Uso de suelo (a la derecha) de ciudad Loreto. ....	162
Figura 33. Ubicación y trayecto línea San Juan Londó- Pila Loreto.....	172
Figura 34. Infraestructura en área urbana de Loreto .....	173
Figura 35. Placa de UNESCO, bahías de Loreto como Patrimonio mundial cultural y natural.....	175
Figura 36. Grado de rezago social en ciudad Loreto.....	167

---

*“Garantizar el agua para las comunidades, las economías y los ecosistemas es fundamental para reducir la pobreza, la transición a la energía verde y amortiguar los desastres naturales”*  
*ONU AGUA, 2019.*

---

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día, diversas instituciones como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) han reconocido que el cambio climático constituye una amenaza cada vez mayor para el desarrollo y las iniciativas destinadas a erradicar la pobreza y el bienestar de los ciudadanos. Se ha reconocido también que actuar ahora será mucho menos costoso que hacerlo en los próximos años, el costo que supondría adoptar ahora medidas concretas para la mitigación equivaldría a una reducción en los gastos financieros en el mundo de entre el 2% y el 6% para 2050, en comparación con la opción de no poner en marcha ninguna medida. Sin embargo, estos datos solo consideran el ahorro económico mundial, no así los beneficios relacionados con el bienestar humano y del planeta como ecosistema; por ejemplo, la mejora de la calidad del aire, agua, suelo, áreas naturales, beneficios para la salud y en consecuencia una mejor calidad de vida (ONU, 2015).

La afectación de esta variabilidad climática se observa en diferentes aspectos de los ecosistemas, principalmente en el agua y su ciclo, ya que el clima y el ciclo hidrológico están estrechamente vinculados al suscitarse éste a partir de las variaciones de temperatura; con esto la disponibilidad de agua se ve directamente afectada.

En el recurso agua se basan las actividades y economías en los asentamientos humanos, independientemente si son urbanos o rurales, el agua garantiza la supervivencia del hombre y la vida en el planeta. Se considera que el agua “está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente” (Naciones Unidas, s.f.).

En la Cumbre para el Desarrollo Sostenible (2015), los Estados Miembros de la ONU aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) enfocados en diferentes rubros. Entre estos objetivos se relacionan para este trabajo, con los números 6, 11 y 13; el primero establece el garantizar el agua limpia y su saneamiento, el segundo hace mención a lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, y el tercero, que refiere adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

En este sentido, este trabajo realiza una propuesta que tiene relación con los ODS, ya que busca garantizar el agua limpia y su saneamiento mediante estrategias que permitan a la ciudad o a los asentamientos humanos ser más resiliente y sostenible. Por ello, esta investigación plantea un modelo urbano que permite identificar estrategias para la resiliencia hídrica específicas en una localidad, en este caso el uso de los humedales artificiales se plantea como sistema de tratamiento del agua, el cual, a su vez funciona como almacenamiento y generación de algunas especies vegetales.

En este estudio se generó un modelo y se aplicó en un caso de estudio, éste fue Cd. Loreto, Baja California Sur, en virtud de que se identificó a través del análisis de los mapas del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) como una de las ciudades con mayor índice de vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, principalmente sequías y temperaturas altas.

El modelo generado logró el objetivo deseado, el cual fue implementar estrategias específicas para dicha ciudad; a partir de la aplicación del modelo se identificaron dos estrategias principales y una tercera adicional que podría ser implementada de manera opcional posterior a las dos primeras. Estas son: la primera es la propuesta de del sistema de humedales para tratamiento del agua (como respuesta en el fenómeno pronosticado de sequías), y la segunda la incorporación de vegetación en áreas específicas de la ciudad para el control de la temperatura. Posteriormente se plantea una tercera estrategia que



consistiría en la generación de cursos o talleres sobre conciencia y cultura sobre el cuidado del agua y de la vegetación, y con ello el medio ambiente.

Se identificó el uso de humedales como principal estrategia ya que podría ser de gran utilidad y podrían ser aprovechadas las bondades adicionales que, de este sistema de tratamiento se obtienen, como en el caso de estudio donde estos pueden servir como hábitat por las especies de aves del lugar provenientes del área natural protegida. Se considera que el modelo es eficaz para determinar las estrategias pero que de igual forma también es factible a mejoras.

Por último, y con respecto a la estructura del trabajo se tiene que:

En el capítulo 1, se reporta el sustento teórico-conceptual del contexto del cambio climático, de la resiliencia hídrica, la sustentabilidad y del contexto del agua en México y su normatividad. También se integró la información teórica y técnica sobre los humedales artificiales y se definen a estos como la estrategia base que puede ser considerada para cualquier ciudad o población donde se requiere la intervención y se aplique este modelo.

En el capítulo 2, se conformó un marco referencial con sistemas, proyectos, planes o modelos similares nacionales e internacionales de los cuales se rescataron características representativas para el trabajo. En este capítulo se identifican en dichos trabajos a los humedales artificiales como una estrategia óptima y versátil (además de ser basada en la naturaleza) para intervenir en la resiliencia hídrica.

El capítulo 3, con sustento en las dimensiones de la resiliencia-sustentabilidad y con el objetivo de intervenir positivamente en el ciclo de Holling; se desarrolló el modelo para la generación y propuesta de las estrategias dependiendo del nivel de vulnerabilidad climática de cada región. Se justifica y describe puntualmente cada dimensión y sus aspectos a desarrollar y qué información es la que se requiere recabar para identificar la problemática en el lugar de estudio.

Para finalizar en el Capítulo 4, se aplicó el Modelo urbano basado en humedales artificiales para la resiliencia hídrica en Cd Loreto, BCS para su calibración y para probar la efectividad de los resultados generados en relación a las estrategias definidas. A partir de ello, se realizaron ajustes al identificar las necesidades producto de esta aplicación de prueba, para la que, se realizó una visita de campo y una investigación documental exhaustiva de la ciudad en estudio.

Se concluyó que fue posible cumplir el objetivo del trabajo al desarrollar el modelo poder implementarlo para probar su funcionalidad. La hipótesis se cumplió ya que las estrategias resultantes si podrían intervenir favorablemente para la resiliencia del lugar para donde fueron analizadas y otros casos de estudio. Este modelo generó resultados favorables al identificar tres estrategias que podrían ser usadas en el caso del estudio para mejorar su resiliencia hídrica e incluso urbana.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En México, tres cuartas partes del país son áridas o semiáridas por lo que, aunado al carente tratamiento que recibe el agua, la sobreexplotación, entre otras cosas, éste será el recurso más demandado por el cambio climático en el país (Programa de Investigación en Cambio Climático UNAM, 2015).

La problemática identificada es que la población enfrenta y enfrentará una crisis del agua, la cual, se verá mayormente afectada por el cambio en el clima en los próximos años. La realidad muestra que son escasas las ciudades (sobre todo en el caso de los países en desarrollo) que están preparadas para responder, sobrellevar y enfrentar de manera favorable estas consecuencias climáticas, problemas sociales y naturales que las atañen. Además, los impactos negativos asociados al crecimiento urbano son de mayor magnitud debido, entre otros, a las condiciones socio-económicas de los gobiernos y la población por lo que, se considera, se requiere de una forma de intervención bien planificada que garantice resultados de acuerdo con cada particularidad y, sobre todo, a partir de medios más naturales o simples de implementar y costear en las poblaciones (Navarrete, 2017).

Se identificó en la revisión referencial que son pocas las poblaciones en México que cuentan con una estrategia previa que prevenga y enfrente de manera efectiva sus problemáticas urbanas respecto a la resiliencia y que consideren a la sociedad para que se involucren en su implementación (Instituto Mexicano para Competitividad A.C. 2020). En el caso de estudio, por ejemplo, no hay un Plan de resiliencia o alguno otro específico para intervenir o responder ante los efectos del cambio climático.

En Ciudad Loreto, las principales problemáticas que se distinguieron como efectos significativos ante el cambio climático son el aumento de temperaturas altas máximas y sequías por disminución de la precipitación. Aunado a ello, se identificó que actualmente ya se presenta una escasez significativa del agua en la población y no se aborda

directamente de ningún modo en la localidad, ni un adecuado tratamiento o manejo integral al agua residual. Se destaca que no cuentan con la totalidad del sistema de drenaje en las viviendas por lo que, el tratamiento del agua residual representa una contribución para la población que no cuenta con ese servicio. En el año 2015, en la ciudad se presentaron acontecimientos significativos, ya que se reportó la presencia de *enterococos*, los cuales generalmente están asociados a las descargas de aguas negras, estas llegaron al mar cerca de donde se localiza el Área Natural Protegida denominada Bahías de Loreto, la cual fue nombrada patrimonio mundial cultural y natural.

De igual forma se identificó que no cuentan con algún plan específico en la ciudad o cabecera municipal para la atención de estas problemáticas posiblemente derivadas de los efectos de la variabilidad climática. Lo anterior ejemplifica de manera precisa el problema detectado que este trabajo busca atender.

Los tres órdenes de gobierno han identificado ya la problemática a nivel nacional en relación con los efectos negativos presentes y los pronosticados a futuro derivados del cambio climático, e incluso se han generado ya algunos instrumentos administrativos en los cuales se afirma que debe de atenderse dicha problemática y que es un tema de interés por investigar y para el cual hay presupuesto federal asignado. Este mismo aspecto justifica el desarrollo de este trabajo, al ser un instrumento con base en estudios detallados que puede ser implementado a nivel nacional.

## JUSTIFICACIÓN

La propuesta de intervenir mediante el desarrollo de un modelo con base en humedales artificiales es una alternativa que permitiría aplicarse en cualquier localidad o pequeña ciudad a nivel nacional. Ello permitiría contar con una mejora en la resiliencia de la ciudad y hacer frente a los diferentes cambios que surjan derivados de la variabilidad climática. Este modelo considera la premisa que "...la gestión de los recursos naturales debe alcanzar la máxima eficiencia con la mínima perturbación de los ecosistemas...una máxima autosuficiencia hídrica que combine también las medidas de captación con las medidas de ahorro y eficiencia" (Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, s.f., p. 5).

Este trabajo de investigación responde a esta necesidad de atención a la problemática hídrica en el país y resulta ser original debido a que no se conoce alguna propuesta que involucre un análisis regional para la mejora de la resiliencia hídrica que pueda aplicarse comunidades o ciudades pequeñas. Así mismo, involucra las dimensiones de la resiliencia y la sustentabilidad para un abordaje holístico.

El modelo propuesto es único, ya que tiene como base, la intervención a partir del sustento teórico del ciclo de Holling o ciclo adaptativo de los sistemas socio-ecológicos, esto con el fin de realizar unas estrategias que promuevan beneficios en pro de ambos sistemas, el social y el ecológico. Con lo anterior al usar este modelo e implementar sus estrategias podría ser posible contribuir a la mejora tanto del medio ambiente como de las personas y su relación con el recurso hídrico.

Puntualmente, este trabajo beneficiaría las personas del lugar donde se aplique el modelo, pero también a las Instituciones encargadas del abordaje de los temas de medio ambiente y cambio climático ya que contarían con una herramienta para el análisis y el abordaje de la problemática.

Con la aplicación del caso de estudio se verificó que este modelo es útil para generar un análisis integral sobre el lugar ya que se consideran dimensiones de la resiliencia que

están en concordancia con la sustentabilidad, por lo que, se podría definir como una propuesta original que basada en los criterios de la sustentabilidad permite crear estrategias para mejorar la resiliencia hídrica del lugar donde se aplique.

## **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **Objetivo general:**

Diseñar y evaluar un modelo urbano basado en humedales artificiales para la mejora de la resiliencia hídrica a partir de un análisis teórico-referencial y su aplicación en el caso de estudio, Cd. Loreto. Lo anterior, con el fin de generar una herramienta útil para la generación de estrategias precisas ante los efectos del cambio climático.

### **Objetivos particulares:**

1. Elaborar una base teórico-conceptual sobre el cambio climático, resiliencia, sustentabilidad, agua y su normatividad, y humedales artificiales.
2. Elaborar un marco referencial sobre estudios relacionados con los humedales artificiales y resiliencia hídrica.
3. Diseñar el modelo urbano de humedales artificiales y sus dimensiones a partir de la fundamentación teórica y la revisión de literatura.
4. Aplicar y calibrar el modelo de humedales artificiales en la ciudad de Loreto, Baja California Sur.

### **HIPÓTESIS**

Es factible diseñar un modelo hídrico urbano basado en humedales artificiales que responda ante los efectos del cambio climático y permita mejorar la resiliencia hídrica, para utilizarla como una herramienta que se podría emplear en otras ciudades o asentamientos del país.

# **CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL: RESILIENCIA HÍDRICA, SUSTENTABILIDAD URBANA Y HUMEDALES ARTIFICIALES**

Este capítulo comprende de las definiciones y conceptos base para la comprensión y desarrollo de este trabajo, estos funcionan como parte medular del mismo y permiten comprender bajo que contexto se desarrolla el mismo.

Estos términos de lo general a lo particular se describen el cambio climático, la resiliencia, la sustentabilidad urbana y los humedales artificiales como herramienta seleccionada como respuesta en congruencia a las dos anteriores.

Se realiza además un análisis de estos conceptos y las similitudes e interrelaciones como conceptualizaciones en materia ambiental que mantienen características en sus dimensiones. Por último, se identifica como la resiliencia funciona como herramienta adaptativa para el sistema socio-ecológico conocido como ciudad.

## **1.1 Antecedentes**

México presenta variaciones significativas en cuanto a la disponibilidad de agua debido a las características climáticas del territorio, el norte y centro del país es principalmente árido o semiárido. El norte, por ejemplo, apenas recibe 25% de agua de lluvia; en el caso del sureste, por el contrario, recibe casi un 50%, sin embargo, sus habitantes no cuentan con los servicios básicos, como es agua entubada dentro de la vivienda. En México, al 2010, el porcentaje de viviendas con disponibilidad de agua fue de casi 89%, lo cual de hecho es ya una situación no favorable y será aún más agravada de acuerdo los escenarios futuros pronosticados por el Instituto Nacional de Cambio climático (INEGI, 2019).

La intensidad y el tipo de impacto ocasionado por del cambio climático en los asentamientos humanos están en función de la ubicación concreta de cada localidad. Por lo cual, es importante contextualizar los asentamientos de acuerdo con la región y sus características socio territoriales, como, por ejemplo, asentamientos urbanos o rurales; dependientes de la explotación de recursos naturales en zonas áridas; en zonas húmedas,



en zonas costeras, relacionados con la actividad turística o industrial; esto, para mejorar las condiciones de su integración con el medio que habitan e identificar sus necesidades respecto al recurso hídrico (Aguilar , 2007).

Escenarios derivados por cambio climático determinados por la ONU prevén que las variaciones espaciales y temporales de las dinámicas del ciclo del agua empeorarán, la brecha entre la oferta y la demanda de agua será cada vez más lejana una de la otra. La frecuencia e intensidad de las sequías e inundaciones probablemente modificarán las cuencas hidrográficas del mundo lo cual traerá repercusiones socioeconómicas y medioambientales muy serias (Programa Mundial de la UNESCO, 2017) .

Una opción es la inversión en infraestructura para incrementar la capacidad de tratamiento de aguas residuales para disminuir los costos de contaminación, sobreexplotación y transportación del agua; costos que aumentan progresivamente con el crecimiento de la población al aumentar la presión sobre los recursos hídricos.

En el caso del agua residual que se encuentra en las ciudades casi en su totalidad procede de edificios, viviendas y de la escorrentía acumulada en el drenaje. Sus principales contaminantes son compuestos orgánicos, el nitrógeno y fósforo, bacterias, coliformes fecales, entre otros. Con respecto al caudal municipal tratado, a nivel nacional en 2012 se trató el 43.4% de su caudal generado; esto representó un incremento de 154% respecto a 1998. En el caso de las aguas residuales industriales, en 2012 sólo se trataba el 28.8% del volumen generado; sin embargo, esto representa más del doble de lo que se trataba en 1998 (SEMARNAT, 2014). Por lo anterior la forma del uso y su el tratamiento de agua es el principal aspecto a considerar como estrategia hídrica.

La mejora y fomento del uso de aguas residuales tratadas podría contribuir a cerrar la brecha entre la oferta y la demanda de agua, ya que, por ejemplo, en la Zona Metropolitana del Valle de México, según las proyecciones en 2030 habrá 9.2 mil millones de metros cúbicos de aguas residuales que, de ser tratadas y reusadas, reducirían un 40% la demanda (Fondo para la comunicación y educación ambiental, 2018).

Ante este panorama se ha recurrido a la creación e implementación de sistemas naturales o sustentables para el tratamiento del agua en la época actual y a través del tiempo. El tratamiento de agua tiene referencias desde los antiguos pueblos orientales quienes utilizaban arena y barro poroso para filtrar el agua, los griegos recomendaban métodos de tratamiento tales como filtración a través de carbón, exposición a los rayos solares y ebullición. También en Europa los romanos construyeron una red de acueductos y estanques, podían traer agua de distancias aproximadas a los 50 km., instalaron filtros para obtener agua de mayor calidad, llegaban a separar el agua dependiendo su calidad. Daban seguimiento al mantenimiento y limpieza de los acueductos, limpiaban constantemente los canales para evitar las obstrucciones y el cuidar la calidad del agua; para ello, siempre estaba cubierto el canal por el que circulaba el agua y se decantaban las impurezas en piscinas especiales. Los romanos también contaban con una red completa de alcantarillado (National Geographic, 2014) . Específicamente los humedales como sistemas sustentables para el tratamiento del agua se consideran surgieron en la década de los 50 por la Dra. Seidel quien profundizó en su estudio y capacidades en Alemania.

“Mediante el tratamiento de aguas residuales se genera un ahorro considerable al liberar el agua de primer uso para actividades como limpieza y riego, se disminuye la presión hídrica y la sobreexplotación de los acuíferos y se previene la contaminación de los cuerpos de agua y las enfermedades diarreicas, lo cual tiene un efecto positivo en el ambiente y en el bienestar de las comunidades” (Fondo para la comunicación y educación ambiental, 2018).

La razón de este trabajo de proponer el Modelo urbano para la resiliencia hídrica es que cuenten con estrategias para mejorar la disponibilidad del agua al implementar el sistema de humedales artificiales para su tratamiento, recolección y reúso en ciudades vulnerables, con el fin de aumentar la resiliencia hídrica del sitio y mejorar en alguna proporción la capacidad del abastecimiento del recurso y evitar la carencia total en futuro. Lo anterior busca como un segundo resultado la contribución para reducir

específicamente la contaminación hacia las fuentes acuíferas a través de los asentamientos humanos.

## **1.2 Cambio climático**

El cambio climático es un suceso que representa la mayor amenaza ambiental para la humanidad y toda la vida en el planeta hoy día. Al respecto la (World Wildlife Fund, 2020) señala que ha traído consigo adversidades que pueden haber surgido a partir de los cambios en la composición o comportamiento del clima terrestre, modificado por causas antrópicas y naturales.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), definieron el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Naciones Unidas, 1992, p. 3).

Por su parte el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, el IPCC por sus siglas en inglés define al cambio climático como aquella “Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.” (IPCC, 2013, p. 188)

Otra definición diferente a estas es la dada por Duarte quien concibe a este suceso un “cambio global” debido a que lo considera como un conjunto de cambios ambientales afectados por la actividad humana, con especial referencia a cambios en los procesos que determinan el funcionamiento del sistema Tierra. Él determina al cambio climático derivado de este cambio global y establece que “se refiere al efecto de la actividad

humana sobre el sistema climático global, que siendo consecuencia del cambio global afecta, a su vez, a otros procesos fundamentales del funcionamiento del sistema Tierra” (Duarte, 2006, p. 23).

Al respecto el Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático (2018) como todo cambio significativo en el sistema climático del planeta, que permanece por décadas o más tiempo. Menciona que, el incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas a nivel global es la manifestación más evidente del cambio climático, y se denomina calentamiento global. En los últimos 30 años la superficie de la Tierra se ha vuelto cada vez más cálida, y se han superado los registros de cualquier época precedente a 1850.

Se puede observar que el cambio climático es aún una terminología en disputa; diversos autores plantean denominarlo como cambio global, cambio climático o simplemente variabilidad climática. Algunas otras fuentes discuten aun si en verdad es tan significativa la actividad humana como para agilizar el cambio global que se produce en el clima y que ha sucedido anteriormente en el planeta. Por lo anterior, respecto a esta terminología es pertinente comentar que para fines de este trabajo se empleará el término *cambio climático global* debido a que se considera al clima como el factor primordial de este cambio que está sucediendo o sucede en todo el planeta; así que, se hará referencia de esta forma cuando así se requiera.

### **1.2.1 Causas del cambio climático**

La principal característica del cambio climático es el calentamiento global, es decir el aumento en las temperaturas promedio registradas anteriormente durante este siglo XXI y desde mediados del siglo XX. Esto es atribuido al fenómeno denominado “efecto invernadero” que es aquel calentamiento que se produce cuando la atmósfera terrestre atrapa el calor que debería ser irradiado hacia el espacio, esto sucede cuando gases específicos en la atmósfera bloquean el calor y no permiten que escape (NASA, 2020).

Este cambio es vinculado directamente con el aumento en la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), vapor de agua (H<sub>2</sub>O), ozono (O<sub>3</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los Clorofluorocarbonos (CFC) que influyen en la composición atmosférica y da paso a el calentamiento global derivado de estos gases. La mayoría de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por el hombre se liberan a través de la quema de combustibles fósiles, aunado a ello la reducción de los bosques que absorben carbono ha influido representativamente en la concentración actual de gases.

Se ha cuestionado si el cambio climático global está viéndose significativamente afectado por la contribución humana o si es un proceso natural del planeta; al respecto, en el Quinto Informe de Evaluación, del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático<sup>1</sup>, se concluyó que existe una probabilidad mayor que el 95% de que en los últimos 50 años las actividades humanas hayan calentado nuestro planeta, con lo que confirman la contribución antropogénica a este suceso. El grupo también concluyó que existe una probabilidad superior al 95% de que los gases de efecto invernadero emitidos por los seres humanos (dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso) hayan causado la mayoría del aumento observado en las temperaturas de la Tierra durante los últimos 50 años (NASA, 2020).

En el caso de México, de acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI) realizado en el 2012, entre 1990 y 2010 las emisiones nacionales de GEI crecieron al 1.45% anual y la emisión total de GEI aumentó 33.4%. Respecto al sector energético que incluye el consumo de combustibles fósiles (principal fuente de emisiones) y las emisiones fugitivas, son aquellas que contribuyen con el mayor volumen de GEI en el país; en 2010 poco más del 67% del total provino de este sector (SEMARNAT, 2014).

---

<sup>1</sup> Grupo de 1.300 expertos científicos independientes de todo el mundo, bajo el auspicio de las Naciones Unidas

En 2010 por su volumen de emisión al sector energía le siguieron por cantidad de emisiones, la agricultura (92.2 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, 12.3% del total de GEI), los procesos industriales (61.2 millones de toneladas; 8.2%), el cambio de uso del suelo y silvicultura (46.9 millones de toneladas; 6.3%) y las emisiones derivadas de los desechos (que incluyen la disposición de residuos sólidos en suelo, el manejo y tratamiento de aguas residuales y la incineración de residuos), que contribuyeron con 44.1 millones de toneladas (5.9% del total de GEI).

En 2011 México contribuyó con alrededor del 1.4% (432.3 millones de toneladas) de las emisiones de CO<sub>2</sub> por consumo de combustibles fósiles, de acuerdo con datos de la Agencia Internacional de Energía, se ubicaba en el doceavo lugar a nivel global. (SEMARNAT, 2014).

Actualmente en México las principales fuentes de emisiones de los GEI son la generación de electricidad, el transporte y la industria; el país contribuye con el 1.68% de las emisiones globales (WWF, 2020).

### **1.2.2 Consecuencias del cambio climático**

Los efectos derivados del cambio climático global no han sido especificados con datos precisos, esto debido a que dependerán del aumento de temperatura a la que se llegue en el planeta. De manera general se observa una predisposición actualmente en marcha de cambios globales como lo es el calentamiento general de la Tierra, con lo que, algunas regiones podrían verse favorecidas con temperaturas más cálidas, pero otras no. Estas condiciones climáticas variarán según las regiones: algunas se volverán más húmedas y otras, más secas, más cálidas, otras llevarán a una mayor evaporación y con ello más precipitación. El agua del océano también se expandirá si se calienta, el efecto invernadero calentará los océanos y derretirá parcialmente el hielo y los glaciares, lo que provocará un mayor aumento del nivel del mar. Asimismo, las elevadas temperaturas y los cambiantes patrones climáticos podrían cambiar las áreas donde crecen mejor los cultivos y afectar la composición de las comunidades naturales de las plantas; con ello,

algunos cultivos y plantas podrían responder favorablemente al aumento del CO<sub>2</sub> atmosférico, creciendo más vigorosamente y usando el agua de manera más eficiente (NASA, 2020) .

Algunos de los principales efectos reportados que actualmente que ya se observan y se seguirán experimentando en las próximas décadas, muestran los efectos de la siguiente secuencia observada en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales efectos del cambio climático en el planeta

<b>Temperatura</b> 	<b>Agua</b> 	<b>Ecosistemas</b>
Aumento de la temperatura promedio global de los océanos y la superficie terrestre y oceánica	Aumento promedio mundial del nivel del mar y Disminución de los glaciares a nivel mundial	Alteración de la abundancia de algas, plancton y peces en los ambientes marinos
Ondas cálidas más frecuentes y pronunciadas en Europa, Asia y Australia	Modificación de los patrones naturales de precipitación	Pérdida de biodiversidad y cambio en la composición de los ecosistemas
Aumento en el número de días y noches cálidas a nivel global	Acidificación del mar	Mayor propensión a incendio forestales
Disminución de la temperatura promedio en ciertos lugares	Inundaciones recurrentes	Alteración de los ciclos biológicos y distribución geográfica de la flora y fauna
Aumento, en Europa, de la mortalidad a causa del aumento de las temperaturas	Incremento en el número e intensidad de huracanes, principalmente en el Atlántico Norte	Alteración de los vectores de enfermedades infecciosas en ciertas áreas
	Disminución en la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico	Sequías más prolongadas
	Reducción y adelgazamiento de las capas de nieve en Groenlandia y la Antártica	Disminución en la productividad agrícola

Fuente: elaboración propia con base en INECC, 2018

Como se puede observar en la Tabla 1 el cambio de la temperatura afecta al recurso agua y esto posteriormente hace que se vean afectados y se modifiquen los ecosistemas.

El agua es el elemento principal que constituye nuestro planeta, cubriendo sus dos terceras partes, razón por la cual resulta también ser uno de los elementos mayormente afectados en su ciclo y en la variabilidad en la que esta se encuentra en la tierra (Duarte, 2006).

Una gran cantidad de problemáticas como la sequía y el aumento del nivel medio del mar son problemas relacionados al agua y el cambio climático, los cuales derivan en problemas secundarios como la desertificación del suelo y la afectación principal en las actividades como la agricultura (Zarza , 2017).

Respecto al agua se observa que es un elemento clave que afecta conscientemente a los ecosistemas y las temperaturas globales, esto se percibe en los diversos daños y riesgos para los sectores de la energía, la agricultura, la salud y el transporte. El agua es un factor fundamental que debe ser cuidado con la mayor responsabilidad por parte de los gobiernos (ONU AGUA, 2019).

Distintos factores antrópicos como el crecimiento de la población, la migración, el desarrollo económico, la urbanización, los cambios ambientales y del uso de la tierra son directamente afectados por la carencia de agua y a su vez, son causa en su mayoría del estado del agua en el planeta.

“Los riesgos del cambio climático relacionados con el agua dulce se acentúan significativamente a medida que aumentan las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI). Los últimos estudios de modelización estiman que, por cada grado de calentamiento global, aproximadamente un 7 % de la población mundial estará expuesta a una disminución de los recursos hídricos renovables de al menos el 20 %” (ONU AGUA, 2019, p. 11).



Si se quiere asegurar la prevalencia de las actividades humanas, debe de existir un control, estudio, estrategias y rigurosas leyes que aseguren el cumplimiento para conservar el mejor estado de este líquido; pero principalmente se debe llevar en conjunto un apoyo global (como se ha hecho por diferentes organizaciones a nivel mundial ya desde hace al menos 4 décadas) para que se disminuyan, mitiguen o atenúen los próximos años y desde ahora el aumento de la temperatura como el principal factor que modifica el clima y los ciclos de los diferentes elementos como el agua y las fuentes sólidas y líquidas del mismo.

La acción humana en los ecosistemas y la forma en la que se manejan los recursos debe ser urgentemente repensada. Los planteamientos y estudios han estado aquí desde hace tiempo, pero la realidad es que pocos países o gobiernos los han llevado a cabo. Se considera que transitar a una sustentabilidad urbana contribuiría a esta situación, ya que la urbanización convencional tiene un manejo de recursos bastante endeble.

### **1.2.3 Medidas de adaptación y mitigación**

Los científicos involucrados en el campo de estudio hacen énfasis en la intervención humana para contrarrestar los cambios significativos en el clima del planeta, debido a que el cambio de temperatura actual está sucediendo en un espacio de tiempo muy corto.

Desde finales de los 80's la preocupación climática ha tenido efectos favorables en los países a nivel mundial, esto se ha visto reflejado en diversos acuerdos, conferencias, propuestas, planes, informes y demás herramientas a través del mundo han derivado de la preocupación actual por este suceso.

Referente a los acuerdos en los cuales se han logrado integrar a varios países (por mencionar algunos) se encuentran los descritos en la Tabla 2.

Tabla 2. Tratados ambientales internacionales relacionados con el cambio climático

Tratado	Objetivo	Año, lugar
Convención de Londres sobre la Prevención de la Contaminación Marítima por <i>Dumping</i>	Promover el control efectivo de todas las fuentes de contaminación marítima	Londres, 1972
Protocolo de Montreal	Acuerdo para la eliminación paulatina del uso de sustancias químicas que provocan la destrucción de la capa de ozono que cubre la tierra.	Montreal, 1987
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC)	La estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.	New York, 1992
Protocolo de Kioto	Establece un compromiso obligatorio sobre la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero para países desarrollados.	Kioto, 1997
Convención de Minamata sobre el Mercurio	Proteger la salud humana y al ambiente de las emisiones antropogénicas del mercurio y de los compuestos del mercurio	Minamata, 2013
Acuerdo de París	un límite máximo de emisiones de gases de efecto invernadero lo antes posible	París, 2015

Fuente: elaboración propia con base en Global Americans, 2020

Los anteriores tratados pretenden establecer medidas claras a seguir por los países interesados e involucrados para que con conjunto se tengan mejores logros principalmente relacionados a la disminución de GEI o aquello que pueda influir en el aumento de temperatura en el planeta.

Un informe más reciente, titulado *Groundswell: Prepararse para las migraciones internas provocadas por impactos climáticos* (2018), es un exhaustivo estudio que se centra en el nexo existente entre los impactos climáticos de evolución lenta, los patrones de migración interna y el desarrollo en tres regiones en desarrollo del mundo, las cuales son África al sur del Sahara, Asia meridional y América Latina.

El informe incluye tres recomendaciones puntuales de las cuales, la primera sigue siendo sin duda reiterada constantemente por la mayoría de las instituciones. Las otras dos se

centran en el control y análisis de los sucesos y en la planificación previa del fenómeno migratorio.

1. Reducir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero para aliviar la presión climática sobre las personas y sus medios de subsistencia, y reducir la magnitud general de la migración por motivos climáticos;
2. Transformar la planificación del desarrollo para tener en cuenta el ciclo completo de la migración por motivos climáticos (antes, durante y después de la migración);
3. Invertir en datos y análisis para mejorar la comprensión de las tendencias y trayectorias de la migración interna por motivos climáticos a nivel de los países (Banco Mundial, 2018).

Cada país adopta diferentes estrategias dependiendo de las afectaciones, las necesidades y los recursos con los que se encuentran. México en este caso reportó que de 2013 a 2018, redujo en 70 millones de toneladas las emisiones de dióxido de carbono y reporto también las siguientes acciones realizadas durante el sexenio gubernamental 2012-2018:

- Eliminación del subsidio a la gasolina.
- Inversión en energías limpias: en 2017 México fue el país con mayor crecimiento en este rubro (más de 500%).
- La capacidad instalada de generación de energía limpia pasó de 26% en 2012 a 30% en 2017.
- La generación eólica y solar 3.4 veces mayor que en 2012 (Gobierno Federal, 2018).

Esta preparación que tienen los países a nivel mundial permite mejorar la capacidad de responder ante los cambios de esta transición global conocida como cambio climático global. La *resiliencia* es una característica con la que se deberá contar en todo el mundo si se quieren tener resultados positivos de este fenómeno por el que se atraviesa actualmente.

### **1.3 Resiliencia**

El término de resiliencia actualmente ha sido adoptado y adaptado por varias ramas del conocimiento como la psicología, el urbanismo, la odontología, la ecología y otros; este tiene sus orígenes en la física la cual la definía como la capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido (Real Academia Española, s.f.)

La resiliencia es una palabra de origen latino que ha surgido a partir del inglés, específicamente del vocablo *resilience*, que posteriormente derivó al latín *resilio*, que significa brincar o saltar hacia atrás, compuesto con el prefijo *re-* que indica reiteración, el verbo *salire* que se traduce como salir o saltar, el sufijo *-nt-* que indica agente y el sufijo *-ia* que indica cualidad de. Por lo anterior, se puede comprender como algo o alguien que puede volver a tener la misma forma o característica con la que contaba antes de algún suceso (Treviño, 2020).

La resiliencia de manera general puede definirse como la capacidad de algún sujeto o sistema de reponerse ante situaciones adversas. Para este trabajo, se entenderá a la resiliencia como la “capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera eficaz, que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas” (Arner, 2103).

#### **1.3.1 Resiliencia Urbana**

Como se mencionó previamente diferentes ramas del conocimiento han adaptado este término para sus intereses, en este caso el urbanismo y las ciencias ambientales han adaptado el término de resiliencia con el adjetivo “urbana” para referirse a la presencia de esta cualidad en las ciudades o zonas urbanas.

En descripción de (ONU HABITAT, 2018) “una ciudad resiliente es aquella que evalúa, planea y actúa para preparar y responder a todo tipo de obstáculos, ya sean repentinos o lentos de origen, esperados o inesperados. De esta forma, las ciudades están mejor preparadas para proteger y mejorar la vida de sus habitantes, para asegurar avances en el desarrollo, para fomentar un entorno en el cual se pueda invertir, y promover el cambio positivo.”

El planteamiento de políticas ocupa un papel importante para lograr en cualquier sistema urbano la habilidad para absorber y estar preparados para recuperarse rápidamente ante el impacto de cualquier crisis y mantener la continuidad de sus servicios y bienestar social y del entorno ecosistémico considerando la planificación para una posible reconstrucción.

Dentro de la conceptualización de la resiliencia urbana es ineludible esclarecer el término desastre, el cual se refiere principalmente a cualquier evento que es capaz de causar daños graves en la salud de la población o la muerte, también involucra causar daños físicos en los bienes, infraestructuras o en los sistemas urbanos y naturales de manera grave o repetida. Un desastre puede ser de origen natural, tecnológico, social o político; comúnmente al suceder uno se ven involucrados varios de estos.

La resiliencia se considera la respuesta inminente ante un desastre, por ello depende de que tan preparada este una sociedad en este sentido para poder recuperarse anticipadamente a ello; la velocidad de reacción resulta importante al momento de reaccionar ante estos (ONU HABITAT , 2016)

En este sentido consideran en la Guía de resiliencia urbana desarrollada por la ONU Habitat (2016) cuatro dimensiones de la resiliencia urbana, estas son: la dimensión espacial, organizativa, física y funcional y la dimensión de tiempo.

Este trabajo considera las dimensiones de la resiliencia urbana (Figura 1) para generar el modelo urbano para la resiliencia hídrica.

Figura 1. Dimensiones de la resiliencia urbana



Fuente: elaboración propia con base en OHU HABITAT, 2016

La dimensión espacial se refiere a la definición geográfica y las escalas territoriales y administrativas con las que el desastre podría tener influencia.

Por su parte, la dimensión organizativa refiere a los actores involucrados o agentes que estarían involucrados en los planes de acción, ya sean activos o pasivos y locales, estatales o nacionales.

A su vez la dimensión física y funcional concierne a la identificación de las condiciones de infraestructura o servicios presentes en la ciudad o población(es) involucrada, su continuidad de funcionamiento y la presencia en el caso de sobredemanda por desastre.

Por último, la dimensión de tiempo considera a medición en el tiempo del suceso en todos los periodos involucrados.

Estas dimensiones permiten además realizar un diagnóstico de la ciudad a analizar e intervenir y posteriormente al conocerlas permiten identificar las necesidades de la región para plantear un plan de acción o en este caso el Modelo urbano para la resiliencia.

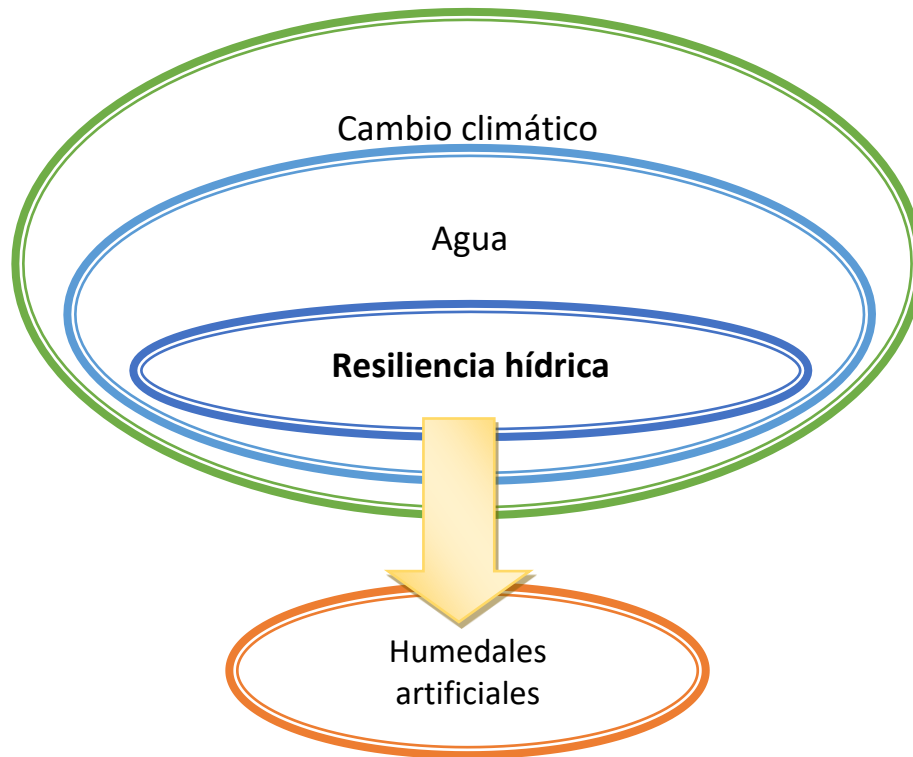
### **1.3.2 Resiliencia hídrica**

Con el término de resiliencia, se puede comentar que, el agregar otros sustantivos como en el caso de “urbana” que hace referencia a esta capacidad específicamente en relación a las ciudades. Por lo tanto, una ciudad con resiliencia hídrica sería reconocida como aquella que cuenta con los mecanismos, sistemas o características necesarias para que de una manera equitativa y respetuosa con el ambiente pueda mantenerse y abastecerse de recurso hídrico y se adapte y responda a los cambios y carencias de estos de una forma alternativa y menos (o no) contaminante.

La resiliencia hídrica es entonces comprendida como la capacidad del recurso hídrico de responder y reponerse ante sucesos de estrés o de cambios bruscos en su estado a partir de herramientas otorgadas por las personas, a partir de su uso adecuado, el cuidado de sus fuentes, su tratamiento, su accesibilidad, su adecuada infraestructura y otros sistemas de apoyo que permitan garantizar su presencia y calidad para un uso presente y futuro.

Los conceptos anteriores (cambio climático, agua, resiliencia hídrica y más adelante los humedales artificiales) son base conceptual de este trabajo y su interrelación se puede muestra en la Figura 2.

Figura 2. Jerarquización de los conceptos teóricos de este trabajo.



Fuente: elaboración propia

La resiliencia hídrica se identifica como concepto medular, debido a que se considera un objetivo urbano derivado en la problemática del cambio climático. Ello en virtud de que es el agua el principal recurso involucrado y afectado por la variabilidad climática que, de esta deriva. Este trabajo se sustenta en la resiliencia hídrica como táctica de acción para intervenir en las ciudades que presenten vulnerabilidad o requieran intervención.

Posteriormente es a partir de los humedales como principal estrategia (como sistema sustentable para el tratamiento del agua) que se pretende lograr ese objetivo urbano denominado resiliencia hídrica.



## 1.4 La Sustentabilidad

Este trabajo se rige bajo el razonamiento de que aquello que es resiliente además es o debería ser sustentable. Por ello, se requiere esclarecer el término de sustentabilidad para identificar bajo que premisa se direcciona la investigación.

Al apogeo del término de *sustentabilidad* como concepto se le atribuye posterior al establecimiento del término de *desarrollo sostenible*, dado en Asamblea General en 1987 donde se dio a conocer el informe generado para la ONU, titulado “Nuestro Futuro Común”, el cual es más conocido como Informe Brundtland, debido a que Gro Harlem Brundtland presidió la Comisión. El desarrollo sostenible fue definido como aquel *Desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades* (Naciones Unidas México, 2017).

Actualmente existen muchas otras definiciones que han sido desarrolladas para esclarecer, modificar y/o complementar tanto al desarrollo sostenible como a la sustentabilidad como definición.

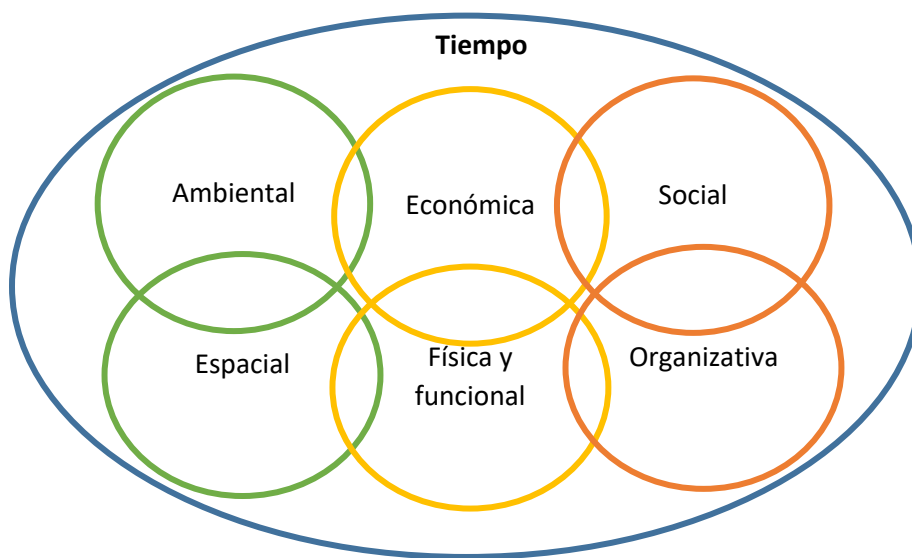
Algunos autores como (Rodríguez, 2013) definen a la sustentabilidad como aquello “referido a un estado o sistema, al que se le añade, la necesidad de mantenerlo, que se lo esté alimentando o suministrando los medios de sobrevivencia y de persistencia, permitiéndole extender su acción en el tiempo y en el espacio, contribuyendo a satisfacer las necesidades de los seres humanos y del planeta”.

La palabra “sustentable” se usa cuando se afirma que algún sujeto determinado se sostiene por sus propios medios indefinidamente, puede venir acompañado del prefijo auto- el cual hace una referencia más específica a que se mantiene de una forma autónoma.

Actualmente aún se considera que la sustentabilidad se conforma de tres dimensiones, las cuales son la social, la económica y la ambiental o ecológica, las cuales deberán estar presentes y equilibradamente interrelacionadas para dar paso a la sostenibilidad. Estas dimensiones fueron mencionadas en el Informe de 1987 y reafirmadas en la Declaración de Río Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente en 1992 que se conoce como Segunda Cumbre de la Tierra. En esta afirmaron que, entre las 3 dimensiones o partes, deberá haber una coherencia, es decir; ser social y ecológicamente soportable, ecológica y económicamente viable y económica y socialmente equitativo. En 2002 se produce la tercera Cumbre de la Tierra en Johannesburgo y, por último; se realizó la cuarta Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 2012 (Calvente, 2007).

Si se analizan las dimensiones de la resiliencia urbana y de la sustentabilidad encontramos que existe también una relación entre ellas, la cual se representa en la Figura 3.

Figura 3. Interrelación entre dimensiones de la resiliencia y la sustentabilidad



Fuente: elaboración propia

Se observa que las dimensiones de la resiliencia y la sustentabilidad hacen referencia a cuestiones semejantes, es decir, la dimensión espacial y ambiental se refieren a las

cuestiones sobre el entorno, la económica y la física- funcional hacen referencia a las cuestiones materiales que se conciben del aspecto monetario y la dimensión social y organizativa involucran a las personas o los denominados recursos humanos de los cuales se valen o se ven involucrados al respecto; todas estas a su vez inmersas en la dimensión tiempo.

Este trabajo considera entonces que, hablando en términos urbano-ambientales, aquello que es resiliente y que puede reponerse ante situaciones adversas y de cambio es también sustentable, es decir que puede mantenerse activo o funcionando en el tiempo por sí mismo sin afectar al medio en el que se encuentra o que compone, sino más bien manteniendo un equilibrio y recuperándose como un sistema.

Por lo anterior, se busca encontrar propuestas para contribuir a la resiliencia de un lugar, pero a partir de sistemas sustentables que permitan hacerlo de una forma no contaminante, que apoye a la mitigación de los efectos que contribuyen al cambio climático.

#### **1.4.1 La sustentabilidad urbana**

El término de sustentabilidad compuesto del adjetivo “urbana”, hace referencia a las cualidades de la sustentabilidad anteriormente mencionadas con respecto a los procesos y ciclos en las ciudades.

También denominada sostenibilidad urbana o sustentabilidad ambiental urbana, el término hace referencia a aquella morfología y funcionamiento ideal de las ciudades en los que funcionan en congruencia con el medio ambiente y los recursos que de este provienen. De tal forma que sigue en funcionamiento, pero evitando en lo posible dañar el sistema natural e intervenir en menor cantidad en los ciclos naturales.

Derivado del término de desarrollo sostenible, que engloba todas las acciones humanas dentro del enfoque del cuidado y respeto ambiental, la sostenibilidad urbana es definida

como la cualidad de “un asentamiento que tiene la capacidad de proporcionar en forma duradera y eficiente la energía y los recursos para cumplir con los objetivos que en el subsistema social (bienestar social), espacio físico urbano (calidad físico espacial), económico (productividad) y ecológico (preservación ecológica), que requerirán las generaciones presentes y futuras que habitarán la ciudad” (López Bernal , 2004).

El gran problema no es que las ciudades o sus sociedades consuman, sino la modalidad en la que estas lo hacen: sin retribuir, reponer o re equilibrar el desequilibrio que producen. Es decir, solo se consume o se utiliza con una mínima proporción de la responsabilidad social, en la que se considere el tratamiento de los recursos como el agua o la eliminación de la generación de los residuos generados al ambiente.

La sustentabilidad urbana engloba las dimensiones de ambiente, economía y sociedad en las ciudades; por lo cual una ciudad sustentable en teoría, debería contar con sistemas que garanticen el adecuado manejo y conservación de los recursos, con costos coherentes o mínimos y de tal manera que sea accesible para todos en el presente y en el futuro.

En este sentido, en el recurso agua, como se mencionó, se basan las actividades y economías en los asentamientos humanos, independientemente si son urbanos o rurales, el agua la cual garantiza la supervivencia del hombre y la vida en el planeta y, lamentablemente, es el recurso directamente más afectado y modificado por los cambios de temperaturas derivadas del cambio climático. De ahí la relevancia del abordaje principal de este recurso para la sostenibilidad de las ciudades.

En relación al cambio climático, acorde al concepto de la sustentabilidad urbana, se podrían incorporar aspectos específicos para responder ante el agravante problema, por ejemplo, ONU AGUA (2019) plantea puntualmente dos aspectos para la mitigación del cambio climático basadas en la tecnología con el fin de reducir las emisiones de las infraestructuras hidráulicas, incluidas aquellas destinadas al suministro de agua potable, el tratamiento de aguas residuales y pluviales, y el bombeo de agua con fines agrícolas

y de otra índole. El fin es seguir manteniendo y conservando este recurso para su uso a un menor costo y sin afectar con ello el medio ambiente.

Las estrategias planteadas para la mitigación en las ciudades relacionadas con el agua deberían tenerse en cuenta en los procesos de planificación y gestión de la extracción, la distribución y el tratamiento del agua. Estos dos planteamientos generales son: el aumento de la eficiencia energética y la producción y recuperación de energías renovables. Específicamente sugieren 6 puntos en relación con la adaptación:

1. Infraestructuras resistentes al cambio climático
2. Conservación y protección de los acuíferos
3. Gestión conjunta de las aguas superficiales y subterráneas.
4. Conservar, mantener o recuperar los ecosistemas de humedales.
5. Entender la dependencia del agua y los riesgos climáticos asociados
6. Reducir la exposición al riesgo y mejorar la resiliencia en el ámbito urbano y rural (ONU AGUA, 2019).

La sustentabilidad urbana plantea que una ciudad prospera y resiliente deberá contar con todos los recursos ahora y en un futuro de la mejor manera posible en respeto a las personas y el entorno. Dirigir las ciudades hacia la sustentabilidad urbana es tarea de los gobiernos, pero también de las personas y comunidades de actuar en ese sentido.

#### **1.4.2 La Agenda 2030**

Se observa en los planteamientos de la Agenda 2030 que, debemos girar hacia una urbanización y manejo sostenible de los recursos, que es lo que proponen las organizaciones que han analizado el problema del cambio climático; así mismo, proponen el replantear la conservación de los recursos para tener como fin último la resiliencia de las ciudades y los recursos como un bien finito.

Esta Agenda para el Desarrollo Sostenible se aprobó en el año 2015, también conocida como la Agenda 2030 debido a que el logro de los objetivos fue planeado para dicho año. Lo anterior con base en el establecimiento del término de desarrollo sostenible dado a conocer en la Asamblea General en 1987.

La Agenda para el Desarrollo Sostenible contiene 17 objetivos para las personas y para el planeta, lo cuales son denominados Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y se consideran un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los Objetivos en 15 años (Naciones Unidas, s.f.).

Los Estados miembros de la Naciones Unidas aprobaron una resolución en la que reconocen que el mayor desafío del mundo actual es la erradicación de la pobreza y afirman que sin lograrla no puede haber desarrollo sostenible. Bajo las dimensiones de la sustentabilidad (económica, ambiental y social), la Agenda plantea 17 Objetivos con 169 metas integrados e indivisibles (Naciones Unidas, 2015).

La Agenda establece que cada país particularmente deberá hacer sus propias metas nacionales y con ello la planificación para lograrlo. Los Estados miembros que desarrollaron La Agenda consideran que poner fin a la pobreza en el mundo es parte fundamental para lograr los demás objetivos debido a que cuando una sociedad tiene mayor capacidad económica con ello vienen mayores oportunidades en los demás aspectos, como la educación, el conocimiento del cuidado ambiental, la adquisición de productos o sistemas que permitan el acceso a los recursos y su cuidado, y demás aspectos vinculados con los demás objetivos. Los ODS puntualmente son: fin de la pobreza, hambre cero, salud y bienestar, educación de calidad, igualdad de género, agua limpia y saneamiento, energía asequible y no contaminante, trabajo decente y crecimiento económico, industria innovación e infraestructura, reducción de las

desigualdades, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsables, acción por clima, vida submarina, vida de ecosistemas terrestres; paz, justicia e instituciones sólidas y alianzas para lograr los objetivos.

Específicamente este trabajo se direcciona hacia el Objetivo 11 de ciudades y comunidades sostenibles teniendo implícitos el, 6 agua limpia y saneamiento, 12 referente a producción y consumo responsables, 13 acción por el clima y 15 vida de ecosistemas terrestres.

### **1.5 Los humedales**

Como anteriormente se mencionó se identificaron a los humedales artificiales como una estrategia versátil y útil para cualquier tipo de clima para el tratamiento y conservación del agua. Existen dos tipos de humedales; los humedales naturales y los artificiales, los cuales son el objeto propuesto para este trabajo. En relación a los primeros se conocen como aquellos sistemas naturales acuáticos con vida vegetal y animal del mismo, los cuales interaccionan con sistemas terrestres debido a que se localizan en la capa freática, es decir; donde la tierra está cubierta por aguas, cerca de la superficie terrestre o sobre ella.

La Convención de Ramsar los define como “las extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros” (Secretaría de la Convención de Ramsar, 2007).

Los humedales destacan por su contribución y función ambiental como es:

- a. Funcionan como hábitat. Son refugio para gran variedad de fauna acuática, terrestre y de aves.

- b. Producción de materia prima. Producen productos que sirven para construcción, recursos alimenticios, medicinales y ornamentales.
- c. Belleza escénica y paisajística. Son un espacio recreativo, ambientalmente contributivo y educacional
- d. Regulan procesos ecológicos esenciales para la vida, ejemplo de ello son los ciclos hidrológicos y de carbono (INECOL, 2013).

En México, los humedales han sido clasificados en tres ámbitos; estos tienen variantes para su clasificación como su localización, el régimen en de inundación y su tipo de vegetación. La principal clasificación es:

1. Marinos y estuarinos: incluye aquellos humedales ubicados sobre la zona costera cuya entrada de agua es principalmente salada o salobre (mezcla de agua dulce y salada), debido a entradas ocasionales de agua dulce.
2. Lacustres: incluye aquellos humedales situados en zonas represadas como los lagos, y a aquellos humedales que se originan a orillas de éstos.
3. Palustres; dentro de esta clasificación se incluyen los humedales cuya entrada de agua es únicamente dulce, es decir, aquellos humedales que se ubican en las zonas de borde de ríos, lagunas de agua dulce o planicies inundables (INECOL, 2013).

### **1.5.1 Los humedales artificiales**

Un humedal artificial es un sistema que reproduce artificialmente lo que puede realizar un humedal natural, pero instaurados por el hombre en lugares estratégicos con vegetación específica dirigidos hacia objetivos puntuales como el tratamiento del agua y/o como hábitat para especies animales y vegetales del sitio.

Los inicios del tratamiento de agua se documentan desde la civilización Cretense, cuando tras crear las primeras redes de alcantarillado tuvieron el buen sentido de conducir y



verter las aguas negras en los ríos, lagos y marismas próximos a los núcleos, evitando de esa forma los graves problemas de salubridad que el vertido incontrolado les hubiera causado menciona Fernández (2017).

Específicamente respecto a los humedales artificiales como sistemas depuradores de agua, y su investigación formal con métodos científicos como tratamiento de aguas contaminadas se inició en Europa durante la década de los 50 por la Dra. Käthe Seidel quien en el Instituto Max Planck en Alemania dirigió numerosos experimentos con el objetivo de mejorar la calidad de las aguas en los canales navegables mediante el uso adecuado de especies de plantas. Seidel trabajó con aguas de diversas procedencias, incluidas las de lecherías, de explotaciones ganaderas o con presencia de fenoles y en los años 70, intensificó los ensayos pasando a centrarse en el cultivo de determinadas macrófitas en bancales poco profundos y en zanjas. Además de su sistema “Método Hidrobiológico” basado en sustratos arenosos de mayor conductividad hidráulica y con especies de macrófitas ensayó combinaciones de diferentes módulos con distintos tipos de flujo (Fernández, 2017).

Posteriormente determinó el método denominado MPIP (Max Plant Institute Process), el cual es la base de los sistemas denominados “Híbridos”, este método combinaba una primera fase de flujo vertical en un tanque arenoso plantado con carrizos (*Phragmites australis*) con una segunda etapa de flujo horizontal donde sucede la mayor parte de la eliminación de contaminantes con lo cual, logró evitar el uso de tanques sépticos.

A mediados de los años 60 la Dra. Seidel estableció una colaboración con el Dr. Kickuth cuyo resultado fue el desarrollo del método denominado RZM (Root Zone Method) ó FHSS (de Flujo Horizontal Sub-Superficial). Ambos métodos, crearon confusión tal vez debido a que las macrófitas no eran consideradas eliminadoras de sustancias tóxicas, y no se creía que pudiesen sobrevivir por mucho tiempo en aguas contaminadas; además se había prescindido por mucho tiempo de plantas en los proyectos de depuración. Las

primeras depuradoras a gran escala fueron construidas en otros países y hasta 1976 estos sistemas no se reconocieron como métodos válidos en Alemania (Fernández, 2017).

De 1970s-1980s los humedales artificiales sólo eran utilizados para tratar aguas domésticas o municipales y a partir de los 90s son usados para tratar todo tipo de agua residual con sistemas híbridos (Hermosillo, et al., 2011).

Actualmente los humedales artificiales se definen en el contexto mexicano de la siguiente manera:

*“Los humedales artificiales son sistemas acuáticos diseñados para remover la mayor parte de los patógenos y nutrientes contenidos en el agua. Aunque se pueden implementar a escala doméstica, generalmente son una alternativa para el tratamiento de aguas residuales a nivel comunitario. La estructura más común de un humedal artificial es un lecho relleno de grava y arena colocado sobre una superficie impermeable (arcilla o geomembrana) y plantas acuáticas macrófitas cuyas raíces liberan oxígeno evitando que el sedimento se vuelva anóxico. Existen tres tipos de humedales artificiales: de flujo superficial libre, de flujo horizontal sub-superficial y de flujo vertical.”* (Instituto de investigaciones en ecosistemas, s.f.)

Los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales son sistemas estanques poco profundos en los que se implantan especies vegetales adaptadas a la vida acuática que se basan en procesos naturales de tipo microbiológico, biológico, físico y químico para la depuración del agua. Al igual que en los sistemas de tratamiento convencional de aguas residuales, las plantas de los humedales remueven nutrientes (nitrógeno y fósforo) para la producción de biomasa a través de absorción y asimilación. Además de llevar el oxígeno a las raíces de las plantas, estos sistemas liberan oxígeno en el medio del agua y suelo circundantes incrementando de esta forma la capacidad del sistema para la descomposición aerobia de los contaminantes (Mena , 2008). Algunas de las ventajas de su uso son:

- Realizan tratamientos físicos, químicos y biológicos naturales, que no requieren aporte extra de reactivos químicos.
- Se opera en condiciones anaerobias, facultativas y/o aerobias por su tratamiento biológico, lo que representa un ahorro importante de energía por prescindir de aireación con procedimientos mecánicos.
- Proporcionan un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc.
- Su costo de inversión, operación y mantenimiento son representativamente inferiores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.
- Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable en muchos casos.
- Aguantan bien las fluctuaciones de caudal o de carga contaminante.
- Se logran integrar adecuadamente al paisaje, contribuyen al desarrollo de vida silvestre y tienen la posibilidad de ser utilizados para la concienciación y educación medioambiental (Mena , 2008).

### **1.5.1 Composición de los humedales artificiales.**

Los humedales artificiales son una opción recomendada posterior a la remoción de las partículas suspendidas como el papel higiénico, desechos, materia orgánica, y otras que deben ser retenidos previamente para que el agua residual pueda ser tratada en el sistema de humedal de flujo superficial. El tiempo de vida del humedal está determinado por el de sus componentes principales como las plantas y las características y cuidados que estas tengan. Tanto el sistema de tuberías como de bombas puede ser fácilmente cambiadas, sin embargo, la arena y la grava por lo general no se cambian. El tiempo de vida de la geo-membrana no es fácil de predecir ya que, mientras esta en uso es imposible evaluar su condición, se deberá evaluar periódicamente pero comúnmente los fabricantes establecen tiempo de vida útil del material (Mena , 2008).

El crecimiento de las plantas conduce a la eliminación de nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, amoníaco y fosfato de las aguas residuales domésticas de al alrededor del 10-20% durante el período de vegetación. Sin embargo, los procesos más importantes para la eliminación del nitrógeno son la nitrificación /desnitrificación, procesos llevados a cabo por las bacterias (Hoffman, et al., 2011).

Ahora bien, en relación a un resultado promedio de un sistema de humedal en relación al agua ya tratada se reportó en 2016 por Cubillos Trujillo que el sistema de humedal artificial propuesto en la sede del Sena Choco en la localidad de Quibdó en Colombia garantiza una eficiencia de remoción de material orgánico en promedio de 85% y 90%, con una remoción de DQO de 55% a 80%; DBO<sub>5</sub> de 60% a 98%; ST de 60 a 98%, Nitrógeno entre 30 y 70%, P entre 20 y 60% y de coliformes del 99%, presentando mayores ventajas a nivel económico y de efectividad, ya que las aguas salientes del sistema pueden ser aplicadas en irrigación a terrenos cercanos.

Estos humedales, pueden ser de diferentes formas, pero básicamente el sistema incluye el aislamiento del suelo para evitar la filtración tanto del agua como de posibles contaminantes al ecosistema, el sistema de tuberías y dispositivos para el control del flujo del efluente en cuanto a dirección, flujo, tiempo de retención y nivel del agua. Es importante asegurarse que exista la interacción de los componentes vivos del sistema que deben estar presentes en al agua residual como los son los microorganismos, hongos, algas, vegetación y fauna (Alarcón, et al., 2018). Además de lo anterior existen 3 componentes principales de un humedal artificial: el agua, el sustrato y las plantas o la vegetación acuática.

#### a) El Agua

Es el principal elemento y objetivo del tratamiento, siempre en movimiento, ejerce de conector entre todas las partes del humedal. El agua es el factor más importante en el diseño de los humedales artificiales, se debe verificar habitualmente que el agua esté en

movimiento a través de todas las partes del humedal, y que, en su caso, los residuos que hayan llegado al lugar no hayan bloqueado el flujo del agua para que no existan áreas de estancamiento ya que eso aumentaría la probabilidad de mosquitos (Delgadillo, et al., 2010).

#### b) Sustrato

El sustrato de los humedales artificiales está compuesto por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el fondo del humedal. El sustrato ofrece el soporte para el crecimiento de microorganismos responsables de los procesos biológicos dentro del humedal, debe de revisarse su adecuada granulometría para permitir el flujo del agua dentro del humedal y la instalación de dichos microorganismos. Dependiendo de los resultados que se deseen este podrá estar formado por arcillas y lomos que permitirán una mayor capacidad de absorción y filtración, debido a diámetro de los huecos es pequeño permite una alta adsorción. Este tipo de sustrato presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar; en cambio un sustrato compuesto por grava y arena, disminuye la capacidad de adsorción y su capacidad de filtración, pero aumenta la conductividad hidráulica (Delgadillo, et al., 2010).

#### c) Vegetación

Las plantas al igual que el sustrato, proporcionan superficie para la formación de colonias de bacterianas, contribuyen a la oxigenación del sustrato y su principal función es la eliminación de nutrientes por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas acuáticas pueden transferir oxígeno de la atmósfera a través de hojas y tallos hacia las raíces y posteriormente el medio donde ellas se encuentran; el oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos lo utilizan para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación. Las plantas recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico (Delgadillo, et al., 2010). La vegetación

también es un factor clave para la integración paisajística de estos sistemas de tratamiento.

La vegetación acuática para un humedal artificial se clasifica en Plantas anfibias o emergentes, plantas arraigadas con hojas flotantes, plantas arraigadas totalmente sumergidas y plantas sumergidas libres y flotantes libres; las plantas más usadas en los humedales son las emergentes y las flotantes.

Las plantas emergentes como el nombre lo dice, sobresalen de la superficie del agua y son perceptibles a simple vista y pueden llegar a ser muy altas. Un ejemplo de la primera es el junco o totora, la cual es una hierba perenne, de escaso porte, fasciculada, con raíces fibrosas muy comúnmente usada para estos fines. Sobre las plantas de hojas flotantes son aquellas que están únicamente sobre la superficie del agua, pero su raíz se encuentra en el sustrato un ejemplo es la cola de zorro una planta depuradora que es perenne y resistente, considerada como de fácil mantenimiento.

A micro escala se encuentran los microorganismos que se desarrollan en el humedal y que son parte del proceso de depuración o no. Estos son bacterias, hongos, protozoos y micro algas.

Además, en los humedales puede estar presente fauna, la cual resulta variable al no estar inicialmente incorporada al humedal en su formación, principalmente aves de distintas especies pueden acoger el humedal como hábitat, pero también especies de cuadrúpedos pueden visitarlos como fuente de agua.

#### *Proceso y límites de contaminantes.*

El proceso de tratamiento en ecosistema de los humedales artificiales es el resultado de complejas interacciones entre sus componentes, algunos procesos se describen en la Tabla 3:

Tabla 3. Procesos de remoción de contaminantes en humedales artificiales de flujo superficial

Contaminante	Proceso
Materia orgánica (MO) (Medida como DQO O DBO <sub>5</sub> )	Las partículas de MO son eliminadas por la sedimentación y filtración, luego convertidas a DBO <sub>5</sub> soluble La MO soluble es fijada y adsorbida por el biofilm y degradadas por las bacterias adheridas en este.
Sólidos suspendidos totales (SST)	Sedimentación y filtración Descomposición durante los largos tiempos de retención por bacterias especializadas en el lecho de arena.
Nitrógeno	Nitrificación / Desnitrificación por el biofilm Absorción de las plantas (influencia limitada)
Fósforo	Retención en el lecho de arena (adsorción) Precipitación con aluminio, hierro y calcio Absorción de las plantas (influencia limitada)
Patógenos	Sedimentación y filtración Absorción por el biofilm Depredación por protozoarios Eliminación de bacterias por condiciones ambientales desfavorables (temperatura y pH)
Metales pesados	Precipitación y adsorción Absorción de las plantas (influencia limitada)
Contaminantes orgánicos	Adsorción por el biofilm y partículas de arena Descomposición debido a lo largo del tiempo de retención y a las bacterias especializadas del suelo (no calculable)

Fuente: Hoffman y otros, 2011

Los parámetros que se utilizan para medir la calidad del agua son:

**Sólidos.** Son materiales que varían desde hilachas hasta coloides, se considera su tamaño de las partículas totales suspendidas.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>).** Es la cantidad de oxígeno disuelto que se consume durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua en un tiempo dado. Con ella se indica el oxígeno necesario para alimentar a los microorganismos y a las reacciones químicas.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Es la cantidad de oxígeno disuelto consumido por el agua residual durante la oxidación provocada por un agente químico fuertemente oxidante (Haro & Aponte, 2010).

**Oxígeno disuelto (OD).** Es la cantidad de oxígeno presente en el agua, puede ser incrementado por la captación de más oxígeno de la atmósfera, la acción fotosintética (principalmente de algas verdes), el descenso de temperatura y la dilución. Por otra parte,

la cantidad de oxígeno puede disminuir por la respiración de microorganismos, algas y organismos macroscópicos, así como la elevación de la temperatura y reacciones químicas.

Nitrógeno total Kjeldahl (NTK). Es la cantidad total de nitrógeno en el agua, indica su capacidad de ser nitrificado a nitritos y nitratos, o en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso.

Fósforo total. Es la especificación de todas las formas presentes de fósforo (orgánicas e inorgánicas disueltas y particuladas) bajo la estructura de ion ortofosfato.

Cloruros. Son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación, el análisis de la concentración de cloruros en el agua residual se basa en una valoración con nitrato de plata utilizando como indicador cromato de potasio. Es importante destacar que, si el agua tratada aún contiene altas concentraciones de cloruro y se utiliza para el riego en campos agrícolas, afecta la calidad del suelo.

Potencial de Hidrógeno (pH). Es una medida de la acidez o alcalinidad que describe la actividad de los iones en una solución acuosa; para el tratamiento de agua que se realiza por medio de microorganismos (tratamiento biológico) el pH debe estar en un rango de 6 a 9, fuera de éste la mayoría de los microorganismos resultan dañados o inactivos.

Grasas y aceites. Son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal y de hidrocarburos del petróleo que se determinan utilizando hexano como disolvente.

Microorganismos indicadores. Tienen un comportamiento similar al de los patógenos, pueden ser bacterias, virus o huevos de helminto algunos ejemplos de bacterias son los Coliformes fecales y *Escherichia Col.*, virus como los Colifagos y huevos de helminto como los *Ascaris lumbricoides*. Una vez que se ha evidenciado la presencia de grupos indicadores, se puede deducir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y su comportamiento frente a distintos factores es similar (Haro & Aponte, 2010) .



En México, los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT-1997 se expresan en la Tabla 4.

Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público

Tipos de reúso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales (NPM/100 ml)	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites (mg/l)	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	SST(mg/l)
Servicios al público con contacto directo	240	<1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1000	<5	15	30	30

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT, 2010)

Los parámetros anteriormente citados de acuerdo a estudios previos deberán ser alcanzados por el sistema de humedal propuesto en relación a la purificación de agua que en estos se logre, esto al proponer la vegetación adecuada además de ser construido adecuadamente lo que, en conjunto con un buen mantenimiento y uso debería garantizar el funcionamiento del sistema.

Más adelante se especifica a detalle lo relacionado con las normas mexicanas y el agua.

### 1.5.2 Tipos de humedales

Por lo general los humedales artificiales se clasifican en Humedal artificial de flujo superficial (FS) y Humedal artificial de flujo subsuperficial (FSS), dentro del segundo se pueden encontrar el de flujo horizontal (FSSH) y vertical (FSSV) los cuales se pueden combinar y formar sistemas híbridos (Mena , 2008).

1. Los Sistemas de flujo libre o superficial se realizan sobre un terreno con algún tipo de barrera que confine el sistema y evite filtraciones, cuentan con una capa de grava o arena para el filtro del agua residual y para soportar las raíces de la vegetación. El agua es visible en la superficie y su trayectoria es horizontal. A los sistemas FS normalmente se les alimenta agua residual previamente tratada, con algún tipo de tratamiento físico, de forma continua. El tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente. Los sistemas de flujo superficial también se pueden diseñar con el objetivo de crear nuevos hábitats para la fauna y flora, pueden combinar espacios abiertos y zonas vegetadas con la vegetación adecuada para proporcionar hábitats para aves acuáticas.
2. El humedal artificial de flujo subsuperficial consiste en un canal impermeabilizado del exterior, que se encuentra relleno de un material sólido poroso (rocas o grava) por donde circula el agua y por debajo, ocupando casi toda su profundidad. Estos sistemas también cuentan con vegetación adecuada para su funcionamiento.

“La circulación del agua a través del suelo o material de soporte parece ser siempre más efectiva que la circulación de superficie para muchos de los mecanismos de degradación de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. La zona aerobia se encuentra en las zonas muy cercanas a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema. Este hecho hace que el área requerida sea menor que en los humedales de flujo superficial, pero con un mayor coste debido al uso de una mayor cantidad de medio poroso. Además, con este sistema, se evitan problemas

como posibles plagas de insectos, olores y, en climas fríos, aportan una mayor protección térmica” (Mena , 2008, p. 6).

Se pueden encontrar dos tipos de humedales subsuperficiales: de flujo horizontal (FSSH) y de flujo vertical (FSSV).

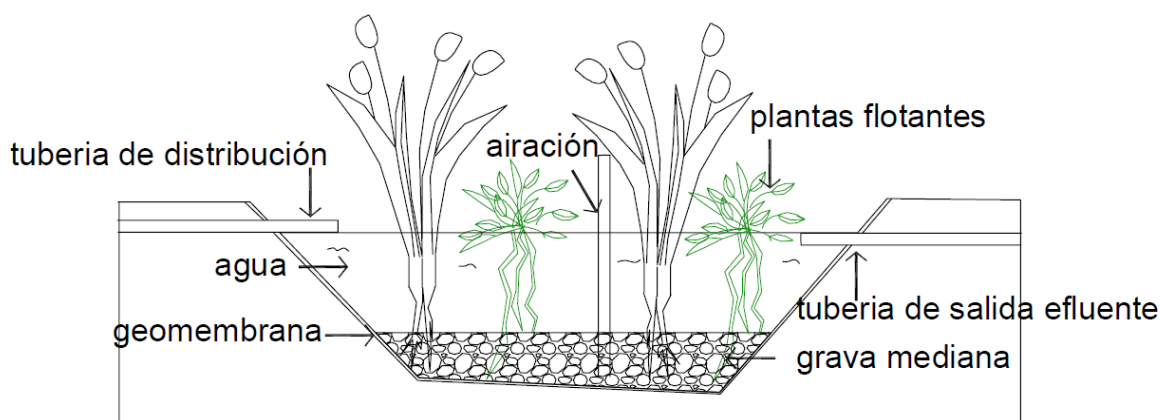
Los de flujo horizontal funcionan con una alimentación continua proveniente de los laterales, el agua depurada es extraída de lado opuesto al de la alimentación.

Los de flujo vertical cuentan con una alimentación que se realiza uniformemente distribuida por toda la superficie y la recogida a lo largo de todo el fondo. La tubería flexible está en la posición más baja para mantener unas condiciones insaturadas en el medio poroso. Se consigue un mayor contacto entre el agua residual y el aire dentro de los poros, se presenta un mayor aporte de oxígeno para los procesos.

Desde el punto de vista de los costes un sistema FSS se considera menos competitivo que uno FS para pequeñas comunidades y caudales (Mena , 2008).

La Figura 4 muestra la composición del humedal de tipo superficial.

Figura 4. Diagrama de humedal de flujo superficial

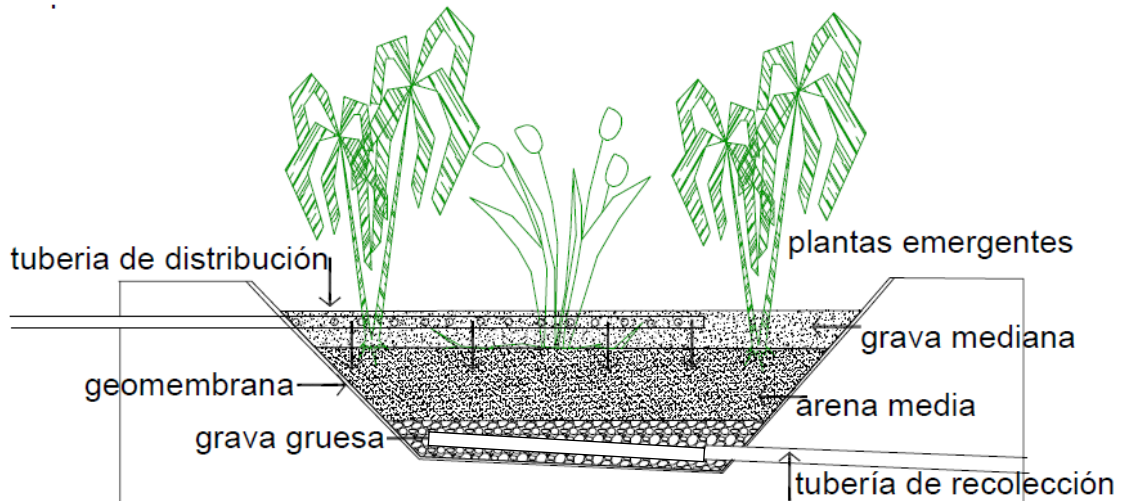


Fuente: Elaboración propia con base en Morel y Diener, 2006 en Hoffman y otros, 2011.

Básicamente la diferencia entre los dos sistemas radica en la forma de inyección del agua residual y de la recolección de la misma.

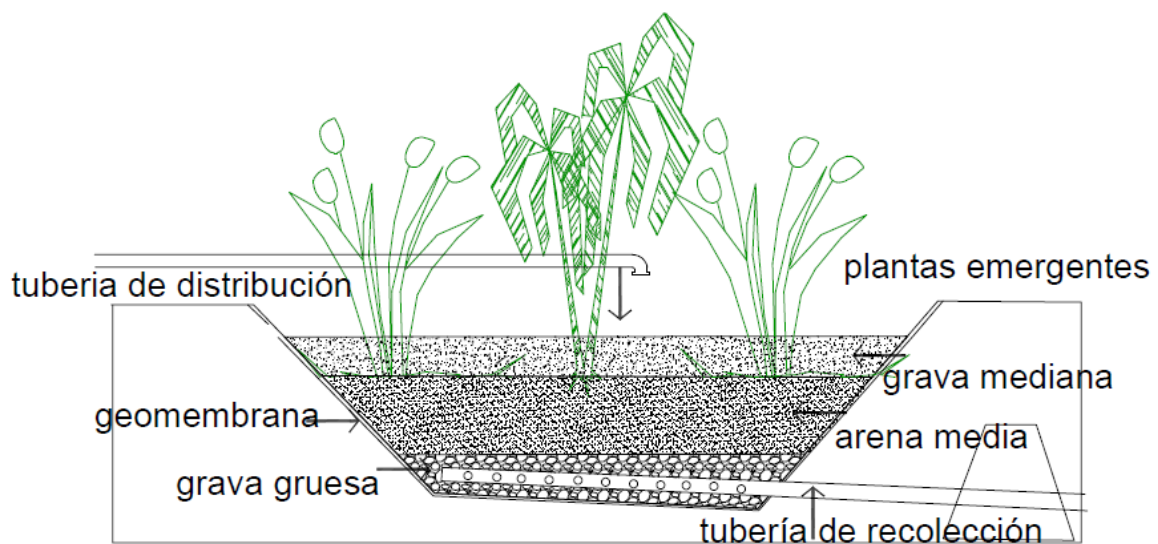
Del humedal subsuperficial se desprende el de flujo horizontal y vertical como se muestra en la Figura 5 y 6 respectivamente.

Figura 5. Diagrama de humedal de flujo subsuperficial horizontal



Fuente: Elaboración propia con base en Morel y Diener, 2006 en Hoffman y otros, 2011.

Figura 6. Diagrama de humedal de flujo subsuperficial vertical



Fuente: Elaboración propia con base en Morel y Diener, 2006 en Hoffman y otros, 2011.

Al momento de diseñar un humedal artificial deben tomarse en cuenta que las aguas residuales pueden ser negras o aguas grises y tienen características diferentes, las principales diferencias a considerar para el tratamiento de aguas grises en comparación con el tratamiento de aguas negras son: tienen muy bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo en las aguas grises por lo que no se necesita considerar la eliminación de estos nutrientes en el diseño de tratamiento de aguas grises; la eliminación de patógenos tampoco es considerada para estas aguas (Hoffman, et al., 2011).

En el caso específico de este trabajo se consideran ambos tipos de aguas para el tratamiento en el caso de que estén presentes en las viviendas de estudio.

Para la selección del tipo de humedal interfiere valores como el clima, el objetivo del humedal, la cantidad de área disponible. El uso de los humedales artificiales puede limitarse por la necesidad de disponer de áreas relativamente grande el volumen de arena gruesa especialmente en zonas urbanas.

Por ejemplo, en climas cálidos los humedales flujo horizontal tienen el mismo requerimiento en superficie que las lagunas facultativas (las cuales son cuencas artificialmente excavadas que realizan una función como un sistema de tratamiento bioquímico de crecimiento suspendido, pero sin el uso de vegetación) mientras que los humedales de flujo de vertical necesitan 20% menos espacio que las lagunas aproximadamente.

Específicamente en México, se tienen datos sobre la remoción de coliformes en humedales realizados, en los cuales reportan que los coliformes fecales se eliminan eficazmente por medio de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical, hasta en un 99.99% con lo cual cumplen con los criterios normativos establecidos para descarga de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (NOM-001-SEMARNAT-1996) (Hurtado, et al., 2016).

El amonio y el amoniaco pueden ser removidos en un 98%, neutralizar el pH, realizan la nitrificación/desnitrificación por asimilación vegetal o volatilización, regulan el nivel de fósforo por sedimentación o asimilación vegetal y los metales pesados son eliminados del agua por adsorción de las raíces de las plantas o sedimentación. Los organismos patógenos son eliminados por decaimiento natural, depredación, irradiación UV y sedimentación (Hurtado, et al., 2016).

## **Conclusiones**

Este apartado permitió identificar toda aquella terminología relacionada al trabajo en estudio, con ello se esclarecieron a su vez, las dudas relacionadas a las dimensiones que se emplearían para el modelo, las cuales serán las consideradas por ONU HABITAT en relación a la resiliencia urbana.

Es importante resaltar que se pudo encontrar una concordancia entre las dimensiones de la sustentabilidad y la resiliencia; con lo cual podríamos garantizar que el trabajo, al basarse en las dimensiones de la resiliencia, estaría también cumpliendo con los criterios de la sostenibilidad.

Se identificó que el clima es un factor determinante para la selección del tipo de humedal y de las plantas que se utilizaran en él, con esto garantizaría sus óptimos resultados. Se contextualizaron los requerimientos y las necesidades en áreas, proporción y materiales para implementar el sistema.

Así mismo, se reconoce que las plantas del humedal son realmente eficientes para regular el contenido de elementos químicos y biológicos, así como las características físicas del agua, con una debida eliminación de sólidos suspendidos previa y filtración. Por lo que, en aguas residuales domésticas en donde no existen químicos o concentraciones altas de metales pesados que deban ser removidos mediante otro tipo de depuración puede ser muy efectiva mediante los humedales, en caso de que existan estos se pueden acumular en un espacio donde puede ser recogido para su disposición en un sitio determinado.

## **CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA Y JURÍDICO**

Este capítulo muestra la revisión bibliográfica que se realizó para desarrollar el objetivo de este trabajo, en dos vertientes; una, la revisión de las referencias de trabajos similares o informes que se tienen en relación al agua y cambio climático, la resiliencia y los humedales. Y, dos, se describe la Normativa que está relacionada con el tratamiento y calidad del agua.

Este contexto resulta de gran importancia debido a que de su estado se puede determinar si sería promovido y permitido el sistema en la ciudad por el estado y en su caso, la inversión privada. Además, especifica los límites de purificación del agua para el reúso público y los límites de contaminantes que deben ser considerados en el tratamiento.

La segunda vertiente es la identificación de las referencias encontradas en relación al agua como modelos, planes o estrategias sobre la resiliencia hídrica y sobre el desarrollo de humedales a nivel nacional e internacional que mostraran datos de apoyo para este trabajo. El fin fue la retroalimentación de trabajos similares para su análisis y rescate de características significativas.

A nivel estatal se encontró que no cuenta con ningún sistema de tratamiento de humedales artificiales ni de programas sobre resiliencia hídrica por lo que se realizó el análisis nacional e internacional.

### **2.1 El agua en México**

Es necesario reconocer la era del antropoceno como una situación que antepone obstáculos para adaptarnos y equilibrarnos con a las leyes que regulan el medio natural. El impacto de la actividad humana sobre la Tierra es tan profundo que se ha llegado a un

punto de inflexión donde los cambios son irreversibles y socialmente inducidos (Merlinsky, 2017).

“El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía y la producción de alimentos, los ecosistemas saludables y para la supervivencia misma de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es el vínculo crucial entre la sociedad y el medioambiente.” (Naciones Unidas, s.f.)

En México, considerando los flujos de salida (exportaciones) y de entrada (importaciones) de agua con los países vecinos, anualmente el país cuenta con 471.5 mil millones de m<sup>3</sup> de agua dulce renovable. De lo anterior el 77% del agua dulce se utiliza en la agricultura; 14%, en el abastecimiento público; 5%, en las termoeléctricas y 4%, en la industria (CONAGUA, 2010).

La disponibilidad natural media anual por habitante en México era de 11 mil 500 metros cúbicos en 1955, esta presentó una disminución de 64 por ciento en un periodo de 50 años, por lo cual, en 2004 por efecto del aumento de la población disminuyó a 4 mil 94 metros cúbicos. Con el aumento poblacional estimado por el Consejo Nacional de Población (2003), y de continuar con los mismos esquemas de consumo y desperdicio del agua, en 2020, la disponibilidad media por habitante fue pronosticada de alrededor de 3 mil 500 metros cúbicos (Breña Puyol & Breña Naranjo, 2007).

Específicamente con relación al agua residual, se conoce que, del agua que se usa, el porcentaje de agua total tratada en México fue de un 57% en el año 2018, de acuerdo a lo reportado por Mazari y Noyola, quienes también afirman que más del 50% de las plantas de tratamiento municipales en México son calificadas con un pésimo o mal funcionamiento, además, en ninguna de las plantas se aplican medidas específicas para la remoción de los contaminantes emergentes, ni la cloración asegura la eliminación completa de microorganismos resistentes como virus y parásitos. Mucha del agua residual es usada directamente para riego sin ningún tratamiento previo.



Los poblados pequeños no cuentan con ningún tipo de sistemas de tratamiento del agua residual y en el caso de los municipios son los órganos operadores de agua potable quienes atienden las plantas de tratamiento, pero carecen de presupuesto para su funcionamiento, mantenimiento o mejoras que garanticen la calidad del agua de salida. El estado del agua en el país es crítico, debido al poco tratamiento que este recibe, no tanto a la disponibilidad sino al pésimo cuidado y el mal uso que este recurso tiene en el país (Mazari & Noyola, 2018).

El agua residual en México tiene una composición muy similar, en algunos casos el agua es condicionada por pequeños comercios locales o familiares que pueden sesgar el resultado dependiendo de la actividad. En general en el agua residual existe una gran cantidad de proteínas, el caso del gas sulfuro de hidrógeno presente en las aguas residuales proviene del azufre de éstas. Las aguas residuales estancadas presentan una mayor acidez debido a los carbohidratos que son las primeras sustancias degradadas por las bacterias y que producen ácidos orgánicos.

El agua residual es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos de alimentos, heces, material vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y sustancias diversas como jabones y detergentes sintéticos (Rojas, 2002).

Los lípidos están siempre presentes en las aguas residuales domésticas, debido al uso de grasas y aceites vegetales en cocinas; incluyen gran número de sustancias que tienen como principal característica la insolubilidad en agua, pero son solubles en ciertos solventes como cloroformo, alcoholes y benceno. Pueden estar presentes también como aceites minerales derivados de petróleo, debido a contribuciones no permitidas y no comunes, y son problemáticos debido a que se adhieren a las tuberías, provocando su obstrucción. Los lípidos no son deseables, ya que inhiben la vida de los microorganismos, forman espuma provocan mal olor y problemas de mantenimiento.

El agua residual contiene pequeñas concentraciones de gases disueltos; entre ellos, el más importante es el oxígeno proveniente del aire que eventualmente entra en contacto con las superficies del agua residual en movimiento. La materia inorgánica presente en las aguas residuales está formada principalmente sustancias minerales disueltas (Rojas, 2002).

Se afirma que la composición típica del agua residual en México, tiene los siguientes componentes: Sólidos totales ST, Sólidos disueltos Totales, SDT Sólidos disueltos fijos, Sólidos disueltos volátiles, Sólidos suspendidos SST, Sólidos suspendidos fijos, Sólidos suspendidos volátiles, Sólidos sedimentables, DBO<sub>5</sub>, Carbón orgánico Total COT, DQO, Nitrógeno total, Nitrógeno orgánico, Amoniacó Libre, Nitritos, Nitratos, Fósforo, Fósforo orgánico, Fósforo inorgánico, Cloruros, Sulfatos, Grasas, Compuestos orgánicos volátiles y coliformes totales (Cortés , et al., 2017).

Los valores permitidos por las normas mexicanas respecto a los componentes anteriores se describen puntualmente al final de este capítulo.

A continuación, se enuncian los referentes académicos, gubernamentales, independientes o de cualquier otra naturaleza que han realizado propuestas para intervenir favorablemente en las ciudades en relación a los cambios y la variabilidad climática a la que nos enfrentamos hoy en día. La forma en la que se hacen visibles los efectos del cambio climático en el ciclo del agua y en general en el recurso hídrico, es en los fenómenos de sequías, inundaciones o tormentas que normalmente son respuesta del líquido a los cambios de temperatura en su ciclo, por ello los países han desarrollado propuestas que permitan a las poblaciones responder ante estos sucesos y fenómenos.

## **2.2 Estudios sobre cambio climático global y agua en ciudades**

En el mundo se han desarrollado trabajos donde se explica la relación entre cambio climático y el agua en las urbes y la problemática que esto conlleva. A partir de este

planteamiento y la necesidad de conocer el fenómeno y generar opciones para su posible intervención; diferentes organizaciones e investigadores han desarrollado trabajos sobre dicha temática y sobre la resiliencia como estrategia para reforzar las ciudades ante las consecuencias del cambio climático. Así mismo, han desarrollado propuestas para la implementación de los humedales artificiales como estrategia sustentable específica para el tratamiento de agua. A continuación, se muestran algunos de los trabajos identificados a nivel internacional y nacional.

El Programa *City Adapt Reconectando ciudades con la naturaleza*, de la ONU Programa para el Medio ambiente y Global Environment Facility tiene relación en los tres tipos de estudios de las temáticas que conciernen a este trabajo; es decir, sobre cambio climático y agua, sobre resiliencia hídrica y sobre los humedales artificiales.

*City Adapt* promueve la resiliencia climática en áreas urbanas a través de la implementación de Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) para la adaptación. El proyecto se desarrolla en tres ciudades de América Latina y el Caribe y fortalece las capacidades técnicas de los municipios y los ciudadanos para analizar los impactos y las vulnerabilidades al cambio climático e identificar soluciones basadas en la naturaleza apropiadas. Su duración está programada del 2017 al 2021 (Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2020).

El estudio identificado bajo el Programa *City adapt* hace mención a la vulnerabilidad ante el cambio climático en Xalapa y Tlalnelhuayocan, Veracruz; el cual forma parte del proyecto denominado Proyecto “Construcción de resiliencia climática en sistemas urbanos mediante la adaptación basada en ecosistemas ABE, en américa latina y el caribe” el cual contempla como propuesta la implantación de un humedal artificial para la ciudad.

El conocimiento del planteamiento de este proyecto es relevante, ya que permite constatar el razonamiento inicial que se menciona en el apartado anterior de este trabajo,

en el cual se muestra la identificación de la secuencia Cambio climático – resiliencia hídrica- humedales artificiales; la cual ha sido retomada en este trabajo.

### **2.2.1 Estudios Internacionales sobre Cambio Climático Global y agua en ciudades**

Los estudios identificados en diferentes países sobre cambio climático y agua en las ciudades son los siguientes.

- I. El Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020, desarrollado por la (UNESCO, ONU AGUA, 2020) aborda la seguridad del agua en el contexto del cambio climático. Se centra en los desafíos, oportunidades y posibles respuestas al cambio climático, en términos de adaptación, mitigación y mejora de la resiliencia, que pueden abordarse mejorando la gestión de los recursos hídricos, atenuando los riesgos relacionados con el agua y mejorando el acceso al suministro de agua y a los servicios de saneamiento para todos de manera sostenible.

Concluyen que la gestión del agua puede desempeñar un papel muy importante en la mitigación del cambio climático. Como se describe a lo largo de este informe, las intervenciones específicas de gestión del agua, como la protección de los humedales, la agricultura de conservación y otras soluciones basadas en la naturaleza, pueden ayudar a capturar carbono en biomasa y suelos, mientras que un tratamiento mejorado de las aguas residuales puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y producir biogás como fuente de energía renovable. Considera que para lograrlo se requiere crear un entorno propicio a través del cual puedan producirse cambios transformadores positivos y respuestas prácticas y rentables.

- II. Por su parte (CEPAL, 2013) realizó una compilación de investigaciones que se enfocan en realizar respuestas urbanas al cambio climático, como un diagnóstico y reflexión sobre las políticas globales de mitigación y los efectos del diseño urbano, así como de las políticas locales de gestión para mejorar la calidad de

vida de los habitantes de las ciudades y reducir los efectos de la urbanización sobre el clima. Este trabajo ahonda en las diferentes afectaciones a la sociedad por el cambio climático y su abordaje a partir de las políticas públicas y el marco normativo de los países. En él hace una identificación de la probabilidad de áreas afectadas por la mayor frecuencia de sequías y principales impactos, la escasez de agua para los asentamientos, la industria y las sociedades; la reducción del potencial de energía hidroeléctrica. Y, así mismo, proponen desarrollar una capacidad de respuesta urbana a la variabilidad y el cambio climático.

- III. (Fernández, et al., 2011) en su trabajo “El cambio climático y el agua: lo que piensan los universitarios” tuvieron la intención de mostrar elementos de reflexión sobre cómo está llegando la información relativa al cambio climático a un sector de la población española, formado por los universitarios que cursan disciplinas de ciencias o se forman para ser futuros docentes. En este trabajo concluyen que, el cambio climático es conocido por una amplia mayoría de la muestra de universitarios estudiados, coincidiendo con estudios previos que inciden sobre otros sectores de la población. Además, el origen de este fenómeno es considerado como antropogénico, por la gran mayoría, idea que concuerda con la definición de cambio climático acuñada en 1991.

Sobre los anteriores, es interesante identificar que una de las propuestas del estudio de las Naciones Unidas 2020 destaca la opción tan importante basada en el desarrollo de soluciones basadas en la naturaleza con el fin de reducir considerablemente, entre otras cosas, el gasto energético derivado del uso de sistemas para la gestión y el tratamiento de aguas residuales.

Algunos de los estudios sobre cambio climático cuentan con un análisis amplio del tema y su implicación en distintos sectores que se considera tiene injerencia directa en este fenómeno, como lo es la educación o el conocimiento ambiental. Otros son estudios específicos sobre el agua y el cambio climático global.

## 2.2.2 Estudios Nacionales sobre cambio climático global y agua en ciudades

Los estudios nacionales identificados sobre cambio climático y agua en las ciudades son los siguientes.

- I. (Soto & Herrera, 2019) realizaron una evaluación de las posibles implicaciones que el cambio climático puede tener los recursos hídricos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) durante el presente siglo.

A partir de los resultados que se obtuvieron de los modelos prevén, con un nivel de certidumbre alto, que aumentará la demanda de agua, derivado de mayores niveles de temperatura promedio en el valle de México. El aumento en la demanda puede generar una reducción en la oferta, que actualmente ya se presenta en diversas delegaciones, lo que llevaría a que los hogares enfrenten recortes sistemáticos y severos del servicio, sobre todo durante la época de estiaje.

Agregan, se debe contemplar que el cambio climático impondrá otros costos derivados del aumento en la demanda de agua y posibles costos asociados a la infraestructura de drenaje y de esquemas de protección civil.

En el estudio se emite la recomendación de utilizar un enfoque de Gestión Integrada del recurso del agua, el cual considera un rango de procesos y acciones de oferta y la demanda, de manera que pueda obtenerse una perspectiva equilibrada de las estrategias a seguir.

- II. (Delgado Ramos, 2014) por su parte, visualiza desde el metabolismo urbano el uso energético importante en transporte y gestión del agua por lo que considera que las medidas deberán ser bien diseñadas, ahorrativas y eficientes, e idealmente haciendo uso de energía renovable. Las aguas residuales no son en su mayor parte tratadas en la Ciudad de México, por lo cual se requiere implementar acciones crecientes en dicho rubro. Menciona que, nuevos paradigmas en la gestión del agua, socio-ecológicamente más justos y armónicos en el corto, mediano y largo

plazos, demandan todo un conjunto de nuevas tecnologías, prácticas (incluyendo la planeación y regulación) y valores que han de ser desarrollados y puestos en práctica por todos y cada uno de los habitantes en tanto actores sociales, políticos y/o empresariales de tal o cual territorio. El proceso es viable, aunque ciertamente lento debido, tanto por el tipo de infraestructura existente, como por la persistencia de prácticas e intereses anclados en criterios tradicionales de gestión. Se requiere de una genuina gestión ciudadana que defienda e influya de modo permanente en la garantía del derecho humano al agua.

- III. (SEMARNAT , et al., 2019) en su proyecto Construcción de resiliencia climática en sistemas urbanos mediante la adaptación basada en ecosistemas Abe, en América Latina y el Caribe, se propusieron partir de un análisis integral (cuantitativo y cualitativo) de los municipios para diagnosticar los peligros actuales ante eventos naturales, el grado de exposición de sus habitantes, de los ecosistemas y las actividades productivas. También identificaron e integraron la sensibilidad socioeconómica y la valoración ecosistémica, así como, las capacidades locales de adaptación para poder determinar el nivel de vulnerabilidad actual.

Obtuvieron la evaluación y resultados de los peligros ante eventos climáticos sobre peligro de derrumbes: variables y ponderación, peligro de deslizamientos y deslaves: variables y ponderación, peligro de inundación: variables y ponderación, peligro de erosión, y la frecuencia de intensidad de sequías en Xalapa y Tlalnelhuayocan.

Concluyen que, la evaluación de la vulnerabilidad ante el cambio climático se puede plantear a partir de la vulnerabilidad actual, de tal manera que la adaptación a las amenazas actuales sea la tarea más inmediata.

Sus resultados fueron sobre la exposición de la población, sistemas productivos y ecosistemas respecto a exposición de los sistemas natural y productivo, exposición de la población, exposición acumulada. Se obtuvieron datos sobre la sensibilidad

socioeconómica y capacidad adaptativa basada en ecosistemas como la Identificación de áreas relevantes en la provisión de servicios ambientales y la provisión superficial del agua.

Del tema del cambio climático y el agua derivan las perspectivas que mencionan a la resiliencia hídrica como principal característica y estrategia para la respuesta de las ciudades ante la problemática ambiental pronosticada; algunos ejemplos se citan a continuación.

### **2.3 Estudios sobre resiliencia hídrica**

Se destaca que el interés por el recurso hídrico y su seguridad futura ha sido y sigue siendo uno de los mayores intereses de los países en el mundo, por lo que incluso se formuló un enfoque de resiliencia para las ciudades en el año 2019 por la Fundación Rockefeller y AROUP GROUP, el cual puede ser usado como referencia por las ciudades que así lo consideren.

Este subcapítulo muestra algunos de los estudios encontrados que abordan la resiliencia hídrica a nivel nacional e internacional, algunos de ellos abordan directamente la resiliencia hídrica y otros tienen una temática general sobre resiliencia y en sus apartados especifican la temática hídrica, la cual ha sido rescatada para este trabajo.

Posteriormente se analizan las diferencias o las constantes que se observan en las referencias encontradas.

#### **2.3.1 Estudios internacionales sobre resiliencia hídrica**

A continuación, son descritos los instrumentos relacionados a la resiliencia y resiliencia hídrica específicamente a nivel internacional.

- I. (CATHALAC, 2019) analizó a profundidad la cuenca hidrográfica del río La Villa en la Península de Azuero, República de Panamá, que ha sido priorizada por



el gobierno de este país como un área de importancia crítica para la seguridad hídrica y alimentaria. Esto con el objetivo de construir resiliencia en las dos ciudades principales de la Cuenca del Río La Villa del Arco Seco de Panamá, frente a los efectos causados por la variabilidad y el cambio climático en los recursos hídricos.

En su informe describe sus acciones propuestas que son identificar los riesgos presentes y futuros asociados a la provisión y demanda de agua frente a la variabilidad del clima y al cambio climático en las ciudades de Chitré y La Villa de Los Santos. Evaluar la viabilidad de las inversiones en infraestructura de agua y/o instrumentos financieros a través del desarrollo de estudios piloto en las ciudades de Chitré y La Villa de Los Santos en la Cuenca del Río La Villa del Arco Seco de Panamá. Formular planes municipales para construir resiliencia de la seguridad hídrica en dos ciudades en la Cuenca del Río La Villa. Y, por último, escalar los resultados del presente estudio a otras ciudades en el Corredor Seco Centroamericano.

- II. El City water resilience approach (Enfoque de resiliencia del agua de la ciudad) de (ARUP GROUP, 2019) detalla cinco pasos para guiar a las ciudades a través de la participación inicial de las partes interesadas y la evaluación de la línea de base, a través de la planificación de acciones, la implementación y el monitoreo de nuevas iniciativas que construyen la resiliencia del agua. Estos pasos son 1. Comprender el sistema, 2. Evaluar la resiliencia hídrica urbana 3. Desarrollar un plan de acción 4. Implementar el plan de acción y 5. Evaluar, aprender y adaptarse.

Se ha desarrollado este enfoque con el objetivo de ayudar a las ciudades a conseguir recursos hídricos más seguros y proteger a los ciudadanos y los bienes frente a las perturbaciones y tensiones relacionadas con el agua. Ayudar a las ciudades a aumentar su capacidad de proporcionar recursos hídricos de calidad para todos, protegerlos de los peligros relacionados con el agua, y conectarlos a través redes de transporte para el agua

(proporcionar, proteger, conectar). Proporciona un enfoque robusto basado en evidencias de la evaluación de la resiliencia y el desarrollo de un plan de acción.

Con base en 4 dimensiones (liderazgo y estrategia, planeación y financiación, infraestructura y sistemas y; salud y bienestar) proponen el plan de acción de la ciudad de la cual previamente se habrá de realizar una recopilación de los antecedentes, un análisis y evaluación de la ciudad y su resiliencia e identificación de interesados en el plan y el establecimiento de prioridades. Se propone una medición y seguimiento de del plan de acción y posibles cambios del contexto. Depende de cada ciudad el abordaje específico.

III. En esta misma línea el (Greater London Authority, 2020) desarrolló una estrategia se centra específicamente en los desafíos de resiliencia a largo plazo que enfrenta la ciudad. Sobre la base de los objetivos establecidos en la evaluación preliminar de la resiliencia y el respaldo de la retroalimentación de la consulta, identificaron tres oportunidades que, si se aprovechan, ayudarían a lograr un Londres más resistente. La resiliencia de la ciudad se constituye al considerar los riesgos inmediatos y una gama más amplia de choques y tensiones para determinar la mejor manera de responder a ellos. Sus acciones propuestas relevantes para este trabajo son:

A2. Gestionar el calor extremo, al establecer una red de puntos fríos para ayudar a los londinenses con las temperaturas durante las olas de calor de verano A3. Usar agua sustentablemente, al promover formas de reducir el desperdicio de agua.

Acción B1. Mejorar los sistemas hídricos subyacentes de Londres para aumentar el reciclaje de agua B5. Innovación de uso de datos para infraestructura B6. Infraestructura resiliente y cero carbono, identificar los pasos para su alcance B7. Viviendas y edificios resilientes y seguros, transformar nuestras viviendas existentes para priorizar la seguridad. B8. Negocios resilientes; comprenderlos y promoverlos.

C1. Desarrollar una gobernanza ágil para apoyar la adaptación, políticas inclusivas y sostenibles C2. Ampliar el modelo ágil de gobernanza de la ciudad para el enfoque de la resiliencia C4. A bordar el riesgo a largo plazo C5. Cuantificar costo de la distracción. C6. Usar previsiones para mejorar resiliencia. Esta estrategia de resiliencia de Londres aborda muchos de los aspectos que conforman a la ciudad y en los cuales se tiene injerencia el recurso hídrico para su funcionamiento.

IV. Por su parte, el (Equipo Buenos Aires Resiliente, 2018) realizó una estrategia de desarrollo para la Ciudad con visión al 2030, alineada con los grandes compromisos internacionales, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible y la Nueva Agenda Urbana. A partir de 3 fases: diagnóstico, desarrollo e implementación en la ciudad de iniciativas determinadas en la estrategia y a partir de los Ejes transversales: Participación ciudadana, Datos y tecnología y Visión metropolitana.

La Estrategia de Resiliencia de Buenos Aires se divide en cinco pilares: 1. Diversidad, género y convivencia: una ciudad que potencie la equidad en la diversidad, que promueva la igualdad de oportunidades, la inclusión y la convivencia de todos sus vecinos. 2. Innovación, talento y oportunidades: una ciudad que promueva la igualdad de oportunidades para todos sus vecinos, se anticipe a los avances del futuro y brinde las condiciones para el desarrollo de su potencial. 3. Ambiente y sustentabilidad: una ciudad sustentable que busca una mejor calidad de vida para sus vecinos, comprometida con la preservación de su entorno y el uso eficiente de sus recursos. 4. Integración social y urbana: una ciudad integrada, sin barreras y a escala humana, que crezca de manera sostenible y equilibrada. 5. Seguridad y gestión de riesgos: una ciudad preparada, consciente de sus desafíos y dispuesta a adaptarse.

Sus acciones propuestas representativas para este trabajo son 3.1 Desarrollar un sistema integrado de infraestructura verde 3.2 Promover la sustentabilidad energética de la Ciudad 3.3 Implementar una política de gestión integral de residuos.

Pilar 5: Seguridad y gestión de riesgos 5.1 Promover una ciudadanía informada, preparada y consciente frente a sus desafíos 5.2 Preparar a la ciudad para hacer frente a los impactos del cambio climático (5.2.1 Plan hidráulico) 5.3 Potenciar la innovación y la tecnología para construir espacios más seguros.

- V. El (City of Sydney, 2018) buscó direccionar a Sydney hacia una ciudad próspera, ciudad de comunidades conectadas y cohesionadas. Las conexiones y colaboraciones deberán ser fuertes dentro y entre los gobiernos, las empresas y las comunidades. Esta estrategia establece la dirección que deben tomar para fortalecer la habilidad de sobrevivir, adaptarse y prosperar ante la creciente incertidumbre global y local de estrés y desastres.

Se basa en una estructura estratégica. Clave de las acciones. A partir de 5 líneas de abordaje denominadas direcciones. Dirección 1: Ciudad centrada en las personas. Dirección 2: Vivir con nuestro clima. Dirección 3: Conectar para fuerza. Dirección 4: Prepararse. Dirección 5: Una ciudad.

De las anteriores para este trabajo destacan: la Dirección 1. – Criterios de riesgo y resiliencia en los planes comunitarios locales. Manejo de desastres y estrés a través de la planeación para el crecimiento. Considerar los riesgos económicos y sociales mediante planes comunitarios.

Dirección 2.- bajar el objetivo de calor 2 grados Celsius (la gente debe tener acceso a un aire y agua limpios, ambiente y tecnología adaptativa a través de la ciudad para un confort climático seguro, conexiones de la ciudad y salud.)

Reducción del calor en las zonas urbanas. - Política y acción para enfriar hogares y calles Colaboración para hacer frente a nuestro mayor impacto en las zonas más calientes de la ciudad y apoyar a un ciclo del agua más flexible y resiliente.

Y, Dirección 5. Compromiso de colaboración 100 organizaciones resilientes. Apoyar a las organizaciones para comprender y gestionar su exposición a shocks y tensiones.

De las referencias anteriores se identifican las siguientes semejanzas y diferencias representativas descritas en la Tabla 5.

Tabla 5. Semejanzas y diferencias de referentes internacionales sobre resiliencia hídrica

<b>Instrumento</b>	<b>Similitudes</b>	<b>Diferencias</b>
Fortalecimiento de la Resiliencia de los Recursos Hídricos Frente al Cambio Climático en dos Ciudades de la Cuenca del Rio La Villa del Arco Seco de Panamá.	Todos se centran básicamente en una evaluación, propuesta de estrategias o acciones generalizadas o subdivididas y el seguimiento de la implementación	Contempla el desarrollo de infraestructura para la previsión del agua y el abastecimiento de la demanda futura, posteriormente amplía la escala a planes municipales y plantea su incorporación en otras ciudades
CITY WATER RESILIENCE APPROACH (Enfoque de resiliencia del agua de la ciudad) Arup Global Water , 2019		Es una guía para referir a las ciudades hacia la generación de planes o estrategias para la resiliencia que puede usarse para dirigir hacia la resiliencia hídrica u otro tipo de resiliencia
London City Resilience Strategy 2020, Greater London Authority, 2020		Se divide en 3 rubros, subdivididos por diferentes acciones. Aborda el reciclaje de agua y el cuidado de su uso
Buenos Aires resiliente. Equipo Buenos Aires Resiliente, 2018		Se basa en cinco pilares que se generan a partir de tres ejes transversales. Abordan la temática del agua en las distintas apariciones que esta tiene en la ciudad.
Resilient Sydney. City of Sydney on behalf of the metropolitan Councils of Sydney, 2018		Se divide en cinco direcciones diferentes. Tiene una visión más social, interviene en el agua en un solo punto a partir del cuidado de su ciclo.

Fuente: elaboración propia

Se encontró que diferentes instrumentos de acción se han desarrollado en el mundo, muchos de ellos hablan de manera general sobre la resiliencia que deben tener las ciudades para prepararse a recibir diferentes eventos futuros y presentes. Específicamente sobre el agua también hay propuestas que llevan una lógica muy similar, las variantes son principalmente en la manera en la que se dirigen dichos documentos, y la forma de subdividirlo. Respecto al agua la mayoría la aborda en más de uno de sus rubros y buscan una intervención holística de la misma.

Previamente se ha identificado a los humedales artificiales descritos con anterioridad como una alternativa sustentable significativamente eficiente para el tratamiento del agua motivo por el cual son considerados para la propuesta en un modelo urbano para la resiliencia hídrica, ya que intervienen en distintos aspectos para la mejora del agua y el clima. En el siguiente punto se describen las referencias encontradas sobre sistemas de humedales a nivel nacional e internacional.

### **2.3.2 Estudios nacionales sobre resiliencia hídrica**

Respecto a las intervenciones nacionales relacionadas con la resiliencia hídrica se identificaron los siguientes instrumentos en el país, en los que se buscó conocer las diferentes visiones que abordan la temática.

Cabe destacar que, la primera referencia encontrada se trata de una iniciativa de la Comisión Nacional de Agua que busca la mejora y monitoreo del sistema Cutzamala y la recarga acuífera, que se considera esta más centrado en la seguridad hídrica que en la resiliencia.

Las siguientes tres son parte del proyecto de 100 ciudades resilientes de la Fundación Rockefeller creado en 2013, del cual las ciudades mexicanas de Colima, Ciudad de México, Ciudad Juárez y Guadalajara forman parte y por lo que han realizado estos instrumentos. Este programa está dedicado a ayudar a las ciudades de todo el mundo a

ser más resistentes a los desafíos físicos, sociales y económicos. La definición de resiliencia de la 100CR incluye no solo los shocks, sino también las tensiones que debilitan el tejido de una ciudad de forma cotidiana o cíclica.

- I. El trabajo de (CONAGUA, 2019) pretende la mejora en la confianza del Sistema Cutzamala para proveer agua a las zonas metropolitanas del Valle de México y Toluca.

Considera la generación de reportes anuales de información sobre aguas subterráneas (cantidad y calidad) que serán usados para la toma de decisiones y un proyecto piloto para la recarga artificial del acuífero en operación. El trabajo busca fortalecer los sistemas de información, monitoreo y control para la operación efectiva del Sistema Cutzamala y mejorar la seguridad y confiabilidad de su infraestructura para el abastecimiento de agua a las zonas metropolitanas del Valle de México y de la ciudad de Toluca. Proyectaron que el proyecto genere mejoras en la disponibilidad y accesibilidad de datos e información para la gestión de las aguas subterráneas a través de un Observatorio del Acuífero y se desarrollen proyectos piloto para la recarga artificial controlada a acuíferos, paralelamente generando capacidades para el fortalecimiento institucional de la Comisión Nacional del Agua.

Algunas de sus acciones propuestas son la Mejora de la red de recopilación de datos para alimentar un Sistema de Apoyo a la toma de Decisiones para la gestión de los recursos hídricos en las cuencas del Sistema Cutzamala, que incluya la ampliación de la red hidrometeorológica y climática, una red de monitoreo de calidad de agua, una red de monitoreo de agua subterránea, el monitoreo de los niveles de las presas y canales para monitorear la distribución y uso del agua, así como la instrumentación de las ocho presas que integran el S.C.; revisión y actualización del control del sistema de adquisición de datos existentes (SCADA) para la operación del Sistema Cutzamala; y diseño e implementación de un Sistema de Apoyo a la 27 Decisión para la realización de balances hídricos como apoyo al funcionamiento del Sistema Cutzamala.

Un análisis de ingeniería y el diseño de una línea de transmisión a presión reversible de aproximadamente 26 km para transportar agua al vaso de Villa Victoria y para los trabajos de rehabilitación de las ocho presas del S.C. y para la implementación de actividades de eficiencia energética; el desarrollo de planes de operación y mantenimiento y preparación para emergencias para las presas del Sistema Cutzamala; obras civiles, equipos eléctricos y mecánicos para la rehabilitación de las presas que forman parte del Sistema; la implementación de actividades de eficiencia energética; y supervisión de todas las obras civiles y la instalación de equipos eléctricos y mecánicos.

II. Dentro del esquema de 100 Ciudades Resilientes, la (Oficina de Resiliencia CDMX, 2016) describe que pretende su Intervención a partir de 5 ejes:

1. Fomentar la coordinación regional; 2. Impulsar la resiliencia hídrica como nuevo paradigma para el manejo del agua en la cuenca de México; 3. Planear para la resiliencia Urbana y territorial; 4. Mejorar la movilidad a través de un Sistema integrado, seguro y sustentable 5. Desarrollar la innovación y Capacidad adaptativa

Destaca el Eje 02 (agua): Impulsar la resiliencia hídrica como nuevo paradigma para el manejo del agua en la cuenca de México. Sus acciones propuestas son instalar sistemas de captación de agua de lluvia en viviendas con pobreza hídrica, para contribuir a la reducción de la presión sobre el acuífero y con ello atender hogares vulnerables.

También implementar un fondo de agua, para que los recursos sean utilizados de manera organizada y transparente para apoyar acciones de conservación en zonas estratégicas que regulan el ciclo hidrológico y, crear infraestructura urbana que permita la captación y retención de agua, así como la mitigación de inundaciones.

III. Por su parte, la (Oficina de Resiliencia del Municipio de Colima , 2019) a partir del diagnóstico de los principales retos de resiliencia de la ciudad definir propuestas de acción con potencial de mejorar las capacidades de resiliencia de la ciudad. Como resultado se desarrolló una agenda estratégica conformada por 50 acciones organizadas en 12 metas y cuatro ejes orientados a construir: una Colima



preparada ante riesgos naturales y antropogénicos; 2. Colima social y económicamente próspera 3. Colima urbanísticamente integrada; 4. Colima ambientalmente sostenible.

Del punto 4 destacamos los aspectos que se refieren a promover el manejo sostenible del agua y los recursos naturales, los cuales son la generación de un plan de resiliencia hídrica de la conurbación Colima-Villa de Álvarez y el generar un mecanismo local de compensación por servicios ecosistémicos hidrológicos. Plantean un análisis integrado del sistema hídrico local a realizarse con apoyo de especialistas locales e internacionales, para después diseñar, de forma colectiva, un mapa de ruta orientado a identificar intervenciones de política pública que contribuyan a garantizar suficiente agua y de calidad a largo plazo.

También destaca su propuesta de impulsar la participación ciudadana para contribuir al financiamiento de proyectos productivos sustentables y de conservación de la biodiversidad, adecuados a las condiciones de las comunidades que habitan en la Reserva de la Biósfera de Manantlán, para asegurar el mantenimiento a largo plazo de los servicios ambientales hidrológicos que benefician a la conurbación.

IV. El (Equipo de Juárez Resiliente, 2018) mediante su estrategia de resiliencia pretende a partir del diagnóstico de los principales retos de resiliencia de la ciudad definir propuestas de acción con potencial de mejorar las capacidades de resiliencia de la ciudad. Intervención mediante estrategias en la ciudad a partir de los 4 pilares definidos: 1. Juárez inclusiva, 2. Juárez próspera, 3. Juárez integrada, y 4. Adaptada

Resalta que buscan mantener las funciones esenciales en la ciudad y crear un modelo resiliente con acciones encaminadas a adquirir mayor capacidad de respuesta ante contingencias ambientales, sociales y económicas en concordancia con un Manejo integral del agua en conjunto con una cartera de proyectos innovadores para atender inundaciones con una alta efectividad y un elevado costo-beneficio para la

implementación de iniciativas que resuelvan los problemas de inundación de agua pluvial en Juárez.

El drenaje de aguas pluviales existente en Ciudad Juárez requiere mejoras integrales que aborden: los requisitos legales y las reglamentaciones para el desarrollo, la planificación a largo plazo, las instalaciones y capacidades existentes, y la especificación de proyectos y su mantenimiento.

Considera también, la incorporación de componentes de infraestructura verde en espacios públicos la cual ha sido exitosa en las regiones semidesérticas y desérticas del norte de México y el sur de Estados Unidos. Se define como una estructura polifuncional que utiliza sistemas naturales para mejorar la calidad ambiental y proveer servicios sociales, económicos, culturales y ambientales. Se emplea como componente de un sistema de manejo y aprovechamiento sustentable de agua). Se han identificado, a través de estudios locales, sitios potenciales en donde pueden implementarse proyectos con sistemas de infraestructura verde, donde los beneficios se potencian a largo plazo.

Proponen la capacitación a servidores públicos, diseñadores urbanos, asociaciones civiles e interesadas en el tema, en el diseño de espacios con elementos de infraestructura verde y en la implementación de un prototipo en una zona que presenta problemas de inundación y erosión de la cobertura vegetal.

El trabajo anterior considera puntos más específicos y representativos en relación al tema del agua, el cual es retomado más a fondo.

En la siguiente Tabla 6 se observan las características similares o diferentes significativas entre las referencias antes citadas:

Tabla 6. Semejanzas y diferencias de referentes nacionales relacionados con resiliencia hídrica

<b>Instrumento</b>	<b>Similitudes</b>	<b>Diferencias</b>
Programa de Seguridad Hídrica y Resiliencia para el Valle de México, CONAGUA, 2017; 2019 actualización.	Realizan un diagnóstico, se basan en acciones, una temporalidad de realización, la especificación de resultados o indicadores e identifican responsables. Lo anterior lo basan en los ODS y los planes de Desarrollo locales	Realiza una descripción de tallada del proyecto y le da seguimiento a la construcción y posibles impactos ambientales y sociales. Es de un solo eje
Estrategia de resiliencia CDMX		Se basan en diferentes ejes de abordaje para cada ciudad
Colima resiliente. Estrategia de resiliencia		
Juárez resiliente. Estrategia de resiliencia.		

Fuente: elaboración propia

Cabe destacar que de los trabajos citados no se describe su aplicación o resultados obtenidos, pero resultan enriquecedores como propuestas reales realizadas

## **2.4 Estudios sobre humedales artificiales**

En lo referente a los estudios específicos sobre la implementación o diseño de humedales artificiales, se encontraron los siguientes ejemplos a nivel internacional y posteriormente nacional.

### **2.4.1 Estudios Internacionales sobre humedales artificiales**

Algunos trabajos de investigación donde reportan la efectividad de los humedales en el tratamiento de agua son como el realizado por (Torres, et al., 2018) en Perú quienes determinaron la eficiencia de las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis* en el tratamiento de aguas residuales con Humedales Artificiales a escala piloto de flujo libre superficial (FLS) en el agua para riego de Carapongo-Lurigancho. En su trabajo reportaron una efectividad de un 80% de remoción, donde *Cyperus Papyrus* tiene mayor remoción en la calidad de DBO y turbidez un 77% mayor a *Phragmites Australis*, mientras ésta tiene un 30 % mayor en la remoción de Coliformes totales y Coliformes

termotolerantes con tiempos de retención hidráulica de 3 y 7 días en humedales de flujo superficial. Demostrando la efectividad de remoción de estas especies.

Otro trabajo relacionado es el denominado *Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash – Perú*; de (Lovera, et al., 2006), usando tecnologías de humedales artificiales plantea implementar y evaluar el sistema integral de manejo de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, mediante el uso del sistema para tratar las aguas y su reutilización en un biohuerto comunal, es decir abarcando una comunidad urbana completa así como propusieron involucrar a la población en su Plan de Desarrollo Sostenible al 2015 del distrito de Lacabamba.

Por otra parte, y de manera más reciente un caso investigación realizado sobre el tema de los sistemas de humedales artificiales es el de (Carvajal, et al., 2018) realizaron el planteamiento de *Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia*; en el cual plantean la implementación de sistemas de depuración comunitaria basados en los humedales artificiales como una tecnología alternativa para el tratamiento de aguas residuales de las viviendas conectadas a la red de alcantarillado.

Respecto a humedales ya construidos y en funcionamiento (Tabla 7) se encontraron los siguientes referentes en Latinoamérica y Europa:

Tabla 7. Referencias de Humedales Internacionales construidos

<b>Humedal artificial</b>	<b>Imagen</b>
<p>Almería, <b>España, 1999</b> EDAR de Los Gallardos, municipio de Almería con una población de 1.200 habitantes. La EDAR de Los Gallardos, consta de un pretratamiento (tamiz de 3 mm y desarenador), laguna anaerobia (1.500 m<sup>3</sup>), lechos de turba (1.080 m<sup>2</sup>) y laguna de maduración (1.470 m<sup>3</sup>) y un humedal artificial de flujo subsuperficial de 671 m<sup>2</sup>. De esta manera, el humedal se considera formado por una laguna de maduración y un lecho de flujo subsuperficial. Cuenta con una plantación de carrizo que cubre todo el humedal.</p>	 <p>AGUSTÍN LAHORA,  <a href="https://www.researchgate.net/publication/28152115_depuracion_de_aguas_residuales_mediante_humedales_artificiales_la_EDAR_de_Los_Gallardos_ALMERIA">https://www.researchgate.net/publication/28152115_depuracion_de_aguas_residuales_mediante_humedales_artificiales_la_EDAR_de_Los_Gallardos_ALMERIA</a></p>
<p>Wasser-und Abwasserzweckverband, <b>Alemania 2007.</b>  Sistema de tratamiento con humedales artificiales de flujo vertical subsuperficial para las aguas residuales domésticas de la localidad de Silkerode.  Capacidad de diseño: 500 HE (habitantes equivalentes) Caudal de diseño por día (máximo) 94 m<sup>3</sup>.  Sistema de distribución de aguas residuales para el humedal: Tanque de almacenamiento para bombas de distribución del humedal (20m<sup>3</sup>)  Tubos de polietileno con agujeros elevados. Dos humedales artificiales con (Phragmites communis) hidráulicamente independientes con carga intermitente sobre un área total de 2160 m<sup>2</sup>.</p>	 <p><a href="https://www.blumberg-engineers.de">https://www.blumberg-engineers.de</a></p>
<p>Díaz, Zamora, Castelles y León. <b>Colombia, 2013.</b>  Humedal construido para el tratamiento del agua de producción de un campo de petróleo.  El diseño consistió en un Humedal construido de flujo Sub-Superficial Horizontal (HC fSSH) de 120.000 m<sup>2</sup> de superficie y una profundidad de 2 ft para tratar un caudal de 678.607 Bbl/d. El HC de fSSH consistió en 60 celdas de 109,35 ft por 196,85 ft dispuestas en paralelo (12) y en serie (5), plantadas con macrófitas acuáticas nativas para potencializar los procesos de depuración (Eriochloa aristata y Eleocharis mutata), utilizadas en humedales construidos.</p>	 <p><a href="https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/3831/4190">https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistafuentes/article/view/3831/4190</a></p>

Serafini y Arakaki, Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, **Argentina 2019**

En la porción alta y media de la cuenca del Río Matanza-Riachuelo se desarrollan diversas actividades agropecuarias y agroindustriales que vierten residuos líquidos sin los tratamientos adecuados. Para reducir los impactos negativos que generan estos efluentes, diseñaron y pusieron a prueba humedales artificiales basados en especies vegetales nativas como el junco nativo (*Schoenoplectus californicus*).



<https://www.argentinaforestal.com/2019/03/13/crearon-humedales-para-remediar-el-riachuelo/>

Fuente: Elaboración propia con base en Ingenieurbüro Blumberg, Argentina forestal.com, Díaz y otros, 2013 y Lahora, 2015.

Cabe destacar que en los proyectos mostrados se observa que logran funcionar con una sola especie o dos, lo que permite considerar como una decisión más flexible el uso de más especies para lograr un mayor uso estético. Se identificó que en el mundo se conoce ya la capacidad de los humedales para el tratamiento de agua desde hace ya mucho tiempo, pero no han sido explotados significativamente. El área requerida para implementarlos es uno de los requerimientos más significativos a la hora de hacer la propuesta de su implementación, ya que demandan espacios grandes para ello (dependiendo el tipo de humedal y la cantidad de agua a tratar).

#### **2.4.2 Estudios Nacionales sobre humedales artificiales**

En México se han desarrollado trabajos como el de *Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México* por (Marín, et al., 2016) en la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. En dicho trabajo doce humedales artificiales tropicales de flujo subsuperficial (HAFS) fueron diseñados y operados específicamente para el tratamiento de aguas residuales domésticas y se evaluó la eficiencia de remoción de contaminantes básicos. Desde el punto de vista del costo de operación, la actual vegetación nativa probó ser satisfactoria para el tratamiento de agua residual en una

región tropical de México. En este sentido la relación de remoción de contaminantes del humedal respondió de la siguiente manera:

El humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación macrófita de *Pontederia cordata* (Tule) y *Phragmites australis* (carrizo), pertenecientes a la región tropical de Tabasco, la remoción mayor fue realizada por el tule.

Los resultados de los parámetros medidos de DBO<sub>5</sub> y DQO con un humedal de flujo superficial con Tule obtuvo eficiencias de remoción para DBO<sub>5</sub> (95.44%) y DQO (95.32 %). La concentración de salida para DBO<sub>5</sub> (18.60 mg·L<sup>-1</sup>) en el HAFS-Tule, cumplió satisfactoriamente la NOM-003-SEMARNAT-1997 que establece los límites máximos permisibles (LMP) de contaminantes (30 mg·L<sup>-1</sup>) para las aguas residuales tratadas que se reúsan en servicio al público. Así como también la NOM-001-SEMARNAT-1996 que establece el mismo LMP de contaminantes para protección de vida acuática en ríos. La concentración de salida de DQO (40.23 mg·L<sup>-1</sup>) cumplió con la ley federal de derechos aplicable en materia de aguas nacionales, que establece un LMP de 500 mg·L<sup>-1</sup> para descargas de servicios públicos urbanos.

Respecto al Nitrógeno la eficiencia de remoción la concentración de NT (4.66 mg·L<sup>-1</sup>) en la salida del humedal, cumplió satisfactoriamente con el lineamiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996, (LMP indicado es en promedio diario 25 mg·L<sup>-1</sup> y promedio mensual 15 mg·L<sup>-1</sup>) para protección de vida acuática en ríos.

La concentración de fósforo de 3.06 mg·L<sup>-1</sup> correspondiente al 81.10 %, aprobó el LMP de la NOM-001-SEMARNAT-1996 ya que no rebasó los 5 mg·L<sup>-1</sup> del promedio mensual y los 10 mg·L<sup>-1</sup> del promedio diario, para protección de vida acuática en ríos.

En relación a los sólidos suspendidos totales la eficiencia de remoción fue de 94.09 %, esta remoción considerablemente aceptable ya que la concentración final de 18.32 mg·L<sup>-1</sup>, no rebasó los 40 mg·L<sup>-1</sup> del promedio mensual y los 60 mg·L<sup>-1</sup> del promedio diario, para protección de vida acuática en ríos respecto a la NOM-001-SEMARNAT-1996.


Las mejores eficiencias de remoción para turbiedad (91.65 %) y color (81.50 %) se dieron en el HAFS-Tule, los autores reportaron que la concentración de turbiedad (10.97 UTN) cumplió satisfactoriamente con la Ley Federal de Derechos - Disposiciones Aplicables en Materia de Aguas Nacionales - para protección a la vida acuática (CONAGUA, 2015); sin embargo, el color (175 U.C) requiere disminuir aún más su concentración (LMP es de 15 U.C) (Marín, et al., 2016).

Por otra parte, se han reportado diversas investigaciones enfocadas al tratamiento de aguas residuales humedales artificiales (Castañeda & Flores, 2013) obtuvieron eficiencias de remoción en DBO<sub>5</sub>=86 %, NT=64 %, PT=68 %, G y A=60 %, usando carrizo común (*Phragmites australis*), la totora (*Typha latifolia*) y el gladiolo (*Gladiolus* spp), con tiempos de retención de tres, cinco y siete días. En otra investigación Jiménez y otros (2014) emplearon vegetación *Paspalum paniculatum*, reportando eficiencias para turbiedad y color del 95 y 99 %, *Typha latifolia* con una turbiedad y color del 98 y 90 % respectivamente, DQO en 94.38 y 95.22 % con tiempos de retención hidráulica de 5 días con humedales de flujo libre y subsuperficial.




Los ejemplos anteriores permiten reconocer la efectividad del tratamiento de agua de los humedales con distintas especies acuáticas.

Así mismo en México, ya se han construido humedales artificiales, los cuales se muestran en la Tabla 8 para el tratamiento de aguas, algunos ejemplos de los que se han construido son:

Tabla 8. Humedales construidos en México.

<b>Humedal artificial</b>	<b>Imagen</b>
Santa Fe de la laguna wetland, humedales subsuperficiales plantados con carrizo y tule. Michoacán 2005, capacidad de tratamiento=3 l/s.	



<p>Centro ecológico Akumal, humedales subsuperficiales para el tratamiento de aguas de Akumal, más de 50 Hss se han instalado desde los 90's.</p>	
<p>Puerto Morelos, Quintana Roo, humedal subsuperficial sobre la playa que sirve para tratar las aguas residuales provenientes de las regaderas y baños públicos.</p>	
<p>Lago de Pátzcuaro, Michoacán, humedales artificiales de tipo SFS (sistema de flujo superficial), están diseñados para remover sólidos suspendidos, materia orgánica, nitratos y fosfatos, así como el 100% de los parásitos presentes en el agua residual. (Estrada, 2009)</p>	
<p>Instalaciones de Centro de Invest. Acuícolas de Cuemanco (CIBAC) de UAM Xochimilco, México. Vegetación de <i>Zantedeschia aethiopica</i> humedal es un subsuperficial de flujo vertical, área de 55m<sup>2</sup></p>	<p>s/f</p>
<p>Pinoltepec, Emiliano Zapata, Veracruz Humedal superficial de flujo horizontal con vegetación de <i>Typha</i> sp., <i>Zantedeschia Aethiopica</i>, etc. Área de 60m<sup>2</sup></p>	<p>s/f</p>
<p>Tapachula, Chiapas humedal de superficial de flujo vertical con vegetación de <i>heliconia psittacorum</i> en 300m<sup>2</sup></p>	<p>s/f</p>

Fuente: Hermosillo et. al, 2011 y Marín et. al., 2018

Hasta el 2010, según datos de CONAGUA en total existen 64 sistemas de humedales individuales en todo el país y 96 sistemas donde combinan el humedal artificial con algún otro tipo de tratamiento; estos únicamente aportan el 0.56% de litros de caudal tratado a nivel nacional (Hermosillo, et al., 2011).

Para concluir se seleccionaron dos humedales ya construidos representativos de México, España y Chile, para conocer sus características para identificar coincidencias y diferencias entre los mismos, ya que esto sería útil al momento de desarrollar la propuesta de este trabajo.

En los humedales analizados se encontraron variantes donde se observaban desde humedales con un solo módulo hasta humedales mayores con 10 tanques o módulos.

El análisis anterior permitió identificar distintos modelos de humedales que han funcionado de manera adecuada para el tratamiento del agua, con base en ellos y en las características del sitio se plantea posteriormente el humedal para este trabajo. En la Tabla 9 se pueden observar los humedales analizados:

Tabla 9. Humedales desarrollados en México, España y Chile.

País/ Investigador	Ubicación	Descripción general	Vegetación	Tamaño	Fuente
<b>MEXICO</b>					
<b>IMTA</b>	San Fe de la Laguna, Quiroga, Michoacán	Formados por tres unidades de proceso: pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario. Atienden a una población 2,700 habitantes. Diseñados para eliminar una carga de 6.8 coliformes fecales, 13mg/l de fosforo total, 71 mg/l de nitrógeno total y DBO de 414mg/l a niveles de la NOM 001 SEMARNAT 1996	carrizo (Phragmitesaustralis), chuspatay tule (Typha latifolia)	1.5 hectáreas	González y Rivas, 2008
<b>UNAM</b>	Lago del Bosque de San Juan de Aragón	Trata aproximadamente 250 m <sup>3</sup> d-1 de agua; el sistema consiste de un filtro de agregados calcáreos, un sedimentador, un humedal artiicial de flujo subsuperficial (HAFSS), un humedal artificial de flujo superficial (HAFS) y un muro gavión filtrante. Muestra 80% de reducción en el contenido de contaminantes. Comprende de 4 módulos: Canales de conducción, Sedimentador, humedal de flujo subsuperficial y humedal de flujo superficial	Phragmitesaustralis Carrizo, Cyperuspapyrus Papiro Depuradora, Equisetumhyemale Cola de caballo, arricillo y cañuela (ornato). Emergentes:Schoenoplectuscalifornicus Junco triangular o totora Depuradora JuncuseffususTulillo o junco Depuradora Juncusacutus Junco espinozo Depuradora. Flotantes: Nymphae mexicana Atlacuetzón, ninfa Ornato Hydrocotyleranunculoides Malacate Depuradora PolygonumamphibiumAchilillo macho Depuradora Sagittariademersa Papa de agua, bayoneta, cola de pato	1 hectárea	Víctor Manuel Luna-Pabello y Sergio Aburto-Castañeda, 2014

			Depuradora Potamogetonpusillus Pasto de Agua, lila de agua Depuradora Ceratophyllumdemersum Cola de zorro, bejuquillo; lentejillLemnagibba		
<b>ESPAÑA</b>					
<b>Acuamed,</b> Pavasal constructor	Tancat de L'illa, municipio de Sollana, a orillas del lago de L'Albufera, Valencia	Tancat de l'Illa se encuentran junto a la reserva natural del Estany de la Plana, en una de las golgas de conexión entre el lago y el mar. También puede depurar las aguas de salida de la EDAR de Sueca. Está dividido básicamente en 10 tanques o sectores.	Vegetación autóctona  flotante: lirios amarillos, carrizo, junco común, junco de agua, junco de mar, junco espigado y junco pelotero,	16 hectáreas	Tancats de Milia i L'Illa: albufera.bio
Pavasal constructor	Tacant de Milia, orilla sur del lago de L'Albufera	Cuenta con la doble posibilidad de captar aguas del lago para su depuración o recibir las aguas vertidas por la EDAR de Albufera-Sur, dándoles un último tratamiento de afino antes de su llegada a la laguna. Está dividida básicamente en 8 tanques	vegetación sumergida Ceratophyllumdemersum- mil hojas de agua, Myriophyllumspicatum, Potamogetonpectinatus., Potamogetonnodosus.	33.4 hectáreas	Tancats de Milia i L'Illa: albufera.bio
<b>Universidad de León</b>	Bustillo de Cea, León, España	Trata agua de población de 400 habitantes, pureza de 95%; consta de un pretratamiento físico seguido de un humedal artificial compuesto por tres balsas que trabajan en serie.	un estanque o módulo de aguas libres, otra donde se ha plantado espadaña (Typha latifolia) y uno en la que se plantó lirio amarillo (Iris pseudacorus) y sauce (Salixatrocinerea).	890m2	González y otros, 2000 <a href="https://dialnet.uirioja.es/servlet/articulo?codigo=82193">https://dialnet.uirioja.es/servlet/articulo?codigo=82193</a>
<b>CHILE</b>					
<b>Pedro Cisterna Osorio</b>	Laguna Lo Custidio,	Intervención en laguna de 3800 m2, mediante un humedal en la entrada del agua sin depurar	espadañas	175 m2	Cisterna P. y Perez L., 2019

	Concepción Chile				
<b>PCO</b>	Club de Campo Ainahue, en la comuna de Hualqui	Recibe residuales del club y consta de un solo tanque de almacenamiento.	espadañas	400 m2	Cisterna P., 2019

Fuente: elaboración propia con base en: Cisterna 2019, González y Rivas 2008, Víctor Manuel Luna-Pabello y Sergio Aburto-Castañeda, Albufera.bio y González y otros 2000.

En la Tabla 9 se identifica que los humedales chilenos se conforman de únicamente una especie, y el caso del humedal mexicano en donde se han introducido hasta 20 especies. El común denominador es el uso de dos a tres especies como es el caso de los humedales españoles y mexicanos.

La especie de junco o espadaña es la más popular en el uso de humedales, de manera general se suele colocar una especie por módulo o estanque, resalta la disposición de la vegetación en el caso del humedal en el lago del bosque de Aragón en México por su disfrute paisajístico y de variedad vegetal de hasta 4 especies por área. En el caso de los Tacant de M'ilia y Lila, orilla sur del lago de L'Albufera destaca la llegada de miles de aves a este ecosistema que ha funcionado de manera óptima.

De estos casos de estudio se rescatarán las aportaciones más representativas para el desarrollo del humedal propuesto en este trabajo; como la introducción en el humedal de distintas especies vegetales, un tanque inicial de grava filtrante, y módulos con especies flotantes y emergentes por separado para que cada módulo cumpla con un tratamiento específico y las especies no se entorpezcan entre sí.

Con base en los anteriores, el presente trabajo plantea más adelante, el análisis de los factores climáticos, de flora del sitio, de los asentamientos y las estrategias posibles en materia hídrica necesarias para implementar el Modelo hídrico urbano para contrarrestar la vulnerabilidad de los asentamientos humanos en relación al agua, derivado de los fenómenos hidrometeorológicos como el aumento del nivel del mar, sequías y ciclones.

## **2.5 Legislación y normas referentes al tratamiento de agua en México**

El contexto político-normativo es analizado para determinar si existe algún programa mediante el cual se pueda justificar e introducir el sistema de humedal, este contexto define la naturaleza de las decisiones a ser tomadas y, por consiguiente, la información

de valor necesaria para abordar el tema del recurso hídrico y un uso sustentable. Además, permite visualizar las regulaciones a seguir en relación al tema del agua tratada.

De manera general el país cuenta con La Ley de Aguas Nacionales reformada en 2016, la cual hace énfasis en su artículo 12 en *Fomentar y apoyar el desarrollo de los sistemas de agua potable y alcantarillado; los de saneamiento, tratamiento y reúso de aguas; los de riego o drenaje y los de control de avenidas y protección contra inundaciones. En su caso, contratar o concesionar la prestación de los servicios que sean de su competencia o que así convenga con los Gobiernos de los estados o con terceros.* Este artículo habla del fomento y apoyo a este tipo de actividades con terceros o gobiernos, por lo que es una actividad que demanda la ley y ante la falta de respuesta por el Estado para la dotación del servicio la población estaría en la posibilidad de realizarlo apoyándose de esta ley.

Así mismo en el artículo 84 se comenta que *La Comisión deberá coordinarse con las autoridades Educativas en los órdenes federal y estatales para incorporar en los programas de estudio de todos los niveles educativos los conceptos de cultura del agua, en particular, sobre disponibilidad del recurso; su valor económico, social y ambiental; uso eficiente; necesidades y ventajas del tratamiento y reúso de las aguas residuales; la conservación del agua y su entorno; el pago por la prestación de servicios de agua en los medios rural y urbano y de derechos por extracción, descarga y servicios ambientales;* (Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión , 2020) situación considerada para este trabajo como una premisa, ya que mucho del mal trato al agua y su descuido es debida a la falta de información y cultura de la sociedad, ésta debe concientizarse de lo importante de su tratamiento y cuidado.

### **Normas referentes a calidad del agua**

En el país se tienen Normas Oficiales Mexicanas que plantean los límites permisibles de los contaminantes en el agua tratada y para el consumo humano, estas normas son NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-

SEMARNAT-1997 y la NOM-127-SSA1-1994; esta último debería considerarse en el caso de que el agua tratada desee ser usada para consumo humano.

El modelo de humedal debería cumplir con estos parámetros para que el agua se considere con un buen tratamiento y sin riesgos para la salud humana. También se considera que debe cumplir con lo anterior para que se reincorpore al medio ambiente lo menos contaminada posible, la finalidad es proteger su calidad y posibilitar sus usos y cumplimiento de su ciclo.

Dichas normas en el país relacionadas con el agua son (Tabla 10):

Tabla 10. Normas Oficiales mexicanas sobre agua

Norma	Contenido
NOM-001-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales
NOM-002-SEMARNAT-1996	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado”
NOM-003-SEMARNAT-1997,	Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público
NOM-127-SSA1-1994	Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2020)

Las normas anteriores permitirían basar la calidad del agua emitida posterior al tratamiento del humedal y dependiendo del uso que se requiera por parte de las personas, deberán hacer la revisión de los parámetros determinados en las anteriores, para verificar si de acuerdo a la purificación esperada es posible realizarlo.

La NOM 001 SEMARNAT-1996 establece (Figura 7) los siguientes límites máximos permisibles para contaminantes básicos:



Figura 7. Límites máximos permisibles para contaminantes básicos

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso Público Urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		Estuarios (B)		Uso en riego agrícola (A)		Humedales naturales (B)	
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno <sub>5</sub>	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NOM-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M.= Promedio Mensual; N.A.= No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de

Derechos.

Fuente: Comisión Nacional del Agua, 2020

Para la referencia en el humedal que se deberá cumplir un DBO<sub>5</sub> promedio mensual de 30 mg/L esto por el destino del agua tratada en relación de protección de vida acuática, uso de riego agrícola y reintegración a humedales naturales determinados en la Tabla anterior de la NOM- 001- SEMARNAT-1996.

Considerando que como principal objetivo se tenga el tratamiento para el reúso del agua en las viviendas, se identifica en la Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, salud ambiental. Agua para uso y consumo humano los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización con modificación 20 de octubre de 2000 establece que los límites son los presentes en la Tabla 11.

Tabla 11. Límites permisibles de características microbiológicas

CARACTERISTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

Fuente: NOM-127-SSA1-1994, (Secretaría de Salud, s.f.)

En relación de cómo deben observarse las aguas para su uso, la norma delimita que (Tabla 12):

Tabla 12. Las características físicas y organolépticas

CARACTERISTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

Fuente: NOM-127-SSA1-1994, (Secretaría de Salud, s.f.)

Referente a los elementos químicos en el agua los límites permisibles deberán ser menores o iguales a los que se describen en la siguiente Tabla 13:

Tabla 13. Límites de constituyentes químicos en mg/L

Característica	Límite permisible	Característica	Límite permisible
Aluminio	0,20	pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Arsénico (Nota 2)	0,05	Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Bario Cadmio 0,005	0,70	Clordano (total de isómeros)	0,20
Cianuros (como CN-)	0,07	DDT (total de isómeros)	1,00

Cloro residual libre	0,2-1,50	Gamma-HCH (lindano)	2,00
Cloruros (como Cl-)	250,00	Hexaclorobenceno	1,00
Cobre	2,00	Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Cromo total	0,05	Metoxicloro	20,00 2,4 – D 30,00
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	500,00	Plomo	0,01
Fenoles	0,3	Sodio	200,00
Fierro 0,30 Fluoruros (como F-)	1,50	Sólidos disueltos totales	1000,00
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/L:		Sulfatos (como SO <sub>4</sub> =)	400,00
Benceno	10,00	Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Etilbenceno	300,00	Trihalometanos totales	0,20
Tolueno	700,00	Yodo residual libre	0,2-0,5
Xileno (tres isómeros)	500,00	Zinc	5,00
Manganeso	0,15	Nitratos (como N)	10,00
Mercurio	0,001	Nitritos (como N)	1,00
		Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50

Fuente: NOM-127-SSA1-1994, (Secretaría de Salud, s.f.)

Estos valores deberían ser tomados como referencia en caso de pretender dar un segundo tratamiento físico y químico al agua para el consumo humano posterior al tratamiento en el humedal y dependiendo de la purificación lograda por el mismo.

Respecto a la NOM-003-SEMARNAT-1997, que también hace referencia al contacto con el agua tratada para riego determina que en actividades donde el público en general esté expuesto indirectamente o en contacto físico incidental, como son los siguientes reúsos: riego de jardines y camellones en autopistas, camellones en avenidas, fuentes de ornato, campos de golf, abastecimiento de hidrantes de sistemas

contra incendio, lagos artificiales no recreativos, barreras hidráulicas de seguridad y panteones.

Los límites de contaminantes son mostrados en la Tabla 14:

Tabla 14. Límites máximos permisibles de contaminantes

TIPO DE REUSO	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO5 mg/l	SST mg/l
Servicios al público con contacto directo	240	>1	15	15	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	<5	15	30	30

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997, (Secretaría de Salud, s.f.)

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles. Se considera que los valores anteriores deberán cumplirse en el tratamiento mediante los humedales, debido a que el reúso más común y básico con el que se podrá contar post tratamiento en el sitio es el riego.

Favorablemente, se reconoció en la revisión anterior sobre los humedales analizados, que su tratamiento puede cumplir con los límites determinados en las Normas.

## Conclusiones

El análisis de los ejemplos de trabajos previos permitió reconocer que en México se conoce y se ha estudiado al cambio climático como una problemática presente en el país que ya está afectando y lo seguirá haciendo en los siguientes años. El conocimiento de trabajos que ya han tratado el estudio de las ciudades para mejorar su resiliencia permitió identificar que se ha confirmado la utilidad de los humedales como apoyo en ese sentido. También se reconoce que un análisis holístico es necesario para garantizar el éxito de las estrategias que se planteen para mejorar el estado socio-

ambiental de los asentamientos humanos. Los planteamientos en torno a soluciones óptimas se han planteado previamente pero no se han identificado puntualmente los resultados obtenidos.

Este subcapítulo permitió identificar las leyes relacionadas al agua y su posible abordaje mediante este trabajo, así como los parámetros por norma a cumplir en el caso de reutilizar el agua para consumo humano o para riego como destino.

En relación al contexto político-administrativo, se encontró que existen instrumentos legislativos en materia de agua a nivel estatal y municipal, mediante los cuales se podría solicitar algún tipo de apoyo entre el Estado, el municipio o alguna ONG que se involucre para la implementación de las estrategias definidas. Aún más importante en relación al contexto social, se rescata de la Ley nacional de aguas el fomento a la educación y la promoción de la cultura eficiente para el uso de agua en los hogares. Motivo por el que también se considera que resulta favorable el panorama del contexto político para el desarrollo del modelo.

Es importante destacar que al ser implementado de manera particular no existe una norma que exija a los humedales el cumplimiento de dichos parámetros, sin embargo, al agua en general se le debe considerar el cumplimiento de ellos para la salud humana y la contribución ambiental. En lo general, se consideran parámetros favorables posterior al tratamiento mediante los humedales artificiales, estos valores varían dependiendo del tipo de sistema y vegetación que se utilice.

## **CAPÍTULO 3. MODELO URBANO BASADO EN HUMEDALES ARTIFICIALES PARA LA RESILIENCIA HÍDRICA**

En este capítulo se presenta el modelo desarrollado para la generación de las estrategias de resiliencia que es el objetivo principal de este trabajo. Se describe el modelo urbano basado en humedales artificiales y sus sub apartados para cada dimensión. Además, se describe que información es la que se requiere en el modelo y para qué se necesita conocer dicha información. De igual forma se muestra el proceso metodológico con el que se definió el modelo.

### **3.1 Criterio metodológico para la elaboración del modelo de resiliencia hídrica**

Para generar este modelo se consideran las dimensiones de la resiliencia-sustentabilidad, a saber: espacial, organizativa, física y funcional y tiempo, para la generación del mismo. A la resiliencia como fin último de su desarrollo, a partir de su concepción como aquella capacidad de respuesta y de adaptación post cambio o desastre.

Se obtuvo una metodología de tipo inductiva, ya que la investigación dirige a partir de los casos de problemáticas particulares y el análisis de datos de vulnerabilidad al cambio climático a determinar las prioridades para el desarrollo de las estrategias que aborden las problemáticas identificadas.

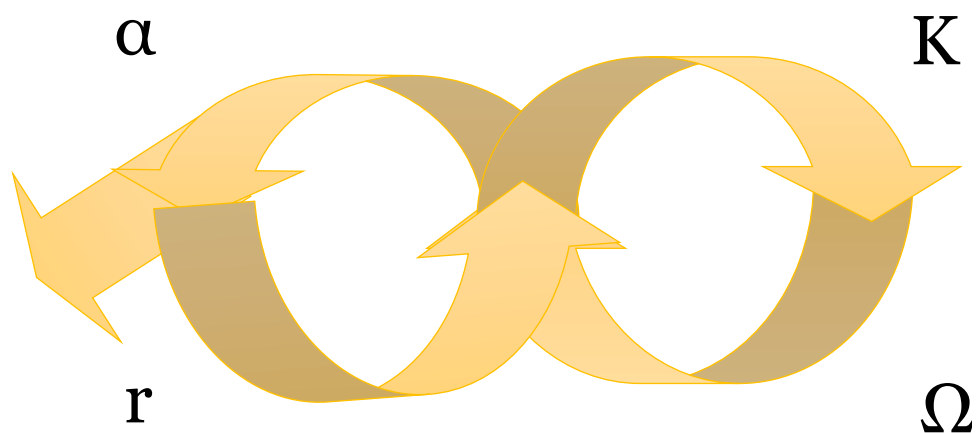
Esta metodología considera al ciclo de Holling como criterio metodológico para un sistema socio-ecológico como es considerada la ciudad.

### 3.1.1 Ciclo de Holling o ciclo adaptativo de sistemas socio-ecológicos

Derivado de la incertidumbre del estado futuro del clima y su afectación en las ciudades, es imposible contar con una estrategia totalmente certera para contrarrestar dicha problemática por lo que, se considera que es la adaptación (acompañada de la mitigación) al cambio y variabilidad climática es la mejor acción que en el presente se puede tomar al respecto. En este sentido, el ciclo adaptativo planteado por Holling menciona que hay “cuatro fases que ocurren de manera común en los procesos de cambio de los sistemas complejos como resultado de su dinámica interna e influencia externa: crecimiento, conservación, liberación o destrucción creativa y reorganización. Muchos sistemas se mueven en estas cuatro fases, descritas como ciclo adaptativo, incluyendo los ecosistemas, sistemas sociales, sistemas institucionales y sistemas socio-ecológicos” (Castillo & Velazquez, 2015). La ciudad, así como las comunidades son concebidas como un sistema complejo socio-ecológico compuesto de estos dos subsistemas, la sociedad y el sistema ecológico. Estas poblaciones interactúan y dependen constantemente uno del otro, de tal modo que existe una retroalimentación mutua, aunque en la mayoría de los casos desequilibrada por la acción de la sobreexplotación de recursos por el hombre.

Sobre el ciclo adaptativo se considera que sigue la secuencia mostrada en la Figura 8:

Figura 8. El ciclo adaptativo de Holling



Fuente: elaboración propia con base en (Holling & Gunderson, 2002)

Donde:

Fase 1 y 2 se refieren al desarrollo y conservación de los ecosistemas y sociedades.

r = Fase 1. De crecimiento y de disponibilidad de recursos, acumulación y alta resistencia

K = Fase 2. De ralentización de la red, el sistema se vuelve más interconectado, menos flexible y más vulnerable a perturbaciones externas

Fase 3 y 4 representan soltura del sistema y su reestructuración para un nuevo comienzo.

$\Omega$  = Fase 3. De liberación, es un lanzamiento de situaciones o los recursos detenidos o acumulados por el sistema

$\alpha$  = Fase 4. De reorganización, se refiere a la innovación y reestructuración del sistema, en este caso de la sociedad y el sistema ecológico.

Existe una interrelación de los sistemas sociales y naturales derivada principalmente en la necesidad del ser humano de obtener constantemente de la naturaleza los recursos que requiere y posterior a ello la intervención mediante el restablecimiento de los recursos para seguir obteniendo beneficios de ella. Esto ocurre en las diferentes escalas de estos sistemas; específicamente para este trabajo se considera y hace mención en la escala localidad, pequeña ciudad, población o comunidad.

Se considera que los sistemas ecológicos en sus dinámicas y estructuras son similares a los sistemas sociales en su adaptación y renovación de ciclos en movimiento a través de un proceso de crecimiento, conservación, liberación y reorganización. De esta manera, con base en la afirmación de (Holling & Gunderson, 2002) se puede deducir que, el ciclo adaptativo hace referencia a una secuencia de sucesos que de forma predecible en un sistema socio-ecológico se repetirá con sus variaciones y ajustes de posible mejora o falla. A partir de esta afirmación se puede predecir que al pertenecer



a un sistema socio-ecológico una estrategia sustentable y basada en la naturaleza tendría un comportamiento muy similar. Por lo que sería posible mantener y contribuir a un ciclo en el que se integrara a la comunidad y permitiera la resiliencia y adaptación constante en el lugar.

Al implementar el modelo para la generación de estrategias sustentables para la resiliencia hídrica y la intervención en la Fase 4 ( $\alpha$ ) de reorganización, se centrarían los resultados en la innovación y reestructuración del sistema, en este caso de la sociedad y el sistema ecológico en su interrelación. Esta es una fase fundamental para el nuevo comienzo del ciclo y de alguna manera para su planificación y adecuado manejo que podría garantizar la prosperidad continua del sistema.

Con base en lo anterior, el modelo ha sido desarrollado con la intención de la intervención más puntual en la fase 4 del sistema socio-ecológico, sin embargo, se considera que con las estrategias resultantes se podrá conseguir una contribución en las 4 fases del ciclo de Holling.

### **3.2 Proceso metodológico**

Para el planteamiento del modelo, con la intención de intervenir en la fase 4 del ciclo de Holling, y con base en las dimensiones de la resiliencia-sustentabilidad los pasos seguidos para su desarrollo fueron los siguientes:

1. Se establecieron las dimensiones y sus subtemas
2. Se desarrollaron los subtemas de la dimensión uno, la dimensión espacial que aborda lo relacionado a la sociedad, al territorio y busca establecer el panorama presentado en el sitio de estudio.
3. Se determinaron los subtemas de la dimensión dos, la dimensión organizacional. Esta considera a los actores involucrados, el establecimiento de las instituciones relacionadas y la inclusión social.

4. Se desarrollaron los subtemas de la dimensión tres, dimensión físico – funcional, donde se pretende integrar lo concerniente a la infraestructura de servicios y las potencialidades y oportunidades sustentables de la región
5. Se integraron los subtemas de la dimensión cuatro, denominada tiempo con los cuales se pretende conocer los sucesos climáticos desfavorables previos y llevar una cronología de los que se puedan presentar a futuro; se establecieron los criterios para la denominación del tipo de estrategia.
6. Finalmente, se estableció como describir las estrategias resultantes de la aplicación de este modelo.

### 3.3 Modelo urbano basado en humedales artificiales para la resiliencia hídrica

Con base a la revisión de literatura se consideró oportuno el dirigir el modelo de acuerdo a las dimensiones de la resiliencia-sustentabilidad; y a partir de ello generar estrategias que intervengan de manera holística en los casos de aplicación. El desglose por dimensión se muestra la Tabla 15.

Tabla 15. Desglose de las dimensiones del modelo hídrico basadas en la resiliencia

<b>1 Dimensión espacial</b>
1.1 Delimitación del territorio
1.2 Identificación de los principales efectos del cambio climático en el sitio
1.3 Procesamiento de datos socio-territoriales
<b>2 Dimensión Organizacional</b>
2.1 Identificación de recursos de apoyo institucional y social
2.2 Caracterización de actores involucrados
<b>3 Dimensión Físico -funcional</b>
3.1 Identificación de infraestructura de servicios (las o la que aplique)
3.2 Análisis de los recursos financieros y materiales
3.3 Tipificación de potencialidades y oportunidades sustentables de la región
<b>4 Dimensión tiempo</b>
4.1 Medición en el tiempo del desastre y estrategias de respuesta

*Criterios para valuación del tipo de estrategia o medida y temporalidad de implementación
<b>5 Propuesta de las estrategias dirigidas hacia la resiliencia hídrica</b>
5.1 Descripción de las estrategias determinadas

Fuente: elaboración propia

### 3.1.1 Descripción del Modelo y sus dimensiones

El modelo desarrollado se conforma en cinco puntos que conciernen a cada dimensión citada anteriormente, de los cuales se realiza la descripción del Modelo (Tabla 16) determinado a partir del análisis previo, el cual se desglosa en 15 puntos.

Tabla 16. Modelo y su desglose por dimensiones

<b>1. Dimensión espacial</b>		
<b>1.1 Delimitación del territorio</b>		
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Selección de la ciudad o región para la intervención a partir del análisis nacional o selección directa de acuerdo a las necesidades de investigación particulares.	Caracterización de la zona de estudio de acuerdo a el nivel de vulnerabilidad e impactos o selección directa del lugar, con apoyo de <a href="https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf">https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf</a>	Los mapas del INECC permiten seleccionar a los estados con mayor vulnerabilidad o bien analizar directamente una ciudad determinada.
<b>1.2 Identificación de los principales efectos del cambio climático en el sitio</b>		
Análisis de los mapas en la Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación del INECC	Identificar el porcentaje de cambio de precipitación (mayor o menor), el cambio de temperaturas máximas y mínimas (aumento o disminución de temperatura) en los mapas disponibles con un RCP de 8.5 en: <a href="http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas">http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas</a>	Se requiere de un análisis del escenario futuro posible con una trayectoria de representación (RCP) de 8.5 con un nivel muy alto de emisiones de GEI definido por el IPCC, con el cual se estaría preparando al lugar para el peor escenario

<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Definición de principales efectos del cambio climático en el sitio para su abordaje.	A partir del análisis teórico y práctico de la información determinar las afectaciones de mayor importancia para las personas y el sistema biótico del sitio.	Involucrarse de manera concreta en las prioridades para la ciudad de estudio de acuerdo a las posibles afectaciones al medio
<b>1.3 Procesamiento de datos territoriales</b>		
<b>Paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Estudio del clima y el medio ambiente	Identificación del tipo de clima en el lugar, de acuerdo a la clasificación Koppen-García y estado general del suelo, aire, agua y flora y fauna para la priorización de necesidades	Establecimiento de los requerimientos de acondicionamiento bioclimático de acuerdo al tipo de clima y estado de los recursos naturales
Delimitación geográfica	Delimitación del área de alcance a partir de mapas	Mostar gráficamente el área de alcance de abordaje y posibles zonas aledañas de influencia o involucramiento
<b>2. Dimensión Organizacional</b>		
<b>2.1 Identificación de recursos de apoyo institucional y social</b>		
<b>Paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Estudio del contexto social	Descripción de la población de la ciudad (educación, edades, sexo, etc.) Posible aplicación de encuestas	Conocer si se contaría con la aprobación y en su caso con la colaboración de la gente para seguimiento o cuidado del sistema, tecnología o intervención propuesta.
Identificación de recursos político-administrativos	Rescate documental de propuestas previas en relación a la intervención contra el cambio climático y el agua elaboradas por el gobierno en sus 3 niveles en la ciudad.	Conocer como se ha actuado previamente en la localidad y en qué políticas o planes anteriores podemos apoyarnos para la factibilidad de la propuesta de las estrategias.

<b>2.2 Caracterización de actores involucrados</b>		
<b>Paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Identificación de personas involucradas y ejecutoras	Determinación de los responsables de la ejecución de la estrategia, seguimiento, control y/o finalización.	Asignar responsabilidades a través de toda la vida del proyecto o estrategia para lograr el objetivo planteado
Identificación de potencialidades político-administrativas	Caracterización de autoridades de intervención o apoyo en las estrategias y de políticas previas de acción.	Reconocimiento del posible apoyo e interés por parte de las autoridades gubernamentales o no gubernamentales o rescate de alguna propuesta similar inconclusa de alguna entidad no lucrativa
Consideración de la participación ciudadana	Identificación de intereses de la población para su involucramiento en las estrategias.	Apoyarse de las necesidades de las personas del lugar para que existan beneficios mutuos de interés
<b>3. Dimensión Físico -funcional</b>		
<b>3.1 Identificación de infraestructura de servicios (las o la que aplique)</b>		
<b>Paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Análisis del estado del sistema hidráulico	Conocer el estado del sistema y de su funcionamiento	Identificar si toda la población cuenta con el servicio y que tan eficiente es
Análisis del estado del sistema sanitario	Conocer el estado del sistema y de su funcionamiento	Identificar si toda la población cuenta con el servicio y que tan eficiente es
Análisis del estado de sistemas sustentables existentes, pro resiliencia existentes o similares	Conocer el estado del sistema y de su funcionamiento	Si existe algún sistema de tratamiento de agua ya existente (u otros), se debe conocer y saber que tan funcional es.
<b>3.2 Análisis de los recursos financieros y materiales</b>		
Estudio de contexto económico	Análisis de la principal o principales actividades económicas de la ciudad y del nivel socio-económico de la población	Identificar necesidades y posibilidades económicas de la población en general para optimizar el uso de las diferentes estrategias.

Contextualización del recurso económico	Tipificación de posibles fondos económicos gubernamentales o de otro tipo.	Concientizarse de la cantidad de posibles recursos económicos con los que se contaría para la ejecución
<b>3.3 Tipificación de potencialidades y oportunidades sustentables de la región</b>		
<b>Paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Identificación de potencialidades naturales	Tipificar las oportunidades en relación a las especies vegetales de la región, fuentes de agua, aire, zonas costeras, especies animales que contribuyan, etc.	Reforzar la calidad ambiental de la región y fortalecer las estrategias sustentables
Tipificación de potencialidades sociales	A partir de fuentes de información varias como entrevistas o estudios de campo, identificar si se contaría con la aprobación y en su caso con la colaboración de la gente para seguimiento o cuidado del sistema o intervención propuesta.	Al involucrar a la población con las estrategias tomadas se dan cuenta de lo complejo de implementar estas alternativas para la mejora ambiental y el bien común y se consigue un mejor cuidado de las mimas (en su caso)
<b>4. Dimensión tiempo</b>		
<b>4.1 Medición en el tiempo del desastre y estrategias de respuesta</b>		
<b>Paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Recopilación de datos e información específica sobre desastres pasados en la zona para generación de estrategias	Búsqueda de noticias o reportes municipales sobre desastres sucedidos en el lugar y/o cambios dramáticos en relación a los recursos del sitio.	Compilar noticias, realizar entrevistas, o recopilar documentación referente a sucesos que permitan prever sucesos futuros o Identificar correlaciones y posibles repeticiones
Generación de una base de datos de desastres futuros que se presenten en el lugar	Seguimiento de acontecimientos y fenómenos que se presenten en la zona posterior a implementación de las estrategias	Llevar un reporte de desastres posteriores para analizar la capacidad de reacción y funcionalidad de los sistemas o estrategias implementadas
Recopilación de información del funcionamiento del plan o sistemas implementados	Creación de un instrumento o Plan para revisar y dar seguimiento del funcionamiento del sistema (s) implementado en la temporalidad requerida.	Control cronológico del funcionamiento de las estrategias y observación de las posibles mejoras y beneficios conseguidos.

<b>*Criterios para valuación del tipo de estrategia y temporalidad de implementación</b>	
<b>Selección del tipo de estrategia requerida de acuerdo a los siguientes criterios:</b>	
<b>Denominación</b>	<b>Descripción</b>
Medida técnica inmediata continua (MTIC)	Se basa en la implementación de algún sistema o tecnología sustentable, que debe implementarse de manera inmediata en cuanto se cuente con los recursos (menor a 1 año) y se continuará de manera indefinida
Medida técnica a mediano plazo (MTMP)	Se basa en la implementación de algún sistema o tecnología sustentable, que puede implementarse dentro del año siguiente después de definida
Medida político-administrativa inmediata continua (MPAIC)	Se basa en el desarrollo de alguna política pública, instrumento regulatorio, instrumento de planeación, incentivos para mejora de medidas y otros similares, que debe implementarse de manera inmediata en cuanto se cuente con los recursos (menor a 1 año) y se continuará de manera indefinida
Medida político-administrativa a mediano plazo (MPAMP)	Se basa en el desarrollo de alguna política pública, instrumento regulatorio, instrumento de planeación, incentivos para mejora de medidas y otros similares, que debe implementarse de manera inmediata en cuanto se cuente con los recursos y puede ser dentro del año siguiente después de definidas
Medida educativa inmediata continua (MEIC)	Se basa en el desarrollo de algún curso de educación ambiental, taller de mantenimiento de sistemas sustentables, platicas de cuidado del agua, separación de basura o similares que debe implementarse de manera inmediata en cuanto se cuente con los recursos (menor a 1 año) y se continuará la capacitación de manera indefinida.
Medida educativa a mediano plazo (MEMP)	Se basa en el desarrollo de algún curso de educación ambiental, taller de mantenimiento de sistemas sustentables, platicas de cuidado del agua, separación de basura o similares, que debe implementarse de manera inmediata en cuanto se cuente con los recursos y puede ser dentro del año siguiente después de definido.

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a lo anterior se realiza la propuesta final que contenga las siguientes características de la Tabla 17:

Tabla 17. Propuesta de las estrategias dirigidas hacia la resiliencia hídrica

<b>5. Propuesta de las estrategias dirigidas hacia la resiliencia hídrica</b>		
<b>5.1 Descripción de las estrategias determinadas</b>		
<b>Etapa</b>	<b>Descripción</b>	<b>Justificación</b>
Selección de herramienta(s), sistema, programa, curso, o medios a implementar como estrategia. (producto de análisis referencial o teórico)	Plasmar la idea general para la estrategia.	Contar con los datos principales para el posterior desglose para el logro de las estrategias y sus requerimientos y recursos base.
Definición del tipo y temporalidad de la medida a implementar	Seleccionar de acuerdo a las necesidades de la problemática si serán estrategias técnicas, administrativas o educativas y si será a mediano plazo o requieren ser inmediatos, de acuerdo a lo descrito en la tabla 2 de este documento.	Debe de identificarse el tipo de estrategia para definir los materiales, tecnologías, documentos de apoyo u otros, así como las personas que estarán involucradas y fijar una fecha requerida para su ejecución.
Definición de estrategias para la resiliencia a efectos del cambio climático en ciudades mexicanas	Descripción general y particular de las estrategias determinadas y elaboración de documentos, imágenes, tablas, planos o cualquier otro instrumento necesario para su ejecución.	Contar con todos los elementos para su construcción o elaboración, mantenimiento o continuidad y finalización o cambio de sistema.

Fuente: elaboración propia



## **Conclusiones**

El análisis del ciclo de Holling como criterio metodológico hace énfasis en la intención de este trabajo en intervenir positivamente en el proceso de la interrelación del sistema social y ecológico como uno solo. Esta interrelación se debe fortalecer mediante las estrategias resultantes de este Moldeo y favorecer la continuidad del ciclo de una manera armoniosa para que ambos sistemas sean beneficiados de ello, y no que, el sistema ecológico sea desfavorecido.

Durante el desarrollo del modelo se corroboró que las dimensiones se integraran entre sí y cumplen con la inclusión de los elementos que componen una ciudad; es decir, se logra al integrar a la sociedad, al ambiente natural y artificial de la región y al considerar los instrumentos de procedentes de la administración pública.

Es importante destacar que, la particularidad de cada localidad, pueblo o ciudad debe ser descrita a detalle cómo se precisa en este modelo y cómo se muestra más adelante, ya que de ello depende la certeza de los resultados óptimos de las estrategias propuestas.

También es importante considerar la versatilidad y selección del tipo de estrategia que puede seleccionarse de acuerdo a los criterios dados en el punto 4.2 (herramienta, sistema, programa, curso, u otros medios) para con ello identificar qué tipo de actores se verán involucrados y cuáles son los requerimientos que se tendrán. El tipo de estrategia se definirá de acuerdo al estado de la problemática que se presenta derivada por los efectos del cambio climático y la urgencia de atención que esta requiere, así como a las necesidades actuales de la región.

# CAPÍTULO 4. ESTRATEGIAS DE RESILIENCIA HÍDRICA A PARTIR DEL MODELO URBANO BASADO EN HUMEDALES ARTIFICIALES

## 4.1 Aplicación de modelo en Ciudad Loreto, B.C.S.

Se muestran los resultados de la aplicación del modelo en Ciudad Loreto con el fin de definir las estrategias para la resiliencia hídrica; también se realizaron ajustes al mismo a partir de su implementación. Los datos e información recopilada en extenso para el modelo se pueden encontrar en los Anexos 1 a 6 del presente documento, la Tabla 18 muestra los datos sintetizados y específicos. Estos describen el análisis socio-territorial, climático, económico y demás solicitados en por el modelo propuesto para la obtención de las estrategias.

Tabla 18. Aplicación del modelo.

<b>1. Dimensión espacial</b>	
<b>1.1 Delimitación del territorio</b>	
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>
Selección de la ciudad o región para la intervención a partir del análisis nacional o necesidades de investigación particulares	El estado de Baja California Sur se identificó como el que presenta la vulnerabilidad más alta en 3 de 6 estudios que se realizaron en el atlas y específicamente el mapa de índices de vulnerabilidad del Programa Especial de Cambio climático 2014-2018 (SEGOB, 2014) realizado por el INECC y lo muestran como aquel con el mayor número de municipios y vulnerabilidad alta. Posteriormente se definió a Ciudad Loreto a partir de la información encontrada en el Plan Estatal de acción ante el cambio climático de Baja California con datos específicos de los municipios del estado y sus vulnerabilidades.
<b>1.2 Identificación de los principales efectos del cambio climático en el sitio</b>	
Análisis de los mapas en la Actualización de los escenarios de cambio	Dentro de los mapas del atlas climático (INECC) se logró identificar al municipio de Loreto existe el valor más alto respecto a los demás municipios en relación a la disminución

climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación del INECC	de la precipitación (-62%). Así mismo, la temperatura máxima aumentará, por ejemplo, en el mes más cálido (julio) podría llegar a los 36. 8°.
Definición de principales efectos del cambio climático en el sitio para su abordaje.	En lo general se distinguió como problemáticas o efectos significativos: Aumento de temperaturas altas máximas Sequías por disminución de la precipitación (Anexo1).
<b>1.3 Procesamiento de datos socio-territoriales</b>	
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>
Estudio del clima y el medio ambiente	Específicamente la ciudad de Loreto dentro del municipio homónimo en BCS, presenta un clima cálido muy seco (INEGI, 2017), la temperatura media en Ciudad es de 24.8 °C, de acuerdo al Programa Hídrico Estatal 2015-2021 (Comisión Estatal de Agua, 2015). Principalmente las áreas verdes dentro del perímetro urbano se observan con vegetación xerófila endémica y algunas otras especies arbóreas. En general es un clima muy seco con poca presencia de vegetación en la ciudad
Delimitación geográfica	El municipio de Loreto consta básicamente de la cabecera municipal, que es Ciudad Loreto. Ubicada en Baja California Sur, esta pequeña ciudad tiene unas coordenadas al centro de esta de 26° 00' 44. 55" al norte y 111° 20' 56.20" al oeste con una elevación de 9 msnm. Con una población de 19,719 habitantes hasta el 2017 (Anexo1).
<b>2. Dimensión Organizacional</b>	
<b>2.1 Identificación de recursos de apoyo institucional y social</b>	
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>
Estudio del contexto social	Se encontró que hasta el 2015 en la Ciudad de Loreto había un total de 18,535 habitantes en su mayoría el rango de 30 a 59 años (5,622) (SETUES, 2020). La revisión bibliográfica, muestra un estudio en relación al agua en donde la gente se muestra accesible para colaborar en relación a su cuidado y aceptación de sistemas de tratamiento alternativos. Así como para educarse en relación del sistema de humedal y del cuidado ambiental (Anexo 2).
Identificación de recursos político-administrativos	Se identificaron diferentes instrumentos relacionados con el cambio climático como Estrategia Nacional de Cambio Climático 2013-2018, el Plan Estatal de Acción ante el Cambio

	<p>Climático para Baja California Sur (PEACC-BCS) (2012) y el Programa de Ordenamiento Ecológico Local. Loreto, 2013.</p> <p>En los anteriores, desarrollados algunos años atrás, se observa el fomento al tratamiento de aguas, conservación y balance de los acuíferos y hábitats naturales (Anexo 5).</p>
<b>2.2 Caracterización de actores involucrados</b>	
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>
Identificación de personas involucradas y ejecutoras	La principal institución que se encargaría de la implementación de las estrategias sería directamente el Gobierno municipal ya que es la encargada del manejo del agua en la ciudad, apoyándose de recursos del gobierno estatal, federal y de algunas otras instituciones no gubernamentales nacionales o internacionales.
Identificación de potencialidades político-administrativas	La instancia responsable de realizar el proyecto para el logro de las estrategias podría apoyarse de la necesidad del cuidado de las aéreas naturales protegidas y los sitios RAMSAR la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales podría apoyar en la creación de las estrategias sustentables o incluso de instancias internacionales no gubernamentales que promueven el cuidado de la fauna. También de manera más local puede existir interés en el organismo de agua y saneamiento de la ciudad puede existir interés en el sistema de tratamiento de agua para reducir costos de los tratamientos convencionales. Apoyarse de los anteriores planes de acción ante el cambio climático para figurar como problemáticas resueltas ante gobierno federal (Anexo 5).
Consideración de la participación ciudadana	Se podría involucrar a la población a llevar a la gente a hacer recorridos en los espacios de los humedales y la vegetación que se incorporaría y así dar a conocer el beneficio en la ciudad respecto a la mejora de la imagen urbana y ambiental.
<b>3. Dimensión Físico -funcional</b>	
<b>3.1 Identificación de infraestructura de servicios (las o la que aplique)</b>	
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>
Análisis del estado del sistema hidráulico	La ciudad cuenta con esta infraestructura sin embargo se detectó que hasta el 2010 un 87.3% de la población municipal contaba con ese servicio. En los mapas del 2006 de la ciudad (cabecera municipal) se observa una región de

	aproximadamente 0.2 km <sup>2</sup> marcado como sin servicio de agua potable. (Anexo 3).
Análisis del estado del sistema sanitario	La ciudad cuenta con esta infraestructura sin embargo se detectó que hasta el 2010 un 90.7% de la población contaba con ese servicio. En los mapas del 2006 de la ciudad (cabecera municipal) se observan cinco regiones de aproximadamente 1.82 km <sup>2</sup> en total indicadas como área sin drenaje de un total aproximado de asentamientos de 7.15 km <sup>2</sup> (Anexo 3).
Análisis del estado de sistemas sustentables existentes pro-resiliencia o similares	Se cuenta con una planta de tratamiento en la ciudad dependiente del Organismo de Agua, la cual está en operación. Esta funciona a partir de lodos activados y se utiliza el agua para riego de campos de golf y jardines
<b>3.2 Análisis de los recursos financieros y materiales</b>	
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>
Estudio de contexto económico	La principal actividad económica del lugar es el turismo, el municipio ocupa el tercer lugar en el estado en relación turística. Se practica pesca deportiva y comercial. (SETUES, 2020) La población puede valerse de la venta de artesanías para recursos ya que es una ciudad turística potencial para obtener un mayor ingreso por medio de la venta de recuerdos; a partir de la obtención de carrizo como materia prima procedente de los humedales y las plantas que de estos se produzcan podrían ser puntos de interés para atraer a la población a participar (Anexo 2).
Contextualización del recurso económico	Se identificaron 3 principales rubros del Presupuesto de Egresos de la Federación para el Ejercicio Fiscal 2021 de los cuales se podrían valer las entidades para solicitar recurso a las dependencias gubernamentales. Estos son: Programa especial concurrente para el desarrollo rural sustentable con un presupuesto de 2,012 millones de pesos destinados al IMTA y de 1,510.9 millones para Programas hidráulicos. En segundo lugar, el presupuesto asignado para el Programa de ciencia, tecnología e innovación el cual, en conjunto con las instituciones educativas pueden desarrollar los proyectos derivados de este modelo, este rubro cuenta con 201 millones destinados al IMTA y 167 millones para el INECC. Por último, y más puntualmente, se cuenta con Recursos para la adaptación y mitigación de los efectos del Cambio climático de un total de 70,274,272,931 para diferentes rubros. Los

	<p>correspondientes al ramo de Medio ambiente y recursos naturales son 5,635,519,362 pesos, en el cual se incluyen denominaciones como:</p> <p>Capacitación ambiental y desarrollo sustentable, Investigación científica y tecnológica, Protección forestal, Investigación en Cambio Climático, sustentabilidad y crecimiento verde, Conservación y manejo de Áreas Naturales Protegidas, Regulación Ambiental, Inspección y Vigilancia del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Gestión integral y sustentable del agua, Programa de Conservación para el desarrollo sostenible, Agua Potable, drenaje y tratamiento, Apoyos para el desarrollo forestal sustentable, Programa para la Protección y Restauración de Ecosistemas y Especies Prioritarias.</p>
<p><b>3.3 Tipificación de potencialidades y oportunidades sustentables de la región</b></p>	
<p><b>Etapa o paso metodológico</b></p>	<p><b>Descripción</b></p>
<p>Identificación de potencialidades naturales</p>	<p>En la ciudad existe poca vegetación y la mayoría es de tipo cactácea, pero una mujer oriunda, que realiza venta de especies vegetales comentó que existen árboles frutales que se dan muy bien en la región como naranja, limón, lima, además de el árbol de almendro, de nim y de olivo que podrían ser sembrados en la ciudad.</p> <p>Respecto los dos sitios RAMSAR identificados que existen en el lugar requieren de fomento y cuidado como área natural protegida para las especies que ahí llegan, por lo que podría fomentarse la creación de otras áreas semejantes de apoyo para estas especies (Anexo 3).</p>
<p>Tipificación de potencialidades sociales</p>	<p>La gente del lugar se dedica al turismo por lo que necesita indispensablemente del agua en la ciudad, esto podría ser un motivo para que se agrupen y formen sociedades para que se involucren en el tratamiento del agua y su cuidado ya que se ha observado en algunas noticias que la gente ocupa más agua que la que debería en algunas zonas de la ciudad. También se podría proponer el uso de fosas sépticas de manera particular en casas de la población debido a que hay viviendas que no cuentan con drenaje sanitario y de ahí canalizar el agua a los humedales (Anexo 2).</p>

<b>4. Dimensión tiempo</b>	
<b>4.1 Medición en el tiempo del desastre y estrategias de respuesta</b>	
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>
Recopilación de datos e información específica sobre desastres pasados	<p>Como datos adicionales representativos y de influencia en la toma de decisiones se encontró que existe también un alto índice de vulnerabilidad a la elevación del nivel del mar en la ciudad dentro del Plan Estatal de acción ante el cambio climático de Baja California (2012), hay presencia de dos sitios RAMSAR como áreas naturales protegidas en la localidad, se identificaron noticias reportando la filtración de agua residual en los sitios anteriores y problemáticas sociales referidas por carencia hídrica derivadas de la sobreexplotación del acuífero que les distribuye.</p> <p>Las fuentes se encuentran muy lejos del sitio y la precipitación es escasa por lo que, el tratamiento de agua debería considerarse una opción (Anexo 6).</p>
Generación de una base de datos de desastres futuros que se presenten en el lugar	<p>Se llevaría un registro en el momento requerido basado en la identificación de la variación de los días con temperaturas extremas más altas, la prolongación de ausencia de precipitación y de mayor requerimiento de agua. También se identificaría el aumento del nivel medio del mar por posibles afectaciones al agua y asentamientos, ciclones o fenómenos meteorológicos probables en el sitio.</p>
Recopilación de información del funcionamiento del plan o sistemas implementados	<p>Este seguimiento se llevaría a la par con la implementación de las estrategias propuestas para identificar posibles mejoras y su óptimo funcionamiento. Puntualmente se revisaría la calidad y cantidad del agua tratada y disminución de la temperatura promedio de las áreas urbanas intervenidas con la seriación o infraestructura vegetal.</p>

Fuente: elaboración propia

## 4.2 Resiliencia hídrica: estrategias resultantes

Como resultado de la aplicación del modelo se generaron las estrategias específicas para Ciudad Loreto.

En este apartado se describe detalladamente cada estrategia con su justificación teórica, la cual permite validar la pertinencia de su aplicación. En la Tabla 19 se observan puntualmente los resultados obtenidos.

Tabla 19. Definición de estrategias de caso de estudio

<b>5. Propuesta de las estrategias sustentables dirigidas a la resiliencia. Caso de estudio: Ciudad Loreto, B.C.S.</b>	
<b>5.1 Descripción de las estrategias determinadas</b>	
<b>Etapa o paso metodológico</b>	<b>Descripción</b>
Selección de herramienta(s), sistema, programa, curso, o medios a implementar como estrategia.	Se definieron dos estrategias base, una la incorporación de los sistemas de humedales para tratamiento del agua como respuesta en el fenómeno pronosticado de sequías y dos la incorporación de vegetación en áreas específicas de la ciudad para el control de la temperatura en la ciudad. Posteriormente se plantea una tercera estrategia que consistiría en la generación de cursos o talleres sobre conciencia y cultura sobre el cuidado del agua, la importancia y cuidado de la vegetación y el medio ambiente de tipo opcional, no descrita a fondo en este trabajo.
Definición del tipo y temporalidad de la medida a implementar	La primera estrategia relacionada con el humedal se definió como Medida Técnica Inmediata Continua (MTIC) Y la segunda como Medida Técnica a Mediano Plazo (MTMP). La estrategia opcional sobre cursos del cuidado ambiental se define como Medida educativa a mediano plazo (MEMP) convenientemente a implementar posterior a la creación del sistema de humedales y el corredor o infraestructura verde.
Descripción de estrategias para la resiliencia a efectos del cambio climático en ciudades mexicanas	La primera estrategia que abarcaría el aspecto de sequías en el lugar es la incorporación de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales en el sitio. Esta infraestructura consideraría el aporte mediante la posible reincorporación del agua tratada a los acuíferos en la zona, contribuiría a que en alguna circunstancia una menor cantidad de aguas negras llegue a los sitios naturales protegidos. Además, la introducción de la infraestructura en la ciudad consideraría el aporte por la evapotranspiración de las plantas del sitio a la humedad relativa del lugar, contribuiría al confort térmico del lugar, como hábitat para algunas especies animales y, sobre todo, como fuente de agua directamente después del



	<p>tratamiento en el humedal o para que con un tercer tratamiento sea posible su uso en otras necesidades familiares urbanas. Como segunda estrategia para abordar el tema de las temperaturas altas en el asentamiento es incorporar vegetación urbana en las vialidades y calles principales en espacios diseñados puntualmente para ello. Esto para contribuir al bloqueo de la radiación solar y el sombreado de las superficies, identificado como una de las principales causas en las ciudades en el aumento de la temperatura, con ello disminuir la temperatura en el suelo y a su vez también a aumentar la humedad relativa de la ciudad al contar con la presencia de especies vegetales en zonas antes desérticas. Esta estrategia pretende también contribuir al aumento de área verde por habitante para de ser posible llegar a lo sugerido por la OMS, pero que sería tema de una segunda investigación.</p>
--	---

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la Tabla 19 como resultado del uso del modelo se logró determinar dos estrategias; la primera estrategia fue la incorporación de humedales artificiales con vegetación acuática y segunda, un programa de incorporación de una paleta vegetal en áreas específicas como estrategias para la resiliencia hídrica en Ciudad Loreto, determinadas al seguir los pasos planteados en el mismo modelo.

Cabe destacar que este modelo es de un alcance particular, es decir podría ser implementado por una instancia específica ya sea pública o privada para una población determinada, sin embargo, se considera recomendable la integración y participación de todos los actores posibles para que con su involucramiento se logre un mejor resultado a partir de una restauración mediante la participación comunitaria.

#### **4.2.1 Estrategia de humedales artificiales**

La composición y número de los módulos de un humedal varía de acuerdo al diseño, cantidad de agua, tipo de agua, espacio de suelo con el que se cuenta y resultados que se desean obtener.

### *Consideraciones de diseño.*

Para el diseño del humedal además de considerar las fórmulas correspondientes para su diseño se atendieron las siguientes características para humedales construidos y consideraciones personales de diseño.

En relación con la profundidad de acuerdo con (Mena , 2008) la profundidad típica es de alrededor de 0.4 a 0.6 metros de relleno sólido, algunas veces puede emplearse encima una capa de grava fina de 7 a 15 centímetros de espesor que funciona para el enraizamiento inicial de la vegetación y en condiciones normales de operación se mantiene seca, sin embargo, si se selecciona una grava relativamente pequeña (inferior a 20 mm) para la capa principal donde se realiza el tratamiento, la capa de grava fina superior probablemente no será necesaria, pero entonces, la profundidad total deberá incrementarse para asegurar que se tenga una zona seca en la parte superior del lecho. Este detalle en el diseño permite también la disminución de agua estancada en la parte superior y evita la presencia de mosquitos.

Mena (2008) menciona también que en climas cálidos donde el riesgo de congelación no es significativo pueden funcionar con hasta con 0.3 metros de profundidad, en el caso de Ciudad Loreto la temperatura mínima promedio es enero con 11.28 °C y una mínima extrema de 7.09 °C de acuerdo a las normales climatológicas de CONAGUA (1989-2016). En febrero muestra comportamiento similar en cuanto a estas temperaturas, pero no son lo suficientemente bajas para presentar una helada o congelación del humedal. Por lo anterior la profundidad del humedal puede variar de 0.3 hasta 0.6 metros, se debe considerar el área con la que se cuenta ya que disminuir la profundidad también requeriría de una mayor superficie.

Proponer una profundidad baja como los 0.3 metros aumentan el potencial de transferencia de oxígeno obteniendo mejores resultados, se aconseja que la altura del lecho sea menor que la máxima profundidad de penetración de las raíces de las plantas para asegurar la presencia de raíces en todo el canal (hasta el fondo) ya que el rendimiento en la eliminación de DBO y nitrógeno amoniacal está directamente

relacionado con la profundidad de penetración de las raíces (Mena, 2008). Para este humedal la profundidad será de 0.5 metros debido a que es un clima cálido donde la evaporación podría influir en el calentamiento del sustrato en una superficie muy baja.

Para el cálculo de superficie se utiliza la fórmula citada por (Crites, et al., 2006) para la cual previamente se obtuvo la concentración del contaminante en este caso la  $DBO_5^2$  en el agua residual o influente. Esta fórmula se describe a continuación:

$$S = L * A = \frac{Q \ln \left( \frac{C_i}{C_e} \right)}{K_T h \varphi_s}$$

Donde:

*S*: Superficie necesaria para el humedal ( $m^2$ )

*L*: longitud del humedal (*m*)

*A*: anchura del humedal (*m*)

*Q*: Caudal de alimentación ( $m^3/d$ )

*C<sub>i</sub>*: concentración del contaminante del influente (mg/l)

*C<sub>e</sub>*: concentración del contaminante en el efluente (mg/l)

*K<sub>T</sub>*: Constante de reacción ( $d^{-1}$ )

*h*: profundidad de la lámina de agua<sup>3</sup> (*m*)

*φ<sub>s</sub>*: porosidad del sustrato filtrante<sup>4</sup>

Para poder realizar el cálculo de la superficie del humedal y posteriormente el volumen, previamente se obtuvo el caudal total de acuerdo a la estimación de la población para el año 2030<sup>5</sup> y el consumo de agua por habitante en litros por día.

---

<sup>2</sup>la  $DBO_5$  es la cantidad de oxígeno (medido en el mg/L) que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por los organismos unicelulares, bajo condiciones de prueba. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales. fuente: agua.org.mx

<sup>3</sup> En humedales de flujo superficial la profundidad es de un rango de entre 0.3 – 0.4 m y para humedales de flujo subsuperficial entre 0.4 y 0.6 m

<sup>4</sup>La porosidad se expresa en tanto por 1 o porcentaje

<sup>5</sup>considerando el óptimo desempeño del humedal a 10 años ya que posteriormente se alargaría la vida con mantenimiento significativo y renovación de las especies y/o algún cambio del sistema

Este cálculo previo se describe a continuación:

$$Q = (Hab)(Cs)$$

Donde:

Q: caudal

Hab: Población estimada ciudad Loreto 2030 (CONAPO, 2019)

Cs: Consumo promedio de agua (300 litros por persona)

Por lo tanto:  $Q = (23,087 \text{ habitantes})(300 \text{ litros/día})$

$$Q = 6,926,100 \text{ litros/1000}$$

$$Q = 6,926.10 \text{ m}^3$$

La concentración del contaminante del influente ( $C_i$ ), en este caso la  $DBO_5$  se obtuvo con los valores dados por dos fuentes: un valor dado por Sandoval y Mantilla (2015) de 110 a 350 mg/L en las aguas residuales, el cual nos permite dar un valor promedio de 230 mg/L; y el otro valor aproximado es de 260 mg/L dado por el Ing. Alarcón del Organismo de Agua de Loreto, quien comenta no se cuenta con un estudio de laboratorio, de entrada, del agua residual, solo del agua ya tratada.

Los datos anteriores permitieron definir un valor promedio de 260 mg/L para el  $DBO_5$  del agua residual en la Ciudad de Loreto, considerando el valor más alto para proteger el resultado en caso de una concentración mayor de contaminantes.

Respecto a la concentración del contaminante del efluente ( $C_e$ ) se determinó de 20mg/L de acuerdo a lo especificado por la NOM 001 SEMARNAT 1996 según su uso de destino.

Para obtener esta disminución del efluente de 260 a 20 mg/L se calcula la superficie necesaria para que el agua tenga el tiempo de residencia para que se logre el tratamiento realizado por las planas y los microorganismos en el humedal, de acuerdo al caudal calculado en la ecuación anterior.

Con los datos obtenidos se procede al cálculo de la superficie necesaria para el humedal, posteriormente se obtiene la relación largo-ancho a partir del valor del área obtenida, tal como sigue:

$$S = L * A = \frac{Q \ln \left( \frac{C_i}{C_e} \right)}{K_T h \phi_s} \qquad \text{Superficie} = \frac{4040.23 \ln \left( \frac{250}{20} \right)}{(1.1) (0.4) (0.35)}$$

Datos:

Q= 6926.1m<sup>3</sup>/d

C<sub>i</sub>= 260 mg/L

C<sub>e</sub>= 20 mg/L

K<sub>T</sub> 1.1 d<sup>-1</sup>

por lo que: Superficie = 2,827.49 m<sup>2</sup>

h 0.4 m

φ 0.35 p<sub>s</sub>

La proporción más adecuada para la distribución del agua en un humedal es de 2:1 (Crites, et al., 2006) por lo cual, el largo y ancho del humedal será lo más cercano a esta proporción.

Se tiene Superficie de 2827.49 m<sup>2</sup>, lo que permite proponer un largo de 90 metros y un ancho: 32 metros para cada humedal.

Una vez conociendo las proporciones del humedal se procede a las especificaciones para el diseño y selección de la vegetación.

- a. Influencia de la evaporación atmosférica en el humedal.

De acuerdo a los datos obtenidos en el Observatorio meteorológico de Loreto de CONAGUA en el último año 2019 existió una evaporación máxima en el mes de julio de hasta 10.6 mm y una mínima en ese mismo mes de 5.5mm, con un dato promedio de 7.6 mm durante todo el mes, julio fue considerado el más caluroso del año con una

temperatura máxima de 42 grados. Este dato permite afirmar que hasta 10.6 litros por metro cuadrado se pueden evaporar en un día con alta radiación y temperatura. Por tal motivo para que el humedal y sobre todo la vegetación no se vea afectada por la disminución de agua en el ecosistema, se considerará una mayor área a la obtenida por la formula anterior.

Por lo cual, si se considera el área inicialmente obtenida por la fórmula de 1,299 m<sup>2</sup> y se multiplica por los 10.6 litros posibles de evaporación se aumentaría el área para contar con una mayor capacidad de agua en el humedal en el caso que este fenómeno sucediera sin afectar al sistema. El aumento será de 13,769.4 litros o 13.77 m<sup>3</sup>, volumen que se suma al del caudal inicial considerado, dando un total de 6,939.87 litros, lo que modificaría la superficie a 2,832 m<sup>2</sup>.

b. Configuración del sistema de humedal.

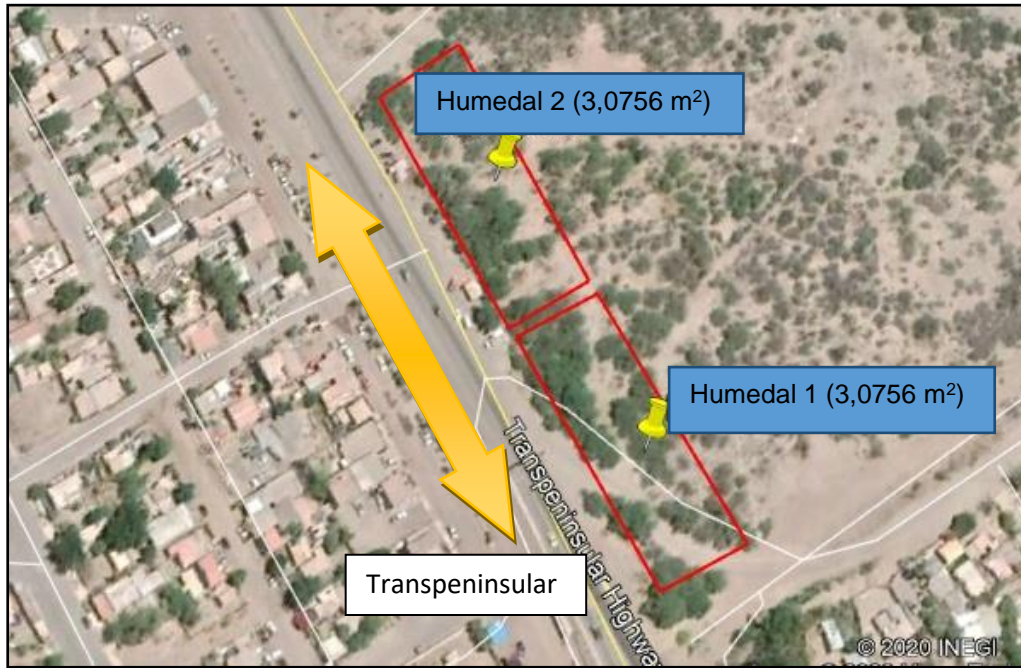
La propuesta consiste en un sistema de humedal mixto que consta de dos humedales de flujo horizontal uno subsuperficial y otro superficial, de tal modo que, se canalizarían las aguas no tratadas previamente a una fosa séptica y posteriormente su paso por los dos humedales; esto con el fin de aprovechar los procesos que se dan en cada uno de ellos.

El área seleccionada para el planteamiento de los humedales se encuentra en la parte norte de la ciudad, al sur de la laguna de oxidación utilizada actualmente para enviar aguas tratadas; la costa y el mar están a unos 620 metros de la zona del humedal; a unos 1,500 metros del centro de la ciudad y a 100 metros de las viviendas más cercanas.

En el sitio de estudio no se tiene limitante en relación a la superficie del terreno ya que se cuenta con un área suficiente disponible para su uso, la cual se muestra a continuación en la Figura 9.



Figura 10. Áreas de humedal 1 y 2.



Fuente: Google earth, fecha de las imágenes 25 de abril, 2019

El trayecto propuesto del agua residual se considera del registro del drenaje o una primera llegada a la planta de tratamiento directamente a la fosa séptica que se ubicaría antes del humedal 1 de tipo subsuperficial de flujo vertical y posteriormente al humedal 2 de flujo superficial. En el caso de ser aguas previamente tratadas en la PTAR de Loreto, estas podrán ser descargadas directamente al humedal 2.

Al situarse dentro del área urbana los humedales podrían ser diseñados adicionalmente como atractivo turístico para el lugar, la zona propuesta para su ubicación se encuentra sobre la vialidad principal de la avenida transpeninsular donde está el acceso a la ciudad, sobre esta misma hay un camellón con vegetación que sirve para amenizar el acceso a la ciudad. La vialidad se observa en la Figura 11.

Figura 11. Vista de la carretera transpeninsular, a su lado el terreno para humedal





Fuente propia

El área seleccionada para los humedales se encuentra en el lado este de la vialidad (Figuras 12, 13, 14 y 15), se encuentra en breña con vegetación del lugar, el terreno se observa como sigue:

Figura 12, 13 ,14 y 15. Vistas hacia terreno donde se propone el sistema de humedal



Fuente propia



Fuente propia



Fuente propia



Fuente propia

A continuación, se describen las especies vegetales propuestas para el humedal, las cuales también podrían funcionar como hábitat para algunas especies de aves del sitio.

c. Vegetación para el humedal artificial

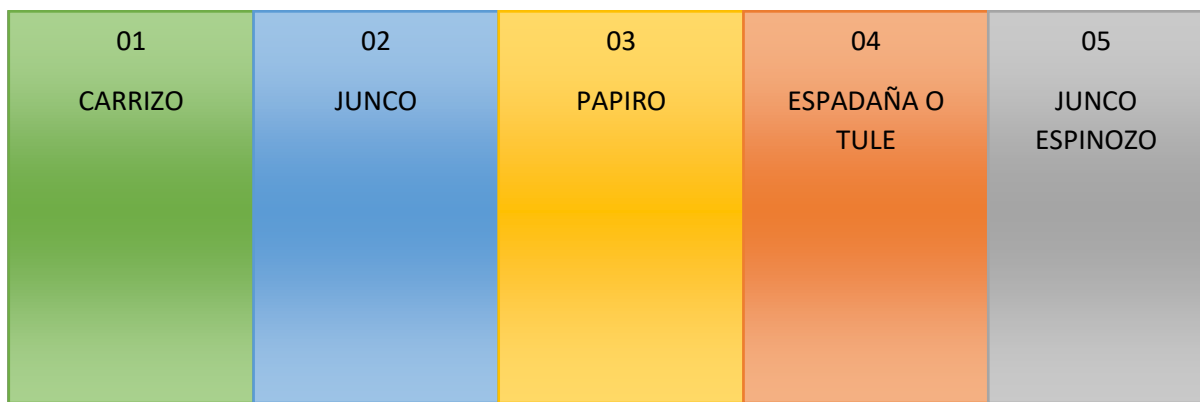
Los criterios usados en la selección de las plantas acuáticas fueron con base en las siguientes consideraciones:

- Fáciles de mantener y adecuadas para el clima de la zona.
- Nativas o fáciles de cultivar.
- Plantas perennes.
- Capacidad de purificación del agua

Así mismo, las especies seleccionadas han sido evaluadas y confirmadas en estudios previos para la remoción de contaminantes del agua, otras especies endémicas que se encuentran en los sitios Ramsar de serán propuestas como complemento en la estrategia vegetal para la Ciudad.

El humedal 1 de flujo subsuperficial tendrá especies de tipo emergentes. La distribución de las especies se describe en la Figura 16.




Figura 16. Áreas de distribución de especies en Humedal 1





Fuente: elaboración propia

En la Tabla 20 se muestran las características principales de cada especie:

Tabla 20. Especies vegetales acuáticas humedal 1

Núm. y Nombre común	Nombre científico	Hábitat	Mantenimiento	Imagen
<b>01 Carrizo</b>	Phragmite saustralis	Puede soportar bastante bien niveles moderados de salinidad en el agua y en el suelo, vive en marismas, lagunas y bordes de ríos formando densas poblaciones, desde el nivel del mar a los 1000 m de altitud.	Se requiere delimitar si espacio de crecimiento. Los carrizales son ocupados por multitud de aves acuáticas, utilizándolos para nidificar.	 fuente: naturalista.mx (wapatoby)
<b>02 junco</b>	Schoenoplectus californicus	zonas templadas y cálidas en áreas abiertas permanentemente húmedas; adaptable a los hábitats de los humedales costeros, encontrándose en espejos de agua, totorales, zonas arbustivas y gramadales	Los tallos pueden llegar hasta 1.5 m, son erectos, cespitosos, lisos, agudamente trígono; además de formar grandes comunidades denominadas vegas de ciperáceas	 fuente: H. Aponte 2009
<b>03 papiro*</b>	Cyperus papyrus	Tolera temperaturas de 20 a 33°C, crecen mejor en lugares donde la temperatura oscila entre los 10° C de mínima en invierno y sin problemas de máximas si se asegura un ambiente húmedo.	llega a tener una altura de 0.5 a 1.5 m, Se requiere de poda anual  *se caracteriza por su absorción de metales pesados	 fuente: <a href="http://fichas.infojardin.com">http://fichas.infojardin.com</a>

<p><b>04</b> <b>espadaña/ tule</b></p>	<p>Typhadom ingensis P ers.</p>	<p>Lugares tranquilos de agua dulce de lagos, lagunas, pantanos, zanjas y canales. Se distribuye preferentemente en las regiones cálido-húmedas por debajo de los 1000 m de altitud.</p>	<p>Hasta de 2.5 m de altura. Es una especie nativa, pero puede comportarse como invasiva ocasionalmente, estableciendo poblaciones grandes casi exclusivas de esta especie</p>	 <p>fuelle: conabio.gob.mx</p>
<p><b>05</b> <b>Junco espinozo</b></p>	<p>Juncusacu tus</p>	<p>Zonas húmedas de alta tasa de salinidad, suelos con capa freática superficial, arenales costeros, bordes de laguna, humedales, arroyos y terrenos encharcados.</p>	<p>Forma céspedes densos, alcanzando una altura entre los 75 y los 200 centímetros. Sus hojas son aciculares, rígidas y puntiagudas que crecen desde la roseta basal.</p>	 <p>fuelle:<a href="http://www.floresyplantas.net">www.floresyplantas.net</a></p>

Fuelle: elaboración propia a partir de datos de las páginas citadas en tabla

Para el humedal 2 de flujo superficial se consideran plantas flotantes emergentes, incluso florales. La distribución de las especies se describe en la siguiente Figura 17.




Figura 17. Áreas de distribución de especies en humedal 2






Fuelle: elaboración propia

En la Tabla 21 se describen las nueve especies seleccionadas para el humedal 2.

Tabla 21. Especies vegetales acuáticas humedal

Núm. y nombre común	Nombre científico	Hábitat	Mantenimiento	Imagen
06 junco fino o tulillo	<i>Juncuseffusus</i>	Requiere de abundante luz solar para su crecimiento, crece en las orillas de los ríos, acequias u otras zonas con charcos y pantano.	Su altura puede variar desde unos 35 centímetros hasta alcanzar cerca de los 160 centímetros. Crece formando grandes grupos, sus rizomas son bastante vigorosos.	 fuente: el arbol.org
07 Girasol	<i>Helliantusannus</i>	Planta domesticada. Resistente a diferentes ambientes y sequías, de uso ornamental y medicinal	Crece de 1 a 3 metros de altura. Se necesita un suelo con buen drenaje, aunque por lo demás únicamente es recomendable que sea arcilloso y con abundante materia orgánica.	 Fuente: biodiversidad.gob.mx
08 Azucenas o lirio acuático	<i>Liliumcandidum</i>	Planta con flores aparentes con tallo subterráneo bulboso y otro aéreo herbáceo, provisto de numerosas hojas. Su florecimiento periódico, durante varios años, hacen de ella una especie apropiada para cultivar en arrietes de plantas vivaces	Son plantas bulbosas que llegan a medir 1 m de altura, su tallo es rígido y al final sostiene entre 8 y 12 flores con forma de trompeta que nacen de un mismo lugar.	 Fuente: Ecured.cu/azucena

<p><b>09</b> Achilillo macho</p>	<p><i>Polygonum amphibium</i></p>	<p>Planta nativa, acuática en aguas tranquilas o terrestre entre los cultivos</p>	<p>De hasta 1.5 m de alto. Los individuos acuáticos con frecuencia con las porciones superiores flotantes.</p>	 fuente: Pedro tenorio en conabio.gob.mx
<p><b>010</b> Bayoneta o cola de pato</p>	<p><i>sagittaria latifolia</i> info: <u>Niering, W.&amp;Olmstead</u>,</p>	<p>La planta tiene raíces fuertes y puede sobrevivir a través de amplias variaciones del nivel del agua, corrientes lentas y olas. Muestra una afinidad por los altos niveles de fosfatos y aguas duras.</p>	<p>Planta perenne de tamaño variable (2 a 20 metros) que crece en colonias que pueden cubrir grandes cantidades de tierra. Se cultiva fácilmente en 0.15 m a 0.45 m de agua con poca o poca corriente</p>	 Jason Whittle en conabio.gob.mx
<p><b>011</b> Cola de zorro</p>	<p><i>Ceratophyllum demersum</i></p>	<p>Elemento propio de lagos, presas, arroyos y canales, fuente: Julián Hernández Rendón* 2016 Flora del bajío y de regiones adyacentes</p>	<p>Planta de hasta 3 m de largo, glabra o con pelos delicados translúcidos; tallos muy ramificados, flexuosos, pudiendo fijarse al sustrato por ramas rizoidales hojas verticiladas, hasta 12 por verticilo, generalmente de 0.5 a 2 cm de largo.</p>	 foto: Mark Kluge, en naturalista.com.mx

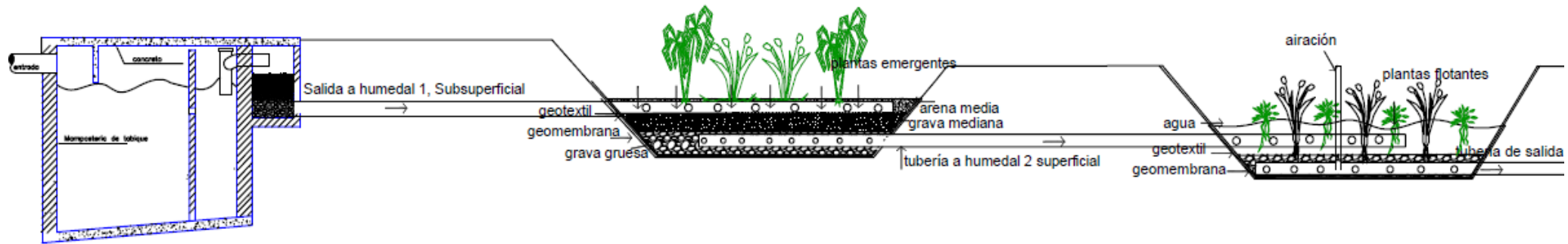
Fuente: elaboración propia a partir de datos de las páginas citadas en tabla

El diseño final del humedal 1 tiene un total de 5 especies vegetales: carrizo, junco, papiro, espadaña y junco espinoso.

El segundo humedal tiene un total de 6 especies: junco fino, lirio acuático, achilillo macho, cola de pato, cola de zorro y girasol.

La superficie final para cada humedal es de 32 x 98 metros cada uno, esto considerando el área para el talud que debe llevar cada humedal en su perímetro; además de este modo se abarca toda el área de la calle para su exposición más visible al público. En la Figura 18 se observa el esquema del diseño del funcionamiento de los humedales con el tránsito del flujo de agua a través de ellos.

Figura 18. Esquema de funcionamiento del sistema de humedales y el biodigestor

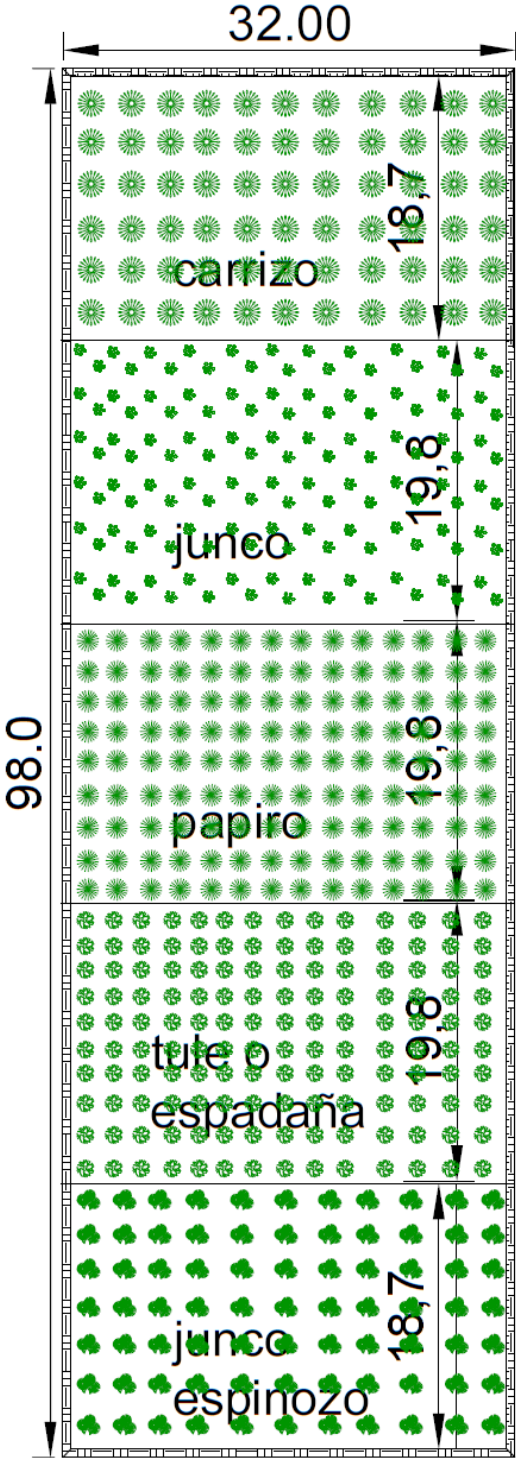


Fuente: elaboración propia



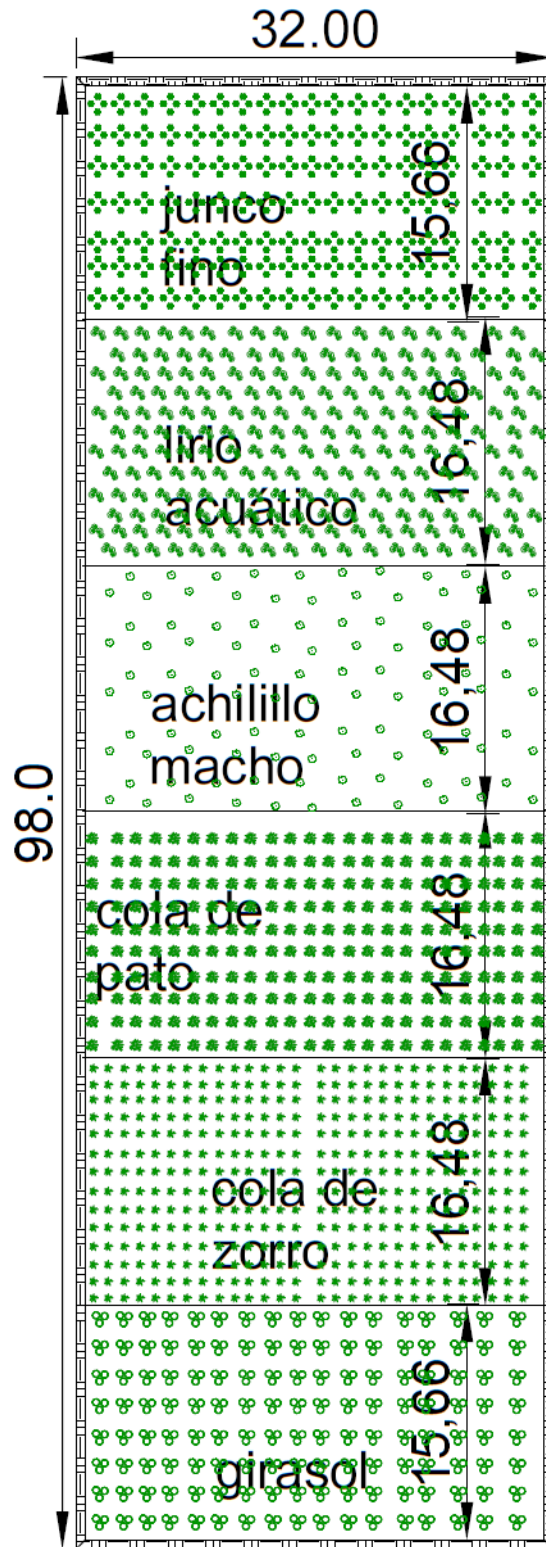
En las Figuras 19 y 20 se observa la planta de cada humedal y su distribución con la separación de acuerdo a cada especie:

Figura 19. Humedal 1, subsuperficial



Fuente: elaboración propia

Figura 20. Humedal 2, superficial



Fuente: elaboración propia

Los girasoles podrían ser usados para la venta en la zona y el carrizo (Figura 21) se usa en artesanías, cortinas o también para hacer cubiertas en la arquitectura por lo que, podrían aprovecharse los materiales vegetales que resulten del humedal.

Figura 21. Recolección del carrizo de humedal en Coahuila



*Fuente: el Siglo de Torreón, 2010*

La finalidad de incorporar a la sociedad a la conservación y uso del humedal es que comprendan el valor que pueden ofrecer estos sistemas además de ser un sistema de tratamiento natural del agua, la importancia y la trascendencia de estos sistemas radican en que no requiere la adición de reactivos químicos ni energía eléctrica y son sencillos de operar. Pueden cumplir con la normatividad aplicable si se lleva cabo una adecuada operación y mantenimiento.

#### d. Seguimiento y mantenimiento del humedal

Ambos humedales deben tener mantenimiento preventivo y correctivo. El primero consiste en acciones permanentes que se realizan con una frecuencia predeterminada en las instalaciones y estructuras con la finalidad de prevenir y evitar daños o fallas posteriores en el sistema de tratamiento. Y el mantenimiento correctivo se efectúa para reparar daños existentes por deterioro o mal funcionamiento del sistema y que no han sido posible evitar con el mantenimiento preventivo. La frecuencia se realiza según la necesidad o como observen los encargados del mismo.

Las actividades básicas a realizar en el mantenimiento preventivo son el control del caudal de llegada, para evitar los excesos de agua que lleguen al sistema de tratamiento y que pueden perjudicar o dañar el sistema, especialmente en temporada de lluvias y la limpieza de tuberías donde verifiquen que son hay algún tipo de obstrucción.

Las plantas demandaran poda, dependiendo de cada especie y se deberá verificar que cumplen con las características optimas de salud para su desempeño.

Cabe destacar que se deberán llevar en conjunto con el funcionamiento de los humedales medidas de conservación, programas de educación para la conservación, programas de actividades turísticas y recreativas, y continuar con actividades de investigación de la funcionalidad de los humedales y del comportamiento de la flora y fauna del lugar.

Se deberán llevar en conjunto con el funcionamiento de los humedales medidas de conservación, programas de educación para la conservación, programas de actividades turísticas y recreativas, y continuar con actividades de investigación de la funcionalidad de los humedales y del comportamiento de la flora y fauna del lugar.

Respecto al control que deberá llevar la calidad del agua del humedal se sugiere realizar un análisis de laboratorio al mes, por cada humedal en la entrada y salida del agua, para verificar que se cumplan los parámetros y sobre todo para controlar el funcionamiento de las plantas y la capacidad de purificación del sistema.

La disposición final del agua tiene dos opciones: una es la incorporación directa al manto acuífero para contribuir a su recarga dos, su recolección para uso de riego, uso doméstico, o incluso su paso por un método de purificación para un consumo humano.

## 4.2.2 Estrategia de infraestructura verde

Se hace mención a la propuesta de la implementación de una estrategia vegetal como coadyuvante en el clima urbano en el caso de estudio, ciudad Loreto y sobre todo su intervención o aportación en los episodios de sequías y clima seco extremo en la Ciudad. A continuación, se explica como la vegetación en distintos aspectos beneficiaría al clima urbano que se ha modificaría en Loreto a partir de la teoría que afirma los beneficios de la interacción de la biosfera y la atmósfera.

Esta propuesta complementa y se completa a la aportación de los humedales, con lo cual se pretende intervenir de manera integral a los dos fenómenos hidro-meteorológicos detectados previamente.

### a. La vegetación como instrumento para el control macro climático

Con base en la investigación realizada por (Green, et al., 2017) se afirma que la presencia de vegetación puede cambiar el clima; anteriormente se consideraba que era únicamente las características de la geolocalización las que definían de forma contraria a la vegetación que se desarrollaba en el sitio, pero se ha confirmado que de manera inversa la presencia o modificación de la vegetación también puede influir en el clima del lugar.

Asimismo, se reconoce desde hace ya varias décadas la vegetación ha sido empleada como estrategia para la mejora del clima en las zonas urbanas y que puede ser intencionalmente usada, por ejemplo, para dirigir la circulación del aire y proveer de sombra en zonas específicas. Además de ello se ha confirmado que como se analiza en este capítulo, contribuye también en el aumento de humedad relativa en el ambiente y la mitigación de la radiación solar recibida en la superficie del lugar.

Green y otros (2017) identificaron que la atmósfera y la biosfera terrestres interactúan a través de una serie eventos y sucesos de retroalimentación mutua.

La vegetación puede modificar los patrones climáticos debido a la liberación de vapor de agua o evapotranspiración<sup>6</sup> con lo cual provoca la formación de nubes (lo que contribuye a la convección y condensación para un posible aumento de precipitaciones); estas a su vez disminuyen la cantidad de radiación que llega a la superficie terrestre con lo cual se afecta su reflectividad y aumento de temperatura. Los autores hallaron que hasta un 30% de la precipitación y la variabilidad de las radiaciones superficiales son derivadas de las retroalimentaciones entre la atmósfera y la biosfera; particularmente son fuertes a nivel regional.

Esta relación se explica debido a que los cambios, o en su caso, el crecimiento de la vegetación terrestre y la los cambios o fenómenos que partir de esta se presentan pueden modular los flujos de agua y energía hacia la atmósfera, y a su vez de manera contraria, afectar las condiciones climáticas que regulan la dinámica de la vegetación.

Especialmente en las regiones en transición entre la limitación de la energía y el agua, como las regiones semiáridas o monzónicas, se encuentran a menudo importantes retroalimentaciones de la precipitación de la biosfera.

Importantes efectos secundarios se producen en regiones moderadamente húmedas y en el Mediterráneo, donde las precipitaciones y las radiaciones aumentan el crecimiento de la vegetación (Green, et al., 2017).

#### b. La vegetación como instrumento para el control micro climático

En 1999, Ochoa de la Torre planteó el uso de la vegetación como instrumento para el control micro climático en las zonas urbanas. El autor afirma que la vegetación interviene en la incidencia de radiación solar, en la velocidad y dirección del viento, la variación en la temperatura y humedad del aire, por lo cual, al influir en la partición de los flujos turbulentos en la superficie, la humedad y la temperatura del suelo pueden afectar a la variabilidad climática (Ochoa de la Torre, 1999).

---

<sup>6</sup>el efecto de enfriamiento evaporativo del agua que transpiran las plantas (ídem)

Al igual que en el caso macro climático, en el microclima urbano la presencia de vegetación genera una reducción de la temperatura en el ambiente y aumento en la humedad del aire, debido al efecto de sombra proyectada sobre las diversas superficies, y sobre todo al fenómeno de la evapotranspiración, otra pequeña contribución se debe a la humedad del suelo. En este caso la influencia es mayormente a nivel del suelo, en su disminución de temperatura y aumento de humedad; y en el caso macro climático la influencia es sobre todo en la contribución de la formación de nubes y humedad relativa.

La forma en la que se logra el control de la radiación solar en el suelo, es cuando las plantas absorben aproximadamente el 85% de la energía solar incidente para la fotosíntesis. Tal como podemos observar en la Tabla 22 con los valores promedio por diferentes longitudes de onda:

Tabla 22. Coeficientes promedio de reflexión, transmisión y absorción de plantas de hoja verde para diferentes longitudes de onda.

Longitud de onda $\mu\text{m}$	Reflexión	Transmisión	Absorción
Fotosíntesis (0.38 – 0.71)	9%	6%	85%
Cercano infrarrojo (0.71-4.00)	51%	34%	15%
Onda corta (0.35- 3.00)	30%	20%	50%
Onda larga (3.00- 100.0)	5%	0%	95%

Fuente: Ochoa de la Torre, 1999

De acuerdo al clima donde se desee intervenir en el microclima será el tipo de vegetación a implementar; en el caso de clima cálido aquel árbol que tuviera baja transmisividad en verano y alta en invierno sería el más adecuado. Cabe señalar que el valor dado anteriormente es solo en relación a una hoja verde y estos pueden variar con el árbol entero de acuerdo a la especie y sus características de follaje, tronco, forma, densidad, distribución, etc.

Además, también destaca Ochoa de la Torre en su trabajo, que el diseño del acomodo de la vegetación resulta importante debido a que el tipo de agrupamiento, provoca distintos

resultados. Por ejemplo, el efecto de un árbol aislado no es muy significativo, ya que desaparece rápidamente debido a los movimientos provocados por el viento.

Las variaciones serían principalmente respecto a la iluminancia y radiación solar recibida bajo la vegetación en diferentes tipos de grupos y épocas del año.

Para esto se identifican tres diferentes situaciones:

- a) Árbol(es) aislado(s), dispuestos de manera que no se toquen sus copas.
- b) Grupo heterogéneo de diversas especies y tamaños de árboles.
- c) Árboles en grandes grupos homogéneos.

En este caso, el grupo B, constituido por diversas especies y tamaños de árboles sería una opción más beneficiosa, debido a la menor iluminancia recibida en el suelo debajo de ella, en las diferentes épocas del año. Además, las oscilaciones de la temperatura siempre es menor en grupos que en especies aisladas, esto se observa en la Tabla 23.

Tabla 23. Iluminancia en zonas sombreadas por vegetación para 30ª latitud sur

Tipo de agrupamiento	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Árbol aislado	2700-7700	2500-14,000	1500-23,000	6500-20,000
Grupo heterogéneo	1500-4700	1400-4400	2600-3800	-
Grupo homogéneo	9000-10000	400	600-800	390-1000

Fuente: Ochoa de la Torre, 1999

La dirección del viento y la intensidad también pueden ser controladas con la vegetación, mejorando las condiciones climáticas del sitio.

La temperatura y humedad del aire son otros factores favorecidos sobre todo para climas cálidos. La humedad relativa según cálculos en zonas europeas, puede variar desde un 10% hasta un 16%. En la siguiente Tabla 24 se observa la variación de la temperatura dependiendo de las estaciones del año.



Tabla 24. Variaciones de temperatura observadas bajo la sombra de vegetación

<b>Agrupamiento</b>	<b>Verano</b>	<b>Otoño</b>	<b>Invierno</b>	<b>Primavera</b>
Árbol aislado	-3.7 a -1.3	-	-	-8 a 1.0
Grupo heterogéneo	-4.4	-3.6 a -2.8	-	5.0
Grupo homogéneo	-4.7	-3.1	-3.7 a 3.2	-5.1

Fuente: Ochoa de la Torre, 1999

Con el aumento de áreas con vegetación y a su vez sombreadas, se disminuye la posibilidad de tener islas de calor en las ciudades, comúnmente provocadas por las superficies asfálticas o de concreto (con las que se favorece a que la radiación solar se disperse más lentamente) en las zonas urbanas que absorben energía y es expulsado en forma de calor, con lo cual es devuelto al ambiente y provocan ese aumento de temperatura (García, 2018).

De acuerdo al clima donde se desee intervenir en el microclima será el tipo de vegetación a implementar; en el caso de clima cálido aquel árbol que tuviera baja transmisividad en verano y alta en invierno sería el más adecuado. Además, también destaca Ochoa de la Torre, que el diseño del acomodo de la vegetación resulta importante debido a que el tipo de agrupamiento, provoca distintos resultados. Por ejemplo, el efecto de un árbol aislado no es muy significativo, ya que desaparece rápidamente debido a los movimientos provocados por el viento.

- c. Considerando las recomendaciones de la literatura para la vegetación urbana esta estrategia quedó como sigue dentro de las vialidades que se observan en la Figura 22.

Figura 22. Ciudad de Loreto, calles para la ubicación de la infraestructura verde



Fuente: google earth, 2020

Las líneas amarillas indican las vialidades donde se implementaría la secuencia vegetal, se incorporaría en camellones o banquetas adecuadas para ello. Las especies seleccionadas (Tabla 25) tienen como hábitat el clima cálido o están adaptadas a un clima cálido seco y resisten sequías.

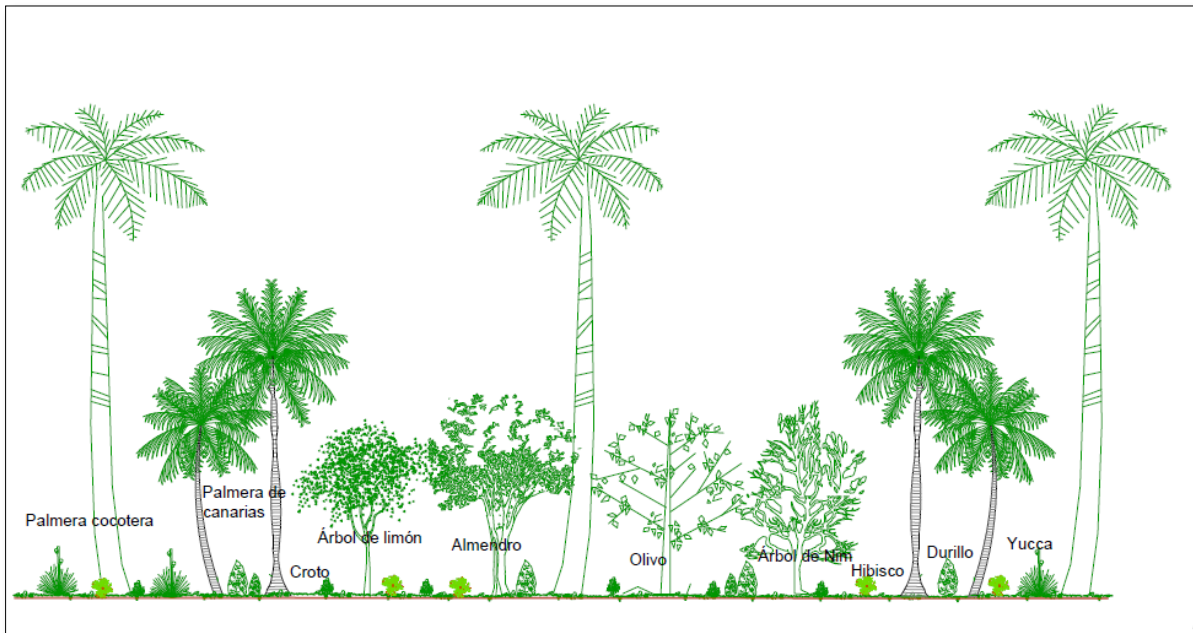
Tabla 25. Especies vegetales seleccionadas para la secuencia vegetal

<b>Especie</b>	<b>Nombre científico</b>	<b>Vialidades o calles</b>
Palmera de coco	<i>Cocos nucifera</i>	Carretera transpeninsular, Av. Salvatierra Av. Miguel Hidalgo, Paseo Adolfo López Mateos, Paseo Nicolás Tamaral, Vialidad Ayuntamiento, Av. Independencia, Paseo Pedro de Ugarte, Calle Davis, calle Francisco I. Madero, calle arcoíris, calle misiones (norte) y bordo de contención.
Palmera de canarias	<i>Phoenix canariensis</i>	
Almendro	<i>Terminaliacatappa</i>	
Árbol de limón	<i>Citrus limon</i>	
Olivo	<i>Olea europaea</i>	
Árbol de nim	<i>Azadirachta indica</i>	
Arbusto croto	<i>codiaeum</i>	
Hibisco	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	
Durillo	<i>Viburnumtinus</i>	
Yucca	<i>Yucca angustifolia</i>	

Fuente: elaboración propia

El diseño de la secuencia vegetal propuesta se observa en la Figura 23:

Figura 23. Diseño de la secuencia vegetal propuesta



Fuente: elaboración propia

Se concluyó que, como una ciudad en desarrollo turístico, pero sobre todo con demanda y existencia de vivienda social el planteamiento es viable, demandante y necesario la implementación de estrategias para el abastecimiento del recurso hídrico en el sitio.

La gente por su parte de acuerdo a entrevistas realizadas por (Campos, 2017) tiene una actitud positiva respecto a la implementación y la inversión económica en relación a sistemas ahorradores de agua y su manejo sustentable. Situación que es de impacto positivo para la propuesta de este trabajo.

## CONCLUSIONES

A partir del análisis de la información y de la base teórica del caso de estudio se construyó el modelo urbano basado en humedales artificiales lo que sin lugar a duda coadyuvará en mitigar los efectos de la variabilidad climática y mejorar la resiliencia hídrica, para utilizarlo como una herramienta que se podría emplear en otras ciudades o asentamientos del país.

Por lo anterior, se concluye que el objetivo de investigación de este trabajo de diseñar y evaluar un modelo urbano basado en humedales artificiales como una estrategia de resiliencia hídrica ante los efectos del cambio climático se cumplió con algunos aspectos favorables, los cuales son que el modelo cumple no solo en satisfacer lo relacionado al agua, sino que permite abordar integralmente otros aspectos relacionados a la variabilidad climática y sus efectos.

Para lograr este objetivo respecto al diseño del modelo el factor primordial fue el análisis teórico referencial y reconocimiento del ciclo de Holling para la comprensión del proceso de los sistemas socio-ecológicos, a partir de ello se logró el establecimiento de las dimensiones. Para poder llevar a cabo la evaluación del modelo se requirió de un análisis de campo exhaustivo en Cd. Loreto, en el cual se identificaron los aspectos relevantes sobre el territorio de estudio, los cuales fueron un factor fundamental para determinar las estrategias finales.

De la misma manera que en el caso de los objetivos, la hipótesis de trabajo que señala que “es factible diseñar un modelo hídrico urbano basado en humedales artificiales que responda ante los efectos del cambio climático y permita mejorar la resiliencia hídrica, para utilizarla como una herramienta que se podría emplear en otras ciudades o asentamientos del país”, se acepta, ya que fue probada en ciudad Loreto, B.C.S. con resultados satisfactorios. Se identificó que las estrategias que resultaron de la prueba del modelo desarrollado abordan efectivamente las principales problemáticas de la región de estudio.

Se logró que la herramienta generada pueda ser aplicada en cualquier ciudad pequeña o localidad en el país como se buscó de manera inicial ya que este modelo puede servir para su uso en diferentes ciudades o asentamientos, y también, existe la posibilidad de agregar más variables de análisis para completarlo de acuerdo con datos específicos adicionales que puedan ser requeridos de acuerdo a cada sitio.

Se reconoce que, si bien es preferible tener un conocimiento previo sobre la temática de variabilidad climática, el modelo propone ya la inclusión de los datos que a nuestro criterio deben ser abordados ya que, se consideran los principales aspectos para el abordaje del problema.

Se puede asumir que las estrategias que resultaron de la prueba del modelo desarrollado abordan efectivamente las principales problemáticas de la región de estudio. Además, se proponen las dimensiones acordes a las de resiliencia y sustentabilidad, con lo que se asegura la inclusión del aspecto social, ambiental, técnico y económico.

Se destaca que el modelo requirió adicionalmente generar una tabla para la clasificación del tipo de estrategia a proponer y su temporalidad, así como la identificación de sucesos ambientales desfavorables acontecidos en el sitio como datos de apoyo.

Así mismo, se identificó que se requiere primordialmente de aspectos básicos como en este caso, la educación ambiental para que las personas hagan uso adecuado del recurso hídrico, y con ello contribuyan a su cuidado en la ciudad. Además, se les puede dar a conocer los beneficios de incorporar especies vegetales en su hábitat para fomentar en ellos el interés.

Respecto a los resultados obtenidos en la aplicación del modelo, cabe destacar que, al analizar la estrategia de la infraestructura verde se identificó que anteriormente se consideraba que la vegetación podría influir únicamente en el microclima urbano, pero estudios recientes permiten afirmar que la presencia de vegetación o la modificación en la biosfera influye directamente en los sucesos de la atmósfera, al modificar principalmente su composición en relación a la humedad relativa y otros sucesos como una disminución

de la radiación solar incidente o el aumento de la nubosidad. Estos dos últimos resultados serían altamente favorables en la retroalimentación biósfera-atmósfera para mejorar el fenómeno de sequía que se presenta en ciudad Loreto, BCS y lo serán aún más cuando dicho fenómeno aumente por efectos de la variabilidad climática; beneficiando así a la población y el ecosistema del lugar, al disminuir la sensación térmica ante temperaturas altas máximas y proporcionando zonas más favorables para otro tipo de flora y fauna en el sitio.

Igualmente, se pudo determinar que el modelo propuesto cumple con el objetivo para el que fue diseñado, que es la identificación de los principales efectos negativos ante el cambio climático en una ciudad o región específica para la propuesta de estrategias que lo aborden, contrarresten y respondan ante la presencia de un escenario negativo especialmente en relación con el recurso agua.

Cabe destacar también, que, indudablemente sería el diseño y planeación inicial de las ciudades dirigido por la sustentabilidad y la resiliencia lo que podría garantizar la resiliencia para el asentamiento y las personas que lo habitan.

También es de mencionar que, aunque inicialmente se planteó el desarrollo de este modelo para el abordaje puntual en lo relacionado al estado del agua en las ciudades, el resultado final logró ese alcance, pero también permite plantear directamente estrategias relacionadas a otras problemáticas detectadas derivadas de los efectos del cambio climático. Mucho de lo anterior derivado que el cambio de temperaturas está relacionado directamente con el ciclo del recurso hídrico.

Se puede decir que, este modelo diseñado ha cumplido con su función de una manera suficiente y adecuada pero que, indudablemente es factible para cambios y mejoras como una clasificación de estrategias para los diferentes tipos de resiliencia (psicológica, hídrica, urbana, comunitaria, etc.).

Se puede concluir que el reconocimiento de la particularidad de las diferentes regiones en relación con su cultura y sociedad, características climáticas y territoriales, permite un abordaje holístico de las problemáticas ambientales presentes o futuras en cada región.

## Referencias

Agencia de Ecología Urbana de Barcelona, s.f. *Sistema de indicadores y condiciones para ciudades grandes y pequeñas*, Barcelona: Ministerio de Medio ambiente y medio rural y marino .

Aguilar , A., 2007. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático*. [En línea]  
Disponible en: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/437/agUILAR.html>  
[Consultado: 11 05 2019].

Alarcón, M., Zurita, F., Lara, J. & Vidal, G., 2018. *Humedales de tratamiento: alternativa de sanemamiento de aguas residuales aplicable en América Latina*. 1 ed. Bogotá: Pontifica Universidad Javeriana.

Arner, E., 2103. Resiliencia Urbana: la adaptación a corto plazo para la recuperación a largo plazo después de las inundaciones en Canadá. *Ciencia en su PC*, Issue 1, pp. 52-65.

ARUP GROUP, 2019. *The city water resilience approach*, Londres: ARUP.

Banco Mundial, 2018. *El cambio climático podría obligar a más de 140 millones de personas a migrar dentro de sus propios países para el año 2050: Informe del Banco Mundial*. [En línea]  
Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/03/19/climate-change-could-force-over-140-million-to-migrate-within-countries-by-2050-world-bank-report>  
[Consultado: 12 11 2020].

Breña Puyol, A. F. & Breña Naranjo, J. A., 2007. Disponibilidad de agua en el futuro de México. *Ciencia*, Issue julio-septiembre, pp. 64-71.

Calvente, A. M., 2007. *El concepto moderno de sustentabilidad*, Buenos Aires: Universidad Abierta Interamericana.

Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión , 2020. *Ley de Aguas Nacionales*, México: Secretaría de recursos parlamentarios .

Campos, J., 2017. *El servicio de agua potable. Percepción ciudadana y perspectivas de manejo sustentable en Ciudad Loreto*, Loreto, B.C.S.: Universidad Autónoma de Baja California Sur.

Carvajal, A., Zapattini, C. & Quintero, C., 2018. Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. *DisTecD*, Issue 5, pp. 88-108.

Castañeda, A. & Flores, H., 2013. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Revista de Tecnología y Sociedad, "innovación y difusión de la tecnología"*, 3(5), pp. 1-13.

Castillo , L. & Velazquez, D., 2015. Sistemas complejos adaptativos, sistemas socio-ecológicos y. *Quivera* , Issue 2, pp. 11-32.

CATHALAC, 2019. *Fortalecimiento de la Resiliencia de los Recursos Hídricos Frente al Cambio Climático en dos Ciudades de la Cuenca del Río La Villa del Arco Seco de Panamá*, Panamá: CATHALAC.



CEPAL, 2013. *Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.

City of Sydney, 2018. *Resilient Sydney: A strategy for city resilience*. Sydney: City of Sydney on behalf of the metropolitan Councils of Sydney.

Comisión Estatal de Agua, 2015. *Programa Hídrico Estatal 2015-2021*, La Paz, B.C.S: Gobierno de Baja California Sur.

Comisión Nacional del Agua, 2020. *Normas Oficiales Mexicanas*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA, 2010. *El agua en México: causas y encauses*. 1 ed. México: Academia Mexicana de Ciencias .

CONAGUA, 2019. *Seguridad Hídrica y Resiliencia para el Valle de México*, México: CONAGUA.

CONAGUA, C. N. d. A., 2015. *Gobierno de Baja California Sur*. [En línea]

Disponible en: [http://secfin.bcs.gob.mx/fnz/wp-content/themes/fnz\\_bcs/assets/images/transparencia/marco\\_program/programas2015-2021/Programa%20Hidrico%20Estatal%202015\\_2021.pdf](http://secfin.bcs.gob.mx/fnz/wp-content/themes/fnz_bcs/assets/images/transparencia/marco_program/programas2015-2021/Programa%20Hidrico%20Estatal%202015_2021.pdf)

[Consultado: 03 03 2019].

CONAGUA, 2020a. *Conagua.gob.mx*. [En línea]

Disponible en: [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/BajaCaliforniaSur/DR\\_0328.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCaliforniaSur/DR_0328.pdf)

[Consultado: 15 12 2020].

CONAGUA, 2020b. *Conagua.gob.mx*. [En línea]

Disponible en: [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/BajaCaliforniaSur/DR\\_0329.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCaliforniaSur/DR_0329.pdf)

[Consultado: 12 12 2020].

Cortés , F., Treviño, A. & Tomasini , A., 2017. *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*. 1 ed. Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Crites, R., Middlebrooks, J. & Reed, S., 2006. *Natural wastewater treatment systems*. 1 ed. Florida: Taylor and Francis Group. LLC.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F. & Andrade, M., 2010. *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA).

Delgado Ramos, G. C., 2014. Ciudad, agua y cambio climático: una aproximación desde el metabolismo urbano. *Medio Ambiente y Urbanización*, 80 (1), pp. 95-123.

Delgado Ramos, G. C., De Luca Zuria, A. & Vázquez Zentella, V., 2015. *Adaptación y mitigación urbana del cambio climático en México*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Departamento de Apoyo Parlamentario, 2019. *H. Congreso del Estado de Baja California Sur*. [En línea]

Disponible en: <https://www.cbcs.gob.mx/index.php/cmPLY/1493-ley-aguas-bcs>

Duarte, C., 2006. *Cambio Global. Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- Enciclopedia de los Municipios, s.f. *Loreto*. [En línea]  
Disponible en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM03bajacaliforniasur/municipios/03009a.html>  
[Consultado: 6 5 2020].
- Equipo Buenos Aires Resiliente, 2018. *Buenos Aires Resiliente*. Buenos Aires: Gobierno de Buenos Aires.
- Equipo de Juárez Resiliente, 2018. *Juárez Resiliente. Estrategia de resiliencia*. Juárez: Gobierno municipal Ciudad Juárez.
- Fernández, G., González, F. & Molina, J. L., 2011. El Cambio Climático y el Agua: Lo que piensan los Universitarios. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, pp. 427- 438.
- Fernández, A., 2012. El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, pp. 147-170.
- Fernández, G., González, F. & Molina, J. L., 2011. El cambio climático y el agua : lo que piensan los universitarios. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 29(3), pp. 427-438.
- Fernández, L. F., 2017. [En línea]  
Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/luis-felipe-fenandez-fernandez/historia-humedales-artificiales-depuracion-aguas-0>  
[Consultado: 10 2020].
- Fondo para la comunicación y educación ambiental, 2018. *Agua.org.mx*. [En línea]  
Disponible en: <https://agua.org.mx/actualidad/aguas-residuales-contaminacion-en-mexico/>  
[Consultado: 15 01 2020].
- García, L., 2018. *Ciencia UNAM*. [En línea]  
Disponible en: <http://ciencia.unam.mx/leer/779/islas-de-calor-un-fenomeno-de-las-ciudades>  
[Consultado: 13 Mayo 2020].
- Gobierno de Baja California Sur, 2015. *Loreto. Información estratégica*, La Paz, B.C.S.: Secretaría de Desarrollo Económico Medio Ambiente Y Recursos Naturales.
- Gobierno de Loreto, B.C.S, 2015. *Gobierno de Loreto*. [En línea]  
Disponible en: <http://loreto.gob.mx/ix/gobierno#gob>,  
[Consultado: 2019].
- Gobierno Federal, 2018. *Acciones de México para combatir el cambio climático*. [En línea]  
Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/acciones-de-mexico-para-combatir-el-cambio-climatico?idiom=es>  
[Consultado: 15 agosto 2020].
- Greater London Authority, 2020. *London City Resilience Strategy*. Londres: Greater London Authority.
- Green, J. y otros, 2017. Regionally strong feedbacks between the atmosphere and terrestrial biosphere. *Nature Geoscience*, pp. 410-414.
- Haro, M. & Aponte, N., 2010. *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular*. México: Universidad Autónoma de México.

Hermosillo, M. y otros, 2011. *Humedales artificiales: sistema sustentable para el tratamiento de aguas residuales*. Colima: Universidad Autónoma de Colima.

Hoffman, H., Platzer, C., Winker, M. & von Muench, E., 2011. *Technology Review of Constructed Wetlands, Subsurface flow constructed wetlands for grey water and domestic waste water treatment*. Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, GIZ.

Holling, C. & Gunderson, L., 2002. Resilience and adaptive cycles. In *Panarchy: Understanding transformations in Human and Natural Systems*, pp. 25-62.

Hurtado, R., Segura, I. & Vázquez, S., 2016. *Humedal artificial de flujo vertical subsuperficial. Impacto de la tubería de aireación en la remoción de coliformes fecales*, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,

INECC, 2016. *Vulnerabilidad futura*. [En línea]

Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/vulnerabilidad-al-cambio-climatico-futura>

[Consultado: 25 09 2019].

INECOL, I. d. E., 2013. *Inecol, mx*. [En línea]

Disponible en: <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/172-los-humedales-sus-funciones-y-su-papel-en-el-almacenamiento-del-carbono>

[Consultado: 25 septiembre 2020].

INEGI, 2019. *Agua potable y drenaje*.

Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/dispon.aspx?tema=Ten>

[Consultado: 10 5 2020].

Instituto de Investigaciones en ecosistemas, y. s., s.f. *Humedales artificiales*.

Disponible en: <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/humedales-artificiales-2>

[Consultado: 25 09 2020].

Instituto Mexicano de la Competitividad A.C (2020). Índice de Competitividad urbana 2020 Ciudades Resilientes. IMCO México

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018. *Efectos del cambio climático*. [En línea]

Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>

[Consultado: 18 05 2019].

IPCC, 2013. Glosario. *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Reino Unido y Nueva York: Planton, S. (ed.), pp. 185-204.

Ivannova, A. & Gámez, A., 2012. *Plan Estatal de Acción ante*, México: s.n.

Juárez, P., 2016. *Crónica.com.mx*. [En línea]

Disponible en: <https://www.cronica.com.mx/notas/2015/885537.html>

[Consultado: 9 6 2019].

Landa, R., Siller, D., Gómez, R. & Magaña, V., 2011. *Bases para la Gobernanza hídrica en condiciones de Cambio climático. Experiencia en ciudades del sureste de México*, Ciudad de México: ONU HABITAT.

López Bernal, O., 2004. La sustentabilidad urbana. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, pp. 8-14.

Lovera, D. y otros, 2006. Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash-Perú, usando tecnologías de humedales artificiales. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de ingeniería geológica, minera, metalurgica y geográfica*, 9(18), pp. 32-43.

Marín, C., Solís, R., López, G. & Bautista, R., 2016. Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México. *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(10).

Mazari, M. & Noyola, A., 2018. Problemática y política del agua. En: L. Merino Pérez, ed. *Agenda Ambiental 2018, Diagnostico y propuestas*. México: UNAM, pp. 13-23.

Mena, J., 2008. Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. En: F. E. C. E. Asturias, ed. *9° Congreso Nacional de medio Ambiente*. Oviedo: CONAMA, pp. 2-25. Disponible en: [http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2643\\_JMena.pdf](http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2643_JMena.pdf)

Merlinsky, G., 2017. El cambio climático como problema eco-político. *Megafon La batalla de las ideas*, 18(3), pp. 1-3.

Montes de Oca, G. & Herrera Pantoja, M., 2009. *Estudio sobre el impacto del cambio climático en el servicio de abasto de agua de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.

Naciones Unidas México, 2017. *Naciones Unidas México*. [En línea]  
Disponible en: <https://www.onu.org.mx/que-es-el-desarrollo-sostenible-y-por-que-es-importante/>  
[Consultado: 18 noviembre 2020].

Naciones Unidas, 1992. *Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio climático*. Nueva York: Naciones Unidas.

Naciones Unidas, 2015. *Objetivos de desarrollo sostenible*. [En línea]  
Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopto-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>  
[Consultado: 15 octubre 2020].

Naciones Unidas, s.f. *Objetivos de desarrollo sostenible*. [En línea]  
Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>  
[Consultado: 2 12 2020].

Naciones Unidas, s.f. *Paz, dignidad e igual en un planeta sano*. [En línea]  
Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/water>  
[Consultado: 05 05 2020].

NASA, 2020. *NASA. Global climate change. Vital signs of the planet*. [En línea]  
Disponible en: <https://climate.nasa.gov/causas/>  
[Consultado: 25 octubre 2020].

National Geographic, 2014. *Historia National Geographic*. [En línea]  
Disponible en: [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/acueductos\\_8592](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/acueductos_8592)  
[Consultado: 26 4 2019].

Navarrete, M. (2017). Desarrollo urbano sustentable: el gran desafío para América Latina y los preparativos para Hábitat III. *Revista Luna Azul* Núm. 45, Colombia: Universidad de Caldas

Ochoa de la Torre, J. M., 1999. *La vegetación como instrumento para el control microclimático*. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.

Oficina de Resiliencia CDMX, 2016. *Estrategia de Resiliencia CDMX*, México: GOB CDMX.

Oficina de Resiliencia del Municipio de Colima , 2019. *Colima Resiliente Estrategia de resiliencia*. Colima: Gobierno Municipal de Colima.

ONU AGUA, 2019. *Informe de políticas de ONU-AGUA*, Suiza: UN-Water Technical Advisory Unit.

ONU HABITAT , 2016. *Guía de resiliencia urbana*. México: SEGOB y SEDATU.

ONU HABITAT, 2018. *Ciudades Resilientes*. [En línea]  
Disponible en: <https://onuhabitat.org.mx/index.php/ciudades-resilientes>  
[Consultado: 6 3 2019].

ONU Medio Ambiente & GEF, 2019. *Construcción de Resiliencia Climática en Sistemas Urbanos Mediante La Adaptación Basada En Ecosistemas Abe, En América Latina Y El Caribe*. México: City Adapt.

ONU, 2015. *Objetivos de desarrollo sostenible*. [En línea]  
Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-/page/17/>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, I. C. y. I. C., 2020. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020*, París, Francia: UNESCO 2020.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2020. <https://cityadapt.com/>. [En línea]  
Disponible en: <https://cityadapt.com/>[Consultado: 01 noviembre 2020].

Programa de Investigación en Cambio Climático, UNAM (2015). Reporte Mexicano de Cambio Climático GRUPO II Impactos, vulnerabilidad. Impresos Vacha, S.A. de C.V

Programa Mundial de la UNESCO, 2017. *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado*, Francia: UNESCO.

RAMSAR.org, 2004. [En línea] Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1358RIS.pdf>  
[Consultado: 08 08 2019].

RAMSAR.org, 2008. *Ficha informativa de los humedales de Ramsar (FIR)*. [En línea]  
Disponible en: <https://rsis.ramsar.org/RISapp/files/RISrep/MX1793RIS.pdf> [Consultado: 12 12 2020].

Real Academia Española, s.f. *Diccionario de la lengua española*. [En línea]  
Disponibile en: <https://dle.rae.es/resiliencia> [Consultado: 08 08 2020].

Revista de Loreto, Z., 2018. *Zona Conchó Revista de Loreto On line*. [En línea]  
Disponibile en: <http://zonaconcho.com/Noticias/queda-acueducto-san-juan-londo-operaciones-tecnicas-habra-desabasto-agua-loreto-anticipa-federico-velazquez/>. [Consultado: 7 7 2019].

Rodríguez, M., 2013. Sostenible o sustentable. *Sagasteguiana*, Volumen 2, pp. 91-92.

Rojas, R., 2002. *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*, Brasil: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.

Romero, M., Colín, A., Sánchez, E. & Ortiz, L., 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 25(3), pp. 157-167.

Sánchez Rodríguez, R., 2013. *Respuestas urbanas al cambio climático*. Santiago de Chile: CEPAL.

Secretaría de la Convención de Ramsar, 2007. *¿Qué son los humedales?*, Suiza: Ramsar, Convencion sobre los humedales.

Secretaría de Salud del Gobierno de Baja California Sur, 2017. *saludbcs.gob.mx*. [En línea]  
Disponibile en: <http://saludbcs.gob.mx/pdf/estadistica/2017/Demografia.pdf>  
[Consultado: 22 06 2019].

Secretaría de Salud, s.f. *Agua para uso y consumo humano. Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el Agua para su potabilización*, México: Secretaría de Salud.

SECTUR, S. d. T., 2014. *Loreto, Baja California Sur*. [En línea]  
Disponibile en: <http://www.sectur.gob.mx/gobmx/pueblos-magicos/loreto-baja-california-sur/#:~:text=Loreto%20es%20la%20ciudad%20m%C3%A1s,el%20jesuita%20Juan%20Mar%C3%ADa%20S alvaterra.> [Consultado: 7 11 2019].

SEGOB, S. d. G., 2014. *Diario Oficial de la Federación*. [En línea]  
Disponibile en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342492&fecha=28/04/2014)  
[Consultado: 09 10 2019].

SEMARNAT , H. Ayuntamiento Xalapa & Fondo Golfo de México, 2019. *Primer Informe del Estudio Vulnerabilidad ante El Cambio Climático en Xalapa y Tlalnelhuayocan, Veracruz*. Xalapa: ONU Medio ambiente.

SEMARNAT, 2014. *El Medio ambiente en México 2013-2014*. [En línea]  
Disponibile en:  
[https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_resumen14/05\\_atmosfera/5\\_2\\_2.html#:~:text=El%20Medio%20Ambiente%20en%20M%C3%A9xico%202013%2D2014&text=Los%20gases%20de%20efecto%20invernadero,la%20quemada%20de%20combustibles%20f%C3%B3siles.](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_resumen14/05_atmosfera/5_2_2.html#:~:text=El%20Medio%20Ambiente%20en%20M%C3%A9xico%202013%2D2014&text=Los%20gases%20de%20efecto%20invernadero,la%20quemada%20de%20combustibles%20f%C3%B3siles.)  
[Consultado: 06 2020].

SETUES, 2020. *Loreto Información estratégica*, La Paz BCS: Gobierno del Estado de Baja California Sur.

Soto, G. & Herrera, M., 2019. *Cambio climático y agua en ciudades: impactos en la Ciudad de México. Aspectos científicos y políticas públicas*. Ciudad de México: UAM Cuajimalpa.

Torres, J., Magno, J., Pineda, R. & Cruz, M., 2018. Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo-Lurigancho. *Revista de Investigación Ciencia Tecnología y Desarrollo*, pp. 1-17.

Treviño, J., 2020. *Etimologías de Chile.net*. [En línea]  
Disponible en: <http://etimologias.dechile.net/?resiliencia> [Consultado: 15 11 2020].

UNESCO, ONU AGUA, 2020. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*. París: UNESCO.

World Wildlife Fund, 2020. *World Wildlife Fund*. [En línea]  
Disponible en: [https://www.wwf.org.mx/que\\_hacemos/cambio\\_climatico\\_y\\_energia/](https://www.wwf.org.mx/que_hacemos/cambio_climatico_y_energia/)

Zarza, L., 2017. *iagua.com*. [En línea]  
Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/laura-f-zarza/desertificacion-y-sequia-otra-cara-agua>  
[Consultado: 11 09 2020].

## **Anexos**

### **1. Análisis territorial de Cd. Loreto**

Este apartado comprende de la descripción del espacio territorial y los escenarios pronosticados por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático (INECC).

Se expone como el espacio territorial fue delimitado y seleccionado a partir de los datos proporcionados por el INECC, debido a su nivel alto de vulnerabilidad futura (2015-2039) y un mayor número de municipios expuestos y vulnerables, posteriormente se seleccionó uno de los 9 sitios con vulnerabilidad ante un incremento del nivel medio del mar en BCS, lo cual derivó en la selección de la Ciudad de Loreto.

Para ello se han revisado los datos existentes sobre los Estados de la República mexicana donde hay una mayor vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, esto en relación a las diferentes condiciones como:

El aumento de la temperatura promedio global de los océanos y la superficie terrestre, acidificación del mar, aumento de la temperatura superficial de los océanos, alteración de la abundancia de algas, plancton y peces en los ambientes marinos, modificación de los patrones naturales de precipitación, inundaciones recurrentes, sequías más prolongadas, aumento en el número de días y noches cálidas a nivel global, disminución en la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico, disminución en la productividad agrícola y otros (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2018)

Los datos obtenidos del Instituto Nacional de Ecología y cambio climático (INECC, 2016) donde se reconocieron los municipios más vulnerables a los efectos del cambio climático por entidad federativa (Figura 24).

Figura 24. Municipios más vulnerables al cambio climático por entidad federativa

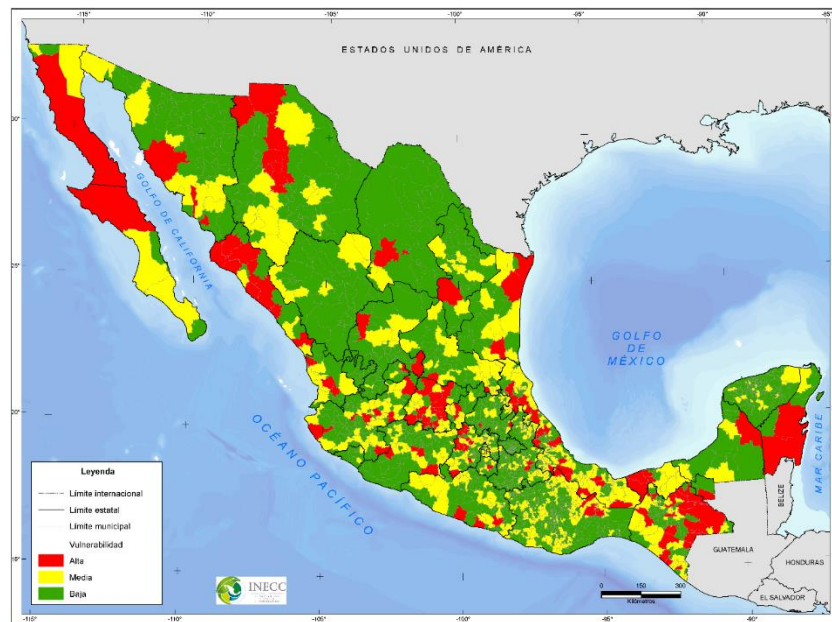


Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016

Como se puede observar es el Estado de Baja California donde se ubican los municipios más afectados y en mayor proporción territorial. La Figura 25 muestra la vulnerabilidad baja, media y alta de los municipios en México y se puede ver nuevamente al Estado de Baja California con los índices mayores de vulnerabilidad alta.



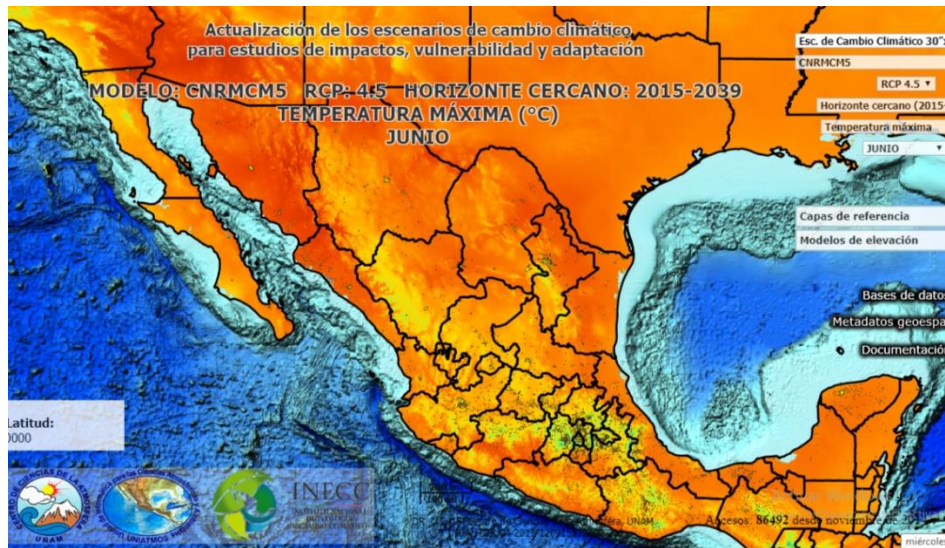
Figura 25. Vulnerabilidad al cambio climático en los municipios de México



Fuente: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2016

Se observa que las zonas costeras son las que presentan mayor riesgo, BCS presenta riesgo medio y alto en todo el Estado. Específicamente la temperatura se pronostica de acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y cambio climático en su Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en relación a un escenario cercano para el 2015-2039, con una máxima de 34.1 °C en el Estado de Baja California Sur, durante el mes de junio cuando se observan las temperaturas más altas (Figura 26), en comparación con 23.9 °C en la zona centro del país, siendo el rango para el confort térmico de entre 20 y 25 grados Celsius .

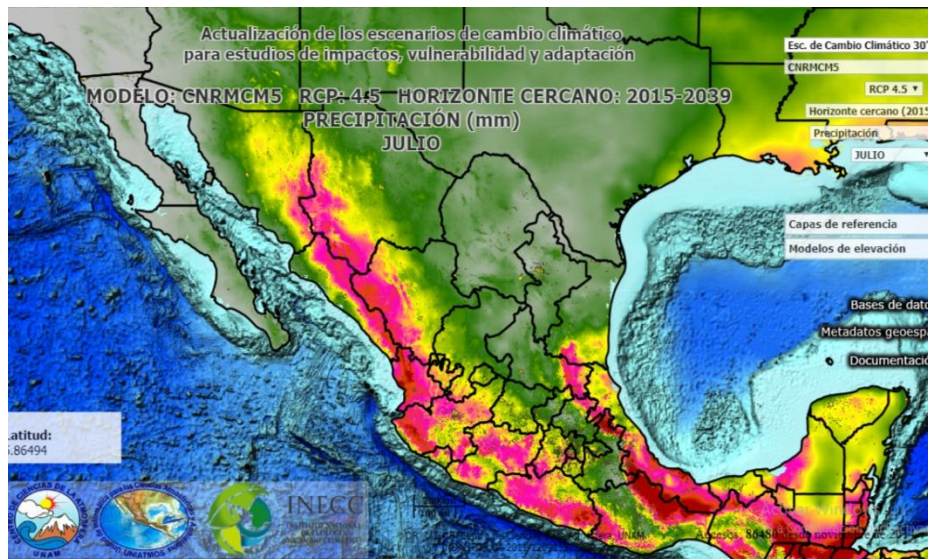
Figura 26. Mapa de escenario cercano de temperatura máxima



Fuente: Mapa de Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación, disponible en:  
[http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios\\_cu/act\\_escenarios.html](http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios_cu/act_escenarios.html)

En relación a la precipitación (Figura 27) se observan niveles bajos en la zona norte del país, se prevé se contarán con 26 mm en el mismo estado, en comparación a los 184 mm promedio en la zona centro del país donde se observa un nivel adecuado del nivel pluvial.

Figura 27. Mapa de escenario cercano de precipitación.



Fuente: Mapa de Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación, disponible en:  
[http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios\\_cu/act\\_escenarios.html](http://www2.inecc.gob.mx/cgacc/escenarios_cu/act_escenarios.html)

Del análisis realizado se identifica que el Estado de Baja California presenta mayores escenarios adversos en sus municipios ante fenómenos hidrometeorológicos por el cambio climático sobre todo en relación a temperaturas máximas (sequías) e inundación por aumento del nivel del mar debido a su amplia área costera, tal como se resume en la Tabla 27.

Tabla 26. Principales fenómenos ante el cambio climático en Baja California.

<i>Fenómeno</i>	<i>Nivel</i>
<i>Tendencia a temperaturas máximas</i>	alta
<i>Ciclones</i>	Muy alta
<i>Sequías</i>	alta
<i>Inundaciones</i>	alta
<i>Subíndice de Fenómenos Extremos Todos los peligros 2000-2015</i>	alta

Fuente: elaboración propia

Incluso, el *Plan Estatal de acción ante el cambio climático de Baja California (2012)* reconoce que...

”La extrema vulnerabilidad de la entidad derivada de su ubicación geográfica y condiciones específicas, con principales impactos reales y potenciales del cambio climático. Al amenazar los recursos hídricos, provocar ciclones más fuertes e inundaciones, acelerar la desertificación, e impactar negativamente la biodiversidad y poblaciones naturales marinas y terrestres, el calentamiento encarece los costos para mantener niveles de confort y seguridad suficientes que permitan realizar las actividades productivas y la vida cotidiana de la población.

Estos impactos tienen consecuencias adversas en la sociedad y economía del estado: actividades productivas como el turismo, las demás ramas de servicios, la pesca y la agricultura han de dedicar una parte mayor de su presupuesto, por ejemplo, a contrarrestar el calor; mientras que la ganadería enfrenta el aumento de costos de producción por la falta de forrajes ante el estrés hídrico. Por su parte, la población es afectada por la escasez de agua, encarecimiento de la electricidad, mayores riesgos de salud pública y ante eventos

extremos; y los gobiernos afrontan presiones mayores en sus funciones de atención a los habitantes y sectores económicos.” (PEACCBBCS, 2012, p. 25)

En el Plan Estatal de acción ante el cambio climático de Baja California (2012) se hace referencia a las ciudades con mayor vulnerabilidad ante el incremento del nivel del mar, se observó la probable vulnerabilidad ante un incremento del nivel medio del mar en Baja California Sur (Figura 28).

Figura 28. Sitios con probable vulnerabilidad ante un incremento del nivel medio del mar en Baja California Sur.



Fuente: (Ivannova & Gámez, 2012, p. 49)

Se reconocen 9 ciudades en BCS en vulnerabilidad por aumento del nivel del mar, entre ellos Guerrero Negro, Los Cabos, Santa Rosalía, Loreto, La Paz y otros, los valores se observan en la Tabla 28 de acuerdo su índice de vulnerabilidad.

Tabla 27. Vulnerabilidad total a la elevación del nivel del mar de los nueve sitios estudiados en BCS

Sitio	Vulnerabilidad
Los Cabos	2.4
La Paz	2.0
Loreto	1.9
Guerrero Negro	1.8
Laguna San Ignacio	1.7

La Poza Grande- San Carlos	1.7
Puerto Chale	1.7
Santa Rosalía	1.6
La Ventana- El Sargento	1.5

Fuente: (Ivannova & Gámez, 2012)

Aunque se hace referencia a Los Cabos y La Paz como los que se encuentran con un mayor índice se ha seleccionado La ciudad de Loreto como el caso de estudio debido a los reportes que se tiene en relación a la demanda de infraestructura y del recurso en las viviendas además la falta de apoyo municipal y vulnerabilidad por nivel socio económico para la adquisición.

Por lo anterior, se puede determinar que esta ciudad se caracteriza por dos factores importantes: se encuentra ubicada en una zona costera altamente vulnerable y por otro lado existe una demanda de viviendas y agua para el crecimiento en la ciudad. El periódico *El Sudcaliforniano* reporta que “por muchos años el crecimiento de esta ciudad se ha visto frenado ante la falta de viviendas para quienes cubren todos los requisitos para poder acceder a uno de los financiamientos que ofrecen instituciones públicas como Fovissste o INFONAVIT, lo que provoca que muchas familias tengan que rentar casas y pagar altos precios, impidiendo así que se consolide uno de los propósitos más importantes que es el de contar con un espacio propio para el desarrollo de la familia” (Chávez, 2017).

### **Contexto territorial de Cd. Loreto, B.C.S.**

El Municipio de Loreto se localiza en la parte central de Baja California Sur, la cabecera municipal es Ciudad Loreto, la cual tiene una ubicación en el centro de 26° 00' 38.97" latitud Norte y 111° 20' 31.77" latitud Oeste a una elevación promedio de 9 metros sobre el nivel del mar. Loreto está situada en la zona central de la Península de Baja California, frente al Mar de Cortés, a una distancia de 360 km. de La Paz (Figura 29). Loreto es la ciudad más antigua de las Californias, siendo fundada como misión en 1697 es considerado el primer asentamiento humano de BCS; en la Sierra de San Francisco (SECTUR, 2014).

Figura 29. Ubicación de Loreto en Baja California Sur



Fuente: Google earth, fecha de consulta 18 de agosto 2018.

El municipio de Loreto está conformado por 8 subdelegaciones, siendo Loreto la Cabecera municipal, estos son: Colonia Zaragoza, San Javier, San Juan Londó, Ligüí-Ensenada Blanca, Agua Verde, San Nicolás, El Peloteado y Tembabiche; estos se observan en la Figura 30:

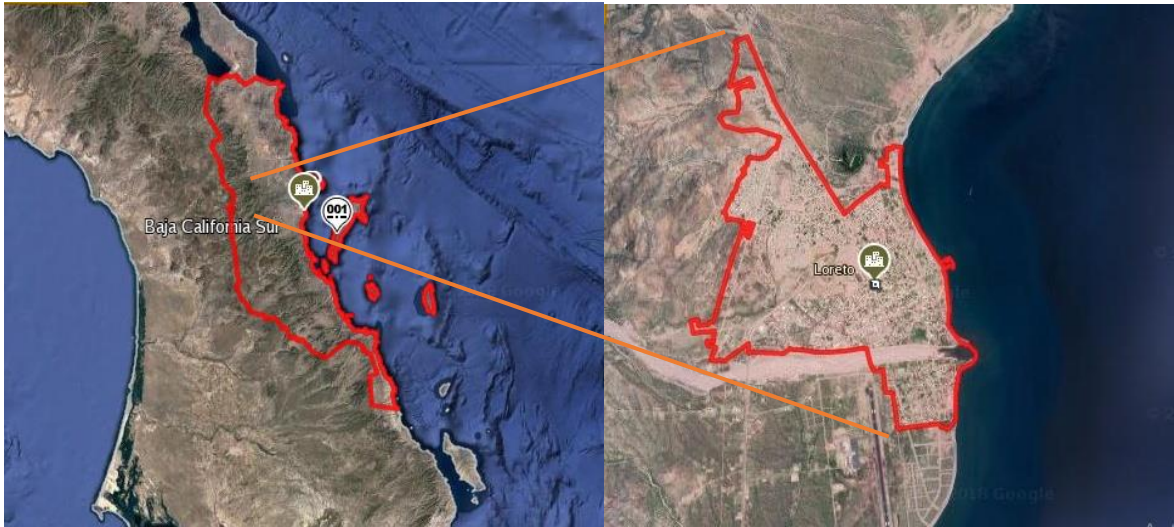
Figura 30. Localidades de Loreto, BCS



Fuente: Gobierno de Baja California Sur, 2015.

El clima predominante en el Municipio de Loreto es seco, con la variante de seco templado (BSK) en un 3.13% de la superficie del Municipio, muy seco, muy cálido y cálido (BW(h´) en un 30.69% y muy seco semi-cálido (BWh) en un 66.18% de la superficie (INEGI, 2002). Su localización se observa en la Figura 31.

Figura 31. Municipio Loreto (a la izquierda) y Ciudad de Loreto (a la derecha)



*Fuente: Inventario Nacional de Viviendas INEGI, disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>, fecha de consulta: noviembre 2018*

Específicamente la ciudad de Loreto dentro del municipio homónimo en BCS, presenta un clima cálido muy seco, la temperatura media en Ciudad Loreto es de 24.8° C de acuerdo al Programa Hídrico Estatal 2015-2021.

Las normales climatológicas del periodo de 1938-2016 de CONAGUA (2018) obtenidas de la estación climatológica 3035 mostraron una media de 24.3°C, se observa una temperatura mensual promedio de 24.3 °C, una máxima extrema en el mes de agosto de 39.30° C y una máxima de 36.14 también en el mes de agosto. En el caso de la temperatura mínima sucede en el mes de enero con 11.28 °C y una mínima extrema de 7.09 °C. La Tabla 29 muestra estas normales climatológicas del lugar.

Tabla 28. Temperatura, normales climatológicas periodo 1938-2016

1938-2016	E	F	M	A	M	JN	JL	A	S	O	N	D	Promedio
Min. ext	7.0	7.5	8.8	10.1	13.5	17.12	22.14	23.27	21.32	16.51	11.62	8.1	14
min	11.28	11.52	12.94	15.08	18.04	22.26	25.98	26.40	25.20	21	16.21	12.7	18.2



Media	17. 38	18. 07	19. 77	22. 07	24.9 9	28. 48	30. 95	31. 27	30. 37	27. 04	22. 29	18.6	24.3
máx	23. 47	24. 61	26. 60	29. 05	31.9 4	34. 70	35. 91	36. 14	35. 55	33. 09	28. 37	24.5	30.3
Máx ext	27. 94	29. 42	31. 87	34. 52	37.0 6	39. 02	39. 19	39. 30	38. 79	37. 27	32. 81	29.2	34.7

Fuente: Normales climatológicas de estación 3035 de CONAGUA (2018)

Las variables climatológicas permiten prever el comportamiento del ciclo del agua en el caso del agua retenida en el humedal artificial propuesto; es decir en qué época podría tener una menor cantidad de agua por el efecto de evaporación y sequías o en cual estaría menos afectado por las características climáticas. También permiten identificar el comportamiento climatológico para la propuesta de las plantas y la vegetación que resista de ser necesario a las variables térmicas.

En la revisión de las normales climatológicas en relación a la precipitación y evaporación proporcionadas por la Comisión Nacional del Agua se observaron los siguientes datos de las Tablas 30 y 31:

Tabla 29. Precipitación, normales climatológicas periodo 1938-2016

1938- 2016	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Acu m	Prom
Min.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
media	11.1 21	5.09 7	1.24 59	0. 19	0.1 3	0.86	6.83	37.21	61.60	20.0	6.27	12.54	155.4	13.7
Máx.	82.2	58	30	11 .8	5.9	41.8	65	198.5	373.8	198.4	117	103.4	547.1	46

Fuente: Normales climatológicas de estación 3035 de CONAGUA

Tabla 30. Evaporación, normales climatológicas periodo 1938-2016

1938-2016	EN E	FE B	MAR	AB R	MA Y	JU N	JU L	AG O	SE PT	OC T	NO V	DIC	Acu m	Prom
Min.	11.4 6	12.3	17.39	21.4 7	20.8 7	23.6 2	24.7 7	23.6 3	22.0 6	19.3 4	12.6 2	11.64	117.7	18.3
media	93.3 3	107. 23	144.8 3	171. 34	201. 9	213. 29	214. 49	195. 26	170. 39	158. 85	117. 02	94.12	1618. 3	155
Máx.	171. 5	152. 6	192.7	223. 89	268. 6	283. 9	302. 4	259. 7	260. 2	226. 3	181. 3	145.3	2445. 2	203.8

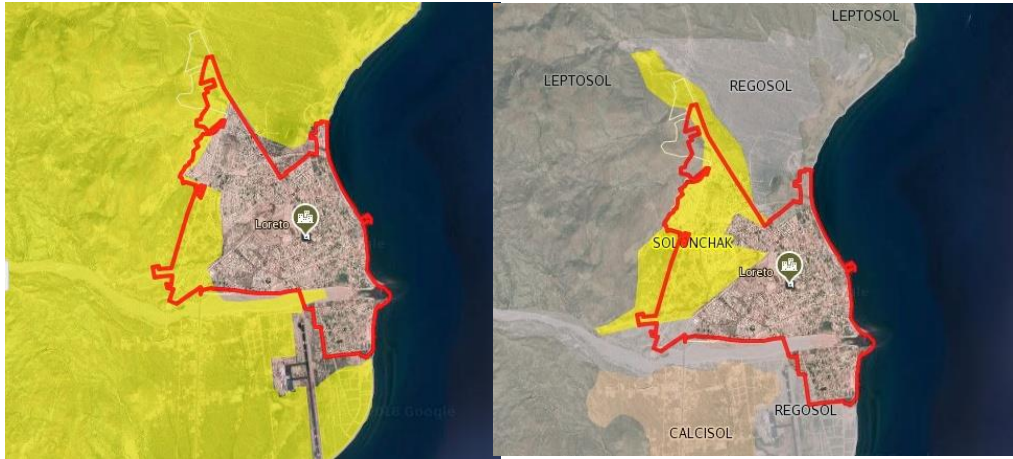
Fuente: Normales climatológicas de estación 3035 de CONAGUA

En el periodo de 1938-2016 hubo un máximo en septiembre de 373.8 mm siendo un mes excepcional ya que el promedio máximo es de 46 mm, una media de 13.7 por lo que indica niveles bajos de precipitación, también indican un mínimo de cero durante todos los meses del año, lo que muestra que la lluvia puede ser muy intermitente y escasa.

Estos datos permiten reconocer el estado real del comportamiento del agua y el momento en el que se puede acentuar la escasez y aumentar la demanda, que, como pudo conocerse esto sucede prácticamente 6 meses de mayo a octubre con las temperaturas más altas.

Por otra parte, respecto al tipo de vegetación en el área no urbanizada (matorral) es de tipo xerófilo, sus características del suelo son predominantemente agrícolas con método de control de riego, con exceso de sales: solonchak. Se observa a continuación en la Figura 32.

Figura 32. Vegetación (a la izquierda) y Uso de suelo (a la derecha) de ciudad Loreto.



Fuente: Inventario Nacional de Viviendas INEGI, disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>, fecha de consulta: diciembre 2018

Como se muestra en el mapa este tipo de suelo y de vegetación se localiza especialmente en la zona de la ciudad donde no hay urbanización, las áreas verdes dentro del perímetro urbano se observan con vegetación xerófila endémica del sitio, motivo por el cual se debe seleccionar vegetación acuática específica para climas cálidos para el humedal.

“Este municipio guarda una de las conformaciones de mayor contraste, por la belleza de sus playas y los imponentes y fantásticos acantilados de roca volcánica que configuran la sierra de La Giganta, cordillera que se desprende de la parte alta de la Baja California y que presenta una altitud de 1,680 metros sobre el nivel del mar, la quinta elevación del estado, en cuyo entorno se identifican formaciones de piamonte, terrazas, aluvión, con características topográficas diversas; así como salitrales, dunas y esteros propios de la zonas costeras del Golfo de California.” (Enciclopedia de los Municipios, s.f.)

Dicho tipo de suelo donde se localizaría el humedal no resulta impedimento para la realización del mismo, debido a que se realizaría una preparación previa del suelo mediante la utilización de arena gruesa (de acuerdo a Hoffman y otros (2011), este es el sustrato más adecuado en el tratamiento de aguas residuales o aguas grises para los países en desarrollo o países en transición con clima cálido hasta templado) como sustrato para la filtración y el geotextil o geomembrana requerida para evitar la infiltración a subsuelo. El lecho de

arena a implementar en las capas del humedal deberá tener un espesor de 40 a 80 cm, que es la parte biológicamente activa del filtro, el espesor depende del objetivo de tratamiento.

Se puede identificar también que las características físico-naturales marcan la pauta para la selección del tipo de arenas o geotextiles a implementar y de especies vegetales a utilizar en el humedal. Como opciones de vegetación para clima cálido diferente a la xerófila existente en el lugar se tiene el papiro egipcio, papiro, paragüita, Papiro enano, Espadaña de hoja ancha, Especies de género Heliconia: Canna: Zantedeschia: Calla Lily, Vetiver y bambú (pequeñas especies ornamentales).

## **2. Sociedad Cd. Loreto**

El conocimiento sobre contexto social de la ciudad permite saber tres criterios; uno: que tan abiertas estarían las personas para la implementación de sistemas alternativos para el tratamiento y reúso del agua en su vivienda dos: para ser educados en el funcionamiento y mantenimiento del sistema de humedal y tres: para conocer en su caso, las posibilidades económicas de la población para la adquisición de algún tipo de sistema en sus hogares.

De acuerdo con la Secretaría de Salud del estado, el municipio de Loreto tiene una población estimada hasta el 2017 de 22,415 habitantes según estimaciones con base en las Proyecciones de Población de México 2010-2018; la Ciudad de Loreto tiene 19,719 habitantes, es decir aproximadamente el 88% de la población total (Secretaría de Salud , 2017).

Este dato de población será retomado para el cálculo y diseño del humedal para el tratamiento de la población total de la ciudad.

En relación específica a la vivienda, el número total de viviendas particulares habitadas en Loreto para 2010 es de 4,715, que creció a una tasa promedio de 4.9% anual entre 2000 y 2010. A nivel municipal el promedio de ocupantes por vivienda es de 3.5 personas, similar

a los de los municipios de La Paz y Mulegé. La disponibilidad de servicios en la vivienda con datos del 2010 se reportó de: agua entubada del 87.3% de las viviendas, energía eléctrica 89.2% y un 90.7% de las viviendas cuenta con drenaje (Gobierno de Baja California Sur, 2015). Se observan los bienes y tecnología con la que cuentan en la Tabla 37:

Tabla 31. Bienes y servicios en las viviendas del municipio de Loreto (2010).

<i>Bienes o servicios</i>	<i>Viviendas</i>	<i>%</i>
<i>servicios</i>		
<i>Agua entubada</i>	3,966	87.3
<i>Energía eléctrica</i>	4,055	89.2
<i>drenaje</i>	4,122	90.7
<i>Bienes y tecnología</i>		
<i>Radio</i>	3,273	72
<i>televisor</i>	4089	90
<i>refrigerador</i>	3663	80.6
<i>Lavadora</i>	3100	68.2
<i>Computadora</i>	1653	36.4
<i>Línea telefónica</i>	1311	28.8
<i>Teléfono celular</i>	3636	80
<i>Internet</i>	1185	26.1
<i>automóvil</i>	3442	75.7
<i>Material en pisos</i>		
<i>Tierra</i>	399	8.8
<i>Cemento o firme</i>	2969	65.3
<i>Madera, mosaico y otros</i>	114	25.2

Fuente: (Gobierno de Baja California Sur, 2015)

Se puede resaltar que no es abastecido el 100% de las viviendas en lo relacionado a los servicios que son de competencia municipal, en lo que respecta al agua en el año 2010 el

servicio de agua y energía eléctrica se acercaban al 90% de abastecimiento y el drenaje estaba dentro del 90%.

En relación a la tenencia, la mayor parte de las casas son ocupadas por sus propios dueños, ya que, del total de las viviendas particulares habitadas, el 74.4% son propias. El resto corresponde a las alquiladas (18.1%) o en otra situación (5.7%). La forma de adquisición de las viviendas propias es como sigue: 20.5% mediante compra, 33.9% mandadas construir, 37.8% de autoconstrucción, y el restante 6.3% mediante otra forma. Loreto es el municipio con la menor proporción de viviendas adquiridas por compra, y al igual que Los Cabos, el de mayores niveles de autoconstrucción (Gobierno del Estado de Baja California Sur, 2015).

Estos datos son relevantes ya que se observa que la forma de abordaje para la introducción de posibles sistemas alterativos para el abastecimiento y re-uso de agua deberá ser propuesto tanto para viviendas aisladas como en conjunto.

Se realizó un análisis en lo general y posteriormente en lo particular sobre la población en la ciudad, principalmente se identificó la edad promedio y la actividad económica que prevalece en el sitio y si se encuentra en algún nivel de rezago social de acuerdo a los datos de CONEVAL. La Tabla 38 muestra un total hasta el 2015 de 14,487 habitantes en el rango de edades que aparece a continuación:

Tabla 32. Características de las habitantes en los hogares de cd. Loreto

Población	Total
0 a 14 años	4031
15 a 29 años	3717
30 a 59	5622
60 y mas	971
Con discapacidad	146
Actualización 2010-2015	14,487

Fuente: Inventario Nacional de Viviendas INEGI, disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>, fecha de consulta: diciembre 2018

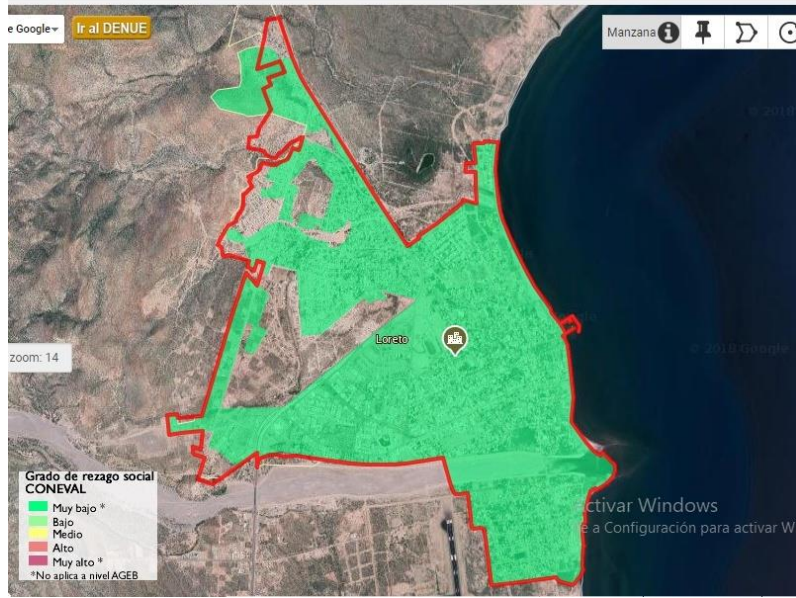
Como se puede observar en la tabla 1, la moda en la edad de los habitantes es de 30 a 59 años, con lo que se podría considerar que en los hogares existen personas que podrían tener la madurez para dar mantenimiento al sistema de humedal.

Esta población es económicamente activa y al igual que la población las actividades principales del municipio están concentradas en la ciudad, dichas actividades económicas son: ganadería la cual en 2014 fue de 479.4 toneladas un 7.5% del total estatal, pesca en la cual su producción total en el año 2014 fue de 749.1 toneladas de productos pesqueros, que representan el 0.6% del volumen de producción estatal y en menor proporción la agricultura su aportación a la producción estatal (2013) sea de menos del 1.0%.

La principal actividad económica en este municipio es el turismo. Destacan las opciones de turismo cultural, en la zona de Loreto, declarado recientemente Pueblo Mágico, ya que constituye una región con una riqueza histórica invaluable; a partir de 2010 este puerto inicia una recuperación paulatina. En 2014 alojó a 87 mil 181 visitantes (Gobierno de Baja California Sur, 2015).

Con respecto al rezago social, se observó en el mapa del Inventario de viviendas de INEGI que existe un grado muy bajo de este como se observa en la Figura 36.

Figura 33. Grado de rezago social en ciudad Loreto.



Fuente: Inventario Nacional de Viviendas INEGI, disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>, fecha de consulta: diciembre 2018

Con el dato anterior permite saber que a la población le es posible contar con indicadores favorables de educación y de posibilidad económica para la inversión, lo que favorecería la implementación del sistema de humedal. Aunado a ello se conoce que de acuerdo a entrevistas realizadas por (Campos, 2017) la gente tiene una actitud positiva respecto a la implementación y la inversión económica en relación a sistemas ahorradores de agua y su manejo sustentable, por lo que sería cuestión de plantearles el proyecto y sus beneficios.

Sobre las características de la población que habita y la generalidad en las casas se encontró que a nivel municipal el promedio de ocupantes por vivienda es de 3.5 personas, similar a los de los municipios de La Paz y Mulegé; el 74.4% de las viviendas son propias y sus características se muestran en la Tabla 39.

Tabla 33. Características de las viviendas en Cd. Loreto



Loreto, ciudad	total
Manzanas	505
Vivipart	5,558
Vivihab	4,419
VivParthab	4,348
Part no hab	989
Rec en piso	3,902
Con energía eléctrica	3,993
Agua entubada	3,828
Drenaje	3,928
Con servicio san	4,039
3 o más ocup x cuarto	248
Actualización2010-2015	

Fuente: Inventario Nacional de Viviendas INEGI, disponible en:  
<http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/inv/>, fecha de consulta: diciembre 2018

De un total de 4,419 viviendas habitadas 3,828 tiene agua entubada y 3,928 drenaje, es un dato importante ya que si en el 2015 ya existía esta situación de carencia hídrica lo que dentro de unos años con los efectos del cambio climático esta realidad se acentuará.

El tratamiento de aguas es más importante en lugares donde no se tienen estos servicios porque se acentúa la contaminación del recurso y como se identificó en esta ciudad no hay tratamiento de agua, sin embargo, se observa la presencia de una Planta de tratamiento, pero no se ha podido obtener ningún tipo de información sobre su funcionamiento o caudal tratado.

Lo anterior permite destacar que se requiere de una forma de desarrollo urbano más resiliente que evite el daño medioambiental no solo en materia hídrica sino de importancia del ecosistema, lo cual ya ha sido identificado por parte de desarrollo urbano en la ciudad.

### 3. Recurso hídrico en Cd Loreto

Procedencia del agua en Ciudad Loreto.

Los acuíferos de la Loreto pertenecen a la Región hidrológica 6, denominada Baja California Sur-Este (La Paz), a la cual pertenecen las cuencas:

(A) - La Paz-Cabo San Lucas con un porcentaje de estatal del 9.89

(B) - Loreto - Bahía La Paz con un porcentaje de estatal del 3.57

(C) - A. Frijol - A. San Bruno con un porcentaje de estatal del 3.35 y dando un total de 16.81% del total de la región hidrológica del estado

El Oasis de la Sierra de la Giganta es el responsable de captar y transportar el agua que recargan los acuíferos que están a sus pies, de los cuales dependen ciudades como Loreto (CONAGUA, 2015).

Para el abastecimiento de agua en la ciudad se basan el acuífero Loreto (B) ubicado dentro del municipio, el cual es reabastecido por el acuífero de San Juan Bautista Londó, ubicado al norte de la ciudad.

La recarga total ( $R_t$ ) que recibe el acuífero Loreto está integrada básicamente por las entradas subterráneas ( $E_h$ ) y la recarga vertical por lluvia y por los escurrimientos a lo largo del cauce de los arroyos ( $R_v$ ), el comportamiento de las entradas al río San Juan Londó es el mismo.

En cuanto a las salidas de los acuíferos en la ciudad (Tabla 32) se reporta de la siguiente manera:

Tabla 34. Características de las salidas de los acuíferos

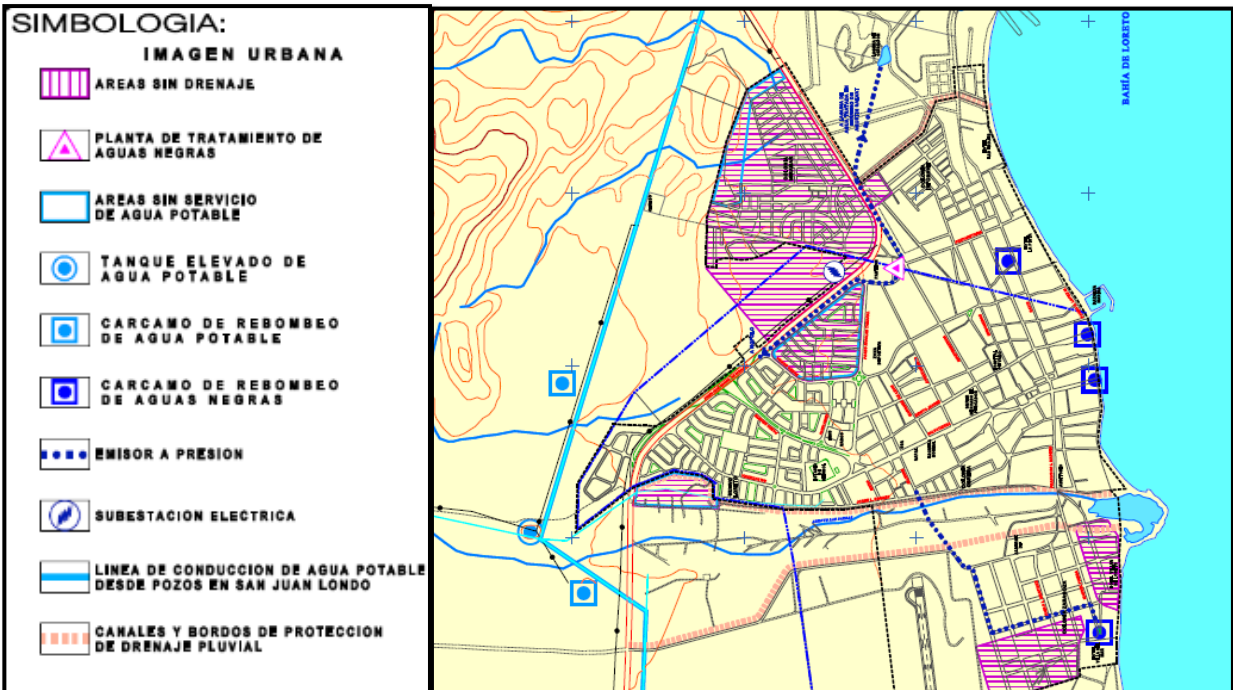
<b>A. Loreto</b>	
<b>Salidas</b>	La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh) y la evapotranspiración (ETR). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del río:
Evotranspiración	Dentro de las áreas de balance definidas, sólo existen pequeñas zonas en Loreto y Nopoló donde los niveles estáticos se encuentran a profundidades menores a 10 m de profundidad. Se considera que los volúmenes que pueden escapar a la atmósfera por este concepto son muy pequeños. Por lo que ETR= 0
Bombeo	La extracción de agua subterránea en el área del acuífero ha variado a través del tiempo, disminuyendo en Loreto cuando se detectó la salinización y aumentando en las otras zonas. De acuerdo con la estimación más reciente, es del orden de 1.0 hm <sup>3</sup> /año, de los cuales 0.1 hm <sup>3</sup> /año se extraen de Loreto, 0.4 de Nopoló y los 0.5 hm <sup>3</sup> /años restantes de la zona de la de Puerto Escondido. Este volumen se emplea principalmente para abastecimiento de agua potable a la ciudad de Loreto.
Salidas subterráneas	Las salidas subterráneas que ocurren como descarga hacia el mar fueron calculadas de la misma manera como se evaluaron las entradas subterráneas, a partir también de la configuración de elevación del nivel estático presentada en la figura No. 5. El Valor estimado es de 2.6 hm <sup>3</sup> anuales que se descargan al Mar de Cortés. De ellos, 0.5 hm <sup>3</sup> /año corresponden a la zona de Loreto, 0.6 a Nopoló y los 1.5 hm <sup>3</sup> /año restantes a Puerto Escondido.
<b>A. San Juan Londó</b>	
<b>Salidas</b>	La descarga del acuífero ocurre principalmente por bombeo (B), las salidas subterráneas hacia el mar (Sh) y la evapotranspiración (ETR). No existen manantiales ni descarga de flujo base a lo largo del río San Juan:
Evotranspiración	En toda el área de balance los niveles estáticos se encuentran a profundidades mayores a 10 m de profundidad, por lo que se considera que no existe salida por este concepto. ETR = 0
Bombeo	La extracción de agua subterránea en el área ha variado a través del tiempo y de acuerdo con la estimación más reciente, es del orden de 6.3 hm <sup>3</sup> /año, de los cuales 6.1 hm <sup>3</sup> /año se extraen del valle de San Juan B. Londó y los 0.2 hm <sup>3</sup> /año restantes de la zona de la desembocadura de San Bruno. Este volumen se emplea principalmente para abastecimiento de agua potable a la ciudad de Loreto y para uso agrícola.
Salidas subterráneas	Las salidas subterráneas ocurren como descarga hacia el mar a través de la desembocadura de San Bruno, ya que esta se encuentra separada del valle de San Juan B. Londó mediante un parteaguas hidrodinámico. Considerando las componentes del balance planteado para la zona de la desembocadura de San Bruno, considerando la recarga total es de 1.4 hm <sup>3</sup> /año (1.1 de entrada subterránea Eh y 0.3 de infiltración vertical Rv), que el bombeo (B) es de 0.2 hm <sup>3</sup> /año y un coeficiente de almacenamiento cero, se tiene que: valor estimado Para Sh es de 1.2 hm <sup>3</sup> anuales.

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2020a) y (CONAGUA, 2020b)



La infraestructura detallada hasta el año 2005 en la ciudad para la distribución de agua potable se observa en la Figura 34.

Figura 35. Infraestructura en área urbana de Loreto



Fuente: (Gobierno de Loreto, B.C.S, 2015)

En este mapa se puede observar la presencia de una planta de tratamiento de aguas negras en la ciudad, las aportaciones de la zona urbana, escurren por gravedad por una red de colectores que vierten su líquido dicha planta; se conoce también que algunos desarrollos habitacionales no cuentan con planta de tratamiento, por lo que se supone tratan el agua en fosas sépticas (Programa Subregional de Desarrollo Urbano de la Región Loreto–Nopoló–Notrí–Puerto Escondido–Ligüí–Ensenada Blanca, 2007), los datos encontrados en relación al estado actual de reúso del agua tratada en el Municipio fueron del 0% de acuerdo a los Indicadores de competitividad y sustentabilidad de los pueblos mágicos de la (SECTUR, 2014), a excepción de la laguna de oxidación o laguna aeróbica ubicada dentro de la ciudad, en la cabecera municipal para la llegada del agua residual y su estabilización natural.

Respecto al estado del recurso en la ciudad es importante resaltar que en Loreto existen dos sitios Ramsar; la denominación como sitio Ramsar es utilizada para humedales de relevancia internacional especialmente como hábitat de aves acuáticas. Estos humedales son de importancia ambiental, social y económica, sus características se muestran en la Tabla 33.

Tabla 35. Sitios Ramsar en Loreto.

NOMBRE	SUPERFICIE	DESIGNACIÓN
Parque Nacional Bahía de Loreto	206,580.75 hectáreas	2/2/2004
<p>Las islas e islotes ocupan alrededor del 11.9% del parque y el resto del área, el 88.1%, es en su totalidad marina. Dentro de la poligonal del Parque se identifican cinco hábitats claramente diferenciados: bosques de manglar, mantos de rodolitos, lechos de sargazos, ambientes arenosos someros y hábitat rocoso multiespecífico. De las 3,452 especies reportadas para todo el Golfo de California, el 40.1 % (1,385 especies) se encuentra en la zona del Parque. Además, 89 especies se encuentran bajo alguna categoría de protección en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001 (Norma Oficial Mexicana NOM-059- ECOL-2001), que determina las especies de flora y fauna silvestres, terrestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazadas, raras y sujetas a protección especial, y que establece especificaciones para su protección) y en la lista de CITES. CONA</p>		
Oasis Sierra de la Giganta	41,181.38 ha	2/2/2008
<p>Se caracteriza por presentar pendientes escarpadas en la ladera oriental de la Sierra de la Giganta, con pequeñas llanuras aluviales costeras. En sus cañadas se localizan pozas que sirven de abrevaderos al borrego cimarrón (<i>Oviscanadensisweemsi</i>), la cual está listada bajo protección especial en la NOM-059-SEMARNAT-2001, tal como el Tejón (<i>Taxideataxus</i>), el águila real (<i>Aquila chrysaetos</i>) y especies vegetales incluidas en la misma clasificación.</p> <p>Se localizan cinco oasis, en orden de importancia por su extensión son: La Primer Agua, Ligüi, Tabor, Juncalito y Nutrí. La población más cercana a éstos es Loreto, la cual es uno de los asentamientos humanos más grandes de la mitad Sur de la Península de Baja California. En la costa se registra la presencia de pequeñas agregaciones de mangles. Las especies presentes en estas comunidades son <i>Avicenniagerminans</i>, <i>Lagunculariaracemosa</i> y <i>Rhizophora mangle</i>.</p>		

Fuente: elaboración propia con base en (RAMSAR.org, 2008) y (RAMSAR.org, 2004)

La relevancia de estos espacios radica no solo en el interés internacional por su conservación como área natural sino por las especies que viven en él; en el caso del Oasis de la giganta abastece no solo a las personas de la ciudad sino a las especies endémicas

como el borrego cimarrón que también subsisten del agua del sitio. Al contaminar, escasear o tener mala calidad del agua se afectan diferentes actividades de las personas, pero también del sistema biótico. En la Figura 35 se muestra una placa que define el lugar como patrimonio mundial cultural y natural.

Figura 36. Placa de UNESCO, bahías de Loreto como Patrimonio mundial cultural y natural



Fuente: fuente propia

#### 4. Tratamiento del agua en Cd. Loreto

Sobre el tratamiento del agua residual de Loreto se identificó que existen 3 Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), una de ellas ubicada en la cabecera municipal a un lado del panteón, conocida como Loreto I, de las otras dos se desconoce la ubicación exacta la cual es fuera de la ciudad. De las PTAR mostradas en la Tabla 34 se tienen los siguientes datos:

Tabla 36. Plantas tratadoras de agua residual de Loreto

<b>Nombre y ubicación</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Caudal tratado</b>	<b>Cuerpo receptor</b>
<b>Loreto I</b> Loreto	Lodos activados	60 l/s	42 l/s	Campos de golf y áreas verdes
<b>Loreto II,</b> Nopoló	Lagunas de estabilización	60 l/s	10 l/s	Infiltración al subsuelo
<b>Nopoló</b> Nopoló	Lodos activados	30 l/s	8 l/s	Campos del golf
<b>Total</b>			<b>60 l/s</b>	

Fuente: elaboración propia con base en (CONAGUA, 2015)

Cabe señalar que en los reportes de la CONAGUA (2015) se hace la observación que en el caso de Loreto II, se encuentra en malas condiciones de operación.

Se sabe que las denominadas aguas negras de la ciudad son bombeadas y enviadas a la PTAR y posteriormente a la laguna de oxidación ubicada cerca de la ciudad, algunas de las otras tienen salidas al mar. Lamentablemente no se han recibido los datos exactos del caudal de agua tratado por las PTAR, por lo que no se conoce la producción anual promedio para determinar la relación del agua tratada y la extraída.

Si se consideran los datos antes citados de 60 l/s podría decirse que en un supuesto caso favorablemente óptimo en donde las 3 plantas reportadas funcionan y tratan el agua de la ciudad los 365 días del año las 24 horas del día, se estarían tratando 1, 866, 240,000 litros que corresponderían a 1.86 hm<sup>3</sup> /año que en relación a los 4.3 hm<sup>3</sup> /año extraídos de los acuíferos corresponden a un 41.86% de agua tratada en relación a la extraída.

Lo anterior deja ver que no es tratada ni la mitad del agua que se utiliza en la ciudad y se requiere de mejorar estas condiciones para mejorar las expectativas para la vida silvestre y humana en el sitio, ya que se está rompiendo con el planteamiento de la ingeniería ecológica basado en que los ecosistemas se utilizarán en beneficio de la humanidad sin destruir el equilibrio ecológico.



## 5. Datos normativos y legislativos, medio ambiente y agua

Respecto a la legislación específica que permita en el Estado y el Municipio de Loreto un posible desarrollo de las estrategias emitidas con apoyo del modelo se encontraron y analizaron diferentes leyes y programas relacionados con el agua, medio ambiente y el cambio climático. Dichas leyes o políticas públicas de acción colectiva en favor del medio ambiente y la sociedad podrían derivar en programas sociales en los que sería posible introducir al sistema de humedales para su funcionamiento, ya que como es conocido para que una política o programa tenga un mejor apoyo se requiere de involucrar al gobierno, la sociedad y el sector privado.

Respecto a las Leyes estatales que se conocen y sus fechas de emisión son las siguientes mostradas en la Tabla 35.

Tabla 37. Regulación referente al agua en Baja California

Leyes	Reglamentos
Ley de Aguas del Estado de Baja California Sur (31Oct2016)	Reglamento de la Ley de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente del Estado de Baja California Sur (10Jun1994)
Ley de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente en el Estado de Baja California Sur(10Sep2018)	Reglamento para la Protección al Ambiente y la Preservación Ecológica para el Municipio de Loreto (31Dic2000)

Fuente: Elaboración propia

Es importante destacar que en el artículo 16 de la Ley de Aguas del Estado de Baja California Sur (2016) se detalla que...

*Los Municipios o los prestadores de los servicios serán responsables del tratamiento de las aguas residuales generadas por los sistemas a su cargo, previa su descarga a cuerpos receptores de propiedad nacional, conforme a las condiciones particulares de descarga determinadas por la Comisión Nacional del Agua, de acuerdo con lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, y las Normas Oficiales Mexicanas. Y en el Artículo 70 se menciona que Los particulares podrán realizar el tratamiento de sus aguas residuales, previa su descarga al alcantarillado, sin necesidad de obtener concesión o celebrar los contratos a que se refiere esta Sección.*

Con lo anterior se denota que el municipio debería responsabilizarse del agua residual generada por los sistemas que este controla, situación que no se ha cumplido además se menciona no existe inconveniente para que los particulares realicen algún tipo de tratamiento de su agua residual ni los compromete a adquirir algún contrato con el mismo municipio o terceros.

Específicamente respecto a los Instrumentos de política pública en materia de cambio climático por entidad federativa el estado de Baja California Sur desarrollo en el año 2012 el Plan Estatal de Acción ante el Cambio Climático para Baja California Sur (PEACC-BCS), sin embargo, desde ese año no se ha encontrado reporte de algún seguimiento emitido o reporte de los resultados obtenidos.

En relación al agua el Plan mencionado anteriormente identificó las problemáticas en relación al cambio climático, en el cual menciona que

“El estado tiene una disponibilidad muy baja de agua y las perspectivas de presión sobre ese recurso en los años próximos es muy fuerte (86%); además de que presentarán índices más graves de sequía, de fuerte a muy severa, aumentando las zonas secas del estado en 30%. En ese panorama, sería recomendable pensar tanto el crecimiento económico como poblacional de las zonas donde el turismo es central (como Los Cabos y Loreto) en términos de un esquema de planeación y coordinación público-privado explícito que atienda los efectos del cambio climático sobre el sector pero también a la inversa ...a través de Los Cabos y Loreto, el estado de Baja California Sur es reconocido mundialmente en el mercado turístico internacional y sus condiciones ambientales son aún, con excepción del agua, favorables para su crecimiento futuro.” (Ivannova & Gámez, 2012)

Al respecto en dicho Plan determinaron ejes estratégicos de acción de manera general en el estado, en este plantean en el eje estratégico referente al agua aspectos de observación, actuación y seguimiento, de las cuales se destacan aquellas que involucran el sector vivienda en la Tabla 36:

Tabla 38. Ejes estratégicos de acción en relación al agua en el PEACC-BCS

Objetivo	Viabilidad
I.1.5 Incrementar el uso de aguas tratadas I.1.5.1 Aumentar la infraestructura para tratar las aguas residuales (mejorando su calidad, aumentando su red de distribución). I.1.5.2 Intercambiar aguas grises por blancas en campos agrícolas. I.1.5.3 Instalar doble sistema de alcantarillado en fraccionamientos nuevos y en centro comerciales en donde se trate el agua que en estos desarrollos se produzcan y se reincorporen como agua gris en las casas y comercios.	Alta
I.1.10 Buscar apoyos por parte de ONG y otros organismos nacionales e internacionales para invertir en infraestructura hídrica, cultura del agua y sustitución de los sanitarios por ahorradores.	Alta
	Alta
I.3.2 Replantear una estrategia comprehensiva de cultura del uso del agua, incluyendo acciones conjuntas entre las diferentes dependencias relacionadas con el uso del agua.	Alta
V. 4.1 Eficientar la coordinación y difusión de los programas de gestión del agua y energía en BCS en condiciones de cambio climático.	Alta
4.2 Establecer criterios óptimos de uso del agua potable y tratada a las actividades cotidianas.	Alta
3.2 Promover el aprovechamiento de aguas residuales para otros usos.	Alto
2.10 Promover la cultura de efficientar el uso de agua en los hogares. VII.2.11 Usar agua salobre o del mar para los inodoros. VII.2.12 Instalar inodoros ahorradores de agua. VII.2.13 Utilizar llaves ahorradoras. VII.2.14 Reparar fugas domésticas. VII.2.15 Promover reúso del agua de la lavadora para riego. VII.2.16. Promover la implementación de huertos familiares.	Alto

Fuente: elaboración propia con base en (Ivannova & Gámez, 2012)

De estas estrategias se observa que se hizo énfasis en promover el uso de agua tratada, el punto 1.5 Incrementar el uso de aguas tratadas, el 4.1 Hacer eficiente la coordinación y difusión de los programas de gestión del agua y energía en BCS en condiciones de cambio climático y 4.2 Establecer criterios óptimos de uso del agua potable y tratada a las actividades cotidianas lo que permite suponer que se podría solicitar algún tipo de apoyo estatal. Cabe destacar que no se encontró registro de algún reporte de los resultados de estas estrategias propuestas ni si se implementó alguna de ellas.

Es importante conocer estos ejes de acción, pero visualizar que ya es una prioridad en el Estado actuar en relación a los efectos del cambio climático en relación al agua.

## **6. Retrospección de desastres previos.**

Efectos al medio ambiente derivado del uso del agua y el estado de las aguas residuales en Ciudad Loreto.

El carente o mal administrado tratamiento y cuidado del agua en ciudad Loreto ha traído consigo afectaciones en el medio natural y el medio artificial del asentamiento, principalmente a la salud humana, de flora y de fauna.

Al ser una ciudad principalmente turística Loreto no solo requiere de atención en sistemas hídricos para su subsistencia vital y para consumo, sino para la permanencia de sus actividades económicas que permitan mantener la economía y tener los recursos para invertir en el la Ciudad.

El problema del agua afecta al medio ambiente y genera problemas subsecuentes, por ejemplo, en el año 2015, se reportó en el periódico Crónica que en el mar de Loreto las playas fueron cerradas por estar contaminadas con enterococos los cuales generalmente están asociados a las descargas de aguas negras, la norma establece que para considerar óptima la calidad del agua debe presentar 200 enterococos por cada cien mililitros de agua y que en ese momento se detectaron hasta 2 mil 200 (Juárez, 2016).

La Comisión Estatal para la Protección Contra Riesgos Sanitarios, realizó los análisis correspondientes para poder abrir las playas, sin embargo, alimentos de mariscos en restaurantes ya estaban contaminados sin conocer que otro tipo de vida marina o aves ya habían sido afectados también (Juárez, 2016).

Las afectaciones al recurso hídrico derivado de los asentamientos humanos son de diversas fuentes, tales como el lixiviado producido por los residuos sólidos, escorrentía superficial agrícola y urbana, incluso filtraciones de descargas directas de actividades económicas como desechos pesqueros o industriales.

Un humedal artificial es capaz de tratar el agua, aunque se considera debe utilizarse preferentemente como un tratamiento secundario, esto sobre todo en relación al requerimiento de la reducción de materia en suspensión de sólidos y para el óptimo el rendimiento del humedal y conservación.

En el caso del agua que pasa previamente por una planta de tratamiento es posible un óptimo resultado, aumentando las posibilidades en comunidades pequeñas debido al mayor control y conocimiento de la procedencia del agua residual; además en el caso particular de estudio donde el agua está destinada para un segundo uso o una reincorporación a un medio sensible como lo es un humedal natural Ramsar, los humedales artificiales pueden contribuir significativamente a conseguir un alto nivel de depuración (Delgadillo, et al., 2010).

En este sentido, este trabajo contempla un sistema de humedales que permita tratar las aguas residuales negras (con desechos orgánicos) y las aguas grises (aguas residuales domésticas sin la descarga del inodoro). La cantidad de aguas grises generadas depende del nivel de ingreso del hogar como alternativa y respuesta a la carencia hídrica pronosticada. Los hogares sin conexión en la casa de agua potable y drenaje adecuado producen las aguas grises más concentradas, debido al menor consumo de agua y las prácticas existentes de reutilización en las cuales se busca optimizar el agua existente en dos o tres usos antes de su desecho, poniendo hogares en esta situación como premisa (Hoffman, et al., 2011).

En el caso de Ciudad Loreto de acuerdo a datos de CONAGUA (2015) el consumo promedio doméstico de agua corresponde a 230 litros por habitante al día considerando una clase socioeconómica media en clima cálido para la Ciudad de Loreto; por su parte el Programa de Desarrollo Urbano menciona 240 litros por persona como norma (PSDUR, 2007) por lo que al ser un clima seco la demanda de agua aumenta y el recurso escasea, al cambiar las condiciones climáticas.

Respecto al contexto físico-natural se encontró que al implementar un humedal artificial superficial el tipo de suelo del lugar no tendría afectación al mismo, ya que se incorporaría

un aislante determinado que forma parte del sistema del humedal. Al ser un sitio con vegetación xerófila la presencia de vegetación del humedal mejoraría en alguna proporción la humedad de la vivienda. El estado actual respecto al recurso hídrico en la ciudad es crítico debido a que la CONAGUA catalogó el acuífero de San Juan Londó como sobreexplotado por lo que el recurrir a sistemas alternativos para captación, tratamiento y reúso del agua potable es una situación imperativa que será tremendamente agravada como se observa en los escenarios de los efectos del cambio climático.