



CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A.C.  
POSGRADO EN CIENCIAS DEL AGUA

**VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DESDE LA PERSPECTIVA SOCIO-  
AMBIENTAL EN DOS LOCALIDADES DE QUINTANA ROO, MÉXICO**

TESIS QUE PRESENTA:

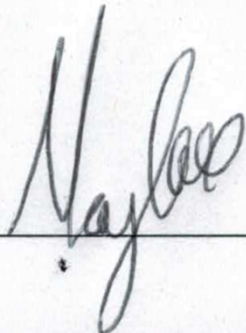
ING. EN BIO. NAYLA BERENICE MUÑOZ EUÁN

EN OPCIÓN AL TÍTULO DE  
MAESTRA EN CIENCIAS DEL AGUA

CANCÚN, QUINTANA ROO, MÉXICO A MARZO 2019

## DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Metodología, los Resultados y Discusión de este documento proviene de las actividades de experimentación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, éstos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.

Firma:  \_\_\_\_\_  
Nombre: Nayla Berenice Muñoz Euán

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C.

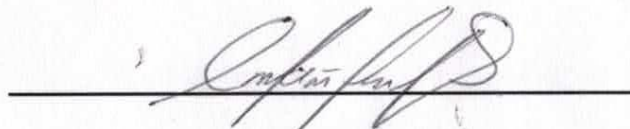
POSGRADO EN CIENCIAS DEL AGUA



#### RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis de **Nayla Berenice Muñoz Euán** titulado **“Vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental en dos localidades de Quintana Roo, México”** fue realizado en la Unidad de Ciencias del Agua, en la línea de calidad del agua y uso sostenible, en los laboratorios de: físico-químicos, bacteriología e ICP-OES, e hidrogeología y geomática, del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., bajo la dirección de los Dr. Diego Armando Casas Beltrán y el Dr. Gilberto Acosta González , pertenecientes al Programa de Posgrado en Ciencias del Agua de este Centro.

Atentamente.



Dra. Clelia De la Peña Seaman

Directora de Docencia

Mérida, Yucatán, México, a 12 de marzo de 2019

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco en primera instancia a mi comité de tesis, el cual incluye al Dr. Diego Armando Casas Beltrán, al cual le agradezco su constante atención, entusiasmo con la tesis y amistad, al Dr. Gilberto Acosta González por su apoyo tanto de forma profesional como personal en todo el proceso de la licenciatura y de maestría, a la Dra. Rosa María Leal Bautista, por la guía y consejos en mi tesis, así como para mi trabajo y mejora en mi vida profesional. Las visitas que realice durante el periodo de la tesis, me permitieron en primera instancia obtener herramientas y conocer a personas, como el Dr. Alejandro García Gastélum que me ayudo para aclarar mis ideas y enseñó a realizar indicadores, y al Oscar Frausto Martínez, el cual me proporciono la guía para concretar la construcción de indicadores y en la redacción de la tesis.

También aprovecho a agradecer a los Laboratorios de físico-químicos, bacteriología e ICP-OES, e hidrogeología y geomática, así como al Dr. Eduardo Cejudo Espinosa, a la Quim. Daniela Ortega, a la M.C. Cinthya Grimaldo, al M.C. Jorge Peniche, al Lic. Lina Ramírez y al Ing. en A. Miguel Hernández.

Gracias a mis compañeras de la maestría Jovana Arroyo y a Vania Aguilar, por su amistad y momentos especiales.

Gracias a los médicos, enfermeras y enfermeros que me cuidaron, cuando pase por momentos difíciles con lo de las piedras en mi riñón.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la Beca de Maestría 619064, otorgada para la realización de esta investigación.

Gracias a la Unidad de Ciencias del Agua, del Centro de Investigación Científica de Yucatán A.C.

Gracias a la Universidad Autónoma de Baja California, campus Ensenada.

## **DEDICATORIA**

*A mi madre Dalila Imelda Euán Estrella por su amor incondicional, paciencia, apoyo y valores.*

*A mi padre Valentín Muñoz Montiel, que a pesar de todo siempre ha estado ahí para mí.*

*A mi abuela Teresa Estrella, mi abuelo Fernando Euán, a mi abuelo Maurilio Muñoz y a mi tierna abuela Yolanda Montiel que en paz descanse por su amor incondicional.*

*A mis hermanas por apoyarme, ayudarme en los momentos de estrés, así como animarme con sus ocurrencias.*

*Al resto de la familia Euán y Muñoz, por sus enseñanzas durante la trayectoria de la maestría y de mi vida.*

*A mis amigas Vania, Jovana, Yaneli, Nayeli, Mallineli, Krystal y Jesica, por su ánimo y apoyo durante el tiempo desde que las conozco.*

*A mis amigos Francisco y Maximiliano, por escucharme, darme su ayuda y consejos.*

*A María Gloria Flores y a Alfredo Aguilar por cuidarme en Ensenada, ser mis amigos y darme su apoyo.*

*A los profesores por sus enseñanzas y compromiso hacia que yo mejore tanto en lo profesional como en lo personal.*

*A mi pareja Miguel Hernández Pedraza, por su amor, paciencia y comprensión en momentos difíciles.*

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1	VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO .....	7
2.1.1	Vulnerabilidad del recurso hídrico a nivel nacional .....	7
2.1.2	Vulnerabilidad del recurso hídrico a nivel peninsular .....	8
2.2	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO .....	15
2.3	VULNERABILIDAD SOCIAL DEL RECURSO HÍDRICO .....	20
2.3.1	Evaluación de la vulnerabilidad social del recurso hídrico .....	21
2.4	VULNERABILIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO.....	23
2.4.1	Evaluación de la vulnerabilidad ambiental del recurso hídrico .....	23
<b>3</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>28</b>
3.1	VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO A NIVEL MUNDIAL.....	28
3.1.1	Estudios de la vulnerabilidad del recurso hídrico alrededor del mundo .....	28
3.1.2	Estudios de la vulnerabilidad del recurso hídrico en México .....	30
3.2	VULNERABILIDAD SOCIAL DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE LA CALIDAD DE VIDA.....	34
3.3	VULNERABILIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE LA CALIDAD DEL AGUA.....	37
<b>4</b>	<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>42</b>
<b>5</b>	<b>HIPÓTESIS.....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>44</b>
6.1	OBJETIVO GENERAL.....	44
6.1.1	Objetivos específicos .....	44
<b>7</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>45</b>
7.1	ÁREA DE ESTUDIO .....	45
7.2	MÉTODOS .....	47
7.2.1	Trabajo de campo: Reconocimiento del área de estudio .....	47
7.2.2	Evaluación de la calidad de vida .....	47
7.2.3	Evaluación de la calidad del agua .....	48
7.3	MODELO DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DESDE LA PERSPECTIVA SOCIO-AMBIENTAL.....	51
<b>8</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>54</b>
8.1	ENTREVISTA SEMI-ESTRUCTURADA .....	54
8.1.1	Aspectos demográficos .....	54
8.1.2	Datos de la vivienda .....	56
8.1.3	Calidad del agua.....	59
8.1.4	Riesgos .....	59
8.2	RESULTADOS AMBIENTALES .....	62
8.2.1	Parámetros fisicoquímicos in situ.....	62
8.2.2	Parámetros fisicoquímicos ex situ .....	63
8.2.3	Parámetros bacteriológicos .....	64
8.3	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DESDE LA PERSPECTIVA SOCIO-AMBIENTAL .....	66
8.4	VALIDACIÓN DEL IVRH.....	68

8.5	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL COMPONENTE SOCIAL DEL RECURSO HÍDRICO ( $I_{SV}$ ) .....	69
8.5.1	Subíndice demográfico y de equipamiento ( $S_{DDE}$ ).....	72
8.5.2	Subíndice de servicios ( $S_{DS}$ ) .....	80
8.5.3	Subíndice de percepción de calidad del agua ( $S_{DCA}$ ) .....	87
8.5.4	Subíndice de la percepción de riesgos ( $S_{DRS}$ ).....	91
8.5.4.1	Indicador de percepción de riesgo: a afectación del recurso hídrico ( $I_{PRA}$ ) .....	95
8.6	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL COMPONENTE AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO ( $I_{AV}$ ).....	99
8.6.1	Subíndice de parámetros fisicoquímicos ( $S_{FQO}$ ).....	103
8.6.1.1.1	Indicador de pH ( $I_{pH}$ ).....	103
8.6.1.1.2	Indicador de temperatura ( $I_{TEM}$ ) .....	105
8.6.1.1.3	Indicador de Sólidos disueltos totales ( $I_{SDT}$ ) .....	107
8.6.2	Subíndice de parámetros bacteriológicos ( $S_{BO}$ ) .....	117
8.6.2.1	Indicador de coliformes totales ( $I_{CTS}$ ) .....	117
8.6.2.2	Indicador de coliformes fecales ( $I_{CFS}$ ) .....	119
8.6.3	Subíndice de parámetros específicos ( $S_{SP}$ ).....	121
8.6.3.1	Indicador de Sustancias Activas al Azul de Metileno ( $I_{SDS}$ ).....	121
<b>9</b>	<b>DISCUSIÓN .....</b>	<b>123</b>
9.1	RESULTADOS SOCIALES .....	124
9.1.1	Aspectos demográficos .....	124
9.1.2	Datos de la vivienda .....	126
9.1.3	Calidad del agua.....	130
9.1.4	Riesgos .....	131
9.2	RESULTADOS AMBIENTALES .....	133
9.2.1	Parámetros fisicoquímicos in situ .....	133
9.2.2	Parámetros fisicoquímicos ex situ .....	135
9.2.3	Parámetros bacteriológicos .....	136
9.3	COMPONENTE SOCIAL DEL RECURSO HÍDRICO .....	137
9.4	COMPONENTE AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO .....	144
9.5	COMPONENTE SOCIO-AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO .....	147
<b>10</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>149</b>
<b>11</b>	<b>PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>150</b>
<b>12</b>	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>173</b>
	ANEXO 1. "ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO" .....	174

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de habitantes y área de la mancha urbana en Cancún, Quintana Roo.....	13
Tabla 2. Población de la localidad de Cancún y Akumal .....	13
Tabla 3. Número de habitantes y área de la mancha urbana en Akumal, Quintana Roo .....	14
Tabla 4. Lista de criterios para elección de indicadores .....	19
Tabla 5. Diversas definiciones para el concepto de calidad de vida.....	20
Tabla 6. Valores de ponderaciones por diferentes autores .....	39
Tabla 7. Fórmulas de agregación .....	41
Tabla 8. Características básicas de los sitios de muestro del área de estudio C .....	49
Tabla 9. Características básicas de los sitios de muestro del área de estudio K .....	49
Tabla 10. Características de los envases para los diferentes parámetros .....	50
Tabla 11. Criterios que deben cumplir los indicadores del tipo social y ambiental para el modelo.....	53
Tabla 12. Nivel educativo de los entrevistados para cada área de estudio .....	55
Tabla 13. Resultados de parámetros in situ del área de estudio C .....	62
Tabla 14. Resultados de parámetros in situ del área de estudio K.....	62
Tabla 15. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del área de estudio C.....	63
Tabla 16. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del área de estudio K.....	64
Tabla 17. Resultados de coliformes totales y fecales del área de estudio C .....	64
Tabla 18. Resultados de coliformes totales y fecales del área de estudio K .....	65
Tabla 19. Resultado del <i>IVRH</i> para cada área de estudio.....	68
Tabla 20. Grados de vulnerabilidad para el <i>IVRH</i> .....	68
Tabla 21. Fórmulas que integran el $I_{SV}$ .....	71
Tabla 22. Fórmulas que integran el $I_{ES}$ .....	73
Tabla 23. Fórmulas que integran el $I_{AG}$ .....	75
Tabla 24. Fórmula que integra el $I_{HO}$ .....	77
Tabla 25. Fórmula que integra el $I_{VP}$ .....	78
Tabla 26. Fórmulas que integran el $I_{VRS}$ .....	81
Tabla 27. Fórmulas que integran el $I_{VIS}$ .....	83
Tabla 28. Fórmulas que integran el $I_{VAC}$ .....	85
Tabla 29. Fórmulas que integran el $I_{CUS}$ .....	88
Tabla 30. Fórmulas que integran el $I_{PCA}$ .....	90
Tabla 31. Reactivos y puntuaciones por respuesta para el $I_{PRE}$ .....	92
Tabla 32. Fórmulas que integran el $I_{PRE}$ .....	93
Tabla 33. Reactivos y puntuaciones por respuesta para el $I_{PRA}$ .....	96
Tabla 34. Fórmulas que integran el $I_{PRA}$ .....	97
Tabla 35. Fórmulas que integran el $I_{AV}$ .....	102
Tabla 36. Fórmula que integra el $I_{pH}$ .....	104
Tabla 37. Fórmula que integra el $I_{TEM}$ .....	106
Tabla 38. Fórmula que integra el $I_{SDT}$ .....	108
Tabla 39. Fórmula que integra el $I_{ALC}$ .....	110
Tabla 40. Fórmula que integra el $I_{NOS}$ .....	112
Tabla 41. Fórmula que integra el $I_{CLS}$ .....	114
Tabla 42. Fórmula que integra el $I_{SOS}$ .....	115
Tabla 43. Fórmula que integra el $I_{CTS}$ .....	118
Tabla 44. Fórmula que integra el $I_{CFS}$ .....	119



Tabla 45. Fórmula que integra el $I_{SDS}$ .....	122
Tabla 46. Comparación de los niveles educativos con respecto a las áreas estudio, el estado de Quintana Roo y los municipios de Benito Juárez y Tulum .....	125
Tabla 47. Promedio de ocupantes y de dormitorios por vivienda .....	127
Tabla 48. Servicios básicos en las viviendas particulares habitadas.....	129
Tabla 49. Tipo de agua subterránea de acuerdo a la concentración de Sólidos Disueltos Totales.....	134

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Geología de la Península de Yucatán. ....	9
Figura 2. Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de la Península de Yucatán.....	11
Figura 3. Población sin acceso al agua %. ....	12
Figura 4. Grado de marginación. ....	13
Figura 5. Infraestructura de drenaje. ....	14
Figura 6. Pirámide de la información. ....	18
Figura 7. Ubicación de los municipios de las áreas de estudio .....	45
Figura 8. Área de estudio C.....	46
Figura 9. Área de estudio K.....	46
Figura 10. Rango de edades obtenidas a partir de las encuestas.....	54
Figura 11. Lugar de procedencia de los entrevistados .....	55
Figura 12. Ingreso promedio mensual frecuente de los entrevistados del área C .....	56
Figura 13. Ingreso promedio mensual frecuente de los entrevistados del área K .....	56
Figura 14. Pozo como fuente de abastecimiento de agua del área de estudio C.....	57
Figura 15. Manguera como fuente de abastecimiento de agua del área de estudio K. ....	58
Figura 16. Sistema de electricidad de manera informal del área K .....	58
Figura 17. Percepción de los entrevistados a afectar al recurso hídrico .....	60
Figura 18. Pregunta detonante: ¿Qué otras cosas cree que estén a los alrededores puedan pueden contaminar el suelo hacia el agua (subterránea)?.....	61
Figura 19. Modelo de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico desde la perspectiva socio-ambiental.....	66
Figura 20. Modelo conceptual del componente social.....	69
Figura 21. Modelo conceptual del componente ambiental .....	100
Figura 22. Separación de Akumal por la carretera 307. ....	123
Figura 23. Comparación de los ingresos de las viviendas de las áreas de estudio con las líneas de pobreza dadas por diversas instituciones.....	126

## RESUMEN

Un recurso es todo producto, servicio o conjunto de elementos que satisfacen una necesidad. A nivel mundial, el recurso hídrico encontrado en acuíferos se considera escaso y vulnerable. En México, el acuífero de la Península de Yucatán es de tipo kárstico, reconocidos como los más vulnerables debido a la contaminación por su rápida infiltración resultado de sus propiedades geológicas e hidrogeológicas. En las costas de la Península de Yucatán se ha experimentado un severo desarrollo de la actividad turística, donde Cancún funge como el primer centro turístico integralmente planificado, años más tarde se fundan pueblos de apoyo como lo es Akumal, el cual en la actualidad es considerado como uno de los principales enclaves turísticos y con un nivel de desarrollo incipiente a comparación de Cancún.

Para poder tener un mayor entendimiento de como el nivel de desarrollo urbano tiene diferentes formas de afectar al recurso hídrico y a sus usuarios, se estableció como objetivo el comparar la vulnerabilidad del recurso hídrico de las áreas de estudio en las localidades de Cancún y Akumal, a través de un modelo de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental.

La metodología consistió en establecer, en primera instancia, las áreas de estudio, nombrándolas como área de estudio C, la ubicada en la localidad de Cancún del Municipio de Benito Juárez; la segunda, fue el área de estudio K, ubicada en la localidad de Akumal del Municipio de Tulum; con los que se continuó con reconocimiento en campo.

El componente social se obtuvo mediante la aplicación a manera de entrevista semi-estructurada de la “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO”, donde se analizaron: aspectos demográficos, de vivienda, disponibilidad, percepciones con respecto a la calidad y riesgos. En el componente ambiental, se analizaron parámetros bacteriológicos y fisicoquímicos, en muestras de agua subterránea en base a los métodos establecidos por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas.

A partir de la información obtenida se establecieron indicadores sociales y ambientales, con lo que determinó el índice, comprendiendo así el modelo de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental.

Los resultados obtenidos en las entrevistas muestran que ambas localidades han tenido un rápido crecimiento poblacional, con zonas que no disponen de drenaje, ni agua entubada, en las cuales se ha optado por medidas informales e ineficientes, que podrían estar modificando la calidad del recurso hídrico, y que representan un riesgo potencial a la salud de sus pobladores por la presencia de coliformes totales y fecales, detergentes, así como altas concentraciones de nutrientes.

De manera general, el componente social tuvo un mejor desempeño en el área de estudio K, lo contrario que en el componente ambiental, donde el área de estudio C, obtuvo un mejor desempeño; resultando que en la validación del índice final, el Índice de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico desde la perspectiva socio-ambiental (*IVRH*), el área de estudio C obtuviera un grado de vulnerabilidad moderada y el área de estudio K, un grado de alta vulnerabilidad, rechazando con ello la hipótesis que se planteó para el estudio en particular.

## **ABSTRACT**

A resource is any product, service or set of elements that satisfy a need. Worldwide, the water resource found in aquifers is considered scarce and vulnerable. In Mexico, the aquifer of the Yucatan Peninsula (PY) is a karstic type, recognized as the most vulnerable due to contamination due to its rapid infiltration as a result of its geological and hydrogeological properties. In the coasts of the Yucatan Peninsula has experienced a severe development of tourism, where Cancun serves as the first tourist center fully planned, years later support towns such as Akumal, which is currently considered as one of the main tourist enclaves and with a level of incipient development compared to Cancun.

In order to have a better understanding of how the level of urban development has different ways of affecting the water resource and its users, the objective was to compare the vulnerability of the water resources of the study areas in the localities of Cancun and Akumal, to through a model of vulnerability of water resources from a socio-environmental perspective.

The methodology consisted in establishing, in first instance, the study areas, naming them as study area C, the one located in the town of Cancun of the Municipality of Benito Juarez; the second, was the study area K, located in the town of Akumal of the Municipality of Tulum; with which we continued with recognition in the field.

The social component was obtained through the application as a semi-structured interview of the "SURVEY OF HOUSING CONDITIONS AND THE PERCEPTION OF THE POPULATION REGARDING WATER RESOURCE", where they were analyzed: demographic, housing, availability, perceptions regarding quality and risks. In the environmental component, bacteriological and physicochemical parameters were analyzed in groundwater samples based on the methods established by Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Normas Oficiales Mexicanas and Normas Mexicanas.

Based on the information obtained, social and environmental indicators were established, which determined the index, thus understanding the vulnerability model of the water resource from the socio-environmental perspective.

The results obtained in the interviews show that both localities have had a rapid population growth, with areas that do not have drainage, or piped water, in which informal and inefficient measures have been chosen, which could be modifying the quality of the water resource, and that represent a potential risk to the health of its inhabitants due to the presence of total and faecal coliforms, detergents, as well as high concentrations of nutrients.

In general, the social component had a better performance in the study area K, contrary to the environmental component, where the study area C, obtained a better performance; resulting in the validation of the final index, the Vulnerability Index of the Water Resource from the socio-environmental perspective (*IVRH*), the study area C obtained a moderate degree of vulnerability and the study area K, a degree of high vulnerability, rejecting with it the hypothesis that was raised for the study in particular.

## 1 INTRODUCCIÓN

Un recurso es todo material, producto, servicio, información o un conjunto de elementos que satisfacen una necesidad (Elizalde Hevia *et al.*, 2006; Fúquene Retamoso, 2007; Rice, 2017). Los seres vivos dependen de los recursos día con día (Rice, 2017). El recurso considerado como el más valioso del planeta es el hídrico, que ha sido denominado como oro azul, ya que destaca por ser *el recurso más importante que tiene la humanidad* (Mendoza Díaz, 2008, p. 1), además de necesitarse en cantidades prodigiosas para los diferentes usos consuntivos, también es esencial para la salud, el desarrollo humano y los ecosistemas (Campos Aranda, 1998; Ávila García; 2002; Monforte García y Cantú Martínez, 2009; Jiménez Cisneros, 2015).

El planeta es 70% agua, sin embargo, la cantidad del recurso hídrico apta para el consumo humano es de un 2.5%, que de éste casi un 30% está presente en los acuíferos que es la disponible para los humanos (Solanes y González-Villarreal, 2001; Wirtgen, 2009; García Lirios, 2015; Ávila Verdín *et al.*, 2016). El agua es considerada la base que sostiene las dimensiones del ser humano, que a su vez es vulnerable y su vulnerabilidad se ve afectada por diversos factores y usos, actuando como vertedero o mecanismo de transporte de desechos industriales, agrícolas o domésticos (Mendoza Díaz, 2008; Monge, 2009).

La vulnerabilidad puede ser evaluada a través de indicadores que consideren la parte ambiental y la social, ya que las actividades antropológicas afectan al recurso hídrico, dentro de un sistema hídrico, como los acuíferos (Jiménez *et al.* 2004; Foster *et al.*, 2002; Ávila García, 2008; Magaña, 2013).

Los acuíferos más vulnerables a nivel mundial son los del tipo kársticos, estos abastecen del 20 al 25% de la población mundial; en este sentido, se presenta la vulnerabilidad intrínseca, que es un término usado en el manejo del agua para definir la vulnerabilidad del agua subterránea frente a impactos naturales o antropogénicos (Pérez Ceballos y Pacheco Ávila, 2004; Rueda y Betancur, 2006; Ford y Williams, 2007). Además de que naturalmente son vulnerables, ya que por lo general son matrices rocosas permeables, que pueden ser afectadas por fracturación y disolución, es decir presentan a su vez la función transmisiva (capacidad para el paso del agua) y la capacitiva (capacidad para contener agua) (Antigüedad *et al.*, 2007).

El grado del problema ambiental que presentan los acuíferos kársticos por ser naturalmente vulnerables es a nivel mundial (Aguilar Duarte *et al.*, 2013). En México, se encuentra la Península de Yucatán (PY), definida como la Región Hidrológica XII, conformada por los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán (Saucedo González, 2014). La PY es una plataforma del tipo kárstica expuesta a la infiltración de contaminantes por la presión de las actividades antropogénicas por sus características intrínsecas.

Pese a la presión intrínseca en la PY, en sus zonas costeras se ha presentado una gran dinámica de crecimiento y actividades principalmente turísticas, tornándolas de gran importancia económica por la infraestructura hotelera y los ecosistemas marinos y costeros que son ofrecidos a los turistas nacionales e internacionales. El estudio de la vulnerabilidad es un tema central en municipios costeros de México, ya que se ha observado que la mayor parte de la población mundial ha optado por residir en las zonas costeras (Forbes y Liverman, 1996; Pérez Villegas y Carrascal, 2000; García, 2006; Espejel Carbajal y Arredondo García, 2007; Azuz Adeath y Rivera Arriaga, 2009; Raimundo, 2010; Calderón Maya *et al.*, 2012).

La actividad turística ha sido promotora principal para la transformación de localidades en las zonas costeras de la PY, como es el caso de Cancún y Akumal, en el Estado de Quintana Roo. El asentamiento de Cancún fue seleccionado como el primer centro turístico y una ciudad integralmente planificada (Castro Álvarez, 2007; Marín Guardado *et al.*, 2012; Talledos Sánchez, 2012; Vázquez Sosa *et al.*, 2014), mientras que Akumal nació como un pueblo de apoyo turístico, es decir, localidad fundada para albergar a los trabajadores que laboraban en los complejos turísticos como Cancún; sin embargo, al paso del tiempo se le considero como el primer enclave turístico del litoral extendido entre la carretera Cancún-Tulum (Villanueva y Botello, 1992; Barrera Escorcía y Namihira Santillán, 2004; Marín Guardado *et al.*, 2012; Manuel Navarrete, 2012; Vázquez Sosa *et al.*, 2014).

El desarrollo de ambas localidades se ha visto reflejado en el incremento de su población, lo cual ha implicado la modificación o creación de su estructura social y su morfología espacial (Vázquez Sosa *et al.*, 2014).



## **2 MARCO TEÓRICO**

### **2.1 VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO**

A nivel mundial, el recurso que se cataloga como el más importante es el hídrico. Se ha evidenciado que se ha forjado como una característica de los recursos hídricos la desigualdad de distribución espacial y temporal, lo que implica la existencia de cuencas y áreas geográficas con escases, debido a la falta de infraestructura que satisfagan las demandas de agua o simplemente dado a que aproximadamente en más de 80 países al menos el 40% de la población carece de agua, lo cual se prevé que puede empeorar en los próximos 50 años (Campos Aranda, 1998; UNESCO, 2003; FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006; Marín Pacheco, 2009; Mora Aliseda *et al.*, 2016).

#### **2.1.1 Vulnerabilidad del recurso hídrico a nivel nacional**

El crecimiento poblacional y económico representa una alta presión al recurso hídrico en México, ya que la demanda de agua es mayor a la que se suministra, o como la alta concentración de la población en un solo sitio han creado zonas de escasez (Sainz Santamaría y Becerra Pérez, 2003; Monforte García y Cantú Martínez, 2009; Ávila Verdín *et al.*, 2016).

En México, la población se ha concentrado en zonas de menor disponibilidad de agua, principalmente en la zona norte y centro del país, donde se encuentra el 77% de la población con una disponibilidad del 31% de este recurso (Monforte García y Cantú Martínez, 2009).

Se reporta que en México cada año llueve aproximadamente 1,489 millones de metros cúbicos de agua, se estima que el 73.1% se evapotranspira y retorna a la atmósfera; el 22.1% escurre por los ríos o arroyos, y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. México es un país cuya extensión territorial predomina por presentar un clima árido o semiárido (56%) (FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006; CONAGUA, 2011). En los estados ubicados al norte del país que representan el 50% de la superficie, solo se recibe el 25% de la precipitación del total nacional, en el centro del país un 27.5% y se registra que en los estados del sureste, llueve el 49.6% (FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006; CONAGUA, 2011).

Ante lo anterior, administrativamente, se identifican trece regiones hidrológico-administrativas (RHA), que CONAGUA (2016) maneja como unidades básicas para la gestión del recurso hídrico y, a su vez, las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas (RH), éstas representan los límites naturales de las grandes cuencas de México.

Acorde a CONAGUA la Península de Yucatán (PY) está definida como la Región Hidrológica XII, la cual está conformada por los estados de Campeche, Quintana Roo y Yucatán, en ella se resguarda una de las reservas de agua más importantes del país (Saucedo González, 2014; Batllori Sampedro 2016). El recurso hídrico en la PY, es principalmente de origen subterráneo, históricamente ha sido esencial en el desarrollo de algunas de las ciudades más pobladas del mundo; alguna de ellas son abastecidas mayormente con las aguas subterráneas (Sahuquillo Herráiz, 2009), pero su principal característica intrínseca es la “vulnerabilidad” *que depende de la sensibilidad de mismo a los impactos humanos y/o naturales* (Peña Perea *et al.*, 2014, p. 107).

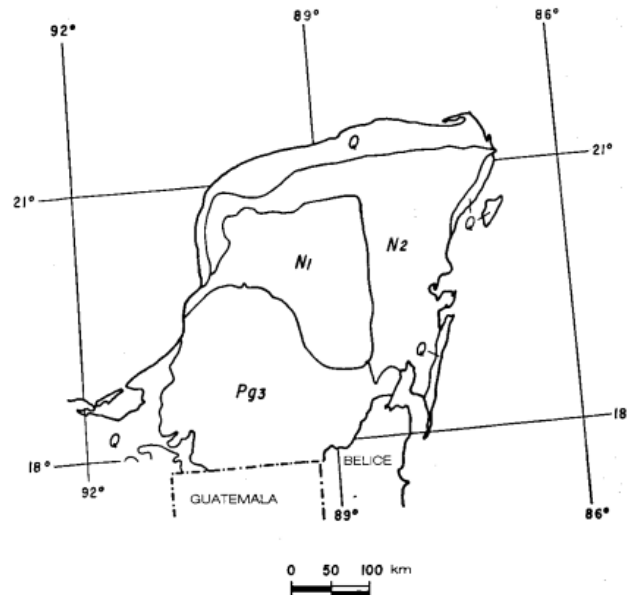
### **2.1.2 Vulnerabilidad del recurso hídrico a nivel peninsular**

La PY, es una plataforma Kárstica rodeada por mar, compuesta principalmente por estratos de rocas carbonatadas, de origen desde el Paleógeno hasta el cuaternario (Fig. 1), que descansan sobre un basamento paleozoico (Lugo Hupb *et al.*, 1992; Bautista Zúñiga y Palacio, 2014.; Consejo de Cuenca Península de Yucatán, 2015). Esta plataforma carece de topografía, donde su franja costera presenta una menor altitud ya que data del cuaternario, estas son las rocas más jóvenes de material residual arcilloso y calichoso, producto de alteración (Fig. 1) (Schmitter-Soto, 2002; Pérez Ceballos y Pacheco, Ávila 2004; Bautista Zúñiga y Palacio, 2014; García Gil y Graniel Castro, 2010; COMEY, 2012; CONAGUA, 2015; Nava Galindo, 2015).

La superficie de la PY es altamente permeable por el tipo de rocas que se encuentran. La escasa topografía aunada a la alta permeabilidad lo que representa una rápida infiltración que hace intrínsecamente vulnerable al recurso hídrico a la contaminación, dado a que (Aguilar Duarte *et al.*, 2016, p. 914):

*Los procesos de atenuación de los contaminantes (retención, mineralización, adsorción, etc.), son nulos o poco eficientes y la vulnerabilidad a la contaminación de los acuíferos es mayor, principalmente con respecto*

a los desechos generados por las actividades humanas que no están debidamente planificadas en la superficie del terreno y/o se disponen inadecuadamente, afectando la calidad del agua subterránea.



**Figura 1. Geología de la Península de Yucatán.**

Q-Cuaternario; N2-Neógeno superior: Plioceno; N1-Neógeno inferior: Mioceno; pg3-Paleógeno superior: Oligoceno. Tomado de: López Ramos, 1975.

Por otra parte, la PY, puede verse afectada por disolución (karsificación) y fracturación, que aunado a la alta permeabilidad de las rocas de la superficie, originan una estructura de drenaje. Estos acuíferos se caracterizan por su heterogeneidad organizada, es decir, dado a los huecos que se dan por la disolución de la roca y el flujo, el agua, que condiciona este proceso se va jerarquizando desde la superficie del terreno, donde se da la recarga, hasta la parte inferior donde se produce la descarga, resulta así la estructura de drenaje (Lugo Hupb *et al.*, 1992; Antigüedad *et al.*, 2007; Aguilar Duarte *et al.*, 2016). La PY es considerada como una Unidad Regional denominada “Acuífero Península de Yucatán”, es un acuífero kárstico costero y desde el punto de vista hidráulico se le puede denominar por ser un acuífero principalmente libre que presenta dos funciones principales (Antigüedad *et al.*, 2007, p. 326):

- 1) *Función transmisiva (capacidad para el paso del agua) en los conductos, que gobierna el flujo de los recursos, y*
- 2) *Función capacitiva (capacidad para contener agua) en los bloques, que gobierna el almacenamiento de las reservas.*

El recurso hídrico de la PY, está compuesto por una lente de agua dulce que flota sobre agua salobre, dado por la diferencia de densidades, por lo que las aguas de recarga natural con menores contenidos de sales flotan sobre el agua salobre que tienen una mayor concentración de sales (Bautista Zúñiga y Palacio, 2014.; COMEY, 2012). La haloclina o zona de mezcla es *el contacto entre ambas masas de agua, dulce y salobre, [la cual es la frontera entre ambas aguas]* (Beddows *et al.*, 2007, p. 34).

La PY, carece de corrientes superficiales por lo que la fuente de abastecimiento de la población de la PY, es el acuífero, que solamente es renovable a través de la recarga de la lluvia estacional (Beddows *et al.*, 2007; Torres Díaz *et al.*, 2014). García Gil y Graniel Castro (2010, p. 13) mencionan que *la recarga supera con mucho la extracción del acuífero de manera que cuantitativamente no existen conflictos*, [sin embargo, debido a la gran conectividad con el medio marino costero, y es en el mar donde la descarga tiene sitio, se han presentado casos de intrusión marina], *debido a las extracciones excesivas de agua dulce que provocan el ascenso de agua salada subyacente*, lo que debería restringir la extracción de agua en las zonas en el litoral (Lesser Illades y Espinosa Amador, 1979; Pérez Ceballos y Pacheco Ávila, 2004; Antigüedad *et al.*, 2007; Krekeler *et al.*, 2007; Municipio de Solidaridad, 2007).

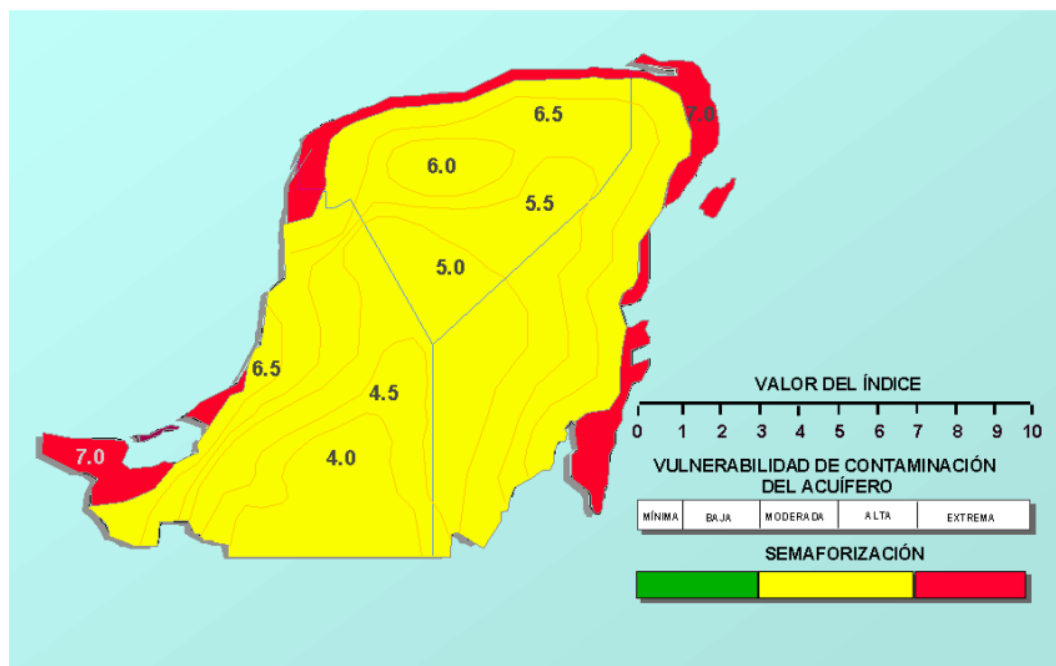
#### 2.1.2.1 *Vulnerabilidad del recurso hídrico en las zonas costeras del estado de Quintana Roo, Península de Yucatán*

Las propiedades que presentan la PY le confieren un carácter de vulnerabilidad a la contaminación al recurso hídrico presente que atenta a la seguridad hídrica de su población, ya que es la principal fuente de abastecimiento de agua. La población de la PY ha crecido exponencialmente del año 1970 al 2015, sobre todo en Quintana Roo (Yucatán 63.84%%, Campeche 72.05% y Quintana Roo 94.13%, INEGI) lo cual trae consigo una demanda de extracción de agua, por lo que se han decretado cuatro vedas para la extracción del agua subterránea con el fin de controlar, preservar y proteger su cantidad y calidad (Pacheco Ávila *et al.*, 2004; Bautista Zúñiga y Palacio, 2014.; Graniel Castro, 2010; Torres Díaz *et al.*, 2014; INEGI, 2015 a).

La PY, administrativamente se dividió en cuatro regiones hidrológicas (RH): “la RH 30 al sur de la península, donde se encuentra la laguna de Términos y el Río Candelaria; la región RH 33 al este, con el Río Hondo; la región RH 31 al oeste con el Río Champotón; y finalmente al norte la RH 32 que no registra corrientes superficiales permanentes” (Bautista Zúñiga y Palacio, 2014. p. 12). La región que cuenta con una mayor

área es la RH 32, abarca parte del estado de Yucatán y Quintana Roo, esta es una zona carbonatada parcialmente emergente (Perry *et al.*, 2003; Prado Roque, *n.d.*).

CONAGUA presenta un mapa (Fig. 2) donde señala las zonas con las rocas más jóvenes, las costas, señalan una extrema vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de la Península de Yucatán, y considerando las características geológicas de la zona se ha declarado que existe un alto grado de contaminación de tipo orgánica bacteriana en el acuífero (Beddows *et al.*, 2007; Municipio de Solidaridad, 2007; González Carrasco, 2011; COMEY, 2012; Torres Díaz *et al.*, 2014). Nava Galindo (2015, p. 12), menciona que, de acuerdo con estudios anteriores, *a una distancia de entre 15 y 40 km de la costa, la elevación del manto acuífero es menor a 2 m sobre el nivel del mar y en la parte interior de la PY, la altura sobre el nivel del mar es entre 2 a 4 metros* (Nava Galindo, 2015).



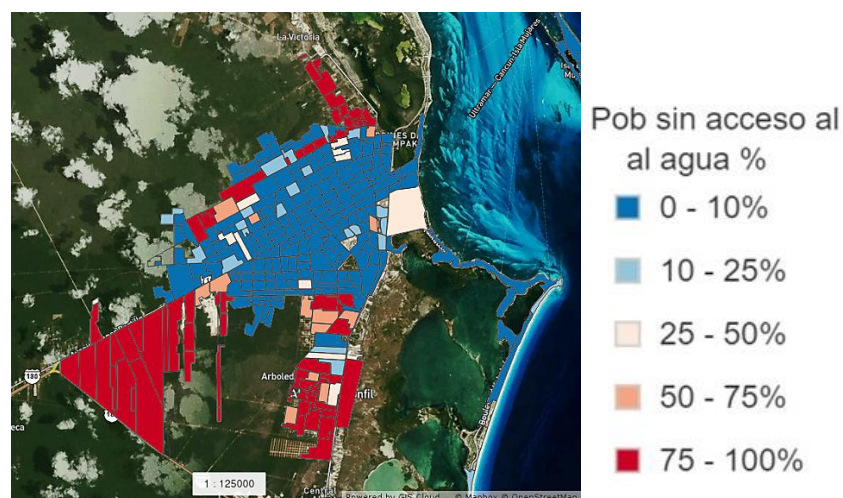
**Figura 2. Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de la Península de Yucatán.**

Tomado de: Programa Integral de Desarrollo Metropolitano, 2011. Fuente: Comisión Nacional del Agua

Sin embargo, dentro de las costas del estado de Quintana Roo se ha observado una gran dinámica poblacional ya que concentra al 75% de la población total del estado (Frausto Martínez, 2013), encabezando las tasas de ocupación hotelera donde las localidades de Cancún y Akumal, tienen de las mayores tasas de ocupación del país, Cancún 76.8% y Akumal 86% del año 2015 (SECTUR, 2017).

Tanto Cancún como Akumal, desde sus inicios a la actualidad, han presentado diferentes problemáticas sociales, ya que los servicios básicos en ambas zonas no se ofrecen a la totalidad de la población, de los que destaca la disposición de residuos sólidos donde estos generan contaminación parcial por la infiltración de lixiviados al subsuelo; la carencia de drenaje e implementación de fosas sépticas, lo que representa una posible fuente directa de contaminación al manto acuífero; añadiendo además los asentamientos irregulares que es donde se observa principalmente este comportamiento tampoco tienen de manera formal abasto de agua potable (Municipio de Solidaridad, 2007; Febles Patrón, y Hoogesteijn, 2008; Watler Reyes, 2008; Municipio de Benito Juárez, 2014; Soares *et al.*, 2014).

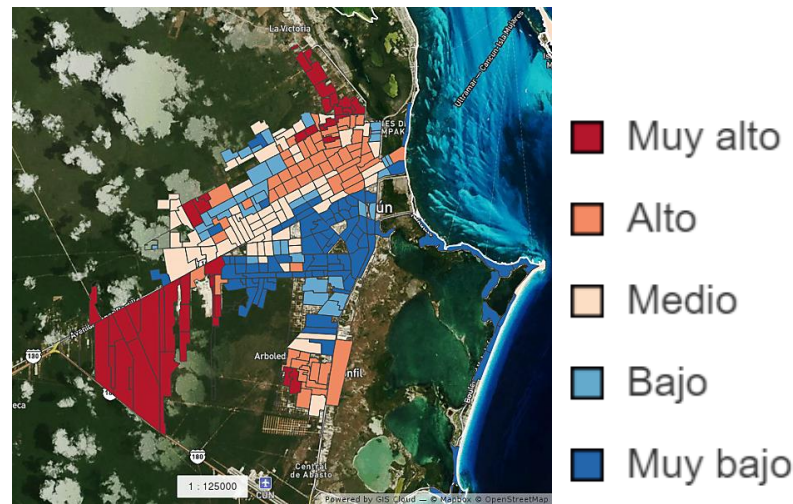
En la localidad de Cancún, las zonas mencionadas se ubican en norte, sur y poniente, que son principalmente irregulares según menciona el Municipio de Benito Juárez (2014). Esta situación se puede observar en la Fig. 3, donde las áreas geoestadísticas básicas (AGEB) señaladas de color rojo están sin acceso al agua en su vivienda en un 75 al 100%.



**Figura 3. Población sin acceso al agua %.**

Fuente: CartoCrítica, 2015

En algunas zonas que presentan la falta del acceso al agua también se encuentran con un muy alto grado de marginación, donde se encuentra la AGEB (2300500014087) con 4to lugar de marginación urbana en el contexto estatal (Fig. 4).



**Figura 4. Grado de marginación.**  
Fuente: CartoCrítica, 2015.

Pese a lo anterior, el desarrollo urbano de Cancún ya se encuentra establecido casi en su totalidad, considerando el PDU del Centro de Población de Cancún, Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo (2014-2030), donde se incluye el crecimiento poblacional que tendrá con ello (Tabla 1). La población de Akumal, así como la de Cancún ha ido aumentando considerablemente (Tabla 2).

**Tabla 1. Número de habitantes y área de la mancha urbana en Cancún, Quintana Roo**

	2015	2030	Incremento
Habitantes	743,623	1,580,011	836,388
Mancha Urbana (Hectáreas)	15,540.49	21,104.99	5,564.5

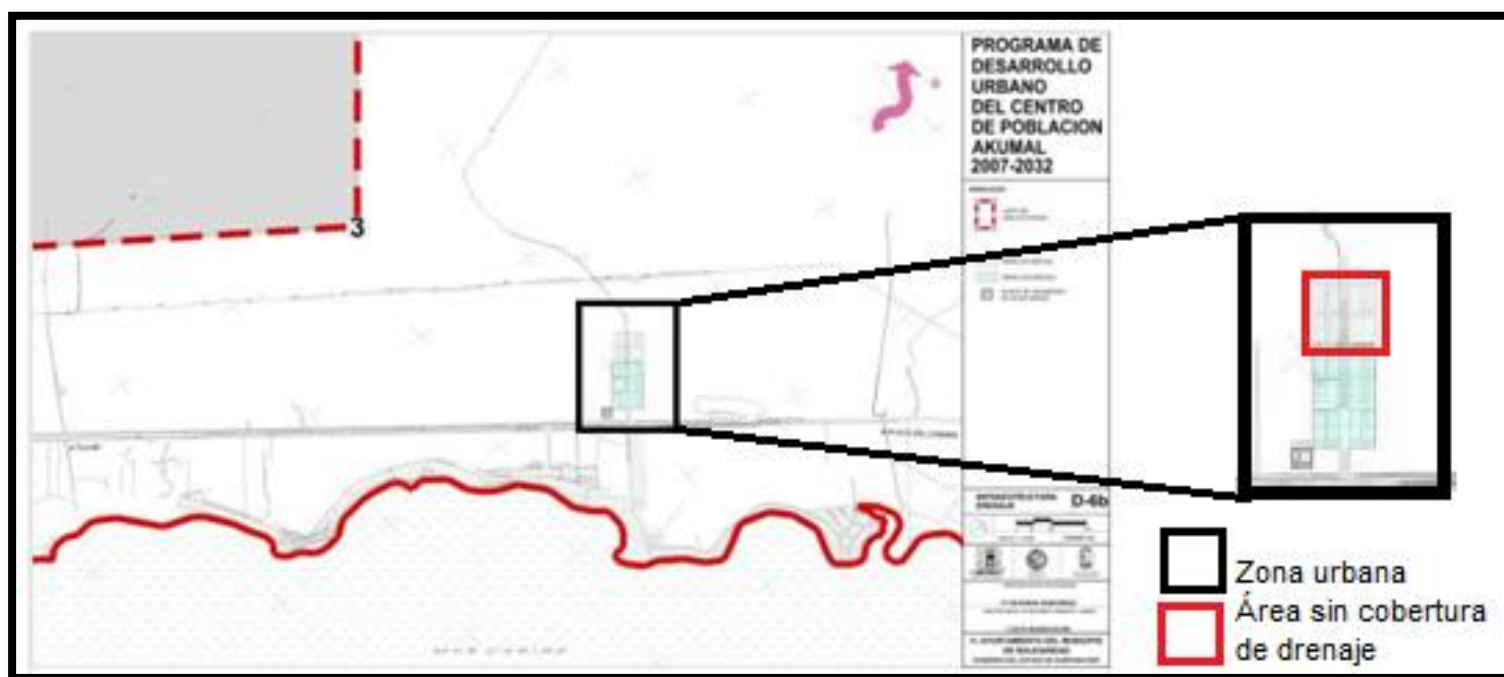
*Elaboración propia. Fuente: Municipio de Benito Juárez, 2014; INEGI, 2015 a.*

**Tabla 2. Población de la localidad de Cancún y Akumal**

Año	Población Cancún	Población Akumal
1970	441	6
1980	37,190	179
1990	176,765	628
1995	311,696	470
2000	419,815	693
2005	572,973	1,230
2010	661,176	1310
2015	743,623	-

*Elaboración propia. Elaboración propia. Fuentes: INEGI, 2015 a; Municipio de Solidaridad, 2007.*

En el PDU del Centro de Población AKUMAL (2007-2032), aproximadamente el 40% de la población no posee sistema de drenaje (Fig. 5), siendo esto una debilidad para crecimiento del asentamiento que se prevé en los próximos años (Marín *et al.*, 2000; Marín *et al.*, 2003; Municipio de Solidaridad, 2007; Febles Patrón y Hoogesteijn, 2008).



**Figura 5. Infraestructura de drenaje.**

Modificado de: Municipio de Solidaridad, 2007. Fuente: Municipio de Solidaridad, 2007.

Teniendo en cuenta con lo planteado en el PDU de Akumal 2007—2032, el desarrollo de esta localidad considera a la urbanización expandirse a un 480 % más de lo que se encuentra en este momento, por lo que se podría considerar una localidad con desarrollo incipiente, esto se puede observar en la Tabla 3.

**Tabla 3. Número de habitantes y área de la mancha urbana en Akumal, Quintana Roo**

	2010	2032	Incremento
Habitantes	1,310	189,701	188,391
Mancha Urbana (Hectáreas)	14	6,733	6,719

*Elaboración propia. Fuente: Municipio de Solidaridad, 2007; INEGI, 2015 a; Google Earth*



## **2.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO**

El concepto de vulnerabilidad se ha tomado como base para desarrollar diferentes análisis, en un documento de la CEPAL elaborado por Gómez (2001, p. 2) se considera que este tipo de análisis *traslada la atención principal hacia los grupos o entidades expuestas a cambios ambientales (trabajadores agrícolas, pescadores artesanales, bosques tropicales, etc.)*. En el mismo documento de CEPAL se menciona que (Clark *et al.*, como se citó en Gómez, 2001, p. 2):

*El análisis de vulnerabilidad considera las diferentes presiones a las que puede verse sometido el grupo y en ese marco se propone, por un lado, determinar el riesgo de sufrir resultados desfavorables y, por otro, identificar aquellos factores que pueden reducir la capacidad de respuesta y adaptación a los cambios.*

O bien, como lo describe Jiménez *et al.* (2004, p. 50):

*El análisis de la vulnerabilidad es un proceso para determinar los componentes críticos o susceptibles de daño, pérdida o interrupción de los elementos bajo riesgo, así como las medidas de mitigación que deben implementarse ante una amenaza específica o un grupo de ellas.*

Con lo anterior, el análisis de la vulnerabilidad se plantea que es una medida de prevención y control de la contaminación, así como la primera etapa para plantear medidas de mitigación (García Sosa y Espadas Solís, 2004; Rueda y Bentacur, 2006).

Jiménez *et al.* (2004, p. 50) menciona que *para facilitar la determinación de la vulnerabilidad de una cuenca, [o bien, un cuerpo de agua como un acuífero], se acostumbra dividir la vulnerabilidad global en varios tipos de vulnerabilidad*, en este sentido se puede definir la vulnerabilidad como el *proceso por el cual la población humana y los ecosistemas están sujetos a riesgo de sufrir daños por amenazas ocasionadas por factores biofísicos y sociales* (Ávila García, 2008, p. 48), y a partir de ello surge para conocer las diferentes dimensiones de la problemática del recurso hídrico el concepto o bien iniciativa de la vulnerabilidad socioambiental, que se define *como el proceso que conlleva a situaciones críticas e irreversibles en torno a la calidad y cantidad de los recursos hídricos que ponen en riesgo el desarrollo humano y el funcionamiento de los ecosistemas* (Ávila García, 2008, p. 48).

Es así como, una de las maneras de llevar a cabo el proceso de análisis de la vulnerabilidad del recurso hídrico, se propone que sea a través del uso de indicadores con respecto a las principales dimensiones de la problemática, como lo son la ambiental y social (Jiménez *et al.* 2004; Ávila García, 2008; Magaña, 2013).

La forma de evaluar la vulnerabilidad con indicadores es del tipo cualitativo y cuantitativo, cuyo fin es el evaluar *la vulnerabilidad en un espacio y tiempo determinado: vulnerabilidad ecológica, climática por sequías e inundaciones, por disponibilidad de agua, por presión hídrica, por explotación de acuíferos, por contaminación del agua, agrícola, urbana, por marginación social, económica y política* (Ávila García, 2008, p. 49). Es así como, el concepto de indicador ha sido definido por diferentes autores, de los que destacan:

Feria Toribio (2003, p. 242):

*Los indicadores son modelos que permiten, a través de datos objetivos, el seguimiento y la transmisión de información sobre el comportamiento de la realidad y sobre su evolución y tendencias.*

Cantú *et al.* (2007, p. 174):

*Un indicador es una variable que resume o simplifica información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible y que cuantifica, mide y comunica, en forma comprensible, información relevante.*

Mata Lara *et al.* (2016, p. 13):

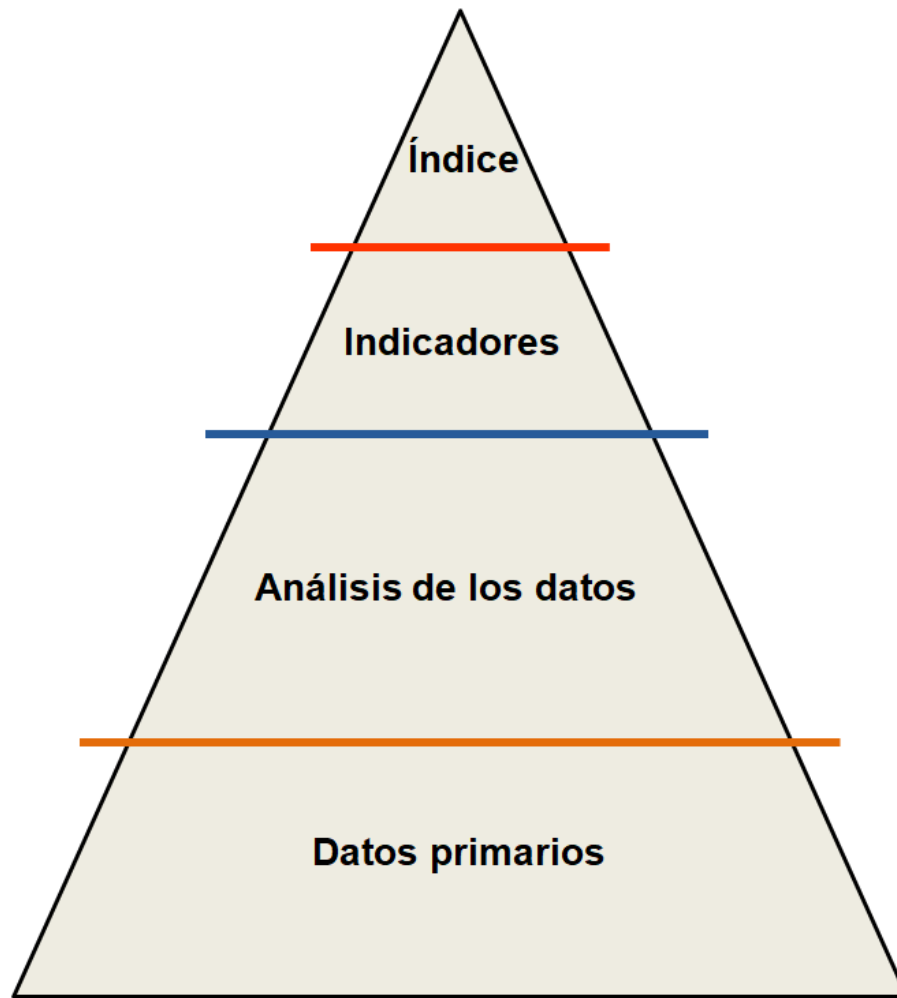
*Los indicadores son herramientas que proporcionan medios prácticos para evaluar aspectos particulares de un sistema, tales como el estado y el nivel de desarrollo de sistemas sociales o la seguridad económica de un lugar.*

A partir de lo anterior se plantea la definición funcional del término indicador para el presente estudio es: un indicador es un instrumento que permite simplificar datos de información relevante para evaluar, cuantificar, medir y comunicar de manera práctica acerca de un proceso o particularidades de un sistema. Por lo que Magaña (2013) sugiere que se elijan los indicadores adecuados, y que a su vez se relacionen. Esta última parte es parte del trabajo para la cuantificación de la vulnerabilidad, a partir de esto se debe establecer de manera sencilla y objetiva los factores que generan vulnerabilidad, como son las características del entorno o las condiciones físicas, socioeconómicas y ambientales del sistema bajo análisis que hacen referencia a su nivel de exposición, su sensibilidad y su capacidad de respuesta.

La elección de los indicadores adecuados puede ser dada por diversos criterios, de los que destacan en la Tabla 4. Mata Lara (2016, p. 13) añade que *los mejores indicadores serán aquellos que se ajusten de mejor manera a cada caso de estudio.*

Por otra parte, los indicadores se pueden aplicar e integrar en lo que se le conoce como índice (indicadores sintéticos), entre estos términos se ha llegado a presentar confusiones, sin embargo, su diferencia radica en el procedimiento de su obtención (Escobar, 2006; Domínguez Serrano *et al.*, 2011).

Índice o un indicador sintético, se define como una fórmula que combina y está formado por una serie de indicadores que aportan información relevante sobre el objetivo a medir en las distintas unidades de observación a una sola puntuación que indicara el grado en la que el objeto de estudio posee un estado latente (Zarzosa Espina; 1996; Vincent, 2004; Canales Cerón, 2006). De acuerdo con Vincent (2004) una ventaja de la integración de indicadores para formar un índice es la incorporación de un rango más amplio de información (variables), conduciendo a un modelo más completo de la realidad. El comportamiento de integración de la información, de datos primarios a un índice, se puede observar como una pirámide como la que plantea Hammond *et al.* (1995) (Fig. 6).



**Figura 6. Pirámide de la información.**  
Modificado de Hammond *et al.*, 1995.

**Tabla 4. Lista de criterios para elección de indicadores**

		Criterios	Explicación
Indicador	Calidad de los datos y precisión del análisis	<i>Valor científico (no ambiguo)</i>	Los indicadores deberán estar basados en modelos conceptuales aceptados y con una base científica sólida.
		<i>Disponibilidad y accesibilidad de datos</i>	Se refiere a la posibilidad real de obtener y analizar la información necesaria
		<i>Calidad de los datos</i>	Se refiere a la credibilidad y fiabilidad de los datos para los usuarios (fuente acreditada y sólida desde el punto de vista científico)
		<i>Viabilidad económica</i>	Los costos de desarrollo y colecta deberán ser realistas y razonables.
	Relevancia con respecto al objeto de estudio	<i>Representatividad (mapas)</i>	El indicador puede ser representado de manera cartográfica (por mapas de cambios de cobertura vegetal)
		<i>Cobertura geográfica apropiada</i>	El indicador puede ser representado en escala y el nivel de detalle del análisis a realizar
		<i>Sensibilidad a los cambios</i>	Deberá contar con variables capaces de reflejar cambios en el ambiente a través del tiempo
		<i>Relevancia</i>	El indicador deberá proporcionar información útil y/o deberá facilitarla
	Comunicación	<i>Simplicidad</i>	Las definiciones deberán ser claras y fácilmente entendibles para evitar confusiones en su desarrollo e interpretación
		<i>Valores de referencia</i>	Deberá ser comparable con valores establecidos de referencia
		<i>Comparación interregional o internacional</i>	Deberá tener compatibilidad para que pueda ser comparado en diferentes países u organismos internacionales
		<i>Uso potencial para escenarios futuros</i>	Los indicadores deben tener sensibilidad en el tiempo para que puedan ser utilizados en escenarios futuros.

Tomado de: Casas Beltrán (2013, p. 20).

### 2.3 VULNERABILIDAD SOCIAL DEL RECURSO HÍDRICO

La vulnerabilidad social se puede entender para el estudio en particular, como un rasgo de privación de recursos naturales, sociales, económicos y culturales, de que dispone una persona, grupo o comunidad, para cubrir sus necesidades básicas y su influencia en la capacidad de prevenir, mitigar o responder y recuperarse de situaciones adversas resultado de crisis sociales, por la interacción de diversos factores (Foschiatti, 2004; Mora Salas y Pérez Sáinz, 2006; Hernández, 2009).

El crecimiento poblacional en el mundo y la concentración en grandes urbes ha traído serios problemas de demanda sobre los diferentes recursos que son requeridos para la satisfacción de las necesidades básicas de la población (Torrens *et al.*, 2000; Alfaro García, 2016). La satisfacción de las necesidades básicas, determinan la calidad de vida (CV) de una persona, grupo o comunidad (Guzmán Arias, 2008). El concepto de CV ha sido definido por diferentes autores como se muestra en la Tabla 5:

**Tabla 5. Diversas definiciones para el concepto de calidad de vida.**

Referencia	Definición Propuesta
Ferrans (1990)	Calidad de vida general definida como el bienestar personal derivado de la satisfacción o insatisfacción con áreas que son importantes para él o ella.
Hornquist (1982)	Define en términos de satisfacción de necesidades en las esferas física, psicológica, social, de actividades, material y estructural.
Shaw (1977)	Define la calidad de vida de manera objetiva y cuantitativa, diseñando una ecuación que determina la calidad de vida individual: $QL=NE \times (H+S)$ , en donde NE representa la dotación natural del paciente, H la contribución hecha por su hogar y su familia a la persona y S la contribución hecha por la sociedad. Críticas: la persona no evalúa por sí misma, segundo, no puede haber cero calidad de vida.
Lawton (2001)	Evaluación multidimensional, de acuerdo a criterios intrapersonales y socio-normativos, del sistema personal y ambiental de un individuo.
Haas (1999)	Evaluación multidimensional de circunstancias individuales de vida en el contexto cultural y valórico al que se pertenece.
Bigelow <i>et al.</i> , (1991)	Ecuación en donde se balancean la satisfacción de necesidades y la evaluación subjetiva de bienestar.
Calman (1987)	Satisfacción, alegría, realización y la habilidad de afrontar... medición de la diferencia, en un tiempo, entre la esperanza y expectativas de una persona con su experiencia individual presente.
Martin y Stockler (1998)	Tamaño de la brecha entre las expectativas individuales y la realidad a menor intervalo, mejor calidad de vida.
Opong <i>et al.</i> , (1987)	Condiciones de vida o experiencia de vida.

*Tomado de Urzúa y Caqueo-Urizar (2012, p. 62).*

El concepto de CV, tiene muchas connotaciones, sin embargo, las principales se pueden categorizar en dos (Urzúa y Caqueo-Urizar, 2012):

- I. Condiciones de vida: Esta incluye *las condiciones de vida objetivamente medibles en una persona, tales como salud física, condiciones de vida, relaciones sociales, actividades funcionales u ocupación* (Urzúa y Caqueo-Urizar, 2012, p. 63), con lo que permitirá comparar desde una persona, un grupo con otra persona o grupo, a través de indicadores estrictamente objetivos.
- II. Satisfacción con la vida: para esta parte la CV, se considera un sinónimo de satisfacción de vida, por lo que *la vida sería la sumatoria de la satisfacción en los diversos dominios de la vida* (Urzúa y Caqueo-Urizar, 2012, p. 63).

Del mismo modo la CV, evalúa las necesidades y sus niveles de satisfacción en dos dimensiones (Montes Castillo, 2006; Pérez Medina, 2007), la primera como una *evaluación del nivel de vida basada en indicadores “objetivos”,* y la segunda, *la percepción individual de esta situación, a menudo equiparada con el término de bienestar (well-being)* (Palomba, 2002 como se citó en Banda Toapanta, 2017, p. 41).

### **2.3.1 Evaluación de la vulnerabilidad social del recurso hídrico**

Magaña (2013) menciona que la clave en la evaluación de la vulnerabilidad social del recurso hídrico es preguntarse: ¿Por qué es vulnerable?, como pudo apreciarse, la evaluación de la vulnerabilidad social del recurso hídrico, integra a la CV, por lo que se tiene la necesidad de entender e incluir indicadores sobre la CV de las personas, así como la percepción su entorno con relación a su satisfacción con el mismo (Tarrés, 2001 como se citó en Pérez Flores, 2012, p. 36).

Una de las formas por las cuales se puede obtener información que nos sugiera e indique la CV, son las encuestas, que nos podrán revelar para el caso de la evaluación de la vulnerabilidad social del recurso hídrico datos sobre personas u hogares. El uso de las encuestas a nivel hogar tiene como objetivo explorar su potencial para *la investigación de la vulnerabilidad de personas y hogares [que] deberá descansar primordialmente en la construcción de medidas indirectas y “proxy”, elaboradas a partir de la gama de opciones que ofrecen los cuestionarios de las encuestas* (Kaztman, 2000, p. 281).

En una serie de estudios anteriores (Mukhopadyay *et al.*, 2001; Domeme y Sauri, 2006; Harlan *et al.*, 2007; Shandas y Parandvash, 2009; Makki *et al.*, 2011; Ojeda de la Cruz, 2013; Morote Seguido, 2016, Narchi Narchi, en prensa) para la obtención de los datos para la investigación social a través de las encuestas se plantean una serie de variables, de las que predominan: i) su sexo, ii) edad, iii) escolaridad, iv) localidad en la que habita, v) nacionalidad o procedencia, vi) ocupación e vii) ingresos, considerando factores sobre la satisfacción de vida, integrando de igual forma la parte de percepción de su medio físico (Montes Castillo, 2006; Pérez Medina, 2007; Pérez Flores, 2012; Nava Galindo, 2015).

La encuesta se define como una técnica que recoge datos (de medición), que se pueden calibrar por medio de una distribución numérica de forma protocolaria en cuanto a la realización de las preguntas (cuadro de registro) (Jociles Rubio, 1999; Casas Anguita *et al.*, 2003; López Roldán y Fachelli, 2015).

Es así, que la encuesta se establece como una herramienta de investigación social que se administra a una muestra representativa de una población por medio de una entrevista con la que se puede conocer el comportamiento de la población, servir como apoyo en la toma de decisiones, permitiendo obtener y elaborar datos de manera rápida y eficaz (Casas Anguita *et al.*, 2003).



## **2.4 VULNERABILIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO**

La calidad ambiental con referente al recurso hídrico se presenta en forma de indicadores de calidad de agua, así como índices referentes a ello, ésta se puede valorar al identificar y medir distintos parámetros físico-químicos y biológicos, mediante los cuales se cuantifica el grado de alteración de sus cualidades naturales (Cirerol, 2004; Carrillo Monsreal, 2014; Castro *et al.*, 2014; Aké Cauich, 2016) y posteriormente puede ser clasificada para un uso determinado.

Para poder establecer los usos al agua es crucial establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas (Castro *et al.*, 2014). En México la NOM-127-SSA1-1994 establecen los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional, lo cual es fundamental para prevenir y evitar principalmente la transmisión de enfermedades gastrointestinales.

### **2.4.1 Evaluación de la vulnerabilidad ambiental del recurso hídrico**

Para abordar de manera integral la evaluación de la vulnerabilidad ambiental del recurso hídrico, con respecto a la calidad del agua, es necesario el análisis de diferentes parámetros, para establecer las características básicas de los cuerpos de agua, como los acuíferos cársticos, conocer la calidad del agua que guardan las fuentes de almacenamiento (Gutiérrez Aguirre; 2007; Canul Euán, 2013; Larena España, 2013; Carrillo Monsreal, 2014; Aké Cauich, 2016), con el fin de *detectar la ocurrencia de contaminación química de origen humano o natural (como la intrusión salina) relacionada a la vulnerabilidad y las condiciones hidrogeológicas del acuífero* (Escalante Paredes, 2013, p. 4). A partir de lo anterior se establecen los parámetros más representativos del tipo bacteriológicos y fisicoquímicos:

#### **2.4.1.1 Parámetros bacteriológicos**

Coliformes totales: Este grupo de microorganismos incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes. Este grupo (excepción de la *Escherichia coli*) además de presentarse tanto en aguas residuales como en aguas naturales, algunas son excretadas en las heces de humanos y animales de sangre caliente, además de que pueden sobrevivir y proliferar en el agua

por lo que es un indicador de la eficacia de tratamientos, de la limpieza e integridad de sistemas de distribución y la posible presencia de biopelículas (OMS, 2006).

La presencia de una biopelícula en sistemas de distribución se nota ya que llega a deteriorar la calidad organoléptica del agua, así como la creación de problemas sanitarios por los microorganismos que han evadido los sistemas de tratamiento (Knobelsdorf y Mujeriego, 1997). De acuerdo con lo mencionado los coliformes totales indican contaminación de origen gastrointestinal (Ambrosio Calderón, 1994).

Coliformes fecales: Las coliformes fecales (termotolerantes) son un subgrupo de los coliformes totales, cuentan con una estructura parecida a la de una bacteria común, la *Escherichia coli*; están presentes en las heces humanas y animales, en aguas residuales y en el agua que ha estado en contacto recientemente a contaminación fecal (OMS, 2006; Raffo Lecca, 2013). La bacteria *Escherichia coli* es considerada como el índice de contaminación fecal más aceptable y adecuado para los programas de monitoreo de vigilancia de la calidad de agua de consumo (OMS, 2006).

#### 2.4.1.2 Parámetros fisicoquímicos

Temperatura: La temperatura es una *magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente* (Carrillo Monsrreal, 2014, p. 12). Es así que la temperatura es un parámetro que permite conocer el estado de un cuerpo de agua en un tiempo determinado, así como la fuente del agua, con lo que se permite discernir la aceptabilidad de algunos componentes inorgánicos y contaminantes químicos que pueden afectar al sabor del agua.

Una temperatura alta incrementará la proliferación de microorganismos con lo que puede aumentar los problemas de sabor, olor, color y corrosión, es decir que a una mayor temperatura la calidad del agua menor y con una temperatura menor, una mejor calidad del agua (OMS, 2006; Carrillo Monsrreal, 2014).

Conductividad eléctrica: La conductividad eléctrica es la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos en ella y es una medida indirecta para conocer la cantidad de sólidos disueltos totales (SDT) que contiene una muestra de un sistema de agua, donde los STD, son el contenido de sales solubles en una muestra de agua (Ambrosio Calderón, 1994; Mejía Clara,

2005; Raffo Lecca, 2013; Aké Cauich, 2016). Este parámetro al encontrarse en altas concentraciones puede afectar a la vida acuática y a la calidad de los suelos, el aumento de este puede asociarse al incremento de contenido salino (Mejía Clara, 2005; Cauich, 2016).

El pH se denomina como una variable maestra en sistemas acuáticos, es un indicador de la calidad del agua en general y es muy importante porque determinados procesos químicos solamente tienen lugar a un determinado pH (White, 2007; Pérez Castillo y Rodríguez, 2008; Raffo Lecca, 2013). Con la medición de pH, indica el grado de acidez o basicidad de una sustancia (Raffo Lecca, 2013; Aké Cauich, 2016).

El valor de pH, ligeramente básico, representa la presencia de carbonatos y bicarbonatos; mientras que un pH muy ácido puede ser indicio de una contaminación industrial (Mejía Clara, 2005). El valor de pH de las aguas naturales, generalmente se mantiene entre 6.5 - 8 (OMS, 2006; Raffo Lecca, 2013). Un pH superior a 8, *producirá agua turbia, incrustaciones e irritación de ojos, orejas, nariz y garganta* (Carrillo Monsreal, 2014, p. 12), en la NOM-127-SSA1-1994, propone un intervalo para agua para uso y consumo humano de 6.5 - 8.5, por lo que el agua que tenga valores fuera de este intervalo no será apta para consumo.

Nitratos y nitritos: El nitrato y el nitrito en aguas naturales están relacionados con el ciclo del nitrógeno de suelo y plantas superiores, la presencia de estos compuestos se ha asociado con la metahemoglobinemia, llegan al agua por medio de precipitación, escorrentía y descargas de industrias alimenticias, aguas residuales domésticas y agrícolas (Cabrera Molina *et al.*, 2003; Watler Reyer, 2008; Raffo Lecca, 2013).

La concentración de nitratos suele ser baja en aguas subterráneas, pero puede llegar a ser alta, lo que representa un motivo de preocupación ya que implica que hubo filtración o escorrentía de tierras agrícolas o residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares (Cabrera Molina *et al.*, 2003; OMS, 2006; Escalante Paredes, 2013; Raffo Lecca, 2013; Aké Cauich, 2016).

Alcalinidad: La alcalinidad es uno de los parámetros más importantes a estudiar en aguas naturales que está compuesta por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que es un indicador de dichas especies iónicas (Garbagnati *et al.*, 2005; Escalante Paredes, 2013; Aké Cauich, 2016). Generalmente, el contenido de bicarbonatos en las aguas subterráneas se encuentra entre 50 y 400 ppm, siendo el ion

dominante (Escalante Paredes, 2013, p. 15), por lo que el pH cae el intervalo de 4.5 a 8.2, cuando el pH es menor a 4.5, los bicarbonatos se transforman en ácido carbónico, y a valores con un pH superior a 8.2, se da la disociación de los iones bicarbonatos, transformándolos en iones carbonato (Escalante Paredes, 2013; Aké Cuich, 2016).

Por otra parte, la capacidad del agua de aceptar protones o bien neutralizar ácidos es dada por la alcalinidad y que a su vez esta representa el principal sistema amortiguador del agua dulce. Comúnmente el agua residual es alcalina, propiedad dada por el aporte de aguas de tratamiento, así como de agua subterránea y de agua con residuos de uso doméstico (Díaz Delgado *et al.*, 2005).

Sulfatos: Los sulfatos son sales que contienen el ion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), los principales aniones se encuentran en aguas naturales con un amplio intervalo de concentraciones o como consecuencia de descarga de desechos de minas y de las industrias (Mejía Clara, 2005; OMS, 2006; Graniel Castro *et al.*, 2009).

La determinación del sulfato para las aguas de consumo es muy importante, ya que puede de manera directa afecta a la aceptabilidad del agua ya que en primera instancia se puede detectar a través del sabor y a niveles muy altos puede generar un efecto laxante en consumidores no habituados, además de que también contribuye a la corrosión de los sistemas de distribución (OMS, 2006). *En el organismo humano provocan como efecto secundario deshidratación* (Bolaños Alfaro *et al.*, 2017, p. 18), que es lo resultante de un cuadro diarreico, que es una situación delicada en niños y adultos mayores; también se ha dado catarsis e irritación gastrointestinal (Espinoza *et al.*, 2014; Bolaños Alfaro *et al.*, 2017).

Cabe mencionar que no existe un valor de referencia basado en efectos adversos a la salud por la ingesta del sulfato, aunque, dado los efectos gastrointestinales que provocan las altas concentraciones de sulfato, se sugiere informar a las autoridades de salud las fuentes de agua de consumo donde la concentración de sulfato rebase los 500 mg/l (OMS, 2006). En la NOM-127-SSA1-1994 se establece un límite permisible del sulfato con un valor de 400 mg/l, que deben cumplir para el uso y consumo humano, y con respecto al sabor si este se deteriora es debido a la naturaleza del catión asociado, se considera que el deterioro del sabor es mínimo cuando la concentración es menor que 250 mg/l (OMS, 2006).

Detergentes: Los detergentes tienen origen antropogénico y son los principales surfactantes de uso doméstico (Guzmán Colis *et al.*, 2011). Su uso es cotidiano, su producción ha crecido considerablemente en las últimas décadas, a través de diferentes presentaciones como en polvos, líquidos y champús cuyo medio líquido usado generalmente es el agua (Zamora Mendoza, 1995).

Así mismo, los detergentes son dañinos para el ser humano y al ambiente. Los detergentes pueden afectar a los procesos de tratamiento de las aguas residuales. Los dermatólogos mencionan, que el daño al ser humano se evidencia por problemas en la piel en forma de eczemas y eritemas (comezón en la piel y pequeñas ronchas, salpullido), agrietamiento de la piel, resequedad en manos y cuero cabelludo, daños en las mucosas digestivas y entre otros (Zamora Mendoza, 1995). Sin embargo, no existen criterios de referencia, dado a su origen antropogénico (Guzmán Colis *et al.*, 2011).

Cloruros: Los cloruros, son sales que se resultan de la combinación de uno o varios átomos de cloro y un metal, estas son altamente solubles y ya en disolución son extremadamente estables (Escalante Paredes, 2013; Aké Cauich, 2016). Los cloruros son de las principales sales que se encuentran en aguas naturales, así como aguas residuales (Espinoza *et al.*, 2014; Guerrero Sánchez y Pazmiño Flores, 2017). En aguas naturales proceden de la disolución de suelos y rocas que las contengan (Espinoza *et al.*, 2014), en el caso de aguas subterráneas cercanas al océano, *están en equilibrio hidrostático con el agua de mar, [aunque], un sobre bombeo de las aguas subterráneas produce una diferencia de cabeza hidrostática a favor del agua de mar haciendo que ésta se introduzca en el área de agua dulce* (Escalante Paredes, 2013, p. 16).

La concentración de cloruros en aguas dulces, se encuentra generalmente entre 10 a 250mg/L, valores más elevados le confieren al agua un sabor salado que no permite la aceptabilidad para consumo (Escalante Paredes, 2013; Aké Cauich, 2016; Guerrero Sánchez y Pazmiño Flores, 2017). La alta concentración de los cloruros en aguas dulces se puede dar a partir de las aguas residuales, por lo que los cloruros indican contaminación dada por este tipo de aguas, ya que en *las excretas humanas de todos los organismos superiores (la orina principalmente), poseen una concentración de cloruros que es aproximadamente igual a la que se ingiere en los alimentos* (Gómez, 2016, p. 128), Espinoza *et al.* (2014) menciona que en las excretas humanas se pueden contener 6 gr de cloruros por persona al día.

### **3 ANTECEDENTES**

#### **3.1 VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO A NIVEL MUNDIAL**

Así como el agua es el recurso más importante a nivel mundial, también es el más vulnerable (Ávila García; 2002). El agua subterránea encontrada en acuíferos es el recurso hídrico más abundante (casi un 30% del agua dulce total). Los acuíferos son formaciones geológicas que pueden llegar a alimentar a ciudades enteras (Foster *et al.*, 2002; FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2011).

Los acuíferos del tipo kársticos abastecen aproximadamente al 25% de la población mundial, pero sus características los exponen a los contaminantes (Aguilar Duarte *et al.*, 2013). Los acuíferos kársticos representan el 20% de la superficie terrestre, estos se encuentran amenazados por desechos generados por la urbanización, la industria y las actividades agropecuarias (Gárfias *et al.*, 2002; Aguilar Duarte *et al.*, 2013). La importancia de la protección de este tipo de acuíferos es incuestionable por lo que los estudios detallados sobre las zonas más vulnerables a la contaminación son indudablemente necesarios (Antigüedad, 2007).

##### **3.1.1 Estudios de la vulnerabilidad del recurso hídrico alrededor del mundo**

En el sur de España, Andreo *et al.* (2004) realizaron un ensayo múltiple de trazadores para precisar el funcionamiento hidrogeológico de un acuífero carbonático, con lo que validan mapas de vulnerabilidad, ya que la región presentaba una elevada vulnerabilidad a contaminación. Se encontró que un contaminante que llegase a infiltrarse, tardaría entre 3 a 5 días en alcanzar los manantiales y de 1 a 6 días de permanencia en el acuífero.

Xavier *et al.* (2004) presentan una evaluación de la vulnerabilidad del acuífero de la ciudad de Paysandú, Uruguay. Para ello utilizaron los métodos GOD y DRASTIC, obteniendo así dos mapas de vulnerabilidad que permitieron la visualización de las regiones más sensibles a la contaminación, siendo parte de una herramienta para el ordenamiento territorial del área, protegiendo así a los recursos hídricos subterráneos.

Salhi *et al.* (2006), con la aplicación del método DRASTIC evalúan la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero de Oued Laou (Marruecos), este tipo de evaluación la hacen debido a la amenaza por distintas fuentes de contaminación al acuífero y ser uno de los cuerpos de agua subterránea más importantes en Marruecos.

En otro enfoque Mendoza Díaz (2008) presenta una metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano, en todo el sistema, es decir permite evaluar cada parte del sistema y el sistema en conjunto. Esta metodología se aplicó en tres sistemas de acueductos de la subcuenca del río Copán en Honduras: El Malcote-Don Cristóbal, El Estibo y Pinalito-Salitre.

Desde el enfoque de la vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano, Mendoza Díaz y Jiménez Otárola (2009) proponen una metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano, a nivel de todo el sistema, integrando aspectos cualitativos y cuantitativos, y consta de 10 componentes y 63 indicadores. Con la metodología se pudo identificar y cuantificar los componentes del sistema y los indicadores en cada componente que son más críticos y vulnerables. Esta se aplicó en tres sistemas de acueductos de la subcuenca del Río Copán en Honduras.

Jiménez Madrid *et al.* (2009) evaluaron el agua subterránea de los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Cañete, España. La evaluación de la vulnerabilidad intrínseca a la contaminación se realizó a través de la comparación del uso de los métodos DRASTIC Reducido, COP y RISK.

Un año más tarde, Jiménez Madrid *et al.* (2010) en la Sierra de Cañete, se evaluó el riesgo a contaminación de las aguas subterráneas del acuífero de esta zona. El estudio partió del mapa de peligrosidad de las actividades antrópicas existentes y de la cartografía de vulnerabilidad intrínseca de los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Cañete, y para la determinación del riesgo se utilizó la metodología de trabajo indicada por la Acción COST 620 desarrollada para la protección de las aguas de los acuíferos kársticos, está basada en tres parámetros: nocividad de la actividad contaminante (H), intensidad de la contaminación (Qn) y probabilidad de ocurrencia de un evento de contaminación (Rf). Finalmente se presentó una alta vulnerabilidad a la contaminación en los acuíferos carbónicos de la Sierra de Cañete.

Gómez (2016) en Argentina, estudio el Arroyo Claro que recibe afluentes a lo largo de su recorrido atravesando diferentes zonas residenciales, rurales y un vertedero de residuos. Este estudio partió de un informe preliminar del año 1999 que señala un deterioro del recurso hídrico y el fuerte contacto que tiene el arroyo con los habitantes, justificando la elaboración de un análisis de las condiciones de vida y riesgos que enfrenta la población para que se puedan tomar medidas de mejoramiento en cuanto a su calidad de vida.

El análisis de riesgo hídrico poblacional en el área de influencia del Arroyo Claro dentro del municipio de Malvinas Argentina permitió identificar 5 radios censales más afectados por el fenómeno de inundación ubicándose sobre el Arroyo Claro y su afluente el Cuzco; evidenció una severa contaminación por descargas de detergentes provenientes de los hogares o bien de industrias; además se encontró contaminación de origen fecal en el Arroyo por medio de análisis microbiológicos.

### **3.1.2 Estudios de la vulnerabilidad del recurso hídrico en México**

En México, el agua, es quizá el recurso más importante del país, de acuerdo con Magaña Rueda y Gay García (2002), por lo que se requiere de atención especial, dado a ello y de acuerdo a los puntos mencionados anteriormente los estudios acerca del recurso hídrico son imprescindibles.

En un estudio del 2002 por Gárfias *et al.*, se hace mención que el Estado de México es considerado como uno de los centros industriales más importantes del país, donde el agua subterránea es uno de los factores primordiales que sustentan su desarrollo, por lo que se evalúa la vulnerabilidad del acuífero del alto Lerma, Estado de México, a través de la integración del método DRASTIC y el modelo numérico VisualModflow. De acuerdo a la metodología aplicada, permitió la generación de mapas de vulnerabilidad que podrán apoyar al manejo sustentable del recurso hídrico presente, así como en el ordenamiento territorial del área de estudio.

En Linares, Nuevo León, México, Lizárraga Mendiola *et al.* (2006) delimitaron los dos acuíferos presentes de acuerdo con su litología y a sus características geológicas-estructurales, en ambos se evaluó la calidad del agua subterránea, en primera instancia se identificaron las fuentes de contaminación, usos del agua, calidad del agua, uso de suelo, la distancia a los aprovechamientos hidráulicos y la profundidad del nivel freático. Los resultados obtenidos mostraron contaminación por sólidos totales, sólidos suspendidos, nitratos, mercurio, sulfatos, coliformes totales y fecales, representando un riesgo a la salud a los usuarios; por otra parte, las principales fuentes de contaminación fueron: el tiradero municipal, depósitos de barita, descargas de fosas sépticas y letrinas, y residuos de animales de las granjas porcícolas, dichas actividades estaban asociadas a la población de Linares, alterando la calidad del agua subterránea usada principalmente para consumo humano (Lizárraga Mendiola *et al.*, 2006).



Contreras Servín y Galindo Mendoza (2008), desde un punto de vista holístico integran variables físicas, sociales y económicas, analizando cómo afectan al panorama y a la problemática actual de abastecimiento de agua potable en la ciudad en la zona metropolitana de San Luis Potosí. En este estudio se debatió acerca del incremento poblacional y la extracción de aguas subterráneas. Se planteó un diagnóstico de la situación del abasto de agua potable en esta zona y se sugirió que se atiendan las fugas a la mitad ya que las tendencias de crecimiento se prevén que serán las mismas en el 2010, sin la necesidad de sobreexplotar el acuífero.

En 2014, Velasco Gutiérrez, presenta un estudio cuyo objetivo era analizar cuantitativamente la vulnerabilidad del recurso hídrico de las 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA's) de México por medio de índices contruidos con los datos disponibles. Obteniendo una situación de vulnerabilidad en la actualidad, pero esto a futuro se puede agravar si no se toman las medidas adecuadas para incrementar la capacidad del sector hídrico responsable del abastecimiento de agua potable, esto para que el recurso no cuente con una mala calidad o no haya la infraestructura necesaria para el mismo. Haciendo hincapié sobre la cuestión de la falta de información que limita a estudios de este tipo, dando pie a que se realicen más estudios sobre información climática, social, de disponibilidad de agua superficial o subterránea sobre los recursos hídricos de México.

La distribución del recurso hídrico en México dista mucho de ser uniforme, en un estudio de Magaña Rueda y Gay García (2002, p. 14) se presenta que “el 50% de la población cuenta con menos del 20% de este recurso, mientras que, en el sudeste del país, el 20% de la población tiene más del 50% del agua”.

En el sexto dictamen del Senado de la Republica (2016) establece que en México:

*El volumen de agua renovable en promedio es de 4 mil 028 metros cúbicos por habitante al año, aunque esto varía dependiendo de la región. En la zona centro-norte de la Republica se concentra solo el 27 por ciento de la población, generando el 79 por ciento del Producto Interno Bruto y solo se cuenta con el 32 por ciento de agua renovable a diferencia de la zona sur, donde se tiene el 68 por ciento del agua del país y solo se concentra 23 por ciento de la población y genera el 21 por ciento del PIB conforme a datos del Consejo Consultivo del Agua A.C.*

Es así, que la zona sur toma de alguna manera importancia de preservación, ya que en la PY se encuentra el acuífero más grande de México que es el reservorio más grande del país, sin embargo, es altamente vulnerable. No obstante, su crecimiento poblacional ha sido exponencial dado que es la zona que recibe grandes divisas extranjeras para su desarrollo. Entonces, su importancia de esta zona no solo radica en su volumen de agua, sino que este es altamente vulnerable, mismo que abastece a la población de la región y a la gran cantidad de visitantes que recibe. Por lo que se han realizado estudios desde un enfoque específico hasta de diversas perspectivas, contemplando en su mayoría la vulnerabilidad intrínseca de la región.

Pérez Ceballos y Pacheco Ávila (2004) realizaron un estudio de la vulnerabilidad del estado de Yucatán, para este estudio usaron las metodologías: AVI, GOD y DRASTIC. Se encontró que el estado de vulnerabilidad intrínseca del estado de Yucatán está entre los rangos: alto y extremo, y la concentración de nitratos se encontró entre los rangos mínimo y extremo.

Pérez Ceballos *et al.* (2008), presentan un estudio donde determinan la vulnerabilidad del agua subterránea a los contaminantes por medio de un modelo espacial del acuífero de Yucatán, aplicando la metodología DRASTIC. Se encontró que el 94.8% del área de estudio tenía una vulnerabilidad de alta a muy alta.

Febles Patrón y Hoogesteijn (2008) presentan un estudio sobre el acuífero de la PY, donde resaltan que uno de los problemas principales ambientales es la vulnerabilidad del acuífero a la contaminación por disposición de aguas residuales, su metodología se basó en la revisión bibliográfica de la legislación ambiental (Federal, Estatal y Municipal) sobre la protección del agua subterránea de la capital de Yucatán y los Planes de Desarrollo Estatal y Municipal, sus resultados mostraron una falta de correspondencia entre ellos, por lo que propusieron una Ley Estatal de Agua Potable y Saneamiento que integre normas con respecto a (Febles Patrón y Hoogesteijn, 2008, p. 71):

- a) *la infiltración de aguas pluviales en áreas verdes,*
- b) *el diseño, construcción y operación de los sistemas de drenaje y plantas de tratamiento,*
- c) *la infiltración de descargas de fosas sépticas y*
- d) *el uso de campos de infiltración para efluentes de fosas sépticas y de plantas de tratamiento.*

Méndez novelo *et al.* (2014) evaluaron la calidad microbiológica del agua subterránea en pozos de abastecimiento del sistema de agua potable del estado, se presentó que la concentración de *bacterias coliformes* y *enterococos* estaba por encima de la norma y cuya contaminación biológica se identificó que era por heces humanas o animales.

Aguilar Duarte *et al.* (2016), incursiona en el estudio de la vulnerabilidad del acuífero kárstico presente en la PY proponiendo un índice al que denomino como IVAKY, este se construyó en base de un mapa geomorfopedológico escala 1:50000. El índice propuesto incluyó tres factores: clima, relieve y suelos, estos se ponderaron con el proceso de análisis jerárquico. Con este índice se identificó que en el sur de Yucatán presenta niveles bajos y muy bajos de vulnerabilidad, mientras que el Anillo de cenotes y la parte de la zona noreste del estado presentan el nivel extremo más alto de vulnerabilidad.

Albornoz Euán y González Herrera (2017) evaluaron la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero yucateco bajo condiciones derivadas del cambio climático, con escenarios regionales en los horizontes cercano (2015-2039) y futuro (2075-2099), para modelar la vulnerabilidad a través el índice DRSTIL. Los resultados principales fueron: la vulnerabilidad moderada aumentara para los años próximos y las zonas de alta vulnerabilidad disminuirán, debido al cambio del uso del suelo y la reducción de la recarga. Además, enuncian que dada las características intrínsecas como la permeabilidad y la rápida infiltración del acuífero este es altamente vulnerable a la contaminación, y que estas pueden modificarse por los cambios del clima.

### **3.2 VULNERABILIDAD SOCIAL DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE LA CALIDAD DE VIDA**

El concepto de la vulnerabilidad social hace referencia a un estado o situación en particular que posee una persona, grupo o comunidad que dado a ello pueden verse afectadas a fenómenos externos desestabilizantes (amenazas), cuyo origen puede ser social, ambiental, epidemiológico o tecnológico (Gómez, 2016). Para auxiliar a las personas, grupos o comunidades que se encuentran ante un estado o una situación alarmante es necesario en primera instancia analizarlas, por lo que se han propuesto diversas metodologías para evaluar la vulnerabilidad social.

Rosenfeld *et al.* (2000) presentan una estructura modélica básica para evaluar la Calidad de Vida Urbana (CVU) a escala local y regional mediante la elaboración de indicadores e índices eficientes, eficaces, con calidad y de equidad social de los servicios urbano-regionales (RUR).

Navarro Rodríguez y Larrubia Vargas (2006), establecen un método más adecuado para analizar la realidad social en situaciones de vulnerabilidad, en el que proponen un sistema de indicadores sociales para la inclusión social, el cual incluye indicadores de contexto, del nivel de ingresos, de trabajo y de calidad de vida.

En el 2014, Campos Saldaña establece algunas nociones para la interpretación del estudio de la calidad de vida mediante dos elementos: el primero, un objetivo establecido por factores socioeconómicos; y el otro por la percepción de las personas de sus condiciones de vida. Fatemi *et al.* (2017), establecen que los factores sociales son una de las causas más importantes de la vulnerabilidad de las comunidades que están expuestas a desastres, y proponen indicadores de vulnerabilidad de género, atributos demográficos, estatus socio- económico, recursos públicos y discapacidad y necesidades especiales.

Juárez Romero *et al.* (2017) midieron la calidad de vida mediante índices de percepción de la calidad de vida de las personas, las dimensiones de buen gobierno, vida comunitaria, educación y bienestar personal.

Los trabajos anteriores presentan indicadores similares y la forma de plantear la calidad de vida desde la percepción de las personas, ahora bien, este tipo de investigaciones sociales se aplica como se observó en la parte 2.3., para evaluar la afectación del recurso hídrico, por lo que se han presentado diversos estudios como los que se observaran a continuación:

En la ciudad de Cancún, Quintana Roo se evaluó su sustentabilidad urbana a partir del desarrollo y análisis de su indicador propuesto, al que se le denominó como “uso y manejo del agua urbana”. Domínguez Aguilar (2004) estableció, cartografió y modeló las características de la estructura urbana además del uso y manejo del agua urbana de la ciudad a partir de la interacción entre los actores sociales, sistema urbano y el medio ambiente. Con lo obtenido, se evaluó si había un desperdicio y contaminación del recurso hídrico y si el manejo del agua era equitativo o no, desde términos sociales y económicos. Lo destacado de los resultados es que evidenciaron una tendencia al deterioro tanto ambiental y del bienestar de la población, además del incremento de otros problemas ambientales urbanos como la basura.

Mendoza Díaz (2008), elaboró una propuesta metodológica, donde integra aspectos cualitativos y cuantitativos. Se establecieron 10 componentes (zona de recarga hídrica, fuente de abastecimiento de agua, toma de agua y obra de captación, línea de conducción, tanque de almacenamiento, red de distribución, tratamiento del agua, uso y manejo del agua en el hogar, manejo de aguas post-uso y gestión administrativa) y 63 indicadores. Esta metodología funciona como herramienta para evaluar sistemas y tomar las mejores decisiones para garantizar la sostenibilidad de sistemas hídricos que abastecen a las poblaciones de esta zona., ya que donde se localizaban los valores más altos de vulnerabilidad es donde se debían tomar medidas inmediatas para reducir dicha vulnerabilidad.

Pérez Flores (2012) evaluó la relación entre la percepción de la población hacia los manantiales y cenotes, así como el uso y manejo que se les dan, mediante la caracterización de la dimensión sociocultural del medio ambiente a través de encuestas en El Puerto, Yucatán. La percepción de los encuestados fue que: los sucesos sociales modifican el aprovechamiento de los recursos; la calidad del agua embotellada es superior a la entubada; el uso de pozos suple al mal servicio municipal del agua entubada; los cenotes poseen connotaciones sagradas por parte de la población, que da un efecto positivo al manejo y conservación mejor de estos recursos; la regulación de actividades de conservación de los recursos está apoyada por la población; lo que concluye que la percepción es importante en el manejo de los cenotes y manantiales.

Nava Galindo (2015) realizó un estudio en 31 cenotes de interés turístico donde analizó los niveles de coliformes totales y fecales, y las percepciones de los administradores de los mismos. Se encontró que 19 no cumplieron con la NOM-003-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público. Por otro lado, el análisis de percepciones a los administradores señaló que no poseen el conocimiento científico del funcionamiento de los cenotes, pero perciben el riesgo a que los bañistas enfermaran por contacto directo con el agua de los cenotes.

En el estudio anterior se hace referencia a una norma para el análisis microbiológico, sin embargo, por parte social, es decir las preguntas o incisos presentados están avalados por instituciones gubernamentales que analizan temas demográficos, educativos, económicos, entre otros, que miden por ejemplo: la pobreza, el desarrollo social, rezago social. En México, las principales instituciones son: el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) y la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL).

### **3.3 VULNERABILIDAD AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO MEDIANTE LA CALIDAD DEL AGUA**

El interés de la evaluación de la vulnerabilidad ambiental del recurso hídrico a través de la calidad del agua ha tomado impulso a través de los Índices de Calidad del Agua (ICA), que han sido desarrollados tanto para aguas superficiales como subterráneas, y estos varían en los parámetros que poseen como en el grado de complejidad de su metodología (Villanueva Gómez, 2016).

Uno de los primeros trabajos de los ICA, fue el de Dinius en el 1987, evalúa el nivel de contaminación en agua dulce a través de indicadores de contaminantes con los que se determinará la relación entre la cantidad de estos en el agua y la calidad del agua, así como la importancia de cada uno para cada uso del agua y como para la contaminación en términos generales.

León Vizcaíno (1992) adapta y modifica el ICA de Dinius (1987), y lo aplica en la determinación de la calidad del agua de la Red Nacional de Monitoreo en el sistema de la cuenca Lerma-Chapala. Señala León Vizcaíno (1992) que la evaluación de este tipo de índices debe complementarse con los valores límites permisibles.

En 2010, Saeedi *et al.*, presentan al ICA cuya aplicación se plantea en la planificación del uso del suelo y en la gestión de los recursos hídricos. Este índice se buscó aplicar en agua subterránea cuyo objetivo era encontrar en la provincia de Qazvin, centro oeste de Irán, los lugares que posean la mejor calidad del agua.

Larena España (2013) presenta un ICA para aguas subterráneas para determinar la disponibilidad de agua de la planta potabilizadora Mérida I, la principal zona de captación de mayor aportación al municipio de Mérida, por lo que se presenta la necesidad de conocer la disponibilidad de agua subterránea del acuífero.

Una innovación del uso del ICA fue presentada por Chowdhury *et al.* (2015), donde propuso la caracterización completa de efluentes producidos en las distintas etapas de procesamiento de cuero de tres industrias seleccionadas de curtiduría, así como de efluentes compuestos en tres puntos de monitoreo seleccionados, dentro de la zona industrial de cuero Hazaribagh en Bangladesh.

Cabezas Castillo (2015) desarrolla un ICA cuyo propósito fue buscar un desarrollo socio - ambiental del área de estudio, donde realizó el reconocimiento de las actividades antrópicas y de las condiciones físicas y afluentes del área de estudio que fue el río Ushimana en la parroquia Alangasí.

En 2017 Baghapour y Shooshtarian (2017) presentan una modificación del ICA para interpretación de calidad del agua y determinación de las tendencias de está. La aplicación del ICA fue en agua potable en Shiraz, Irán, en un periodo de cinco años donde se identificaron los factores que pudieran afectar la calidad del agua potable.

Los ICA, como forma de evaluación general de la calidad del agua, han sido objeto de diferentes puntos de vista, desde los indicadores que incluye hasta la estructura de ellos. La estructura para el cálculo en su gran mayoría de los ICA se basa en la normalización de los parámetros que lo integran, esto de acuerdo con la naturaleza de ellos. Seguido a ello se realiza una ponderación de acuerdo con el grado de importancia de acuerdo a la percepción general de la calidad del agua, tomada para cada trabajo, esto puede observarse en la Tabla 6, donde se presentan los valores de ponderación dados por los diferentes trabajos que se presentaron previamente. Lo siguiente que se realiza es escoger la formula a aplicar y con ello obtienen el valor del ICA, para entender mejor esto se presentan en la Tabla 7 algunas formas que se aplican.



**Tabla 6. Valores de ponderaciones por diferentes autores**

Parámetros	Dinius (1987)	León Vizcaíno (1992)	Saeedi <i>et al.</i> (2010)	Larena España (2013)	Chowdhury <i>et al.</i> (2015)	Cabezas Castillo (2015)	Baghapour y Shooshtarian (2017)
pH	0.077	0.063	0.2	0.059	0.12	0.12	0.12
Conductividad	0.079			0.118			
Dureza total	0.065			0.176			
Cloruros	0.074	0.068	0.1	0.118			
N-Nitratos	0.09			0.235	0.1		
Coliformes totales	0.09	0.083			0.17		
Temperatura	0.077				0.11	0.1	0.1
Oxígeno disuelto	0.109	0.103			0.18	0.17	0.17
Alcalinidad	0.063						
Coliformes fecales	0.116	0.143		0.294	0.17	0.15	0.15
DBO	0.097	0.096			0.12	0.1	0.1
Color	0.063						
DQO		0.053					
Fenoles		0.033					
Sólidos suspendidos		0.033					
Nitratos		0.053				0.1	0.1
Amonios		0.043					
Fosfatos		0.073			0.11		0.1

*Continuación (1 de 2)*

Sólidos suspendidos		0.033					
Nitratos		0.053				0.1	0.1
Amonios		0.043					
Fosfatos		0.073			0.11		0.1
Diferencia de Temperatura		0.043				0.1	
Turbidez					0.09	0.08	0.08
TDS			0.15			0.08	0.08
Dureza como CaCO3		0.058					
Potasio			0.04				
Sodio			0.06				
Calcio			0.2				
Sulfatos			0.1				
Magnesio			0.15				
Alcalinidad como CaCO3		0.055					
$\sum =$	1	1	1	1	1.17	1	1

Continuación (2 de 2)

Elaboración propia. Fuentes: Dinius, 1987; León Vizcaíno, 1992; Saeedi et al., 2010; Larena España, 2013; Chowdhury et al., 2015; Cabezas Castillo, 2015; Baghapour y Shooshtarian, 2017.

**Tabla 7. Fórmulas de agregación**

Método	Formula
Promedio ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$
Promedio aritmético ponderado	$ICA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i$
Promedio geométrico no ponderado	$ICA = \left( \prod_{i=1}^n q_i \right)^{1/n}$
Promedio geométrico ponderado	$ICA = \left( \prod_{i=1}^n q_i \right)^{w_i}$
Subíndice mínimo	$ICA = \min(q_1, q_2, \dots, q_n)$
Subíndice máximo	$ICA = \max(q_1, q_2, \dots, q_n)$
Promedio no ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i \right)^2$
Promedio ponderado modificado	$ICA = \frac{1}{100} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i w_i \right)^2$
<p>Simbolismos:</p> <p><i>ICA: Índice de Calidad de Agua</i></p> <p><i>n: Número de parámetros</i></p> <p><i>qi ó q<sub>1</sub> ... q<sub>n</sub>: Indicador normalizado</i></p> <p><i>wi = Factor de ponderación</i></p>	

*Elaboración propia. Fuente: Samboni Ruiz et al., 2007; Larena España, 2013.*

## 4 JUSTIFICACIÓN

El recurso hídrico que se encuentra en acuíferos kársticos abastece al 25% de la población mundial (Perrin, 2003; Bakalowicz, 2005; Antigüedad, 2007; Aguilar Duarte *et al.*, 2013) y desafortunadamente son vulnerables a la contaminación, dadas sus propiedades intrínsecas. En México, el acuífero de la Península de Yucatán es kárstico y abastece a los tres estados que la conforman, estos estados poseen aproximadamente 5 millones de habitantes (INEGI, 2015).

Las localidades de Cancún y Akumal en Quintana Roo, se ubican en la costa y se destacan por ser los principales polos de afluencia turística. En los programas de desarrollo urbano de cada localidad, se puede observar, que en el caso de Cancún, posee un crecimiento urbano establecido desde hace más de 45 años a diferencia de Akumal, que su desarrollo es incipiente de acuerdo a lo observado en su programa de desarrollo urbano (Municipio de Solidaridad, 2007; Municipio de Benito Juárez, 2014). No obstante, la rápida expansión demográfica en ambas localidades, no ha permitido ofrecer condiciones adecuadas de vida a la población, provocando que se presenten maneras informales e ineficientes para satisfacer sus necesidades básicas (Municipio de Solidaridad, 2007; Municipio de Benito Juárez, 2014).

Este fenómeno presente en ambas localidades se han exhibido en grandes urbes, y es una tendencia a nivel mundial, que han llevado al surgimiento de situaciones que ponen en riesgo al medio ambiente, por la falta de un ordenamiento territorial de los centros urbanos, considerados como escenarios de desastres y propiciar la generación de conflictos ambientales (Torrens *et al.*, 2000; Sainz Santamaría y Becerra Pérez, 2003; Monforte García y Cantú Martínez, 2009; Alfaro García, 2016; Ávila Verdín *et al.*, 2016).

Una de las formas de seguimiento y transmisión de información de lo que está pasando en las localidades se plantea en el estudio en particular un modelo conformado a través de la pirámide de Hammond *et al.* (1995), con lo que permitirá un concepto más completo de la realidad ya que a su vez integrará aspectos sociales y ambientales.

## **5 HIPÓTESIS**

El grado de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental será menor en una localidad con un desarrollo urbano incipiente a comparación de una con un desarrollo urbano ya establecido.

## **6 OBJETIVOS**

### **6.1 OBJETIVO GENERAL**

Comparar la vulnerabilidad del recurso hídrico de las áreas de estudio en las localidades de Cancún y Akumal, a través de un modelo de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental.

#### **6.1.1 *Objetivos específicos***

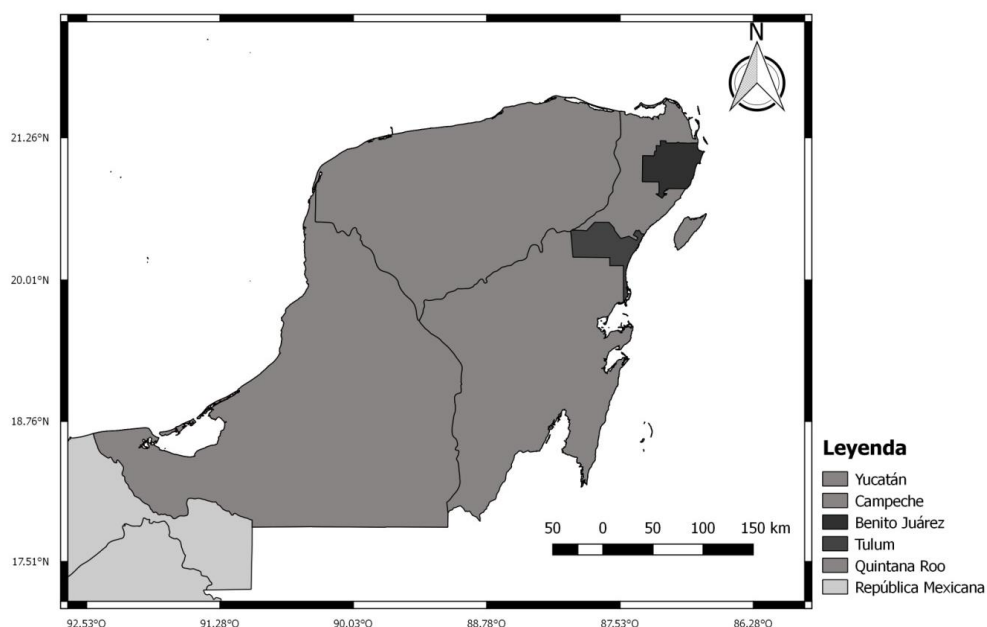
- Caracterizar la calidad del agua de las áreas de estudio.
- Caracterizar la calidad de vida de las áreas de estudio.
- Construir modelo de indicadores sociales y ambientales
- Elaborar un índice de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva social-ambiental.
- Comparar los índices de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva social-ambiental de cada área de estudio.

## 7 METODOLOGÍA

### 7.1 ÁREA DE ESTUDIO

Para cumplir con los objetivos planteados del presente trabajo se seleccionaron dos áreas de estudio ubicadas al norte de la Península de Yucatán, en los municipios de Benito Juárez y Tulum (Fig.7). Corresponden a la RH 32 en la que no se registran corrientes superficiales permanentes además de que es una zona carbonatada parcialmente emergente.

Las áreas de estudio se localizan en el estado de Quintana Roo, la primera se encuentra en el municipio de Benito Juárez, en la ciudad de Cancún en la zona denominada como Tres Reyes, ubicada en la AGEB 2300500014087 (AGEB\_C), que ocupó el 4to lugar de marginación urbana en el contexto estatal, el área de estudio se denominó como: “área de estudio C” (Fig.8). La segunda área de estudio, se encuentra localizada en la localidad de Akumal, en el municipio de Tulum, denominada como “área de estudio K”, la cual se le conoce por los residentes como “Nueva Creación” (Fig. 9), los primeros asentamientos en esta zona fueron en mayo del 2016, esto se observó a través de Google Earth.



**Figura 7. Ubicación de los municipios de las áreas de estudio**

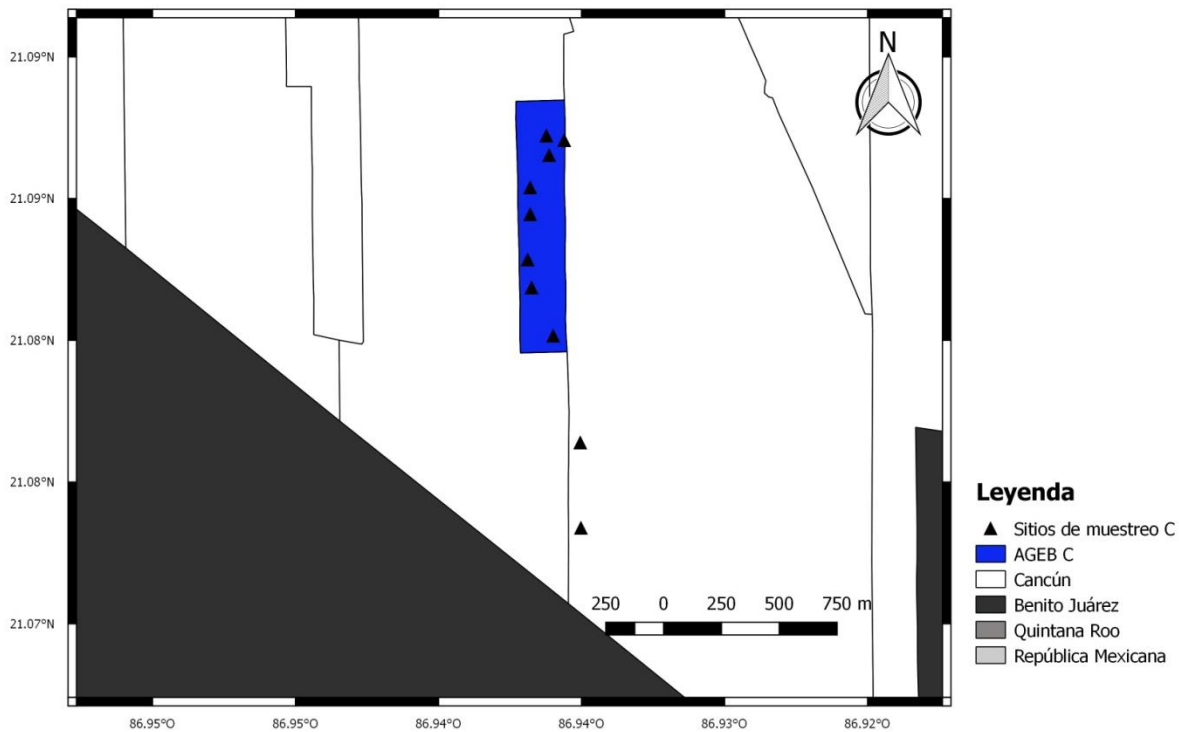


Figura 8. Área de estudio C



Figura 9. Área de estudio K



## 7.2 MÉTODOS

### 7.2.1 Trabajo de campo: Reconocimiento del área de estudio

A través del trabajo de campo se realizó el reconocimiento del área de estudio y se enfocó a observar las características físicas de las áreas de estudio y actividades antropogénicas que podrían modificar al recurso hídrico. Lo observado se registró en una bitácora tomando puntos de GPS y notas.

### 7.2.2 Evaluación de la calidad de vida

Para la evaluación de la calidad de vida de la población de las áreas de estudio C y K, en el semestre de Enero a Junio del año 2018, se aplicaron cuestionarios a manera de entrevistas semi-estructuradas (López Roldán y Fachelli, 2015) a un representante mayor de edad por hogar. La modalidad de la entrevista fue personal o bien cara a cara, ya que se desarrolló *en un mismo espacio y tiempo entre el entrevistador-entrevistado* (López Roldán y Fachelli, 2015, p. 14). El cuestionario se compone y se ordenó en cuatro categorías: aspectos demográficos; datos de la vivienda; calidad del agua; y percepción a enfermarse y a la afectación del recurso hídrico. Los reactivos y respuestas fueron codificados para registro de los datos (Fernández, 2006).

La selección del número de cuestionarios a aplicar se realizó a través de la fórmula del tamaño mínimo de muestra de Suárez y Tapia (2012):

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N-1)e^2 + \sigma^2Z^2} \text{ (ecuación 1)}$$

Donde:

$n$  = tamaño de muestra

$N$  = tamaño de la población

$\sigma$  = desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0.5

$Z$  = valor obtenido mediante niveles de confianza

$e$  = Límite aceptable de errores muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre 1% (0.01) y 9% (0.09), valor que queda a criterio del encuestador.

Para estimar el tamaño mínimo de muestra para la aplicación de los cuestionarios para el área de estudio C, el número de viviendas se obtuvo dividiendo el número de habitantes (175 habitantes, CartoCritica, 2015) de la AGEB entre el promedio del número de personas por vivienda del año 2015 (3.4, INEGI, 2016). Lo que resultó un 51.47 de viviendas. Se aplicó la ecuación 1, tomando la desviación estándar como 0.5, el nivel de confianza a un 90%, por lo que el valor Z fue de 1.65 y con un límite aceptable de error muestral de 0.1, estas condiciones fueron para ambas áreas de estudio. Con ello se obtuvo un número de 30 cuestionarios para el área de estudio C.

Y en cuanto al área de estudio K, al considerarse la colonia nueva creación no existen registros oficiales de esta área, por lo cual se realizó un conteo de las viviendas. Se obtuvieron 158 viviendas, con lo que se aplicó la misma ecuación y los mismos criterios del área de estudio C. Se realizaron un total de 48 cuestionarios.

A partir de la selección del tamaño mínimo de muestra, se precedió a entrevistar, considerando las recomendaciones de Díaz Bravo *et al.* (2013). Las entrevistas duraban alrededor de 15 minutos en promedio.

Con las entrevistas hechas, se codificaron y capturaron en Excel 2007, en una hoja previamente diseñada para un rápido registro de los datos para su posterior integración en los indicadores sociales.

### **7.2.3 Evaluación de la calidad del agua**

Los parámetros para la evaluación de la calidad del agua que se eligieron fueron: conductividad eléctrica, el pH, temperatura, alcalinidad, detergentes, nitratos, sulfatos y cloruros. Estos parámetros fueron seleccionados porque son de los más usados en los ICA (Tabla 6) y porque valores fuera de los establecidos en estudios de la zona o de las normas como la NOM-127-SSA1-1994, podrían indicar influencia de actividades antropogénicas.

Las muestras para determinar la calidad del agua fueron tomadas de 16 diferentes sitios dentro y alrededor de cada área de estudio (10 sitios en Cancún, tabla 8; 6 sitios en Akumal, tabla 9), su transporte se realizó en una nevera a una temperatura aproximada de 5°C.

**Tabla 8. Características básicas de los sitios de muestro del área de estudio C**

Origen de la muestra	Sitio	Fuente de extracción de la muestra	Coordenadas geográficas	
			N	O
Subterránea	1	Pozo somero	21° 4'27.22	86°56'9.33
	2	Pozo somero	21° 4'39.14	86°56'9.43
	3	Pozo somero	21° 4'54.07	86°56'13.48
	4	Pozo somero	21° 5'0.79	86°56'16.72
	5	Pozo somero	21° 5'4.71	86°56'17.31
	6	Pozo somero	21° 5'19.30	86°56'14.09
	7	Pozo somero	21° 5'14.78	86°56'16.93
	8	Pozo somero	21° 5'11.04	86°56'16.93
	9	Pozo somero	21° 5'22.03	86°56'14.50
	10	Pozo somero	21° 5'21.38	86°56'11.83

**Tabla 9. Características básicas de los sitios de muestro del área de estudio K**

Origen de la muestra	Sitio	Fuente de extracción de la muestra	Coordenadas geográficas	
			N	O
Subterránea	1	Pozo somero	20°24'8.17	87°19'47.94
	2	Cenote	20°24'9.38	87°19'46.40
	3	Cenote	20°24'9.05	87°19'46.31
	4	Cenote	20°25'33.52	87°20'54.54
	5	Pozo somero	20°25'26.22	87°20'59.00
	6	Cenote	20°21'23.99	87°23'58.91

El análisis de los parámetros se realizó una parte *in situ* y otra en laboratorio (*ex situ*). Se utilizó una sonda multi-paramétrica CONDUCTRONIC PC18 para determinar *in situ*: la temperatura (°C), el pH y la conductividad eléctrica (mg/L).

Por otra parte, las metodologías para la determinación de los parámetros analizados en laboratorio se basaron en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; OMS, 2006 y en las NOM y en las NMX. Para cada parámetro analizado en laboratorio se tomó una muestra que transportado en diferentes envases (tabla 10).

**Tabla 10. Características de los envases para los diferentes parámetros**

# de envase	Parámetro	Material de envase	Volumen de la muestra tomada (ml)
1	Coliformes totales	Vidrio (previamente esterilizado)	1000
	Coliformes fecales		
2	Alcalinidad	Frascos de plástico (previamente con triple lavado y baño ácido)	250
3	Cloruros	Frascos de plástico (previamente con triple lavado)	250
	Sulfatos		
	Nitratos		
4	Detergentes	Frascos de plástico (previamente con triple lavado)	1000

Para el análisis de las muestras de agua en laboratorio se dio prioridad a las muestras para verificar la presencia de coliformes totales y fecales, el tiempo de transportación al laboratorio no fue no más de seis horas para su análisis. Se realizó el análisis a través del kit Colilert ® utilizando una incubadora Felisa a una temperatura de 35.5°C por 24 horas, para coliformes totales y para fecales 48 hrs con una lámpara de UV, con el fin de visualizar la presencia de estos microorganismos.

La alcalinidad se analizó por medio del Método de titulación de Gran, utilizando un titulador digital marca HACH modelo 16900 con ampollas de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 0.1600±0.0008 N y un potenciómetro marca Scientific® Accumet® modelo Excel XL60. Los resultados obtenidos se procesaron en el programa Excel 2007 en una hoja prediseñada para obtener la alcalinidad de carbonatos de calcio ( $HCO_3$ ).

La cuantificación de los iones: cloruros, sulfatos y nitratos se realizó mediante una cromatografía iónica en un equipo 882 IC Metrohm, un detector de conductividad eléctrica (CE) (IC Conductivity Detector) y un detector UV-Vis (887 Professional UV-Vis Detector).

Para el último parámetro, para detectar la presencia de detergentes se utilizó la metodología de la norma NMX-AA-039-SCFI-2001. La lectura de la absorbancia de las muestras se realizó con un espectrofotómetro BioSpectrometer Eppendorf.

### **7.3 MODELO DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DESDE LA PERSPECTIVA SOCIO-AMBIENTAL**

El modelo de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico desde la perspectiva socio-ambiental (IVRH), con base en García (2006), Hernández (2009) y en la pirámide de Hammond *et al.* (1995).

Como datos primarios se tomaron de lo obtenido del punto 7.2.2 y 7.2.3. El análisis de los datos se realizó de a través de una investigación mixta acuerdo al criterio de los investigadores parte del comité de la tesis presente (López Noguero, 2002) a través de una investigación mixta: la que cuál integra *la naturaleza de la investigación documental y de la investigación de campo* (Zorrilla como se citó en Tevni Grajales 2000, p. 2).

Los indicadores se construyeron con base a los criterios de Frausto Martínez, 2006; García, 2006; CONEVAL, 2007; Hernández, 2009; Nava Galindo, 2015; e INEGI, 2016, y se normalizaron de 0 a 1, tomando el criterio de que mientras más cerca este del uno el resultado del indicador guardará un menor grado de vulnerabilidad. Para cada indicador se elaboró una ficha que incluye su nombre; su abreviación así como su definición; importancia; comentarios; variables; las fórmulas para su obtención; el nivel de aplicación y sus fuentes; y el Objetivo de Desarrollo Sostenible que busca cumplir.

El objetivo del que se trata abordar, es el de “Agua limpia y saneamiento”, lo que le da a cada indicador un valor agregado, ya que en la nueva agenda para el desarrollo sostenible tiene dentro de sus propósitos de aquí al año 2030, está el promover el bienestar de las personas y de mismo modo proteger el medio ambiente, en este estudio se plantea cubrir a partir del recurso hídrico, el cuál es el más valioso a nivel mundial (UNDP, 2016).

La normalización de los indicadores elegidos se basó en la naturaleza de los datos (ya que no poseían la misma escala ni unidades). La elección de los indicadores que se basó en el cumplimiento de los criterios de Casas Beltrán, 2013 (Tabla 11).

A partir de los indicadores, estos se clasificaron en sociales y ambientales, con lo que se obtuvo un subíndice del componente social y ambiental. Finalmente se elaboró a partir de ambos subíndices un índice de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental (ver apartado 2.2).

**Tabla 11. Criterios que deben cumplir los indicadores del tipo social y ambiental para el modelo.**

Indicadores	Calidad de los datos y precisión del análisis	Relevancia con respecto al objeto de estudio	Comunicación
Nombre del indicador	Valor científico (no ambiguo)	Viabilidad económica	Valores de referencia
	Disponibilidad y accesibilidad de datos	Representatividad (mapas)	Comparación interregional o internacional
	Calidad de los datos	Cobertura geográfica apropiada	Uso potencial para escenarios futuros
	Sensibilidad a los cambios	Relevancia	
	Simplicidad		

Fuente: Casas Beltrán, 2013.

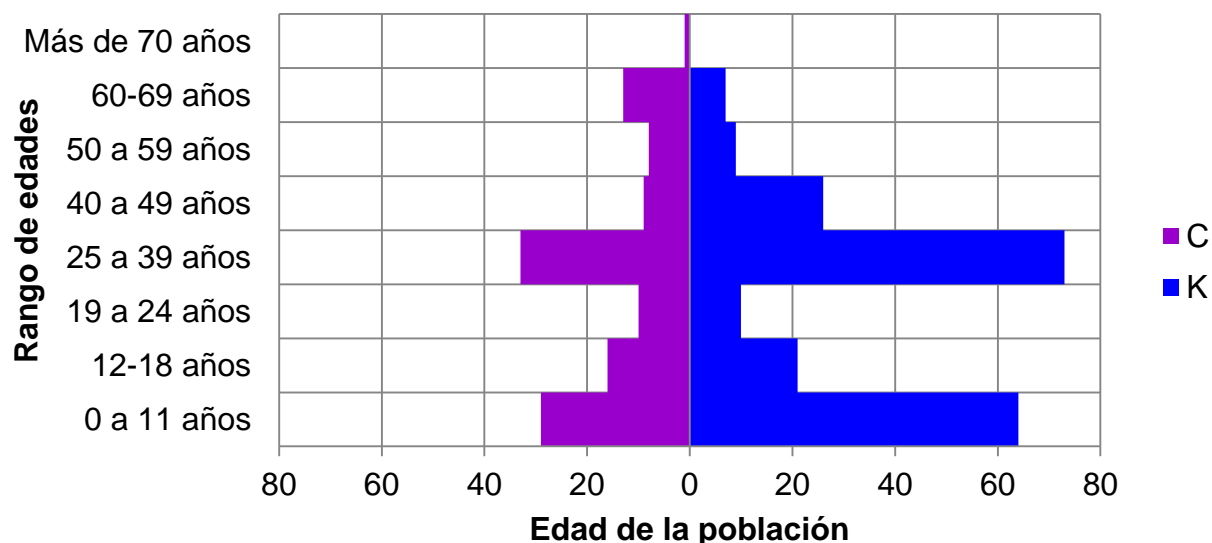
## 8 RESULTADOS

### 8.1 ENTREVISTA SEMI-ESTRUCTURADA

Se visitaron 78 hogares en ambas áreas de estudio. Se aplicaron encuestas a manera de entrevista semi-estructurada (Anexo 1), 30 para el área C y 48 para el área K.

#### 8.1.1 Aspectos demográficos

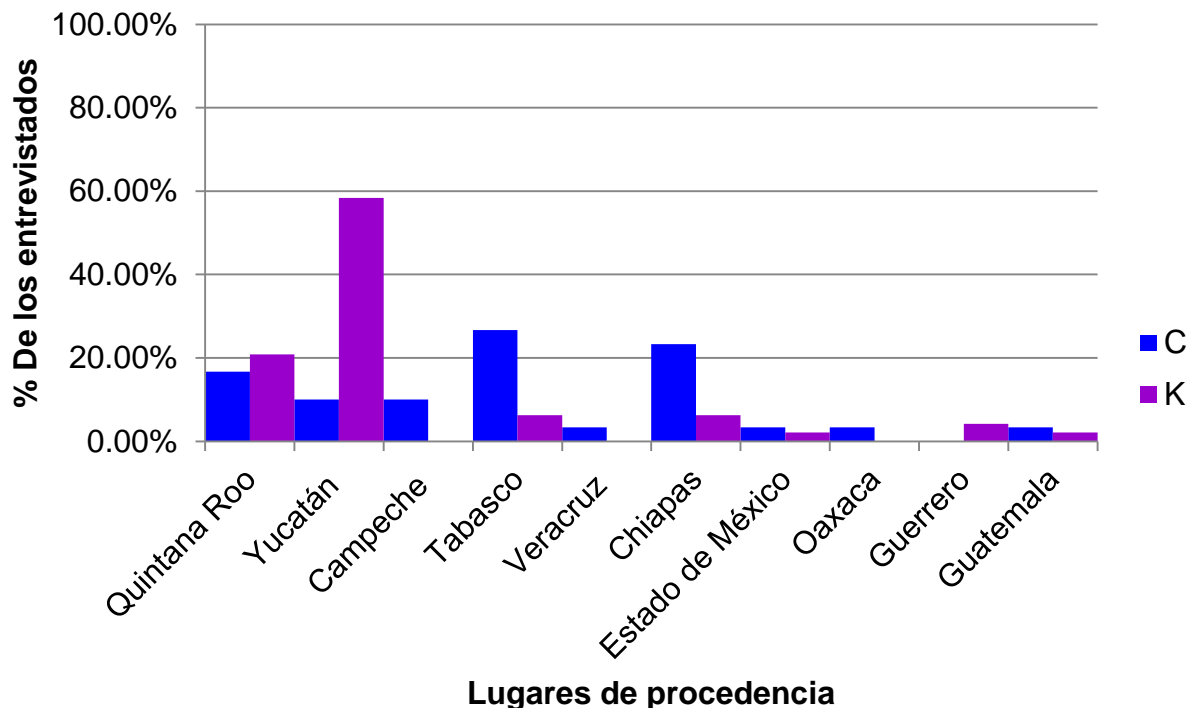
El área C presentó 19 mujeres y 11 hombres, y en la K, 32 mujeres y 16 hombres. La edad media de los entrevistados fue de 41.4 años con una desviación estándar de 15.6 años para el área de estudio C, en cuanto a la K, la edad media fue de 36.5 años con una desviación estándar de 9.9 años. Dentro de la encuesta se incluyó el número de personas por hogar así como los intervalos de edades, por lo que se contabilizaron 119 personas en el área C y para el área K 210 personas, en ambas áreas predominan las personas con edades entre 25 a 39 años (Fig. 10).



**Figura 10. Rango de edades obtenidas a partir de las encuestas**

El lugar de procedencia de los entrevistados (Fig. 11) fue mayor la diversidad para el área C, el 81.4% fueron de Estados que no pertenecen a la PY y para el área K solamente un 20.8%. Por parte del tiempo de ocupación en su hogar actual, el promedio en el área C es de  $10.5 \pm 7.7$  años y en el área K, el promedio es menor a un año ( $0.97 \pm 0.67$  año).





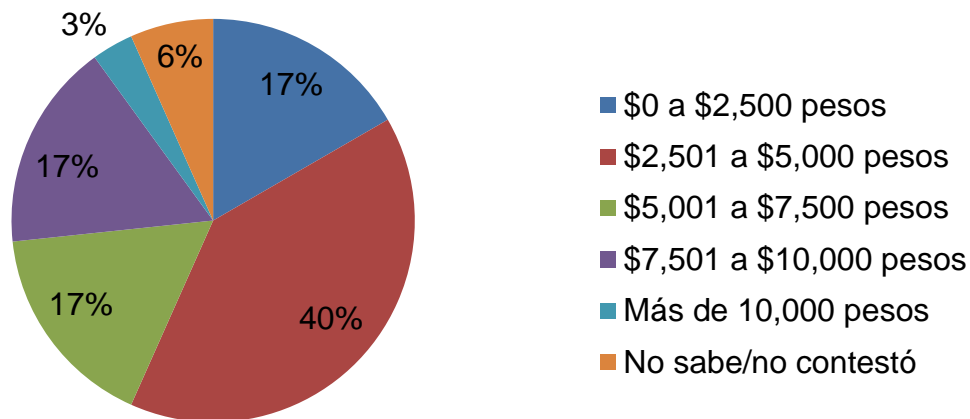
**Figura 11. Lugar de procedencia de los entrevistados**

El nivel de estudios de los entrevistados varía, incluyendo sin estudios a nivel universidad, predominando en ambas áreas el nivel educativo de primaria (Tabla 12).

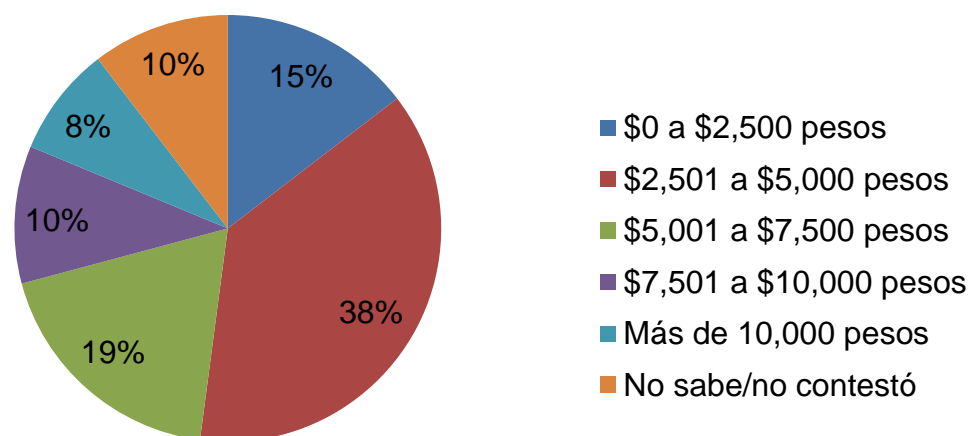
**Tabla 12. Nivel educativo de los entrevistados para cada área de estudio**

Nivel educativo	Área de estudio C	Área de estudio K
Sin estudios	6	3
Primaria	14	21
Secundaria	6	17
Preparatoria	4	6
Universidad	0	1
Total de entrevistados	30	48

La ocupación actual frecuente de las personas entrevistadas en ambas localidades fueron amas de casa (50% en C y 52% en K), con lo que concuerda con lo reportado con el ingreso en la vivienda, ya que proviene de una sola persona. El ingreso mensual frecuente para ambas áreas fue de \$2,501 a \$5,000 pesos y el menos frecuente fue de más de \$10,000 pesos (Fig. 12 y 13).



**Figura 12. Ingreso promedio mensual frecuente de los entrevistados del área C**



**Figura 13. Ingreso promedio mensual frecuente de los entrevistados del área K**

### **8.1.2 Datos de la vivienda**

Las entrevistas reportaron que el 90% de las viviendas entrevistadas resultaron ser propias. Solamente el 16.7% posee escrituras en el área C y el 95.8% en K, en el área de K los entrevistados mencionaron que sus hogares son propios y de ellos solo un 22.9% poseen escrituras.

El material del que están contruidos los hogares, 40% del total, en ambas áreas es frágil (desecho; cartón; lámina de asbesto o metálica; carrizo, bambú o palma; barro o bajareque). El 40% de los hogares del área C poseen piso de tierra y el área K un 29.2%.

Los hogares poseen en promedio 1.4 dormitorios, para el área C y 1.3 para K. Los servicios en los hogares son ineficientes e informales, en el área C, se carece totalmente del servicio de recolección de basura (residuos sólidos) por lo que optan por incinerarlos o tirarlos en terrenos (vacíos), en el área K, el 41.7% cuenta con el servicio, pero en cuanto a la disposición el 47.9% de los entrevistados la trasladan a algún lugar donde pasa el servicio de recolección de basura por lo que solo un 10.4% incinera su basura.

Los hogares en ambas áreas de estudio, carecen de diversos servicios. En el área C, se caracteriza por no contar con agua entubada en la vivienda ni sistema de drenaje, y optan por la construcción de pozos (Fig.14) y fosas sépticas en el mismo predio, donde la cobertura de estas últimas es de 96.7%, y el resto de los entrevistados señalaron que utilizan la fosa de algún vecino. En el área K, su fuente de abastecimiento y distribución de agua, es de tipo informal, a través de una manguera de plástico negra improvisada (Fig. 15). Por otra parte, el sistema de desecho de aguas servidas en el área K, un 8.3% posee sistema de drenaje, un 83.3% posee fosa séptica y el porcentaje restante no posee ninguno de los dos.



**Figura 14. Pozo como fuente de abastecimiento de agua del área de estudio C.**



**Figura 15. Manguera como fuente de abastecimiento de agua del área de estudio K.**

Respecto al servicio de electricidad, de los hogares entrevistados en el área C, un 23.3% no poseen electricidad, y el 76.7% la tiene de manera informal a través de sistemas coloquialmente conocidos como “diablitos”. En el área K, un 4.2% no posee electricidad y del 95.8% que cuenta con ello, un 85.3% es de manera informal a través de “diablitos” como se observa en la Fig. 16.



**Figura 16. Sistema de electricidad de manera informal del área K**

### **8.1.3 Calidad del agua**

Los entrevistados en ambas áreas se inclinan a usar agua purificada (embotellada) para beber. Para cocinar un 93.3% del área C, usan agua purificada (garrafón) y en la K, un 91.7%, los porcentajes restantes usan agua de su respectiva fuente de abastecimiento (pozo). Del mismo modo, en ambas áreas el agua que usan para bañarse e higiene personal es de su respectiva fuente de abastecimiento.

Un 46.7% de los entrevistados en el área C, percibe que el agua de su respectiva fuente de abastecimiento (pozo) puede beberse sin riesgo, mientras que el área K, solo un 14% concuerda. A su vez un 20% de los entrevistados del área C, alguna vez ha experimentado irritación en la piel por contacto con agua de su fuente de abastecimiento, y en el área K, sólo un 8.3%.

En el área C, un 10% de los entrevistados han reporto haber percibido algún color del agua, un 16.7% sabor, un 10% olor y un 10% haber notado cambio de color en diferentes épocas del año, para el área K, un 16.7%, un 31.2% y un 18.7% y un 10.4%, respectivamente.

### **8.1.4 Riesgos**

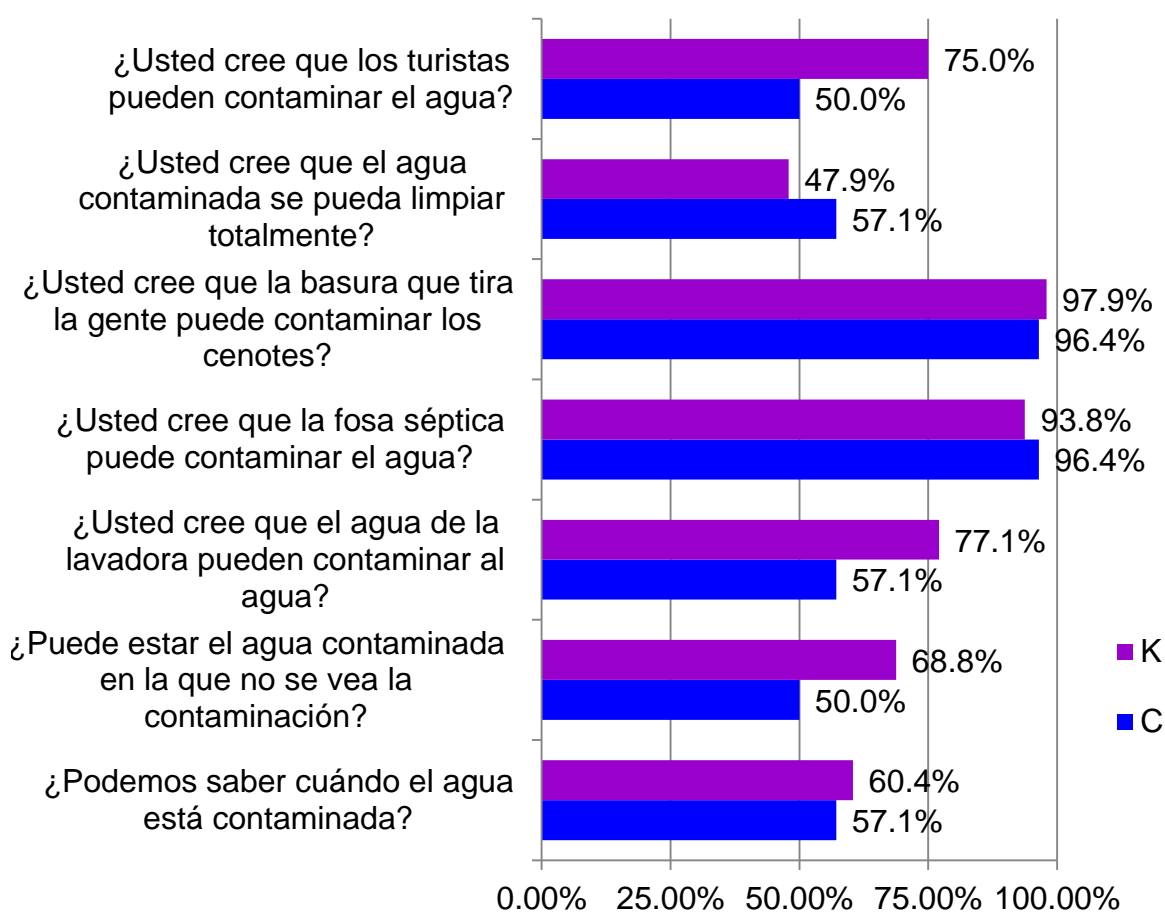
#### **8.1.4.1 Percepción del riesgo a enfermarse**

Los resultados de la percepción de la población con respecto al recurso hídrico a enfermarse al tomar agua de la llave (pozo) muestran, que en el área C, un 80% dio una respuesta positiva y la mayoría (83.3%) lo relaciono a la contaminación del agua, en el caso del área K, los porcentajes fueron mayores ya que un 87.5% dio una respuesta positiva y un 90.5% lo relaciona a la contaminación del agua.

Un poco menos de la mitad de los entrevistados perciben el riesgo de enfermarse por solo tener contacto directo con el agua de su respectiva fuente de abastecimiento, un 46.7% del área C y en la K un 35.4%, además las infecciones en la piel son las que los entrevistados les dan más relación a las enfermedades por el agua.

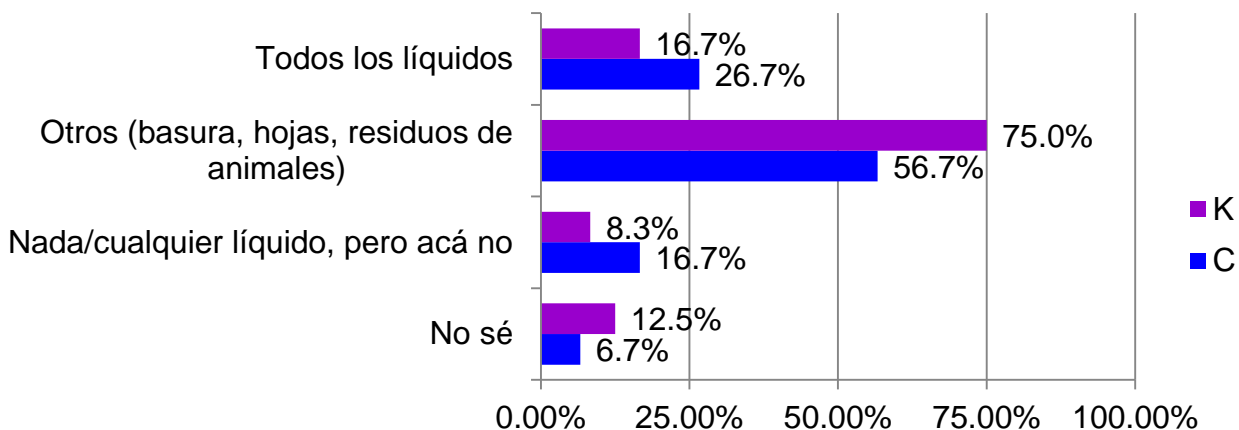
#### 8.1.4.2 Percepción del riesgo de afectación al recurso hídrico

La pregunta inicial este apartado en la “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO”, fue acerca de que si conocían la palabra contaminación, en el área C, sólo un 67.9% dio una respuesta positiva, mientras que en el área K, la mayoría (91.7%), a partir de ello se les pregunto: ¿Qué se puede contaminar?, a lo que menos de la mitad (42.1%, área C y 43.2%, área K) de los entrevistados mencionaron que pueden contaminar el agua, los resultados del resto de las preguntas se muestran en la Fig. 17.



**Figura 17. Percepción de los entrevistados a afectar al recurso hídrico**

En la pregunta: ¿Qué otras cosas a los alrededores pueden contaminar el suelo hacia el agua (subterránea)?, esta para obtener las principales fuentes de contaminación de la localidad la cuales resultaron ser la basura, hojas, residuos sólidos de animales (principalmente perros y gatos, que son animales domésticos comunes) (Fig. 18).



**Figura 18. Pregunta detonante: ¿Qué otras cosas cree que estén a los alrededores puedan contaminar el suelo hacia el agua (subterránea)?**

## 8.2 RESULTADOS AMBIENTALES

Se colectaron 10 muestras de aguas de pozos someros del área C de y en el área K de dos pozos someros y de cuatro cenotes, los cuales se consideraron como estas muestras nos indicaran la calidad del agua subterránea.

### 8.2.1 Parámetros fisicoquímicos *in situ*

En las siguientes tablas 13 y 14, se presentan los parámetros medidos *in situ*: *Temperatura, pH y conductividad*. La temperatura promedio en el área C fue de  $25.6^{\circ}\text{C} \pm \text{SD } 0.6$ , y del área K el promedio fue de  $26.1 \pm \text{SD } 0.7$  °C. La conductividad eléctrica promedio para el área C fue de  $635 \pm \text{SD } 89.9$   $\mu\text{S/cm}$  y para el área K, fue de  $2845 \pm \text{SD } 613.6$   $\mu\text{S/cm}$ . El pH promedio para el área C fue de  $6.9 \pm \text{SD } 0.1$  y del área K,  $7 \pm \text{SD } 0.2$ .

**Tabla 13. Resultados de parámetros *in situ* del área de estudio C**

Sitios de muestreo	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH
C1	25.6	731	6.9
C2	25.4	686	6.9
C3	24.2	823	7.1
C4	25.5	563	6.8
C5	25.7	548	7.2
C6	25.7	669	6.8
C7	26.1	567	6.9
C8	26.2	589	6.9
C9	26.1	575	6.9
C10	25.6	599	6.9

**Tabla 14. Resultados de parámetros *in situ* del área de estudio K**

Sitios de muestreo	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica ( $\mu\text{S/cm}$ )	pH
1	27.1	2380.00	6.9
2	25.6	2160.00	6.7
3	25.6	2250.00	6.7
6	26.9	998.00	6.8
7	25.7	1770.00	6.8
10	25.8	1760.00	7.3



### 8.2.2 Parámetros fisicoquímicos ex situ

El resto de los parámetros fisicoquímicos (alcalinidad, cloruros, sulfatos, nitratos y Sustancias Activas al Azul de Metileno) se analizaron en el laboratorio (Tabla 15 y 16).

La alcalinidad promedio en el área C fue de  $274.9 \pm$  SD 88.9 mg/L y en el área K, promedio de  $383.6 \pm$  SD 22.9. La concentración promedio de cloruros detectada en el área C, fue de  $30.3 \pm$  SD 12.2, mientras que en el área K, se dio un promedio de  $1499 \pm$  SD 1192.1. La concentración promedio de sulfatos en el área C, fue de  $25.0 \pm$  SD 11.7, y en el área K, fue de  $258.4 \pm$  SD 212.3.

Los nitratos, en el área C presentaron una concentración promedio de  $9.9 \pm$  SD 5.9, y en el área K, un promedio de  $8.7 \pm$  SD 6.1.

La concentración de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM), que indican presencia de detergentes, se encuentran presentes en 9 de las 10 muestras del área C con un promedio de  $0.1 \pm$  SD 0.2 y para el área K, en 5 de las 6 muestras se encontró presencia de estas sustancias, cuyo promedio fue e de  $0.5 \pm$  SD 0.4 (mg/L).

**Tabla 15. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del área de estudio C.**

Sitio de muestreo	Alcalinidad de HCO <sub>3</sub> (mg/L)	Concentración de Cl (mg/L)	Concentración de SO <sub>4</sub> (mg/L)	Concentración de NO <sub>3</sub> (mg/L)	Concentración de SAAM (mg/L)
C1	103.8	46.2	46.1	11.6	0.2
C2	323.3	30.1	25.4	10.7	0.5
C3	247.7	54.8	17.7	1.1	0.0
C4	255.1	12.2	6.6	5.1	0.0
C5	227.7	19.4	14.6	3.7	0.1
C6	289.5	30.8	36.9	12.4	0.3
C7	428.6	28.7	18.2	5.7	0.1
C8	233.5	25.3	21.8	13.6	0.2
C9	377.0	25.7	31.4	17.3	0.1
C10	263.5	30.4	31.7	18.7	0.0

**Tabla 16. Resultados de los parámetros fisicoquímicos del área de estudio K**

Sitio de muestreo	Alcalinidad de HCO <sub>3</sub> (mg/L)	Concentración de Cl (mg/L)	Concentración de SO <sub>4</sub> (mg/L)	Concentración de NO <sub>3</sub> (mg/L)	Concentración de SAAM (mg/L)
K1	417.6	2788.0	532.0	15.6	0.3
K2	379.7	626.0	108.0	2.6	1.2
K3	397.9	3155.0	516.0	16.1	0.0
K6	350.6	535.0	75.8	5.0	0.4
K7	371.2	1390.0	226.0	10.2	0.1
K10	385.0	500.0	93.0	3.0	0.3

### 8.2.3 Parámetros bacteriológicos

En el 100% de las muestras se detectaron coliformes totales en ambas áreas de estudio. En el área C, las concentraciones se presentaron de 1 hasta >2419.6 NMP/100 mL (Tabla 17). En el caso de los coliformes fecales no se detectaron.

**Tabla 17. Resultados de coliformes totales y fecales del área de estudio C**

		COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES
Concentración:		1:1	1:1
Sitios de muestreo	C1	224.7	<1
	C2	980.4	<1
	C3	2	<1
	C4	1553.1	<1
	C5	>2419.6	<1
	C6	1	<1
	C7	127.4	<1
	C8	1203.3	<1
	C9	7.4	<1
	C10	261.3	<1

Para el área de K, se procedió de la misma forma que en la C, las concentraciones de estos organismos fueron desde 56.5 a >2419.6 NMP/100 mL (Tabla 18).

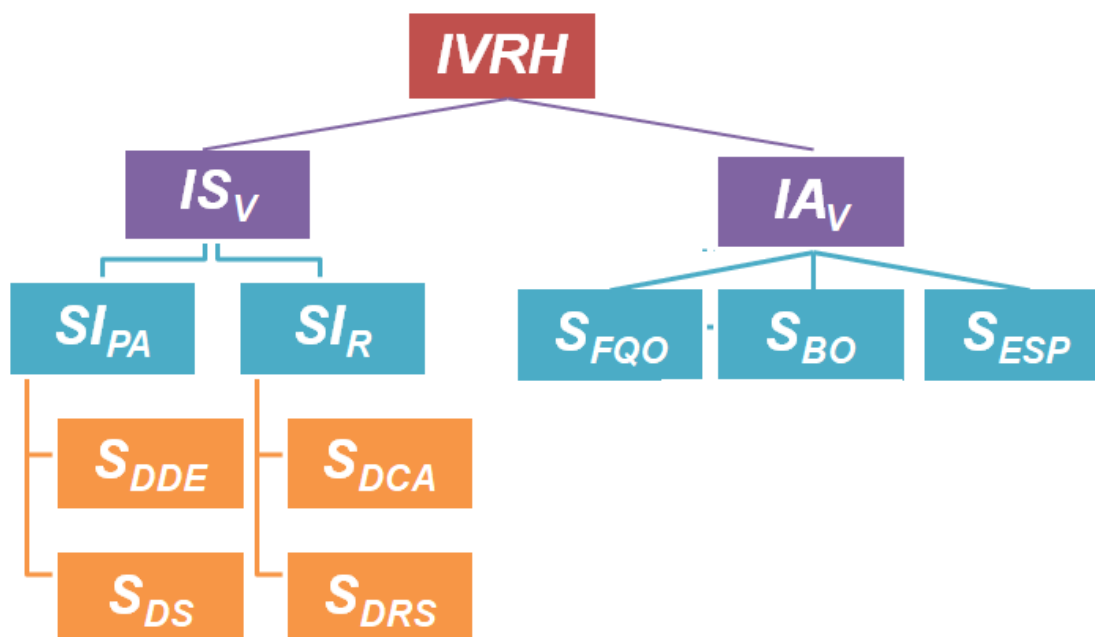
**Tabla 18. Resultados de coliformes totales y fecales del área de estudio K**

		COLIFORMES TOTALES	COLIFORMES FECALES
Concentración:		1:1	1:1
Sitios de muestreo	K1	>2419.6	51.2
	K2	>2419.6	7
	K3	1732.9	1
	K4	>2419.6	19.9
	K5	56.5	<1
	K6	686.7	<1

Los coliformes fecales se detectaron en el 66.67% de las muestras del área de estudio K, las concentraciones detectadas fueron de 1 a 51.2 NMP/100mL (Tabla 18).

### 8.3 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO DESDE LA PERSPECTIVA SOCIO-AMBIENTAL

Se desarrolló un modelo con el que se obtuvo un Índice de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico desde la perspectiva socio-ambiental (*IVRH*), se estructura con base del Modelo de Vulnerabilidad Regional Costera de García (2006), cuya finalidad es que sea sencillo, lógico y reproducible, y que además permita obtener el grado de vulnerabilidad (Fig. 19).



**Figura 19. Modelo de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico desde la perspectiva socio-ambiental.**

Dónde:

- IVRH* Índice de Vulnerabilidad del Recurso Hídrico desde la perspectiva socio-ambiental
- ISV* Índice de vulnerabilidad del componente social del recurso hídrico
- IAV* Índice de vulnerabilidad del componente ambiental del recurso hídrico
- SI<sub>PA</sub>* Subíndice de condiciones de la población y su asentamiento
- SI<sub>R</sub>* Subíndice de la percepción del recurso hídrico
- S<sub>FQO</sub>* Subíndice de parámetros fisicoquímicos
- S<sub>BO</sub>* Subíndice de parámetros bacteriológicos
- S<sub>ESP</sub>* Subíndice de parámetros específicos
- S<sub>DDE</sub>* Subíndice demográfico y de equipamiento
- S<sub>DS</sub>* Subíndice de servicios

$S_{DCA}$  Subíndice de percepción de calidad del agua  
 $S_{DRS}$  Subíndice de la percepción de riesgos

El modelo de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental está expresado como la suma de los índices del componente social (IS) y ambiental (IA), los cuales se le dio un valor de ponderación de 0.5 a cada uno, dado a que representan la mitad del modelo.

$$IVRH = \sum_{i=1}^n (IS_V w_i + IA_V w_i)$$

$q_i$  = Variable (indicador) normalizada

$n$  = Número de índices = 2

$w_i$  = valor de ponderación de cada índice = 0.5

#### 8.4 VALIDACIÓN DEL IVRH

En ambas áreas de estudio se realizó la validación del *IVRH*, esto a través de la puesta en operación y calibración del mismo (García, 2006). El resultado del modelo espera que refleje la vulnerabilidad del recurso hídrico desde el componente social y el ambiental, y que, a su vez dentro de cada uno permita detectar de manera precisa los subíndices e indicadores con un potencial de muy alto grado de vulnerabilidad. El modelo se compone de 2 índices, 7 subíndices y 22 indicadores.

El *IVRH*, se adaptó a partir del elaborado por García (2006), que se presenta como un modelo espacial y lineal simple.

A continuación, se presentan los resultados para cada área de estudio (Tabla 19).

**Tabla 19. Resultado del *IVRH* para cada área de estudio**

Área de estudio C	Área de estudio K
$IVRH = [(0.47)(0.5) + (0.62)(0.5)] = 0.55$	$IVRH = [(0.60)(0.5) + (0.16)(0.5)] = 0.38$

Obtenido el *IVRH* para cada área de estudio, el resultado se ubica en la tabla 20, para catalogar la vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental.

**Tabla 20. Grados de vulnerabilidad para el *IVRH***

Grado de vulnerabilidad	Rango	Descripción
Muy baja	0.81 - 1.00	La condición del recurso hídrico puede no presentar alteraciones
Baja	0.61 - 0.80	La condición del recurso hídrico puede presentar mínimas alteraciones
Moderada	0.41 - 0.60	La condición del recurso hídrico empieza a presentar signos de alteraciones perjudiciales
Alta	0.21 - 0.40	La condición del recurso hídrico presenta signos de alteraciones perjudiciales
Muy alta	0 - 0.20	La condición del recurso hídrico presenta signos de alteraciones perjudiciales posibilitando a su contaminación.

*Elaboración propia. Fuentes: Fernández y Solano, 2005; Pérez Castillo y Rodríguez, 2008; Valcarcel Rojas et al., 2009; Baque Mite et al., 2016; Arcos Espinosa et al., 2017.*

### 8.5 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL COMPONENTE SOCIAL DEL RECURSO HÍDRICO ( $IS_V$ )

El  $IS_V$ , que se muestra en la Fig. 20, posee un carácter descriptivo que se plantea de tal manera que explique los diferentes factores que pueden influir en la vulnerabilidad del recurso hídrico, como lo que se menciona en el apartado 2.3. Los dos componentes que posee este índice como se muestra en la Fig. 20, el primero un subíndice denominado como  $SI_{PA}$  que se define como la relación de las características de la población y su asentamiento, mientras que el segundo, el  $SI_R$ , es la relación de la percepción de la población acerca del recurso hídrico.

El  $SI_{PA}$ , se compone a su vez de dos subíndices, el  $S_{DDE}$ , el cual valora características demográficas y del equipamiento en la vivienda; el  $S_{DS}$ , por su parte valora la parte de sus servicios básicos en la vivienda. Por otra parte, el  $SI_R$ , el cual se compone de dos subíndices, el  $S_{DCA}$  y el  $S_{DRS}$ . El  $S_{DCA}$ , valora la percepción de la población acerca del recurso hídrico, reflejando la confianza con respecto a los usos dados, así como la calidad del agua en cuanto al color, sabor y olor. El  $S_{DRS}$ , valora la percepción del riesgo a enfermarse y de afectar al recurso hídrico.

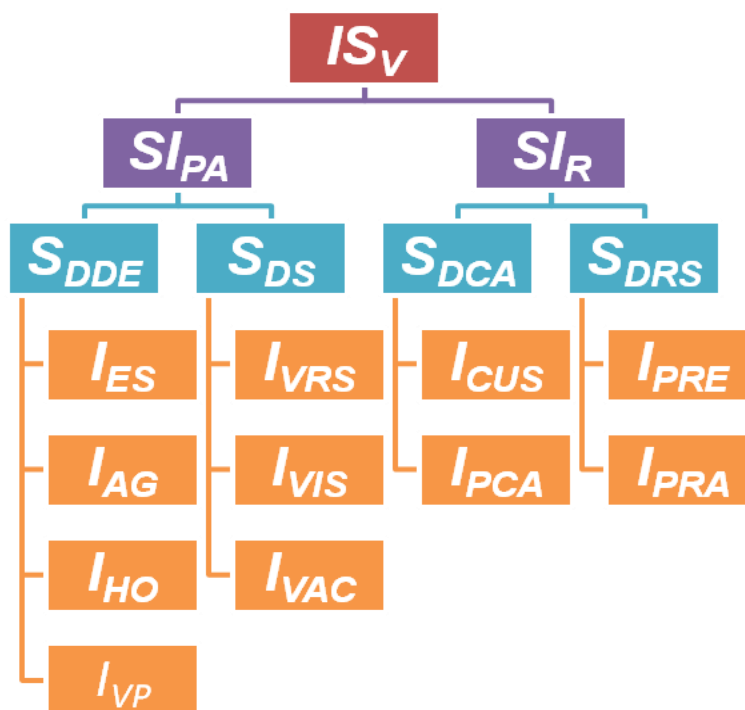


Figura 20. Modelo conceptual del componente social

Dónde:

$I_{SV}$	Índice de vulnerabilidad del componente social del recurso hídrico
$SI_{PA}$	Subíndice de condiciones de la población y su asentamiento
$SI_R$	Subíndice de la percepción del recurso hídrico
$S_{DDE}$	Subíndice demográfico y de equipamiento
$S_{DS}$	Subíndice de servicios
$S_{DCA}$	Subíndice de percepción de calidad del agua
$S_{DRS}$	Subíndice de la percepción de riesgos
$I_{ES}$	Indicador de escolaridad
$I_{AG}$	Indicador de apropiación del espacio geográfico
$I_{HO}$	Indicador de área suficiente para vivir (hacinamiento)
$I_{VP}$	Indicador de en viviendas particulares habitadas sin recubrimiento en piso
$I_{VRS}$	Indicador de la disposición adecuada de residuos sólidos en viviendas particulares habitadas
$I_{VIS}$	Indicador de viviendas con acceso a instalaciones sanitarias adecuadas
$I_{VAC}$	Indicador de sistema de abastecimiento de agua adecuado y controlado
$I_{CUS}$	Indicador de la confianza hacia el recurso hídrico con respecto a los usos
$I_{PCA}$	Indicador de percepción de la calidad del agua adecuada
$I_{PRE}$	Indicador de percepción de riesgo: a enfermarse
$I_{PRA}$	Indicador de percepción de riesgo: a afectación del recurso hídrico

### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este índice, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%, apartado 7.2.3.

### Variables

$I_{ES}$	Indicador de escolaridad
$I_{AG}$	Indicador de apropiación del espacio geográfico
$I_{HO}$	Indicador de área suficiente para vivir (hacinamiento)
$I_{VP}$	Indicador de en viviendas particulares habitadas sin recubrimiento en piso
$I_{VRS}$	Indicador de la disposición adecuada de residuos sólidos en viviendas particulares habitadas
$I_{VIS}$	Indicador de viviendas con acceso a instalaciones sanitarias adecuadas
$I_{VAC}$	Indicador de sistema de abastecimiento de agua adecuado y controlado
$I_{CUS}$	Indicador de la confianza hacia el recurso hídrico con respecto a los usos



$I_{PCA}$	Indicador de percepción de la calidad del agua adecuada
$I_{PRE}$	Indicador de percepción de riesgo: a enfermarse
$I_{PRA}$	Indicador de percepción de riesgo: a afectación del recurso hídrico
$N_{DDE}$	Número de indicadores del Subíndice demográfico y de equipamiento
$N_{DS}$	Número de indicadores del Subíndice de servicios
$N_{DCA}$	Número de indicadores del Subíndice de percepción de calidad del agua
$N_{DRS}$	Número de indicadores del Subíndice de la percepción de riesgos
$S_{DDE}$	Subíndice demográfico y de equipamiento
$S_{DS}$	Subíndice de servicios
$S_{DCA}$	Subíndice de percepción de calidad del agua
$S_{DRS}$	Subíndice de la percepción de riesgos
$N_{IPA}$	Número de subíndices del Subíndice de condiciones de la población y su asentamiento
$N_{IR}$	Número de subíndices del Subíndice de la percepción del recurso hídrico
$SI_{PA}$	Subíndice de condiciones de la población y su asentamiento
$SI_R$	Subíndice de la percepción del recurso hídrico
$N_{S_V}$	Número de subíndices del Índice de vulnerabilidad del componente social del recurso hídrico
$IS_V$	Índice de vulnerabilidad del componente social del recurso hídrico

**Tabla 21. Fórmulas que integran el  $IS_V$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$S_{DDE} = \frac{I_{ES} + I_{AG} + I_{HO} + I_{VP}}{N_{DDE}}$	$S_{DDE} = \frac{0.32 + 0.68 + 0.36 + 0.60}{4} = 0.49$	$S_{DDE} = \frac{0.40 + 0.90 + 0.25 + 0.71}{4} = 0.57$
$S_{DS} = \frac{I_{VRS} + I_{VIS} + I_{VAC}}{N_{DS}}$	$S_{DS} = \frac{0 + 0.48 + 0}{3} = 0.16$	$S_{DS} = \frac{0.90 + 0.50 + 0.52}{3} = 0.64$
$S_{DCA} = \frac{I_{CUS} + I_{PCA}}{N_{DCA}}$	$S_{DCA} = \frac{0.36 + 0.88}{2} = 0.62$	$S_{DCA} = \frac{0.36 + 0.78}{2} = 0.57$
$S_{DRS} = \frac{I_{PRE} + I_{PRA}}{N_{DRS}}$	$S_{DRS} = \frac{0.55 + 0.66}{2} = 0.61$	$S_{DRS} = \frac{0.51 + 0.75}{2} = 0.63$
$SI_{PA} = \frac{S_{DDE} + S_{DS}}{N_{IPA}}$	$SI_{PA} = \frac{0.49 + 0.16}{2} = 0.33$	$SI_{PA} = \frac{0.57 + 0.64}{2} = 0.60$
$SI_R = \frac{S_{DCA} + S_{DRS}}{N_{IR}}$	$SI_R = \frac{0.62 + 0.61}{2} = 0.61$	$SI_R = \frac{0.57 + 0.63}{2} = 0.60$
$IS_V = \frac{SI_{PA} + SI_R}{N_{S_V}}$	$IS_V = \frac{0.33 + 0.61}{2} = 0.47$	$IS_V = \frac{0.60 + 0.60}{2} = 0.60$

### **8.5.1 Subíndice demográfico y de equipamiento ( $S_{DDE}$ )**

#### *8.5.1.1 Indicador de escolaridad ( $I_{ES}$ )*

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Indicador de la proporcionalidad de los niveles educativos de la población con respecto a la mejor percepción del medio ambiente, con énfasis en el recurso hídrico.

#### Importancia

Cuando una población posee un mayor nivel educativo, puede ser interpretado como un mejor conocimiento y, por tanto, mejor percepción de la interacción de los seres humanos y medio ambiente.

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%.

#### Variables

$N_{PSe}$	Número de personas sin estudios
$N_{PCp}$	Número de personas con primaria
$N_{PCs}$	Número de personas con secundaria
$N_{PCpa}$	Número de personas con preparatoria
$N_{PCu}$	Número de personas con universidad
$P_{PSe}$	Puntuación de personas sin estudios (0)
$P_{PCp}$	Puntuación de personas con primaria (0.25)
$P_{PCs}$	Puntuación de personas con secundaria (0.5)
$P_{PCpa}$	Puntuación de personas con preparatoria (0.75)
$P_{PCu}$	Puntuación de personas con universidad (1)
$Pp_{PSe}$	Producto del número de personas sin estudios por su puntuación
$Pp_{PCp}$	Producto del número de personas con primaria por su puntuación

$Pp\_PCs$	Producto del número de de personas con secundaria por su puntuación
$Pp\_PCpa$	Producto del número de de personas con preparatoria por su puntuación
$Pp\_PCu$	Producto del número de de personas con universidad por su puntuación
$Z\_ES$	Sumatoria de los productos dados de $Pp\_PSe$ ; $Pp\_PCp$ ; $Pp\_PCs$ ; $Pp\_PCpa$ ; $Pp\_PCu$
$Npe$	Número de personas entrevistadas
$I_{ES}$	Indicador de escolaridad

**Tabla 22. Fórmulas que integran el  $I_{ES}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$Pp\_PSe = N\_PSe * P\_PSe$	$Pp\_PSe = 6 * 0 = 0$	$Pp\_PSe = 3 * 0 = 0$
$Pp\_PCp = N\_PCp * P\_PCp$	$Pp\_PCp = 14 * 0.25$ $= 3.5$	$Pp\_PCp = 21 * 0.25$ $= 5.25$
$Pp\_PCs = N\_PCs * P\_PCs$	$Pp\_PCs = 6 * 0.5 = 3$	$Pp\_PCs = 17 * 0.5 = 8.5$
$Pp\_PCpa = N\_PCpa * P\_PCpa$	$Pp\_PCpa = 4 * 0.75 = 3$	$Pp\_PCpa = 6 * 0.75$ $= 4.5$
$Pp\_PCu = N\_PCu * P\_PCu$	$Pp\_PCu = 0 * 0 = 0$	$Pp\_PCu = 1 * 1 = 10$
$Z\_ES = Pp\_PSe + Pp\_PCp +$ $Pp\_PCs + Pp\_PCpa + Pp\_PCu$	$Z\_ES = 0 + 3.5 + 3 + 3 +$ $0 = 9.5$	$Z\_ES = 0 + 5.25 + 8.5 +$ $4.5 + 1 = 19.25$
$I_{ES} = \frac{S\_ES}{Npe}$	$I_{ES} = \frac{9.5}{30} = 0.32$	$I_{ES} = \frac{19.25}{48} = 0.40$

Nivel de aplicación: AGEBA, colonia, localidad

Fuente: Datos propios de la: “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO” (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.

### 8.5.1.2 *Indicador de apropiación del espacio geográfico ( $I_{AG}$ )*

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Indicador de la proporcionalidad de la valoración del lugar en términos de una mejor percepción del medio físico con respecto al lugar (estado) de procedencia de los entrevistados.

#### Importancia

El  $I_{AG}$ , se plantea a partir de Vidal Moranta y Pol Urrútia (2005, p. 284) que una forma de entender la generación de los vínculos con los “lugares”, lo que facilita comportamientos ecológicamente responsables y la implicación y la participación en el propio entorno.

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%.

#### Variables

$N_{Pnpy}$	Número de personas procedentes de fuera de la PY
$N_{Ppy}$	Número de personas procedentes de alguno de los tres estados de la PY
$P_{Pnpy}$	Puntuación de personas procedentes de fuera de la PY (0.5)
$P_{Ppy}$	Puntuación de personas procedentes de alguno de los tres estados de la PY (1)
$Pp_{Pnpy}$	Producto del número de personas procedentes de fuera de la PY por su puntuación
$Pp_{Ppy}$	Producto del número de de personas procedentes de alguno de los tres estados de la PY por su puntuación
$Z_{AG}$	Sumatoria de los productos dados de $Pp_{Pnpy}$ ; $Pp_{Ppy}$
$N_{pe}$	Número de personas entrevistadas
$I_{AG}$	Indicador de apropiación del espacio geográfico

**Tabla 23. Fórmulas que integran el  $I_{AG}$** 

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$Pp\_Pnpy = N\_Pnpy * P\_Pnpy$	$Pp\_Pnpy = 19 * 0.5 = 9.5$	$Pp\_Pnpy = 10 * 0.5 = 5$
$Pp\_Ppy = N\_Ppy * N\_Ppy$	$Pp\_Ppy = 11 * 1 = 11$	$Pp\_Ppy = 38 * 1 = 38$
$Z_{AG} = Pp\_Pnpy + Pp\_Ppy$	$Z_{AG} = 9.5 + 11 = 20.5$	$Z_{AG} = 5 + 38 = 43$
$I_{AG} = \frac{Z_{AG}}{Npe}$	$I_{AG} = \frac{20.5}{30} = 0.68$	$I_{AG} = \frac{43}{48} = 0.90$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Vidal Moranta y Pol Urrútia, 2005. Datos propios de la: “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO” (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.

### 8.5.1.3 Indicador de área suficiente para vivir (hacinamiento) ( $I_{HO}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Proporción de ocupantes de viviendas particulares habitadas con más de 2.5 de promedio en personas por cuarto dormitorio.

#### Importancia

Una vivienda con hacinamiento se considera vulnerable, esta condición complica la aplicación de medidas ambientales, ya que es un rezago habitacional (Isunza Vizuet, 2010), considerando también que este fenómeno del tipo económico-social tiene una posible interrelación entre fenómenos ambientales (Urteaga, 1980) que al mismo tiempo participa en el deterioro de las características de higiene ambiental con consecuencias sobre la salud humana por el riesgo a enfermedades y daño físico por la proximidad de las pertenencias de la vivienda (Sunkel y Gligo, 1980; Frausto Martínez, 2006).

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%. Previamente, se calculó el promedio de ocupantes por dormitorio para cada una de las viviendas particulares habitadas.

#### Variables

$N_{vom}$	Número de las viviendas particulares habitadas con más de 2.5 de promedio en personas por cuarto dormitorio
$N_{ve}$	Número de las viviendas particulares habitadas
$I_{HO}$	Indicador de área suficiente para vivir (hacinamiento)

\*Se calculó el promedio de ocupantes por dormitorio en los hogares particulares habitados ( $pro_{oc_{hp}}$ )

**Tabla 24. Fórmula que integra el  $I_{HO}$** 

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{HO} = 1 - \frac{N_{vom}}{Nve}$	$I_{HO} = 1 - \frac{19}{30} = 0.36$	$I_{HO} = 1 - \frac{36}{48} = 0.25$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Sunkel y Nicolo Gligo, 1980; Urteaga, 1980; Isunza Vizuet, 2010.. Datos propios de la: "ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO" (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.

#### 8.5.1.4 *Indicador de en viviendas particulares habitadas con recubrimiento en piso* ( $I_{VP}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

##### Definición

Proporción de viviendas particulares habitadas con recubrimiento en piso.

##### Importancia

Las viviendas vulnerables, poseen varias características, una de ellas son los pisos sin recubrimiento, que es un requerimiento para garantizar la integridad física de la población, ya que puede favorecer a enfermedades del tipo microbiana por la exposición constante (Virginia Sangronis *et al.*, 2008). En materia del recurso hídrico se asocia como una característica de vulnerabilidad a la contaminación de este (Grondona *et al.*, 2015).

##### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%.

##### Variables

$N_{vsp}$  Número de las viviendas particulares habitadas con recubrimiento en piso

$N_{ve}$  Número de las viviendas particulares habitadas

$I_{VP}$  Indicador de en viviendas particulares habitadas con recubrimiento en piso

**Tabla 25. Fórmula que integra el  $I_{VP}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{VP} = \frac{N_{vsp}}{N_{ve}}$	$I_{VP} = \frac{18}{30} = 0.60$	$I_{VP} = \frac{34}{48} = 0.71$



Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Virginia Sangronis *et al.*, 2008; Grondona *et al.*, 2015. Datos propios de la: “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO” (Ver apartado 8.1 y Anexo 1).  
Elaboración propia.

## 8.5.2 Subíndice de servicios ( $S_{DS}$ )

### 8.5.2.1 Indicador de la disposición adecuada de residuos sólidos en viviendas particulares habitadas ( $I_{VRS}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Producto de la puntuación del tipo de disposición de residuos sólidos por el número de viviendas particulares habitadas asociado.

#### Importancia

El manejo inadecuado de residuos sólidos, como la quema y disposición a cielo abierto impacta en forma de contaminación en el agua subterránea, al ser el subsuelo el principal receptor de ellos (Foster *et al.*, 2002; Rina Fernández, 2005; Escalante Paredes, 2013; Batllori Sampedro, 2016). El  $I_{VRS}$ , expresa el valor en el que la población como principal generador de residuos sólidos urbanos, realiza la disposición sus residuos sólidos.

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%.

#### Variables

$N_{vdi}$	Número de viviendas particulares habitadas con disposición inadecuada de residuos sólidos (tira en terrenos vacíos, tira en cenotes o cuerpo de agua, incineración de residuos).
$N_{vda}$	Número de viviendas particulares habitadas con disposición adecuada de residuos sólidos (contenedores con destino por parte de la autoridad correspondiente).
$P_{vdi}$	Puntuación de viviendas particulares habitadas con disposición inadecuada de residuos sólidos (0)
$P_{vda}$	Número de viviendas particulares habitadas con disposición adecuada de residuos sólidos (1)
$Pp_{Vdi}$	Producto del número de viviendas particulares habitadas con disposición

	inadecuada de residuos sólidos por su puntuación
$Pp\_Vda$	Producto del número de viviendas particulares habitadas con disposición adecuada de residuos sólidos por su puntuación
$Z\_VRS$	Sumatoria de los productos dados de $Pp\_vdi$ ; $Pp\_vda$
$Nve$	Número de las viviendas particulares habitadas
$I_{VRS}$	Indicador de apropiación del espacio geográfico

**Tabla 26. Fórmulas que integran el  $I_{VRS}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$Pp\_Vdi = N\_vdi * P\_vdi$	$Pp\_Vdi = 30 * 0 = 0$	$Pp\_Vdi = 43 * 0 = 0$
$Pp\_Vda = N\_vda * N\_vda$	$Pp\_Vda = 0 * 1 = 0$	$Pp\_Vda = 5 * 1 = 5$
$Z\_VRS = Pp\_Vdi + Pp\_Vda$	$Z\_VRS = 0 + 0 = 0$	$Z\_VRS = 0 + 5 = 5$
$I_{VRS} = \frac{Z\_VRS}{Nve}$	$I_{VRS} = \frac{0}{30} = 0$	$I_{VRS} = \frac{43}{48} = 0.90$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Foster *et al.*, 2002; Rina Fernández, 2005; Escalante Paredes, 2013 Batllori; Nava Galindo, 2015; Sampedro, 2016. Datos propios de la: “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO” (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.

### 8.5.2.2 *Indicador de viviendas particulares habitadas con acceso a instalaciones sanitarias adecuadas ( $I_{VIS}$ )*

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Indicador de la relación de las viviendas particulares habitadas por el tipo de acceso a sistema de instalaciones sanitarias adecuadas, es decir el medio del que disponen de sus aguas servidas: a) red de drenaje, b) fosa séptica, c) ninguno.

#### Importancia

La carencia de infraestructura básica contribuye a la propagación de epidemias de enfermedades curables, que no obstante han ocasionado pérdidas humanas, por la demanda no satisfecha, debida al rápido crecimiento de las poblaciones y por asentamientos irregulares que tiene por consecuencia más problemas sociales y ambientales, principalmente relacionados con el agua (Domínguez Aguilar, 2004).

A nivel mundial, el déficit de infraestructura de drenaje es muy grave, la forma de combatir esta situación que implementa la población son: *sistemas caseros de eliminación de aguas negras se encuentren conectados directamente a simples excavaciones superficiales* (Canul Euán, 2013, p 4). El  $I_{VIS}$ , plantea conocer la magnitud relativa de las viviendas particulares habitadas que disponen de algún sistema de desecho de aguas servidas a partir de las puntuaciones dadas para cada tipo de sistema de aguas servidas y con base en las fórmulas de CONEVAL (2007).

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%.

#### Variables

$Nvp\_fs$       Número de viviendas particulares habitadas que poseen fosa séptica  
 $Nvp\_rd$       Número de viviendas particulares habitadas que están conectados a la red de

	drenaje
$Nvp\_sas$	Número de viviendas particulares habitadas sin sistema de aguas servidas
$P\_fs$	Puntuación de viviendas particulares habitadas que poseen fosa séptica (0.5)
$P\_rd$	Puntuación de viviendas particulares habitadas que están conectados a la red de drenaje (1)
$P\_sas$	Puntuación del número de viviendas particulares habitadas sin sistema de desecho para aguas servidas (0)
$Pv\_Vfs$	Producto del número de viviendas particulares habitadas que poseen fosa séptica por su puntuación
$Pv\_Vrd$	Producto del número de viviendas particulares habitadas que están conectados a la red de drenaje por su puntuación
$Pv\_Vsas$	Producto del número de viviendas particulares habitadas sin sistema de aguas servidas por su puntuación
$Z\_AS$	Sumatoria de los productos dados de $P\_FS$ ; $P\_RD$ ; $P\_SAS$
$Nve$	Número de las viviendas particulares habitadas
$I_{VIS}$	Indicador de sistema de desecho de aguas servidas

**Tabla 27. Fórmulas que integran el  $I_{VIS}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$Pv\_Vfs = Nvp\_fs * P\_fs$	$Pv\_Vfs = 29 * 0.5 = 14.5$	$Pv\_Vfs = 40 * 0.5 = 20$
$Pv\_Vrd = Nvp\_rd * P\_rd$	$Pv\_Vrd = 0 * 1 = 0$	$Pv\_Vrd = 4 * 1 = 4$
$Pv\_Vsas = Nvp\_sas * P\_sas$	$Pv\_Vsas = 1 * 0 = 0$	$Pv\_Vsas = 4 * 0 = 0$
$Z\_AS = Pv\_Vfs + Pv\_Vrd + Pv\_Vsas$	$Z\_AS = 14.5 + 0 + 0 = 14.5$	$Z\_AS = 20 + 4 + 0 = 24$
$I_{VIS} = \frac{Z\_AS}{Nve}$	$I_{VIS} = \frac{14.5}{30} = 0.48$	$I_{VIS} = \frac{24}{48} = 0.50$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: CONEVAL, 2007; Canul Euán, 2013. Datos propios de la: "ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO" (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.

### 8.5.2.3 *Indicador de sistema de abastecimiento de agua adecuado y controlado ( $I_{VAC}$ )*

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Indicador de la proporcionalidad de los sistemas de abastecimiento de agua adecuado y controlado con respecto al número de viviendas particulares habitadas asociado.

#### Importancia

A nivel mundial uno de los grandes problemas es la distribución espacial y temporal del agua, incentivado por asentamientos establecidos en zonas alejadas a los centros de población urbana, donde carecen de infraestructura básica, dotación de agua potable hasta la vivienda que a partir de ello se crean problemas sociales y ambientales (Campos Aranda, 1998; Sainz Santamaría y Becerra Pérez, 2003; UNESCO, 2003; Domínguez Aguilar, 2004; FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006; Marín Pacheco, 2009; Mora Aliseda *et al.*, 2016; Ávila Verdín *et al.*, 2016).

En regiones con gran disponibilidad de agua, la forma más común abastecimiento, es la implementación de un pozo en el cual se puede ingresar agua poco profunda contaminada, que comúnmente no tiene un control sobre la cantidad de agua utilizada. El objetivo del  $I_{VAC}$ , es conocer la magnitud relativa de las viviendas particulares habitadas que cuentan con un sistema de abastecimiento de agua adecuado y controlado.

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%. Se entiende que el abastecimiento de agua inadecuado y sin control son los pozos someros; mientras que el semi-adecuado y semi-controlado, se refiere a una fuente que sea proporcionada por autoridades, pero donde no se tenga el registro del consumo en el hogar, es decir algún recibo por pago de agua o su equivalente; y por último en la categoría de adecuado y controlado, se encuentra

aquella fuente que sea proporcionada por una autoridad correspondiente y de la misma forma se emita un registro de su consumo.

#### Variables

$Nvp\_sis$	Número de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua inadecuado y sin control
$Nvp\_ssis$	Número de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua semi-adeecuado y semi-controlado
$Nvp\_sac$	Número de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua adecuado y controlado
$P\_sis$	Puntuación de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua inadecuado y sin control (0)
$P\_ssis$	Puntuación de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua adecuado y controlado (0.5)
$P\_sac$	Puntuación de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua adecuado y controlado (1)
$Pp\_Vsis$	Producto del número de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua inadecuado y sin control por su puntuación
$Pp\_Vssis$	Producto del número de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua semi-adeecuado y semi-controlado por su puntuación
$Pp\_Vsac$	Producto del número de viviendas particulares habitadas con abastecimiento de agua adecuado y controlado por su puntuación
$Z\_IVAC$	Sumatoria de los productos dados de $Pp\_Vsis$ ; $Pp\_Vssis$ ; $Pp\_Vsac$
$Nve$	Número de las viviendas particulares habitadas
$I_{VAC}$	Indicador de sistema de abastecimiento de agua adecuado y controlado

**Tabla 28. Fórmulas que integran el  $I_{VAC}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$Pp\_Vsis = N\_PSe * P\_PSe$	$Pp\_Vsis = 30 * 0 = 0$	$Pp\_Vsis = 0 * 0 = 0$
$Pp\_Vssis = N\_PCp * P\_PCp$	$Pp\_Vssis = 0 * 0.5 = 0$	$Pp\_Vssis = 46 * 0.5 = 23$
$Pp\_Vsac = N\_PCs * P\_PCs$	$Pp\_Vsac = 0 * 1 = 0$	$Pp\_Vsac = 2 * 1 = 2$
$Z\_IVAC = Pp\_Vsis + Pp\_Vssis + Pp\_Vsac$	$Z\_IVAC = 0 + 0 + 0 = 0$	$Z\_IVAC = 0 + 23 + 2 = 25$
$I_{VAC} = \frac{Z\_IVAC}{Nve}$	$I_{VAC} = \frac{0}{30} = 0$	$I_{VAC} = \frac{25}{48} = 0.52$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Campos Aranda, 1998; Sainz Santamaría y Becerra Pérez, 2003; UNESCO, 2003; Domínguez Aguilar, 2004; FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006; Frausto Martínez, 2006; CONEVAL, 2007; Marín Pacheco, 2009; Mora Aliseda *et al.*, 2016; Ávila Verdín *et al.*, 2016. Datos propios de la: “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO” (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.



### **8.5.3 Subíndice de percepción de calidad del agua ( $S_{DCA}$ )**

#### **8.5.3.1 Indicador de confianza hacia el recurso hídrico con respecto a los usos ( $I_{CUS}$ )**

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Correlación del número de tipos de usos con respecto a sus fuentes de abastecimiento.

#### Importancia

El agua es necesaria en cantidades suficientes para los diferentes usos consuntivos, así como es esencial para la salud, el desarrollo humano y los ecosistemas (Campos Aranda, 1998; Ávila García; 2002; Monforte García y Cantú Martínez, 2009; Jiménez Cisneros, 2015). En la misma dirección, Pérez Flores (2012, p. 16) menciona: “Que el uso de los recursos naturales está influenciado por la percepción sobre el recurso en sí y por otros usuarios, es decir, en el caso de los comunes la percepción de un individuo puede ser influenciada por las actividades de otro sobre el mismo recurso”. Ante la propuesta anterior, el  $I_{CUS}$ , posee el objetivo de establecer una correlación de la percepción de confianza del recurso hídrico con referente a los diferentes usos y a sus fuentes de abastecimiento de agua (del tipo potable).

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un representante mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%.

#### Variables

$Nvp\_at$	Número de viviendas particulares habitadas que toman agua directa de su fuente de abastecimiento de agua (del tipo potable) para tomar
$Nvp\_ac$	Número de viviendas particulares habitadas que toman agua directa de su fuente de abastecimiento de agua (del tipo potable) para cocinar
$Nvp\_abh$	Número de viviendas particulares habitadas que toman agua directa de su fuente de abastecimiento de agua (del tipo potable) para bañarse e higiene

	personal
$D_{at}$	Cociente del número de viviendas particulares habitadas que toman agua directa de su fuente de abastecimiento de agua (del tipo potable) para tomar entre el número de las viviendas particulares habitadas
$D_{ac}$	Cociente del número de viviendas particulares habitadas que toman agua directa de su fuente de abastecimiento de agua (del tipo potable) para cocinar entre el número de las viviendas particulares habitadas
$D_{abh}$	Cociente del número de viviendas particulares habitadas que toman agua directa de su fuente de abastecimiento de agua (del tipo potable) para bañarse e higiene personal entre el número de las viviendas particulares habitadas
$Z_{CUS}$	Sumatoria de los productos dados de $D_{at}$ ; $D_{ac}$ ; $D_{abh}$
$Nve$	Número de las viviendas particulares habitadas
$I_{CUS}$	Indicador de confianza hacia el recurso hídrico con respecto a los usos

**Tabla 29. Fórmulas que integran el  $I_{CUS}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$D_{at} = \frac{Nvp_{at}}{Nve}$	$D_{at} = \frac{0}{30} = 0$	$D_{at} = \frac{0}{48} = 0$
$D_{ac} = \frac{Nvp_{ac}}{Nve}$	$D_{ac} = \frac{2}{30} = 0.07$	$D_{ac} = \frac{4}{48} = 0.08$
$D_{abh} = \frac{Nvp_{abh}}{Nve}$	$D_{abh} = \frac{30}{30} = 1$	$D_{abh} = \frac{48}{48} = 1$
$Z_{CUS} = D_{at} + D_{ac} + D_{abh}$	$Z_{CUS} = 0 + 0.07 + 1 = 1.07$	$Z_{CUS} = 0 + 0.08 + 1 = 1.08$
$I_{CUS} = \frac{Z_{CUS}}{3}$	$I_{CUS} = \frac{1.07}{3} = 0.36$	$I_{CUS} = \frac{1.08}{3} = 0.36$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Campos Aranda, 1998; Ávila García; 2002; Monforte García y Cantú Martínez, 2009; Pérez Flores, 2012; Jiménez Cisneros, 2015. Datos propios de la: "ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO" (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.

### 8.5.3.2 *Indicador de percepción de la calidad del agua adecuada (I<sub>PCA</sub>)*

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Cociente del número de respuestas negativas de las personas entrevistadas sobre si se presenta color, sabor u olor en el agua.

#### Importancia

*La percepción, al ser una selección y jerarquización de estímulos físicos y sensaciones se apoya en componentes ambientales y socioculturales* (Vargas, como se citó en Nava Galindo, 2015, p. 15). La percepción de las características físicas observables como color, sabor u olor apoyan a conocer la limpieza del agua o bien su fuente (Pérez Flores, 2012; Nava Galindo, 2015).

De la percepción de una persona, se puede obtener una comparación entre la situación actual del objeto en estudio con situación previa u de otros objetos similares, lo que permite crear programas de mejora (Soares y Gutiérrez, 2011; García Lirios *et al.*, 2013). El *I<sub>PCA</sub>*, se establece a partir de una proporción acerca de que si la población ha percibido color, sabor u olor en el agua.

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%.

#### Variables

<i>N_Pnc</i>	Número de personas que no han percibido un color en el agua
<i>N_Pns</i>	Número de personas que no han percibido un sabor en el agua
<i>N_Pno</i>	Número de personas que no han percibido un olor en el agua
<i>D_nc</i>	Cociente de personas que no han percibido un color en el agua entre el número de personas entrevistadas

$D_{ns}$	Cociente de personas que no han percibido un sabor en el agua entre el número de personas entrevistadas
$D_{no}$	Cociente de personas que no han percibido un olor en el agua entre el número de personas entrevistadas
$Z_{PCA}$	Sumatoria de los productos dados de $D_{nc}$ ; $D_{ns}$ ; $D_{no}$
$N_{pe}$	Número de personas entrevistadas
$I_{PCA}$	Indicador de percepción de la calidad del agua adecuada

**Tabla 30. Fórmulas que integran el  $I_{PCA}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$D_{nc} = \frac{Nvp_{at}}{Nve}$	$D_{nc} = \frac{27}{30} = 0.9$	$D_{nc} = \frac{40}{48} = 0.83$
$D_{ns} = \frac{Nvp_{ac}}{Nve}$	$D_{ns} = \frac{25}{30} = 0.83$	$D_{ns} = \frac{33}{48} = 0.69$
$D_{no} = \frac{Nvp_{abh}}{Nve}$	$D_{no} = \frac{27}{30} = 0.9$	$D_{no} = \frac{39}{48} = 0.81$
$Z_{PCA} = D_{nc} + D_{ns} + D_{no}$	$Z_{PCA} = 0.9 + 0.83 + 0.9 = 2.63$	$Z_{PCA} = 0.83 + 0.69 + 0.81 = 2.33$
$I_{PCA} = \frac{Z_{PCA}}{3}$	$I_{PCA} = \frac{2.63}{3} = 0.88$	$I_{PCA} = \frac{2.33}{3} = 0.78$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Soares y Gutiérrez, 2011; Pérez Flores, 2012; García Lirios *et al.*, 2013; Nava Galindo, 2015. Datos propios de la: "ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO" (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.

#### **8.5.4 Subíndice de la percepción de riesgos ( $S_{DRS}$ )**

##### **8.5.4.1 Indicador de percepción de riesgo: a enfermarse ( $I_{PRE}$ )**

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Producto del promedio de la puntuación de las respuestas sobre percepción de los entrevistados acerca del riesgo a enfermarse.

#### Importancia

El  $I_{PRE}$ , considera la relación directa con la percepción del usuario del agua con respecto a su salud, La relación que guarda el agua frente a enfermedades, ya que el agua puede ser un vector de enfermedades, que están estrechamente conectadas con el suministro de agua, el saneamiento y los retos del hábitat, apuntados por la UNESCO y con anterioridad por la Comisión sobre el Desarrollo Sostenible (UNESCO, 2007).

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron con un nivel de confianza al 90% cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un representante del hogar mayor de edad. El  $I_{PRE}$ , se encuentra compuesto de los reactivos de la encuesta y que se pueden observar en la tabla 3., donde las respuestas poseen una puntuación, que se basa en el criterio de Nava Galindo (2015), si el entrevistado responde con un “sí”, que representa como una situación riesgosa para su salud, su puntuación es de un punto (1), por otro lado si no sabía que representaba un riesgo, por lo que respondía con un “no sé”, se le asigna un valor de cero punto cinco (0.5), finalmente si el entrevistado consideraba que no era una situación de riesgo su puntuación asignada es cero (0).

**Tabla 31. Reactivos y puntuaciones por respuesta para el I<sub>PRE</sub>**

Reactivo	Puntuación por respuesta
a) En su opinión, ¿el agua que sale de la llave (o pozo) es potable, se puede beber sin riesgo?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
b) ¿Usted o alguien de su familia alguna vez ha experimentado irritación en la piel por contacto con agua de la llave (o pozo) tal y como sale?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
c) ¿Usted o alguien de su familia se han enfermado frecuentemente de diarrea o enfermedades estomacales por contacto con agua de la llave (o pozo) tal y como sale?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
d) ¿Usted cree que usted o su familia se pueden enfermar al tomar agua de la llave (o pozo)?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
e) Sí la anterior es si, ¿por qué? (¿que tiene el agua que puede enfermar a la gente?)	1= relacionado con actividades intrínsecas o contaminación; 0= No relacionado con actividades intrínsecas o contaminación
f) ¿Usted cree que usted o su familia se pueden enfermar por tener contacto directo con agua de la llave (o pozo)?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
g) Sí la anterior es si, ¿De qué se puede enfermar su familia?	1= Infección gastrointestinal, de oídos, en la piel, ocular u otros; 0= No sé

*Elaboración propia. Basado y modificado de Nava Galindo, 2015.*

#### Variables

$S_a$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo a)
$S_b$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo b)
$S_c$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo c)
$S_d$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo d)
$N_{rdsi}$	Número de respuestas positivas del reactivo d)
$S_e$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo e)
$S_f$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo f)
$N_{rdsi}$	Número de respuestas positivas del reactivo f)
$S_g$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo g)
$P_a$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo a) entre el

	$N_{pe}$
$P_b$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo b) entre el $N_{pe}$
$P_c$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo c) entre el $N_{pe}$
$P_d$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo d) entre el $N_{pe}$
$P_e$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo e) entre el número de respuestas positivas del reactivo d)
$P_f$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo f) entre el $N_{pe}$
$P_g$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo g) entre el número de respuestas positivas del reactivo f)
$Z_{PRE}$	Sumatoria de los productos dados de $P_a$ ; $P_b$ ; $P_c$ ; $P_d$ ; $P_e$ ; $P_f$ ; $P_g$
$N_{pe}$	Número de personas entrevistadas
$N_{PRE}$	Número de reactivos del indicador de percepción de riesgo: a enfermarse (tabla)
$I_{PRE}$	Indicador de percepción de riesgo: a enfermarse

**Tabla 32. Fórmulas que integran el  $I_{PRE}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$P_a = \frac{S_a}{N_{pe}}$	$P_a = \frac{15}{30} = 0.50$	$P_a = \frac{8.50}{48} = 0.18$
$P_b = \frac{S_b}{N_{pe}}$	$P_b = \frac{6.5}{30} = 0.22$	$P_b = \frac{4.50}{48} = 0.09$
$P_c = \frac{S_c}{N_{pe}}$	$P_c = \frac{1.5}{30} = 0.05$	$P_c = \frac{7}{48} = 0.15$
$P_d = \frac{S_d}{N_{pe}}$	$P_d = \frac{24.5}{30} = 0.82$	$P_d = \frac{44.5}{48} = 0.93$
$P_e = \frac{S_e}{N_{rdsi}}$	$P_e = \frac{20.5}{24} = 0.85$	$P_e = \frac{39}{42} = 0.93$
$P_f = \frac{S_f}{N_{pe}}$	$P_f = \frac{14}{30} = 0.47$	$P_f = \frac{17.5}{48} = 0.36$
$P_g = \frac{S_g}{N_{rfsi}}$	$P_g = \frac{13}{14} = 0.93$	$P_g = \frac{16}{17} = 0.94$
$Z_{PRE} = P_a + P_b + P_c + P_d + P_e + P_f + P_g$	$Z_{PRE} = 0.50 + 0.22 + 0.05 + 0.82 + 0.85 + 0.47 + 0.93 = 3.86$	$Z_{PRE} = 0.18 + 0.09 + 0.15 + 0.93 + 0.93 + 0.36 + 0.94 = 3.58$
$I_{PRE} = \frac{Z_{PRE}}{N_{PRE}}$	$I_{PRE} = \frac{3.86}{7} = 0.55$	$I_{PRE} = \frac{3.58}{7} = 0.51$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006; UNESCO, 2007; Nava Galindo, 2015. Datos propios de la: “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO” (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.



8.5.4.1 Indicador de percepción de riesgo: a afectación del recurso hídrico ( $I_{PRA}$ )  
Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

Producto del promedio de la puntuación de las respuestas sobre percepción de los entrevistados acerca del riesgo a enfermarse.

#### Importancia

Se ha evidenciado la tendencia del deterioro tanto ambiental como del bienestar de la población, a partir del modelado de las características de la estructura urbana, además del uso y manejo del agua urbana de la ciudad a partir de la interacción entre los actores sociales, sistema urbano y el medio ambiente (Domínguez Aguilar, 2004).

En el mismo orden de ideas, en un estudio de Pérez Flores (2012), la percepción de las personas con referente al aprovechamiento de los recursos, mencionó que guarda una relación con los sucesos sociales y al mismo tiempo apoyan la importancia en el manejo de los recursos, principalmente los recursos hídricos.

Lo anterior es apoyado por Soares y Gutiérrez (2011) donde las percepciones de la población crean las oportunidades para el desarrollo de programas que encuentren formas más sustentables de articulación de los grupos sociales con sus recursos. El  $I_{PRA}$  se plantea de tal manera de identificar si la muestra entrevistada percibe la afectación del recurso hídrico, si son conscientes que hay acciones que pueden dañar al recurso hídrico.

#### Comentarios

No se encontraron datos oficiales del área de estudio para este indicador, por lo que se aplicaron cuestionarios semi-estructurados por vivienda a un mayor de edad y con un nivel de confianza al 90%. El  $I_{PRA}$ , se encuentra compuesto de los reactivos de la encuesta y que se pueden observar en la tabla 4., donde las respuestas poseen una puntuación de acuerdo a los criterios de Nava Galindo (2015): si el entrevistado percibía

el riesgo a afectar al recurso hídrico mediante la situación presentaba el valor asignado es con un punto (1), si no sabía que podría ser una situación de riesgo para el recurso hídrico recibía el valor de cero punto cinco (0.5), por otra parte a los que no percibían la situación como una de riesgo hacia el recurso hídrico el valor dado es de cero (0).

**Tabla 33. Reactivos y puntuaciones por respuesta para el  $I_{PRA}$**

Reactivo	Puntuación por respuesta
a) ¿Ha escuchado, usted, alguna vez de la contaminación?	1=Si; 0=No
b) Personas que percibieron que pueden contaminar el agua	1=agua, 0=las demás opciones
c) ¿Podemos saber cuándo el agua está contaminada?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
d) ¿Puede estar el agua contaminada sin que se vea la contaminación?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
e) ¿Usted cree que el agua de la lavadora puede contaminar al agua?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
f) ¿Usted cree que la fosa séptica puede contaminar el agua?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
g) ¿Usted cree que la basura que tira la gente puede contaminar los cenotes	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
h) ¿Usted cree que el agua contaminada se pueda limpiar totalmente?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
i) ¿Usted cree que los turistas pueden contaminar el agua?	1=Si; 0.5= No sé; 0= No
j) ¿Qué otras cosas cree que estén a los alrededores puedan contaminar el suelo hacia el agua (subterránea)?	1= Todos los líquidos; 0.75= Otros (basura, hojas, residuos de animales); 0.5= No sé; 0= No

*Elaboración propia. Basado y modificado de Nava Galindo, 2015.*

#### Variables

- $S_h$  Producto de la suma de las respuestas del reactivo h)
- $N_{rhsi}$  Número de respuestas positivas del reactivo h)
- $S_i$  Producto de la suma de las respuestas del reactivo i)
- $S_j$  Producto de la suma de las respuestas del reactivo j)
- $S_k$  Producto de la suma de las respuestas del reactivo k)
- $S_l$  Producto de la suma de las respuestas del reactivo l)
- $S_m$  Producto de la suma de las respuestas del reactivo m)
- $S_n$  Producto de la suma de las respuestas del reactivo n)

$S_o$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo o)
$S_p$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo p)
$S_q$	Producto de la suma de las respuestas del reactivo q)
$P_h$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo h) entre el $N_{pe}$
$P_i$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo i) entre el número de respuestas positivas del reactivo h)
$P_j$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo j) entre el $N_{pe}$
$P_k$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo k) entre el $N_{pe}$
$P_l$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo l) entre el $N_{pe}$
$P_m$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo m) entre el $N_{pe}$
$P_n$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo n) entre el $N_{pe}$
$P_o$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo o) entre el $N_{pe}$
$P_p$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo p) entre el $N_{pe}$
$P_q$	Cociente del producto de la suma de las respuestas del reactivo q) entre el $N_{pe}$
$Z_{PRA}$	Sumatoria de los productos dados de $P_h$ ; $P_i$ ; $P_j$ ; $P_k$ ; $P_l$ ; $P_m$ ; $P_n$ ; $P_o$ ; $P_p$ ; $P_q$
$N_{pe}$	Número de personas entrevistadas
$N_{PRA}$	Número de reactivos del indicador de percepción de riesgo: a afectación del recurso hídrico (tabla)
$I_{PRA}$	Indicador de percepción de riesgo: a afectación del recurso hídrico

**Tabla 34. Fórmulas que integran el  $I_{PRA}$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$P_h = \frac{S_h}{N_{pe}}$	$P_h = \frac{19}{30} = 0.63$	$P_h = \frac{44}{48} = 0.92$
$P_i = \frac{S_i}{N_{rhsi}}$	$P_i = \frac{8}{19} = 0.42$	$P_i = \frac{18}{44} = 0.41$
$P_j = \frac{S_j}{N_{pe}}$	$P_j = \frac{18}{30} = 0.60$	$P_j = \frac{30.5}{48} = 0.64$
$P_k = \frac{S_k}{N_{pe}}$	$P_k = \frac{16.50}{30} = 0.55$	$P_k = \frac{34}{48} = 0.71$
$P_l = \frac{S_l}{N_{pe}}$	$P_l = \frac{17.50}{30} = 0.58$	$P_l = \frac{39.50}{48} = 0.82$
$P_m = \frac{S_m}{N_{pe}}$	$P_m = \frac{28.5}{30} = 0.95$	$P_m = \frac{46}{48} = 0.96$

$P_n = \frac{S_n}{N_{pe}}$	$P_n = \frac{27.5}{30} = 0.92$	$P_n = \frac{47.5}{30} = 0.99$
$P_o = \frac{S_o}{N_{pe}}$	$P_o = \frac{19}{30} = 0.63$	$P_o = \frac{27}{48} = 0.56$
$P_p = \frac{S_p}{N_{pe}}$	$P_p = \frac{19}{30} = 0.63$	$P_p = \frac{39.5}{48} = 0.82$
$P_q = \frac{S_q}{N_{pe}}$	$P_q = \frac{21.75}{30} = 0.68$	$P_q = \frac{38}{48} = 0.70$
$Z_{PRA} = P_h + P_i + P_j + P_k + P_l + P_m + P_n + P_o + P_p + P_q$	$Z_{PRA} = 0.63 + 0.42 + 0.60 + 0.55 + 0.58 + 0.95 + 0.92 + 0.63 + 0.63 + 0.68 = 6.60$	$Z_{PRA} = 0.92 + 0.41 + 0.64 + 0.71 + 0.82 + 0.96 + 0.99 + 0.56 + 0.82 + 0.70 = 7.53$
$I_{PRA} = \frac{Z_{PRA}}{N_{PRA}}$	$I_{PRA} = \frac{6.60}{10} = 0.66$	$I_{PRA} = \frac{7.53}{10} = 0.75$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Domínguez Aguilar, 2004; Soares y Gutiérrez, 2011; Pérez Flores, 2012; Nava Galindo, 2015. Datos propios de la: "ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO" (Ver apartado 8.1 y Anexo 1). Elaboración propia.

## **8.6 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DEL COMPONENTE AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO ( $IA_V$ )**

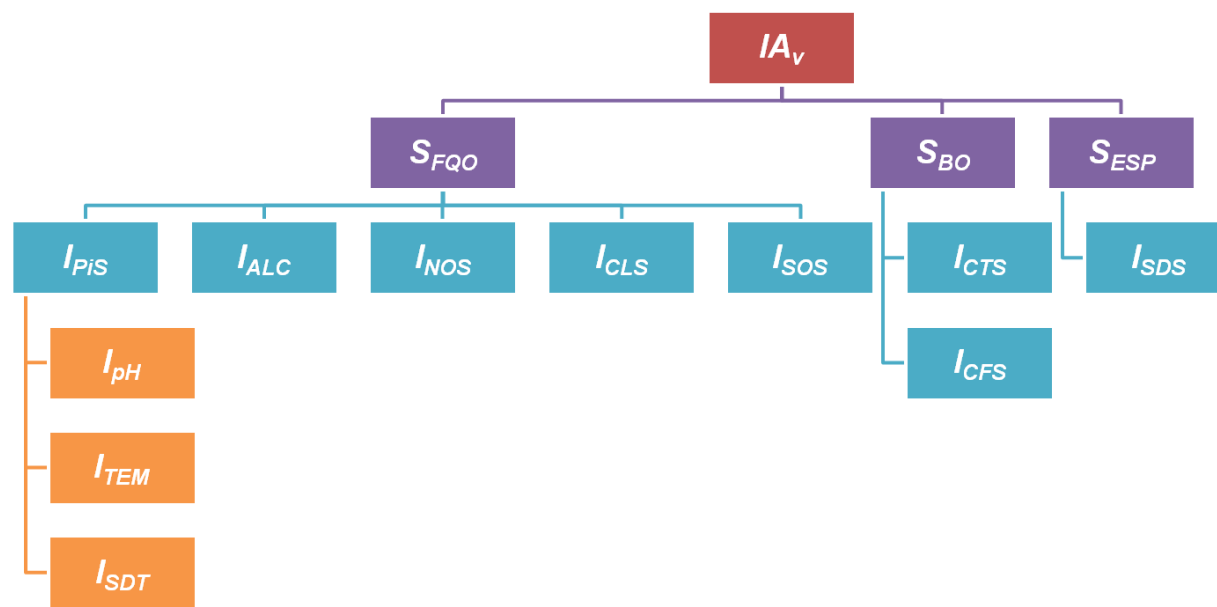
El  $IA_V$ , presenta la descripción de las características básicas del recurso hídrico en el periodo de muestreo para el establecimiento de su calidad y la evaluación de su vulnerabilidad ambiental.

Los rubros que componen el  $IA_V$  (Fig. 21), se dividieron de tal manera que se pueda detectar una posible contaminación de origen natural o antropogénica además de describir las características del recurso hídrico (Escalante Paredes, 2013).

Los subíndices del  $IA_V$ , se integran de diversos indicadores, categorizados acorde a Díaz Delgado *et al.* (2005), Mejía Clara (2005), Raffo Lecca (2013) y Cabezas Castillo (2015). Los subíndices incluyen indicadores según sus orígenes, biológicos, químicos y físicos a parte del específico, esto por el carácter antropocéntrico (Mejía Clara, 2005).

El  $S_{FQO}$ , presenta las condiciones físico-químicas que posee el recurso hídrico (Raffo Lecca, 2013). Este subíndice, se compone de un indicador de los principales parámetros que son medidos *in situ*, además de indicadores que representan la capacidad buffer del sistema hídrico, las diferentes sales y materia orgánica.

El  $S_{BO}$ , valora la introducción de microorganismos patógenos, como lo son las bacterias de origen fecal, su presencia puede ser de fuente de efluentes urbanos y por la inexistencia o mal funcionamiento de fosas sépticas principalmente. El  $S_{ESP}$ , se integra de un solo indicador que indica directamente contaminación de origen antropogénico, y se presenta como específico por las características del objeto de estudio.



**Figura 21. Modelo conceptual del componente ambiental**

Dónde:

$IA_V$  Índice de vulnerabilidad del componente ambiental del recurso hídrico

$S_{FQO}$  Subíndice de parámetros fisicoquímicos

$S_{BO}$  Subíndice de parámetros bacteriológicos

$S_{ESP}$  Subíndice de parámetros específicos

$I_{PIS}$  Indicador de parámetros *in situ*

$I_{pH}$  Indicador de pH

$I_{TEM}$  Indicador de Temperatura

$I_{SDT}$  Indicador de Sólidos disueltos totales

$I_{ALC}$  Indicador de Alcalinidad

$I_{NOS}$  Indicador de Nitratos

$I_{CLS}$  Indicador de Cloruros

$I_{SOS}$  Indicador de Sulfatos

$I_{CTS}$  Indicador de Coliformes Totales

$I_{CFS}$  Indicador de Coliformes fecales

$I_{SDS}$  Indicador de presencia de detergentes

Los parámetros que se estableció como indicador se normalizó de 0 a 1, la fórmula que se utilizó para normalizar fue la planteada por Arcos Espinosa *et al.* (2017), la cual posee una relación funcional ascendente, es decir que es menor la vulnerabilidad conforme aumente el valor del indicador.

$$INo = \frac{MaxX - \bar{x}}{MaxX - MinX} \text{ (ecuación 1)}$$

Dónde:

*INo*: Indicador normalizado

$\bar{x}$ : Promedio de los datos del parámetro analizado

*MinX*: Valor mínimo establecido para el parámetro analizado

*MaxX*: Valor máximo establecido para el parámetro analizado

Los valores mínimos, se establecieron principalmente de acuerdo con los valores reportados en literatura de estudios en la región y a las normas NMX y NOM, que se señalan en cada apartado, mientras que los valores máximos de acuerdo a criterios del investigador, la NOM-127-SSA1-1994 y a otras normas NMX y NOM.

#### Comentarios

Los datos para el  $IA_V$  son de las muestras de agua señaladas en el apartado 7.2.4.

#### Variables

$I_{pH}$	Indicador de pH
$I_{TEM}$	Indicador de Temperatura
$I_{SDT}$	Indicador de Sólidos disueltos totales
$I_{ALC}$	Indicador de Alcalinidad
$I_{NOS}$	Indicador de Nitratos
$I_{CLS}$	Indicador de Cloruros
$I_{SOS}$	Indicador de Sulfatos
$I_{CTS}$	Indicador de Coliformes Totales
$I_{CFS}$	Indicador de Coliformes fecales
$I_{SDS}$	Indicador de presencia de detergentes
$N_{PIS}$	Número de indicadores del indicador de parámetros <i>in situ</i>
$I_{PIS}$	Indicador de parámetros <i>in situ</i>
$N_{FQO}$	Número de indicadores del Subíndice de parámetros fisicoquímicos
$N_{BO}$	Número de indicadores del Subíndice de parámetros bacteriológicos
$N_{ESP}$	Número de indicadores del Subíndice de parámetros específicos

$S_{FQO}$	Subíndice de parámetros fisicoquímicos
$S_{BO}$	Subíndice de parámetros bacteriológicos
$S_{ESP}$	Subíndice de parámetros específicos
$N_{AV}$	Número de subíndices del Índice de vulnerabilidad del componente ambiental del recurso hídrico
$IA_V$	Índice de vulnerabilidad del componente ambiental del recurso hídrico

**Tabla 35. Fórmulas que integran el  $IA_V$**

Fórmulas	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{PIS} = \frac{I_{pH} + I_{TEM} + I_{SDT}}{N_{PIS}}$	$I_{PIS} = (0.79 + 0.43 + 0.69)/3$ $= 0.64$	$I_{PIS} = \frac{0.81 + 0.42 + 0}{3} = 0.41$
$S_{FQO} = \frac{I_{PIS} + I_{ALC} + I_{NOS} + I_{CLS} + I_{SOS}}{N_{FQO}}$	$S_{FQO} = (0.64 + 0.71 + 0$ $+ 0.97$ $+ 0.94)/5$ $= 0.65$	$S_{FQO} = (0.41 + 0.41 + 0.14$ $+ 0 + 0.35)/5$ $= 0.26$
$S_{BO} = \frac{I_{CTS} + I_{CFS}}{N_{BO}}$	$S_{BO} = \frac{0 + 1}{2} = 0.5$	$S_{BO} = \frac{0 + 0}{2} = 0$
$S_{ESP} = \frac{I_{SDS}}{N_{ESP}}$	$S_{ESP} = \frac{0.72}{1} = 0.72$	$S_{ESP} = \frac{0.23}{1} = 0.23$
$IA_V = \frac{S_{FQO} + S_{BO} + S_{ESP}}{N_{AV}}$	$IA_V = (0.65 + 0.5 + 0.72)/3$ $= 0.62$	$IA_V = \frac{0.26 + 0 + 0.23}{3} = 0.16$



### 8.6.1 Subíndice de parámetros fisicoquímicos ( $S_{FQO}$ )

#### 8.6.1.1 Indicador de parámetros *in situ* ( $I_{PiS}$ )

##### 8.6.1.1.1 Indicador de pH ( $I_{pH}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para pH menos la media de los datos de la medición del pH entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

El pH se denomina como una variable maestra en sistemas acuáticos, es un indicador de la calidad del agua en general y es muy importante porque determinados procesos químicos que solamente tienen lugar a un determinado pH (White, 2007; Pérez Castillo y Rodríguez, 2008; Raffo Lecca, 2013). Con la medición de pH, indica el grado de acidez o basicidad de una sustancia (Raffo Lecca, 2013; Aké Cauich, 2016).

#### Comentarios

El  $I_{pH}$ , expone los valores medidos *in situ*, y su normalización se basará en la NOM-127-SSA1-1994, donde se propone un intervalo para agua para uso y consumo humano de 6.5-8.5, por lo que el agua con valores fuera de este intervalo no será apta para consumo.

Si la razón del indicador da un valor negativo automáticamente se considerará como 0.

#### Variables

$\bar{x}_{pH}$	Promedio de los datos de los pH
$Min_{pH}$	Valor mínimo establecido para pH
$Max_{pH}$	Valor máximo establecido para pH
$I_{pH}$	Indicador de pH

**Tabla 36. Fórmula que integra el  $I_{pH}$** 

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{pH} = \frac{Max_{pH} - \bar{x}_{pH}}{Max_{pH} - Min_{pH}}$	$I_{pH} = \frac{8.50 - 6.93}{8.50 - 6.50} = 0.79$	$I_{pH} = \frac{8.50 - 6.88}{8.50 - 6.50} = 0.81$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: NOM-127-SSA1-1994; White, 2007; Pérez Castillo y Rodríguez, 2008; Raffo Lecca, 2013; Aké Cauich, 2016. Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de enero-febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.

### 8.6.1.1.2 Indicador de temperatura ( $I_{TEM}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para temperatura menos la media de los datos de la medición de la temperatura entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

La temperatura, permite conocer el estado de un cuerpo de agua determinado a su vez su posible fuente y con esto también discernir de algunos componentes que puedan afectar al sabor del agua (OMS, 2006; Carrillo Monsrreal, 2014).

#### Comentarios

El  $I_{TEM}$ , es un indicador de temperatura donde sus valores se obtuvieron de las mediciones *in situ*. El  $I_{TEM}$ , se fundamenta a lo mencionado en la NMX-AA-007-SCFI-2013, donde establece que tanto aguas naturales crudas no salinas, aguas salinas como aguas residuales crudas y tratadas el intervalo comprendido será entre 0°C y 45°C, cuya aplicación es nacional para agua de uso doméstico, estos valores se establecen como el valor mínimo y máximo.

Si la razón del indicador da un valor negativo automáticamente se considerará como 0.

#### Variables

$\bar{x}_{TEM}$	Promedio de los datos de la temperatura
$Min_{pH}$	Valor mínimo establecido para la temperatura
$Max_{pH}$	Valor máximo establecido para la temperatura
$I_{TEM}$	Indicador de temperatura

**Tabla 37. Fórmula que integra el  $I_{TEM}$** 

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{TEM} = \frac{Max_{TEM} - \bar{x}_{TEM}}{Max_{TEM} - Min_{TEM}}$	$I_{TEM} = \frac{45 - 25.61}{45 - 0} = 0.43$	$I_{TEM} = \frac{45 - 26.12}{45 - 0} = 0.42$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: NMX-AA-007-SCFI-2013. Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de enero-febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.

### 8.6.1.1.3 Indicador de Sólidos disueltos totales ( $I_{SDT}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para los Sólidos Disueltos Totales (SDT) menos la media de los datos de la medición de la conductividad eléctrica convertida en SDT entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

El  $I_{SDT}$ , es indicador de las características del cuerpo de agua. Los SDT pueden estar compuestos por el calcio, fosfatos, nitratos, sodio, potasio y cloruro, además de algunos componentes naturales derivados de la erosión y disolución de rocas y suelos, así como plaguicidas. Los SDT pueden afectar de manera negativa a la calidad del agua o a su abastecimiento además de poder inducir a una reacción fisiológica de manera desfavorable al usuario

#### Comentarios

Este indicador se construyó con los datos de la conductividad eléctrica, la cual a través del “Convertor de conductividad” (online de Lenntech) fue convertida a datos de SDT y para la normalización el límite máximo se tomó de la NOM-127-SSA1-1994 (1000 mg/L), y el mínimo como 140 mg/L, tomado de Ávila Torres (2017).

Si la razón del indicador da un valor negativo automáticamente se considerará como 0.

#### Variables

$\bar{x}_{SDT}$	Promedio de los datos de los SDT
$Min_{SDT}$	Valor mínimo establecido para los SDT
$Max_{SDT}$	Valor máximo establecido para los SDT
$I_{SDT}$	Indicador de Sólidos disueltos totales

**Tabla 38. Fórmula que integra el  $I_{SDT}$** 

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{SDT} = \frac{Max\_SDT - \bar{x}\_SDT}{Max\_SDT - Min\_SDT}$	$I_{SDT} = \frac{1000 - 406.40}{1000 - 140} = 0.69$	$I_{SDT} = \frac{1000 - 1,206.50}{1000 - 140} = -0.24 \sim 0$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: NOM-127-SSA1-1994; Ávila Torres, 2017; Lenntech, *n.d.* Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de Enero-Febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.

### 8.6.1.2 Indicador de Alcalinidad ( $I_{ALC}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para alcalinidad menos la media de los datos de la medición de alcalinidad entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

La alcalinidad es uno de los parámetros más importantes a estudiar en aguas naturales que está compuesta por el contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que es un indicador de dichas especies iónicas (Garbagnati *et al.*, 2005; Escalante Paredes, 2013; Aké Cuich, 2016). La alcalinidad es la capacidad del agua de aceptar protones o bien neutralizar ácidos y que a su vez representa el principal sistema amortiguador del agua dulce. Comúnmente el agua residual es alcalina, propiedad dada por el aporte de aguas de tratamiento, así como de agua subterránea y de agua con residuos de uso doméstico (Díaz Delgado *et al.*, 2005).

#### Comentarios

El indicador propuesto para analizar la alcalinidad de  $\text{HCO}_3$  es el  $I_{ALC}$ , que se normalizará con lo reportado por Canul Euán (2013): 538.78 y 167.90 mg/L, valor máximo y mínimo, respectivamente.

Si la razón del indicador da un valor negativo automáticamente se considerará como 0.

#### Variables

$\bar{x}_{ALC}$	Promedio de los datos de la alcalinidad de $\text{HCO}_3$
$Min_{ALC}$	Valor mínimo establecido para el valor de la alcalinidad de $\text{HCO}_3$
$Max_{ALC}$	Valor máximo establecido para el valor de la alcalinidad de $\text{HCO}_3$
$I_{ALC}$	Indicador de Alcalinidad

**Tabla 39. Fórmula que integra el  $I_{ALC}$** 

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{ALC} = \frac{Max\_ALC - \bar{x}\_ALC}{Max\_ALC - Min\_ALC}$	$I_{ALC} = \frac{534.78 - 274.97}{534.78 - 167.9} = 0.71$	$I_{ALC} = \frac{534.78 - 383.64}{534.78 - 167.9} = 0.41$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Díaz Delgado *et al.*, 2005; Garbagnati *et al.*, 2005; Canul Euán, 2013; Escalante Paredes, 2013; Aké Cuich, 2016. Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de enero-febrero (Ver apartado 8.2).  
Elaboración propia.



### 8.6.1.3 Indicador de Nitratos ( $I_{NOS}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para nitratos menos la media de los datos de la medición de nitratos entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

La concentración de nitratos suele ser baja en aguas subterráneas, pero si se encuentran en altas concentraciones, representa un motivo de preocupación ya que implica que hubo filtración o escorrentía de tierras agrícolas o motivo de la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoníaco y fuentes similares (Cabrera Molina *et al.*, 2003; OMS, 2006; Escalante Paredes, 2013; Raffo Lecca, 2013; Aké Cauich, 2016).

#### Comentarios

El  $I_{NOS}$ , es un indicador de los nitratos donde su valor máximo se establece a lo que menciona la NOM-127-SSA1-1994 que es 10.00 mg/L, y el mínimo como 0.90 mg/L, de acuerdo a lo reportado por Pérez Ceballos (2003).

Si el indicador da un valor negativo automáticamente se considerará como 0.

#### Variables

$\bar{x}_{NOS}$	Promedio de los datos de los nitratos
$Min_{NOS}$	Valor mínimo establecido para el valor de los nitratos
$Max_{NOS}$	Valor máximo establecido para el valor de los nitratos
$I_{NOS}$	Indicador de nitratos

**Tabla 40. Fórmula que integra el  $I_{NOS}$** 

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{NOS} = \frac{Max\_NOS - \bar{x}\_NOS}{Max\_NOS - Min\_NOS}$	$I_{NOS} = \frac{10 - 9.99}{10 - 0.90} = 0$	$I_{NOS} = \frac{10 - 8.73}{10 - 0.90} = 0.14$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: NOM-127-SSA1-1994; Cabrera Molina *et al.*, 2003; Pérez Ceballos, 2003; OMS, 2006; Escalante Paredes, 2013; Raffo Lecca, 2013; Aké Cauich, 2016. Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de enero-febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.

#### 8.6.1.4 Indicador de Cloruros ( $I_{CLS}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

##### Definición

El producto del valor máximo establecido para cloruros menos la media de los datos de la medición de cloruros entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

##### Importancia

Los cloruros son de las principales sales que se encuentran en aguas naturales, así como aguas residuales (Espinoza *et al.*, 2014; Guerrero Sánchez y Pazmiño Flores, 2017). Una alta concentración de los cloruros en aguas dulces se puede dar a partir de la presencia de aguas residuales, por lo que los cloruros indican contaminación dada por este tipo de aguas, ya que en las excretas humanas de todos los organismos superiores (la orina principalmente), poseen una concentración de cloruros que es aproximadamente igual a la que se ingiere en los alimentos (Gómez, 2016, p. 128), y las excretas humanas pueden contener 6 gr de cloruros por persona al día (Espinoza *et al.*, 2014).

##### Comentarios

El  $I_{CLS}$ , es un indicador de cloruros y su límite máximo es el presentado en la NOM-127-SSA1-1994 que es 250.00 mg/L, y el mínimo es 23.33 mg/L, reportado por Canul Euán (2013).

Si la razón del indicador da un valor negativo automáticamente se considerará como 0.

##### Variables

$\bar{x}_{CLS}$	Promedio de los datos de los cloruros
$Min_{CLS}$	Valor mínimo establecido para el valor de los cloruros
$Max_{CLS}$	Valor máximo establecido para el valor de los cloruros
$I_{CLS}$	Indicador de cloruros

**Tabla 41. Fórmula que integra el  $I_{CLS}$** 

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{CLS} = \frac{Max_{CLS} - \bar{x}_{CLS}}{Max_{CLS} - Min_{CLS}}$	$I_{CLS} = \frac{250 - 30.35}{250 - 23.33} = 0.97$	$I_{CLS} = \frac{250 - 1499}{250 - 23.33} = -5.51 \sim 0$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: NOM-127-SSA1-1994; Canul Euán, 2013; Espinoza *et al.*, 2014; Gómez, 2016; Arcos Espinosa *et al.* 2017; Guerrero Sánchez y Pazmiño Flores, 2017. Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de enero-febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.

### 8.6.1.5 Indicador de Sulfatos ( $I_{SOS}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para sulfatos menos la media de los datos de la medición de sulfatos entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

Los sulfatos pueden afectar de manera directa a la aceptabilidad del agua ya que en primera instancia se puede detectar a través del sabor y a niveles muy altos puede generar un efecto laxante en consumidores no habituados (OMS, 2006).

#### Comentarios

Los valores para normalizar el  $I_{SOS}$  se establecieron así: su valor máximo es el que menciona la NOM-127-SSA1-1994 que es 400.00 mg/L, mientras que el mínimo se establece como 0.49 mg/L, de acuerdo con lo reportado por Villanueva Gómez (2016).

Si la razón del indicador da un valor negativo automáticamente se considerará como 0.

#### Variables

$\bar{x}_{SOS}$  Promedio de los datos de los sulfatos

$Min_{SOS}$  Valor mínimo establecido para el valor de los sulfatos

$Max_{SOS}$  Valor máximo establecido para el valor de los sulfatos

$I_{SOS}$  Indicador de Sulfatos

**Tabla 42. Fórmula que integra el  $I_{SOS}$**

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{SOS} = \frac{Max_{SOS} - \bar{x}_{SOS}}{Max_{SOS} - Min_{SOS}}$	$I_{SOS} = \frac{400 - 25.03}{400 - 0.49} = 0.94$	$I_{SOS} = \frac{400 - 25.03}{400 - 0.49} = 0.35$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: NOM-127-SSA1-1994; OMS, 2006; Villanueva Gómez, 2016. Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de enero-febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.

## 8.6.2 Subíndice de parámetros bacteriológicos ( $S_{Bo}$ )

### 8.6.2.1 Indicador de coliformes totales ( $I_{CTS}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para coliformes totales menos la media de los datos de la medición de coliformes totales entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

El grupo de coliformes totales incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, gramnegativos y no esporulantes. Este grupo además a (excepción de la *Escherichia coli*) se presentan tanto en aguas residuales como en aguas naturales, algunas son excretadas en las heces de humanos y animales de sangre caliente, por lo que indican contaminación de origen gastrointestinal (Ambrosio Calderón, 1994; OMS, 2006).

#### Comentarios

De acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, donde se establece que no debe haber presencia de coliformes totales en agua que tenga como fin uso y consumo humano, el valor mínimo y máximo son 0, por lo que si se detecta su presencia su valor automáticamente será 0, y en caso de tener valor  $<1$  (por la cuestión de del kit Colilert), se le dará el valor de 1.

#### Variables

$\bar{x}_{CTS}$	Promedio de los datos de los coliformes totales
$Min_{CTS}$	Valor mínimo establecido para los coliformes totales
$Max_{CTS}$	Valor máximo establecido para coliformes totales
$I_{CTS}$	Indicador de coliformes totales

**Tabla 43. Fórmula que integra el  $I_{CTS}$** 

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{CTS} = \frac{Max\_CTS - \bar{x}_{CTS}}{Max\_CTS - Min\_CTS}$	$I_{CTS} = \frac{0 - \bar{x}_{CTS} > 1}{0 - 0} = 0$	$I_{CTS} = \frac{0 - \bar{x}_{CTS} < 1}{0 - 0} = 1$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: Ambrosio Calderón, 1994; NOM-127-SSA1-1994; OMS, 2006. Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de enero-febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.



### 8.6.2.2 Indicador de coliformes fecales ( $I_{CFS}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para coliformes fecales menos la media de los datos de la medición de coliformes fecales entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

Las coliformes fecales (termotolerantes) son un subgrupo de los coliformes totales, cuentan con una estructura parecida a la de una bacteria común, la *Escherichia coli*; están presentes en las heces humanas y animales, en aguas residuales y agua que ha estado en contacto recientemente a contaminación fecal (OMS, 2006; Raffo Lecca, 2013).

#### Comentarios

De acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994, donde se estable que no debe haber presencia de coliformes fecales en agua que tenga como fin como uso y consumo humano, el valor mínimo y máximo son 0, por lo que si se detecta su presencia su valor automáticamente será 0, y en caso de tener valor <1 (acorde al kit Colilert), se le dará el valor de 1.

#### Variables

$\bar{x}_{CFS}$	Promedio de los datos de los coliformes fecales
$Min_{CFS}$	Valor mínimo establecido para los coliformes fecales
$Max_{CFS}$	Valor máximo establecido para coliformes fecales
$I_{CFS}$	Indicador de coliformes fecales

**Tabla 44. Fórmula que integra el  $I_{CFS}$**

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{CFS} = \frac{Max_{CFS} - \bar{x}_{CFS}}{Max_{CFS} - Min_{CFS}}$	$I_{CFS} = \frac{0 - \bar{x}_{CFS} < 1}{0 - 0} = 0$	$I_{CFS} = \frac{0 - \bar{x}_{CFS} > 1}{0 - 0} = 1$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: NOM-127-SSA1-1994; OMS, 2006; Raffo Lecca, 2013. Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de enero-febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.

### 8.6.3 Subíndice de parámetros específicos ( $S_{SP}$ )

#### 8.6.3.1 Indicador de Sustancias Activas al Azul de Metileno ( $I_{SDS}$ )

Objetivo de Desarrollo Sostenible: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.

#### Definición

El producto del valor máximo establecido para Sustancias Activas al Azul de Metileno menos la media de los datos de la medición de Sustancias Activas al Azul de Metileno entre el valor máximo menos el valor mínimo establecido del mismo.

#### Importancia

Los detergentes tienen un origen antropogénico y son los principales surfactantes de uso doméstico (Guzmán Colis *et al.*, 2011). Su uso es cotidiano y se ha observado que en las últimas décadas que su producción ha crecido considerablemente a través de diferentes presentaciones, además se ha encontrado que los detergentes producen daños al ser humano y al medio ambiente (Zamora Mendoza, 1995).

#### Comentarios

El  $I_{SDS}$ , evalúa desde el análisis de las Sustancias Activas al Azul de Metileno a los detergentes presentes en las muestras. Los valores para la normalización de este indicador se establecen como máximo como 0.50 mg/L dado por la NOM-127-SSA1-1994, mientras que el mínimo se establece como 0 mg/L, debido a que son sustancias que su origen es antropológico y no natural.

#### Variables

$\bar{x}_{SDS}$	Promedio de las Sustancias Activas al Azul de Metileno
$Min_{SDS}$	Valor mínimo establecido para las Sustancias Activas al Azul de Metileno
$Max_{SDS}$	Valor máximo establecido para las Sustancias Activas al Azul de Metileno
$I_{SDS}$	Indicador de Sustancias Activas al Azul de Metileno

**Tabla 45. Fórmula que integra el  $I_{SDS}$** 

Fórmula	Área de estudio C	Área de estudio K
$I_{SDS} = \frac{Max\_SDS - \bar{x}\_SDS}{Max\_SDS - Min\_SDS}$	$I_{SDS} = \frac{0.5 - 0.14}{0.5 - 0} = 0.72$	$I_{SDS} = \frac{0.5 - 0.39}{0.5 - 0} = 0.23$

Nivel de aplicación: AGEB, colonia, localidad

Fuente: NOM-127-SSA1-1994; Zamora Mendoza, 1995; Guzmán Colis *et al.*, 2011.  
 Datos propios de la toma de muestra de la campaña de campo realizada en el periodo de Enero-Febrero (Ver apartado 8.2). Elaboración propia.

## 9 DISCUSIÓN

El fenómeno de la actividad turística observada en la ciudad de Cancún y el patrón de la concentración de la población en grandes urbes se ha concebido como una tendencia a nivel mundial; a su vez, ha impulsado la creación de pueblos de apoyos que se caracterizan por su disparidad poblacional y que no superan los 10,000 habitantes, como lo fue Akumal, actualmente considerado como el primer enclave turístico de la costa de Quintana Roo (Torrens *et al.*, 2000; Sainz Santamaría y Becerra Pérez, 2003; Monforte García y Cantú Martínez, 2009; Babinger, 2012; Vázquez Sosa *et al.*, 2015; Alfaro García, 2016; Ávila Verdín *et al.*, 2016).

La población se incrementó de manera exponencial con el pasar de los años, a lo que, aunado al proceso de urbanización, llevó al desarrollo de infraestructura. La velocidad de este desarrollo solo permitió el crecimiento económico en ciertas áreas dejando rezagada a una parte de la población. En el caso de Cancún se observa a sus alrededores áreas de marginación (Ver apartado 2.1.3). En Akumal, se presenta una segregación espacial, donde la Carretera Federal 307, divide la zona de hoteles (lado izquierdo de la Fig. 22) y del lado derecho se encuentran los residentes de Akumal, con características socioeconómicas contrastantes descritas en el apartado 2.1.3.



**Figura 22. Separación de Akumal por la carretera 307.**

Los asentamientos estudiados surgen de la actividad turística, en conjunto con efectos negativos como los cambios de uso de suelo, en las poblaciones que con las actividades antropogénicas afectan al recurso hídrico (Bauer Gottwein *et al.*, 2011; Babinger, 2012; Nava Galindo, 2015).

## **9.1 RESULTADOS SOCIALES**

### **9.1.1 Aspectos demográficos**

De los entrevistados en ambas áreas de estudios, la mayoría fueron mujeres, a nivel estatal, las mujeres representan un 49.9% de la población (Secretaría de Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015). La edad mediana de los entrevistados en el área C fue de 38 años, en la K, fue de 35.5, mientras que la edad mediana estatal es 26 años (INEGI, 2015, a).

La población estatal es 1, 501,562, en el municipio de Benito Juárez se encuentra el 49.52% y Tulum 2.17%, lo que representaría de las personas encontradas en las viviendas que la población entrevistada del área de estudio C es lo equivalente al 0.016% de la del municipio de Benito Juárez, en el caso de estudio K, equivale a un 0.64% (Secretaría de Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015). La categorización de las edades permitió observar que predominan las personas con edades entre 25 a 39 años.

El gobierno del estado de Quintana Roo registró que hay una alta población inmigrante, que busca puestos de trabajos y mejor calidad de vida (Babinger, 2012; Gobierno del Estado de Quintana Roo, *n.d.*), lo que concuerda con las estimaciones de CONAPO (2010), donde el estado presenta una atracción elevada, reflejado con la procedencia de los entrevistados, donde la mayor diversidad fue en el área de estudio C, ya que el 81.4% de las personas entrevistadas no nacieron en la PY, y caso contrario para el área K, con un 20.8%, es decir, la mayoría son personas de la región de la PY, a lo que Vázquez Sosa *et al.*, (2014), identificó una red social en la primera generación de parentesco, y en la segunda son de parentesco y de amistad, además de conservar algunas tradiciones de su lugar de origen.

Los entrevistados del área C, tienen un promedio de 10.5 años en su vivienda actual, mientras que en la zona de estudio hay personas que han estado desde hace 30 años en Akumal Pueblo, que se dividió como Akumal Playa y Pueblo, a partir del 1996 por la gestión de hoteleros e inversionistas ubicados en la zona (Mata Lara *et al.*, 2016).

Los pobladores del área K, señalaron que antes de vivir en el área conocida como “Nueva creación”, tramitaron previamente su terreno desde que vivían en lo que es Akumal Pueblo, o lo que se plantearía como su zona urbana, diferenciándose con los pobladores del área C, donde su asentamiento se originó como invasión. Los entrevistados en el área K, poseen un promedio de residencia en su vivienda actual menor a un año, ya que se encontraban personas que habían vivido de 3 semanas hasta 2 años.

En cuestión del nivel educativo, en ambas áreas de estudio poseen un porcentaje de personas sin estudios que supera a lo de su Estado y a sus municipios (Tabla 46). El nivel educativo: primaria, se presentó con mayor frecuencia, pero aun así está por debajo del porcentaje del Estado y de sus municipios (Tabla 46). En cuanto a la educación media superior y superior (preparatoria y universidad) se observa que hay una carencia en ello ya que se encuentran muy por debajo (Tabla 46) (Secretaría Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015).

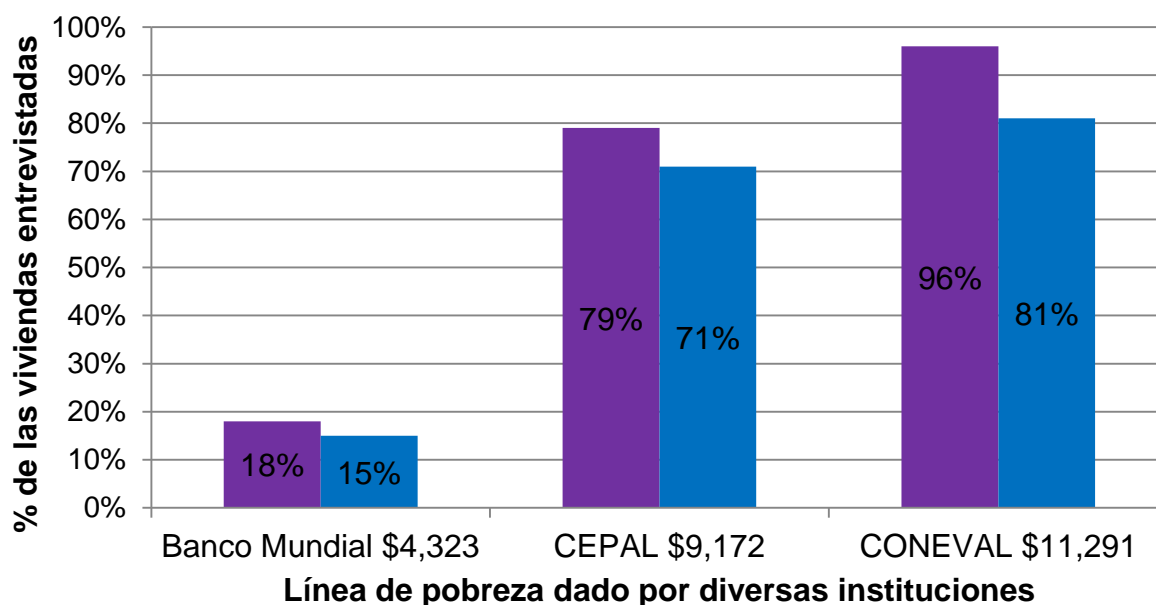
**Tabla 46. Comparación de los niveles educativos con respecto a las áreas estudio, el estado de Quintana Roo y los municipios de Benito Juárez y Tulum**

Nivel educativo	C	K	Quintana Roo	Benito Juárez	Tulum
Sin estudios	20%	6%	4.50%	3.20%	6.50%
Primaria	47%	44%	50.90%	47.90%	57.60%
Secundaria	20%	35%	N/E	N/E	N/E
Preparatoria	13%	13%	25.80%	28.10%	24%
Universidad	0%	2%	18.60%	20.60%	11.70%

*Datos encuesta Intercensal 2015. Fuente: Secretaría Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015*

Los entrevistados fueron en su mayoría mujeres, siendo la ocupación predominante la de ama de casa con un 50% en ambas áreas de estudio. Por lo cual, el ingreso solo es por parte de una persona, lo que se ve reflejado en el bajo ingreso por vivienda en las áreas de estudio (Apartado 8.1.1).

En cuanto a pobreza, en Quintana Roo es heterogénea, ya que posee poblaciones de 0 a 100% en situación de pobreza extrema, y aunque los municipios de Benito Juárez y Tulum se encuentran entre el rango de 0 a 10%, las viviendas entrevistadas tenían ingresos por debajo de las líneas de pobreza de diversas instituciones (Fig. 23), principalmente por CONEVAL, donde un 96% de las familias en el área C y un 81% en el área K no poseían el ingreso necesario para adquirir la canasta básica (CONEVAL, 2017).



**Figura 23. Comparación de los ingresos de las viviendas de las áreas de estudio con las líneas de pobreza dadas por diversas instituciones.**  
Elaboración propia. Fuente: Datos propios; CONEVAL, 2017.

### 9.1.2 Datos de la vivienda

La tenencia de la vivienda a nivel estatal es de 60.7%, en Benito Juárez 62.2% y en Tulum un 39.8%, lo que se ve superado en las áreas de estudio ya que el 90%, el área C y un 95.83% en el área K, mencionaron que son casas propias, sin embargo, un 16.67% y un 22.92%, respectivamente, no poseen las escrituras (Secretaría de Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015).

En ambas localidades un 40% de las viviendas entrevistadas son de material frágil que a su vez en el área C 40% poseen piso de tierra y en el área K, un 29%, donde ambos



valores superan al porcentaje nacional de 2.8%, al estatal 2.1%, a los municipales, Benito Juárez 1.1% y Tulum 3.2%.

De las viviendas entrevistadas se encontró que en el área C, 19 de las 30 estaban en condición de hacinamiento, y en la K, 36 de las 48, lo que es respaldado a través de la comparación del promedio de ocupantes por vivienda de las áreas de estudio con los valores dados a nivel nacional, estatal y municipal son superados, así como el promedio de dormitorios y el porcentaje de hacinamiento nacional y estatal (Tabla 47).

**Tabla 47. Promedio de ocupantes y de dormitorios por vivienda**

	C	K	Nacional	Q. Roo	Benito Juárez	Tulum
Promedio de ocupantes por vivienda	3.98	4.38	3.7	1.2	1.1	1.7
Promedio de dormitorios por vivienda	1.4	1.29	-	3.4	3.3	3.5
Hacinamiento	63%	75%	11.9%	13.7%	-	-

*Elaboración propia. Fuentes: Secretaría de Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015; INEGI, 2015 a.*

Estas primeras características de las viviendas en las áreas de estudio, solo reflejan lo vulnerables y rezagadas que son. Lo que suma a la vulnerabilidad de las viviendas y del mismo modo podría estar afectando al recurso hídrico, es la carencia de servicios, lo cual ocurre en ambas áreas de estudio. La relación ascendente positiva de los servicios de electricidad, drenaje y agua entubada en las áreas de estudio no se cumple, por el contrario, están por debajo del valor nacional, estatal y municipal (Tabla 48). Dada la carencia de los servicios se optan por medidas ineficientes e informales.

Las viviendas del área C, carecen de agua entubada por lo que estrategia para afrontarlo es la perforación de pozos, que supera el porcentaje nacional (Tabla 48). El evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales es fundamental en el abastecimiento de agua seguro, desafortunadamente, los pozos son hechos con los

recursos limitados de los dueños de la vivienda, por lo que regularmente no tienen asesoría técnica y están expuestos a contaminación biológica de origen humano y animal, lo cual se agrava con la alta vulnerabilidad a la contaminación por infiltración en la PY (Pacheco Ávila *et al.*, 2004; Antigüedad *et al.*, 2007; Méndez Novelo *et al.*, 2014). No obstante, en el área C, las viviendas carecen totalmente de sistema de drenaje (Tabla 48), por lo que construyen y usan fosas sépticas, que es un *sistema de desalojo del agua usada a un contenedor cerrado y enterrado especialmente construido para recibir, separar y dar tratamiento a los residuos líquidos y sólidos* (INEGI, 2015 b).

Las fosas, representan un factor de riesgo a la salud, ya que en el mismo predio se tiene un pozo somero (de 12 a 15 metros de profundidad), y fosa séptica (de 3 a 4 metros de profundidad), los cuales pueden representar verdaderos puntos de contaminación fecal, ya que un 78% de las viviendas, no han dado mantenimiento a sus fosas, pese a tener un promedio de 10.5 años de residir en su vivienda, lo que representa un riesgo de filtración hacia el recurso hídrico, ya que las fosas requieren un mantenimiento constante (Domínguez Aguilar, 2004).

Por el lado del área K, un 96% cuenta con agua a través de un sistema improvisado e irregular de distribución de agua que consiste en una manguera que distribuye el agua a las viviendas (Fig.15), el porcentaje restante menciona tomar agua de sus vecinos. El 8% de las viviendas poseen drenaje y un 83% poseen fosas sépticas, el porcentaje restante usa las fosas de sus vecinos, es importante mencionar que el 85% de las fosas sépticas de las viviendas no han recibido mantenimiento, lo cual podría atribuirse al hecho de que en promedio tienen menos de un año edificadas. Las viviendas de las áreas de estudio comparadas con la encuesta Intercensal del 2015 que menciona que a nivel nacional el 16.3% está conectado a ese tipo de sistema, superando casi 4 veces este porcentaje (Tabla 48) (Secretaría de Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015).

El sistema de abastecimiento como el de desecho de aguas servidas en la PY, pueden afectar al recurso hídrico, principalmente por las características del acuífero de la PY (Granel Castro y Gález Hita, 2002; Municipio de Solidaridad, 2007; Febles Patrón, y

Hoogesteijn, 2008; Watler Reyes, 2008; Municipio de Benito Juárez, 2014; Soares *et al.*, 2014).

Febles Patrón y Hoogesteij (2008) proponen una *Ley Estatal de Agua Potable y Saneamiento*, así como la elaboración de normas para la construcción y operación de los sistemas de drenaje y plantas de tratamiento, además sobre la infiltración de descargas de fosas sépticas, que son puntos importantes en las áreas de estudio, ya que, como menciona Nava Galindo (2015, p. 6) “*cuando un cuerpo de agua se contamina no puede ser utilizado para consumo humano sin tratamientos previos*”, lo que aumenta considerablemente el consumo energético, además del incremento que se plantea en los programas de desarrollo urbanos para ambas localidades.

**Tabla 48. Servicios básicos en las viviendas particulares habitadas**

	C	K	Nacional	Q. Roo	Benito Juárez	Tulum
Electricidad	76.67%	95.83%	98.7%	98.80%	99.20%	97.50%
Agua entubada	0%	96%	94.6%	92%	98.30%	91.70%
Pozo	96%	0%	5.80%	-	-	-
Drenaje	0%	8%	93.2%	97%	99.10%	96.10%
Fosa séptica	96%	83%	16.3%	-	-	-

*Elaboración propia. Fuentes: Secretaría de Gobierno del Estado de Quintana Roo, 2015; INEGI, 2015 a.*

Con respecto a la disposición de residuos sólidos, el área C, carece totalmente del servicio de recolección de basura hasta la vivienda. En el área K sólo el 10.4% opta por la última medida del área C, ya que el 58.3% cuenta con el servicio y el 47.9% la trasladan a algún lugar, donde pasa el camión recolector, superando con esto el porcentaje nacional de recolección de basura hasta la vivienda (79.4%), por lo que existe una mejor disposición de residuos sólidos.

El problema con la incineración de la basura, es por las características del sistema acuífero en el noreste de la PY, como la carencia de suelo y sobretodo que éstos son jóvenes, y tienen perfiles poco desarrollados, que incrementan el proceso denominado “Pérdida de suelo por lixiviación” (Bautista y Palacio, 2014). Este proceso mencionado,

favorece la contaminación por infiltración al agua subterránea de la PY (Foster *et al.*, 2002; Rina Fernández, 2005; Escalante Paredes, 2013; Batllori Sampedro, 2016).

### **9.1.3 Calidad del agua**

El uso del agua se determina a través de la cantidad y calidad, su gestión debe basarse desde la perspectiva de bien social y económico, ya que es indispensable en la vida diaria (Andrade Pérez, 2004). La creciente degradación de la calidad del agua por la contaminación, disminuye la cantidad de agua para diferentes usos, ya que afecta a la aceptabilidad, el factor más importante para su uso (Andrade Pérez, 2004; OMS, 2006).

González Carrasco (2011, p. 11), retoma el concepto de la OMS (1998) del agua para consumo humano que es aquella “adecuada para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”. En la definición incluye implícitamente que el agua no debería representar un riesgo para la salud de los consumidores, para lo que se han desarrollado diversos métodos para su purificación (González Carrasco, 2011; Caminati Briceño y Caqui Febre, 2013). La NOM-041-SSA1-1993 define el agua purificada envasada como:

*Aquella sometida a un tratamiento físico o químico que se encuentra libre de agentes infecciosos, cuya ingestión no causa efectos nocivos a la salud y para su comercialización se presenta en botellones u otros envases con cierre hermético y que además cumple con las especificaciones que se establecen en esta norma.*

La premisa del agua purificada fue para dar pie a que, en las viviendas de ambas áreas de estudio, se usa este tipo de agua para beber y la mayoría para cocinar. En diversos estudios se presenta la misma confianza en el agua purificada para beber y cocinar, así como la desconfianza en sus fuentes de abastecimiento de agua (Pimentel Equihua *et al.*, 2011; Pérez Flores, 2012; Ojeda de la Cruz, 2013).

La población de la subcuenca del río Copán, Honduras (Mendoza Díaz y Jiménez Otárola, 2009), utiliza medidas de adaptación para obtener agua de buena calidad en

las que se incluye: la compra de agua purificada, que depende de las condiciones económicas de las familias, el acarreo de agua, cuya calidad es apta para bañarse o lavar ropa, coincidiendo con lo que se observó en ambas áreas de estudio donde la totalidad de las viviendas usaban agua de su fuente de abastecimiento para esos usos. Otro aspecto de la calidad del agua, es la percepción de color, sabor y olor, que es señalado por la OMS (2006), como aspectos que afectan a la aceptabilidad del agua, ya que el color no debe ser apreciable, debe estar ausente de sabor y el olor, sin embargo en las áreas de estudio se ha percibido y de forma reiterada, aportando desconfianza al agua de abastecimiento de cada respectiva área.

#### **9.1.4 Riesgos**

El apoyo del enfoque de la percepción de riesgos en este trabajo tiene como propósito influir en la toma de decisiones de la misma población para que su medio físico sea más seguro, ya que se incluye también la identificación de las causas humanas en cuanto al deterioro del recurso hídrico (Buch y Turcios, 2003). Se ha descrito que la percepción del riesgo en el ámbito del consumo como el grado en el cual los consumidores sienten amenazas a su seguridad al emplear un recurso (Martínez Peña, 2008).

##### *9.1.4.1 Percepción del riesgo a enfermarse*

Las enfermedades relacionadas con la mala calidad del agua han causado más de tres millones de muertes al año en el mundo, de las que se incluyen la diarrea que es provocada por beber agua en mal estado provocando 4,000 muertes diarias en los sectores más vulnerables donde los niños y niñas son los susceptibles (Monge, 2009).

Con base en la confianza de los usuarios hacia la calidad del agua, se evaluó la percepción del riesgo a enfermarse, a lo que en su gran mayoría están conscientes de la exposición a enfermedades por beber agua de forma directa (80%, en el área C y 87.5%, en el área K), pero en un menor porcentaje de una manera indirecta como en bañarse (46.7%, en el área C y 35.4%, en el área K). La desconfianza de los usuarios hacia el agua es a causa de la contaminación del agua (83.3%, en el área C y 90.5%, en el área K). En un estudio realizado por García (1998) señala que, en promedio por

cada volumen unitario de agua usado para fines domésticos e industriales devuelto a cuerpos de agua, se contaminan de 8 a 10 volúmenes equivalentes de agua natural, aumentando el costo económico y social desde el punto de vista de la salud, donde en toda América Latina y el Caribe las enfermedades transmitidas por el agua son de gran importancia.

#### 9.1.4.2 *Percepción del riesgo de afectación al recurso hídrico*

Magaña (2012) menciona que la vulnerabilidad de un sistema puede cambiar dependiendo de la percepción del riesgo por: *la preocupación de la población por sus recursos locales y el interés por la calidad medioambiental de su entorno constituyen dos claves de actualidad en la gestión de los territorios* (Calvache *et al.*, 2017, p. 48).

La percepción en el estudio se consideró la expansión territorial, planteada para cada área de estudio, sin dejar fuera la comunicación de las necesidades locales y las estrategias de las autoridades responsables (Calvache *et al.*, 2017).

La percepción de estos aspectos, partieron del término contaminación, del cual, en el área C, un 32.1% no había escuchado este término, y un poco más del 50% percibe que puede contaminar el agua. En este sentido, Nava Galindo (2015) menciona: no es suficiente tener conciencia de que existe un problema de contaminación, se debe de contar con los conocimientos adecuados, que permitan conocer las características del lugar para evitar la contaminación y tomar medidas de protección, con lo que se podrá tomar decisiones informadas, basadas en la hidrogeología del acuífero.

Es así que la percepción de la población tiene influencia directa en las posibles estrategias colectivas de uso del recurso hídrico o de cualquier recurso (Hernández, 2009). De manera global, se observó que los entrevistados del área K tienen una mejor percepción hacia la afectación al recurso hídrico, por lo que se podría mejorar la percepción en el área C, ya que con ello se podrían conservar y mejorar las condiciones ambientales, como lo que menciona Cervantes Rosas (2008) en un trabajo en playas municipales, que demostró la utilidad de la percepción para el mejoramiento de las playas.

## **9.2 RESULTADOS AMBIENTALES**

### **9.2.1 Parámetros fisicoquímicos *in situ***

La calidad del agua es un factor limitante en el aprovechamiento del agua subterránea en el acuífero de la PY, ya que al ser un sistema kárstico es vulnerable a la contaminación por infiltración, lo que afecta a su vez a la calidad de vida de sus habitantes por su consumo (Antigüedad, 2007; Canul Euán, 2013).

Para conocer el comportamiento de los sitios de muestreo al momento de este se midieron *in situ* los parámetros de *temperatura, el pH y conductividad eléctrica* (Aké Cauich, 2016). En el área C se registró una temperatura de 24.2 a 26.2 °C, y en el área K 25.6 a 27.1°C, las cuales coinciden con las reportadas en estudios en diferentes puntos de la PY (Leal Bautista *et al.*, 2011; Canul Euán, 2013; Escalante Paredes, 2013; Carrillo Monsreal, 2014; Sánchez Sánchez *et al.*, 2015; Aké Cauich, 2016; Ávila Torres, 2017), las cuales no presentan comportamientos de temperatura inusuales tal como lo menciona Escalante Paredes (2013) al decir que en general la temperatura del agua subterránea es poco variable en la PY.

De la misma forma, la temperatura de los sistemas muestreados se encuentran dentro del intervalo de la norma NMX-AA-007-SCFI-2013 que establece que tanto en aguas naturales crudas no salinas, aguas salinas como aguas residuales crudas y tratadas deben tener una temperatura que fluctúe dentro de 0°C y 45°C.

Los valores de conductividad eléctrica en el área C fluctuaron entre 548 a 731  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mientras que en el área K fueron de 998 a 2380  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Lo anterior guarda relación inversamente proporcional en la que los valores de la conductividad eléctrica se reducen mientras más alejados estén de la costa, que es el caso de las muestras del área C están más alejados de la costa (aproximadamente de 1.67 -17.5 km) que en el área K (aproximadamente de 2.1-7 km) (UADY, 2006, Escalante Paredes, 2013).

En cuanto a estudios en la PY (Canul Euán, 2013; Sánchez Sánchez *et al.*, 2015; Aké Cauich, 2016; Poot Angulo, 2016; Ávila Torres, 2017) se reportan valores de conductividad eléctrica, que van de 232 a 6540  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , resultando que los datos obtenidos en ambas áreas de estudio se encuentran dentro de este intervalo.

Sin embargo, al convertir los datos de conductividad eléctrica a sólidos disueltos totales, se observa que en el área C los valores son de 351 a 468 mg/L y en la área K de 998 a 2380 mg/L, de acuerdo con la clasificación dada por CONAGUA (2011), las muestras del área C son aguas dulces, mientras que en el área K se consideran de dulces a salobres (Tabla 49). Por otra parte la NOM-127-SSA1-1994 establece que el límite máximo permisible es 1000 mg/L, por lo que las muestras del área C cumplen con ello mientras que en el área K solo una de las seis muestras, es decir que la concentración de SDT no es apta para uso y consumo humano.

**Tabla 49. Tipo de agua subterránea de acuerdo a la concentración de Sólidos Disueltos Totales**

Clasificación de aguas subterráneas	Concentración de Sólidos Disueltos Totales (mg/L)
Dulces	<1000
Ligeramente salobres	1000 a 2000
Salobres	2000 a 10000
Salinas	>100000

*Elaboración propia. Fuente CONAGUA, 2011.*

Los valores de pH en el área de estudio C fueron de 6.8 a 7.2 y en el área K 6.9 a 7.3, los cuales se encuentran dentro del intervalo de resultados de varios de estudios realizados dentro de la PY (Leal Bautista *et al.*, 2011; Canul Euán, 2013; Escalante Paredes, 2013; Carrillo Monsrreal, 2014; Sánchez Sánchez *et al.*, 2015; Aké Cauich, 2016; Poot Angulo, 2016; Ávila Torres, 2017). A su vez los valores resultantes están en el rango permitido de la NOM-127 -SSA 1-1994 (6.5-7.5).



### **9.2.2 Parámetros fisicoquímicos ex situ**

La alcalinidad de  $\text{HCO}_3$ , en el área C fluctuó de 103.8 a 428.6 mg/L, en tanto que para el área K fue de 350.6 a 417.6. Al comparar los resultados con estudios previos en la región (Cabrera Sansores et al., 2002; Graniel Castro et al., 2004; Leal Bautista et al., 2011; Canul Euán, 2013; Escalante Paredes, 2013; Sánchez Sánchez et al., 2015; Aké Cauich, 2016; Poot Angulo, 2016) se observa que solo un dato del área C quedaba fuera de los reportados, mientras que las muestras del área K caen dentro del intervalo de los estudios (156.89-558 mg/L).

El intervalo de concentración de cloruros detectada en el área C fue de 12.2 a 54.8 mg/L, valores que no sobrepasan la NOM-127-SSA1-1994 (250 mg/L). Por el contrario, el área K sus valores fueron de 500 a 3155 mg/L, estos valores son superiores a estudios previos en la región -14 a 1578 mg/L (Canul Euán, 2013; Escalante Paredes, 2013; Sánchez Sánchez et al., 2015; Aké Cauich, 2016; Villanueva Gomez, 2016). En este sentido, Escalante Paredes (2013) analizó muestras de agua de pozos de abastecimiento en la Zona Metropolitana de la Ciudad de Mérida, Yucatán, donde observó valores superiores a los 250 mg/L de la NOM-127-SSA1-1994 y se lo atribuyó a una posible intrusión marina por la cercanía a la costa, lo cual sería el caso del área de estudio K. Otras posibles fuentes de cloruros son las descargas de aguas residuales domésticas (Díaz Delgado et al., 2005; OMS, 2006).

Las concentraciones de los sulfatos presentaron un comportamiento similar a lo de los cloruros, en el área C las muestras tuvieron un intervalo de 6.6 a 46.1 mg/L, mientras que en el área K fueron de 75.8 a 532 mg/L, donde dos de las seis muestras rebasaron el valor máximo de la NOM-127-SSA1-1994 (400 mg/L), y en el área C se presentó una mayor variación de los datos. En estudios previos sobre concentración de sulfatos en la región (Canul Euán, 2013; Escalante Paredes, 2013; Sánchez Sánchez et al., 2015; Aké Cauich, 2016; Villanueva Gomez, 2016) se ha reportado variación de valores de 9.95 a 2000 mg/L, con lo que los valores en el área K son más altas reportadas en la región, a lo que se puede inferir que su comportamiento es a partir de la cercanía a la

costa, como en el estudio de Canul Euán (2013) donde dos de sus pozos muestreados rebasaron el valor dado por la NOM-127-SSA1-1994.

En ambas áreas de estudio se presentaron muestras con valores superiores al valor máximo de la concentración de nitratos dado por la NOM-127-SSA1-1994 (10 mg/L). La concentración de nitrato suele ser baja en aguas subterráneas, al ser alta puede atribuirse a las actividades humanas, como la disposición de residuos humanos y animales (Pacheco Ávila *et al.*, 2004; OMS, 2006). Por otra parte, Escalante Paredes (2013) menciona que este tipo de contaminación por nitratos es más común en regiones kársticas, como las del área de estudio.

Los detergentes tiene un origen exclusivamente antropogénico, estas se midieron a través de la concentración de Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM). En México, en diversos cuerpos de agua se da detectado la presencia de estos productos o de sus componentes (Martínez Peña, 2008). Así mismo, en la mayoría de las muestras de agua subterránea de las áreas de estudio, se observó la presencia de estos productos, pero una en específico en el área K, puede representar un riesgo a la salud, ya que supera el valor máximo permitido por la NOM-127-SSA1-1994 (0.5 mg/L).

### **9.2.3 Parámetros bacteriológicos**

Los coliformes totales indican contaminación de origen gastrointestinal, esto se presentó en todas las muestras en ambas áreas de estudio, rebasando la NOM-127-SSA1-1994, desde su presencia -la norma exige ausencia de estos microorganismos- (Ambrosio Calderón, 1994; Arcos Pulido *et al.*, 2005; Alvario Castro y Gordillo Vanegas, 2015). Así mismo, los coliformes fecales que son considerados como indicadores de contaminación fecal reciente, se presentaron en cuatro de las seis muestras en el área de estudio K, es así que en al menos esos puntos puede haber una propagación de enfermedades gastrointestinales, ya que se presentaron tanto los CT y CF. Lo anterior aunado a la falta de una correcta dotación de agua, es un riesgo latente a la salud de la población del área de estudio (Arcos Pulido *et al.*, 2005; Raffo Lecca, 2013; Kauffer Michel y Escobar Castillejos, 2015; Calderón Ortiz, 2017).

### **9.3 COMPONENTE SOCIAL DEL RECURSO HÍDRICO**

En materia del recurso hídrico, el agua, la injusta distribución de la riqueza ha tenido consecuencias directas sobre la salud y el desarrollo de los individuos, lo que enciende la preocupación del derecho humano al agua sea reconocido y protegido, lo cual si tendría consecuencias positivas a las poblaciones que han sido marginadas (FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006), situación presente en las áreas de estudio. El área más vulnerable de acuerdo a las condiciones de la población y su asentamiento es la C, donde su  $SI_{PA}$  presenta un alto grado de vulnerabilidad (0.33), mientras que el área K está en el grado de moderada (0.60). La dicotomía de los subíndices que conforman el  $SI_{PA}$  fue importante para establecer la vulnerabilidad del componente social desde sus diferentes puntos de vista de la sociedad.

Las características de la población y de su vivienda se plantean que tiene relación con la vulnerabilidad del recurso hídrico, Domínguez Aguilar (2004) enuncia que el uso y manejo del agua urbana se relaciona con aspectos sociales, al presentarse presión por parte de las actividades humanas desencadena problemas como el manejo incorrecto de los recursos naturales como el agua y la inequidad social.

El  $S_{DDE}$  que conforma el  $SI_{PA}$ , en ambas áreas presento un grado de vulnerabilidad moderado, lo que puede atribuirse principalmente a la falta del nivel educativo, que se detectó a través del análisis sobre la educación de las personas entrevistadas, lo cual tiene relación directa con su entorno, ya que la educación se presenta como *el proceso que permite al hombre tomar conciencia de la existencia de otra realidad, y más plena, a la que está llamada, de la que procede y hacia la que dirige* (Banda Toapanta, 2017, p. 37).

El indicador de escolaridad en ambas áreas de estudio se encuentra en el grado de vulnerabilidad moderada, ya que el nivel educativo es bajo, lo que representa un riesgo de exclusión social (Fernández García *et al.*, 2017), así como el riesgo a la salud y al ecosistema (Polanco *et al.*, 2014). El poseer un mejor nivel educativo es un elemento

indispensable para la prevención de riesgo hacia el recurso hídrico y de poder mejorar las condiciones del mismo (Correa Pérez, 2005; Silveira Gramont *et al.*, 2016).

La diversidad en la procedencia de los pobladores se refleja en el  $I_{AG}$ , en el que se observa un grado de baja vulnerabilidad en el área C y en el área K muy baja vulnerabilidad, dado porque la mayoría de la población entrevistada es de origen dentro de la PY, es decir, con lo que se esperaría que haya un mejor comportamiento en cuanto al cuidado del recurso hídrico así como en los factores que pueden influir en su contaminación, ya que podría facilitar comportamientos ecológicamente responsables y el cuidado de su entorno y recursos como el hídrico (Padilla y Sotelo y Luna Molines, 2003; Vidal Moranta y Pol Urrútia, 2005; Mazabel y Miranda Zambrano, 2013).

La apropiación del espacio es a través de la interacción social, vital dado que permite identificar la transformación del espacio por la gente según sus necesidades y como Calderón Carrillo y Bustos Aguayo (2007) reportan qué:

*Jiménez (1998) encontró una asociación entre las conductas ecológicas responsables y los factores conductuales (acción-transformación directa del espacio) y los factores cognitivos (creencias de control percibido, identificación e identidad) de la apropiación del espacio en el grupo con mayor tiempo de residencia, en comparación con el grupo de personas con menor tiempo de residencia, las cuales no participaron en la planificación, ni desarrollo del lugar.*

La falta de apropiación podría favorecer a otros fenómenos, como el hacinamiento, por la falta de adecuación de la vivienda. La vivienda de una persona influye en su calidad de vida, además de no existir privacidad y una circulación apropiada de sus residentes, ocasiona alteraciones en la salud mental y física. El hacinamiento, está también correlacionado a la escasez de la vivienda, por lo que se le considera una variable representativa de la dimensión hábitat (Golovanevsky, 2007; Diario Oficial, 2010).

El valor del  $I_{HO}$ , en ambas áreas de estudio presenta una alta vulnerabilidad, en primera instancia representa un estimado de la demanda de uso del recurso hídrico, así como una mayor probabilidad de contacto con la fuente, lo que influye en el aumento en el riesgo por exposición para ambos, es decir para los habitantes y el recurso hídrico (González Castelain *et al.*, 2001; González Turrubiates, 2010).

La UNESCO (2007, p. 522) [señala que el hacinamiento de las viviendas] *es un caldo de cultivo para la transmisión de una amplia gama de enfermedades infecciosas*, debido a la alta densidad de los residentes en un espacio reducido lo que a su vez también se pueden presentar en este tipo de vivienda limitaciones económicas y sanitarias (González Castelain *et al.*, 2001), lo cual se observó en ambas áreas.

Dentro de las limitaciones económicas y a su vez sanitarias, está el tipo de material del piso de las viviendas, que es un criterio de situación de carencia, así como de exposición a riesgo de salud de los residentes de la vivienda (Golovanevsky, 2007; Sangronis *et al.*, 2008; Diario Oficial, 2010). El  $I_{VP}$ , en el área C tiene un mayor grado de vulnerabilidad hacia el recurso hídrico con respecto al área K, cabe mencionar, que al igual que el hacinamiento, el material del piso es una característica de rezago habitacional (Kunz Bolaños y Romero Vadillo, 2008; Vizuet, 2010).

El rezago habitacional es un determinante básico para la corrección de problemas ambientales, ya que atiende aspectos del deterioro y hacinamiento viviendas (Isunza Vizuet, 2010). Otra dimensión del rezago comprende la deficiencia en los servicios (Kunz Bolaños y Romero Vadillo, 2008).

Al correlacionar la ausencia de servicios, que contemplan el uso del agua así como el de disposición de residuos sólidos (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C, 2015; Nava Galindo, 2015), se observó mediante el  $S_{DS}$  que el área C tiene un grado muy alto de vulnerabilidad hacia el recurso hídrico, mientras que el área K posee un grado bajo, claramente en función de los indicadores que lo componen.

Uno de los indicadores que incluye el  $S_{DS}$ , es el  $I_{VRS}$ , contempla las diferentes formas de disposición de residuos en las áreas de estudio. Donde en el área C, se obtuvo un grado de muy alta vulnerabilidad del recurso hídrico y en el área K una muy baja. Esto debido a la disposición de los residuos, ya que *la disposición inadecuada de residuos sólidos es responsable de un gran número de casos de contaminación del agua subterránea* (Foster *et al.*, 2002, p. 79). En climas húmedos, como el de Quintana Roo, es más usual la contaminación del agua subterránea (Foster *et al.*, 2002).

Una explicación de lo anterior, es que en el área C, se presenta una muy alta vulnerabilidad debido a que las personas entrevistadas mencionaron que incineran sus residuos sólidos mientras que en el área K, prefieren llevar su basura en un lugar donde la recojan de manera oficial, ya que de esto puede evitar la contaminación de las aguas subterráneas (González Carrasco, 2011). Sin embargo, no solo los residuos sólidos pueden contaminar las aguas subterráneas, sino que también los residuos provenientes de las fosas sépticas mal diseñadas u otro tipo de disposición de aguas servidas (Torres Díaz *et al.*, 2014; Escalante Paredes, 2013).

El valor de  $I_{VS}$ , refleja la vulnerabilidad hacia el recurso hídrico en base a los tipos de disposición de las aguas servidas, es decir el acceso a instalaciones sanitarias. En ambas áreas de estudio, se presentó un grado de moderada vulnerabilidad hacia el recurso hídrico, ya que dependiendo de la forma de disposición de las aguas servidas va depender la contaminación de las aguas subterráneas (Ochoa López, 2003; Escalante Paredes, 2013).

Lo que suma riesgo a la contaminación de las aguas subterráneas en el estado de Quintana Roo, es que en la ciudad de Cancún es el crecimiento de su economía y que con ello crece el rezago, la pobreza y falta de servicios como el drenaje y el abastecimiento de agua potable, así como en Akumal donde también presenta deficiencias en estos servicios (Calderón Maya *et al.*, 2012; Morales Dueñas, 2012).

El acelerado crecimiento urbano en las grandes ciudades de la región ha desencadenado en la creación de zonas aledañas con carencia de agua entubada potable, optando por la construcción de pozos en los cuales no hay un control en su cantidad de consumo, además de que no hay seguridad de que éstos estén construidos bajo la NOM-003-CNA-1996, la cual expone los requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos (Campos Aranda, 1998; Sainz Santamaría y Becerra Pérez, 2003; UNESCO, 2003; Domínguez Aguilar, 2004; FEA, CEMDA y Presencia Ciudadana Mexicana, 2006; Municipio de Benito Juárez; Marín Pacheco, 2009; Babinger, 2012; Mora Aliseda *et al.*, 2016; Ávila Verdín *et al.*, 2016; Batllori Sampedro, 2016,).

El área C, es un claro ejemplo de una zona aledaña, donde se obtiene agua través de pozos, donde no se presenta un control sobre su cantidad, mientras que en el área K, el agua es suministrada de forma más organizada aunque no formal, a lo que el  $I_{VAC}$  refleja esta situación, donde su valor para el área C indica un muy alto grado de vulnerabilidad y en la K posee un moderado grado.

El agua, es considerada un bien común, *dado que es lo suficientemente grande como para volver costosa (pero no imposible) excluir a destinatarios potenciales de los beneficios de su uso* (Cruz Gómez y Caldera Ortega 2015, p. 720).

El análisis de percepción de los entrevistados a través del  $S_{DCA}$ , identificó la demanda de esté con respecto a los usos, consideradas como posibles causas de origen antropogénico en el deterioro de la calidad del recurso hídrico, así como la confianza que se le tiene. En el área C, el  $S_{DCA}$ , tiene un grado de baja vulnerabilidad mientras que en el área K, presenta un moderado grado de vulnerabilidad.

El valor del primer indicador del  $S_{DCA}$ , el  $I_{CUS}$ , en el área C y K se encuentra en el grado de alta vulnerabilidad. La situación es dada en primera instancia a que de acuerdo al  $I_{CUS}$ , el cual contempla el número de usos que se le da al agua que tienen en su vivienda (Fig. 15 y 16), se observa que, en ambas áreas, tienen por decirlo así,

desconfianza, ya que el valor del indicador se encuentra en el grado de alta vulnerabilidad. Foschiatti (2004), menciona que la mala calidad del agua es un factor que afecta a muchas ciudades y que, además, es el causante de más muertes de personas en los países menos desarrollados que todas las catástrofes naturales juntas, donde esta no debería representar un riesgo para la salud (González Carrasco, 2011).

Como parte complementaria se elaboró el  $I_{PCA}$ , ya que el uso del agua se determina a través de la calidad, este indicador establecido a través de la percepción del color, sabor y olor, ya que su presencia genera desconfianza al consumidor (OMS, 2006). Con los datos obtenidos en las entrevistas se planteó la relación de porque no todas las viviendas usan el agua para beber y cocinar, y la razón fue porque se ha percibido color, sabor y olor, lo que resultó que al trasladar la información al indicador, se presenta en ambas áreas un grado de baja vulnerabilidad.

Lo anterior, se complementa con la percepción de riesgos, presentándose como el  $S_{DRS}$ , cuyo valor en ambas áreas se encuentra en el grado de vulnerabilidad baja. El usuario es considerado muy importante, ya que él hace un uso racional del agua, así como el que puede ocasionar un efecto dañino así mismo y al agua, además de que se plantea una aproximación integral como lo menciona Anderson *et al.* (2015, p. 269):

- a) *un vínculo recíproco entre la ciencia y la sociedad*
- b) *realizar investigación socialmente relevante.*

El primer indicador que integra el  $S_{DRS}$ , es el  $I_{PRE}$ , el cual para ambas áreas de estudio se encuentra con un grado de vulnerabilidad moderada. Ambas localidades al estar en la PY son vulnerables a la contaminación de manera intrínseca, y aunque la mayoría de los entrevistados en ambas áreas no saben el origen de su agua de uso y consumo, no confían en su calidad. En el estudio en el que se basó este indicador el cual se llevó a cabo en cenotes de uso recreativo, donde sólo un entrevistado reporto la posibilidad de enfermarse relacionándolo con la baja temperatura que en temporadas se presenta (Nava Galindo, 2015).



A pesar de que el presente trabajo y el de Nava Galindo (2015) son estudios de la región y su población comparte la misma agua subterránea, las personas entrevistadas poseen una mejor percepción a enfermarse, lo que se apoya de las preguntas que incluye el  $I_{PRE}$ , donde la mayoría de las personas perciben que se pueden enfermar con actividades intrínsecas, es decir de la población y con la contaminación del agua.

Castellanos Medellín (2013) observó que la ciudadanía se reconoce como la principal causante y responsable de la problemática ambiental en la ciudad de Naranjos, Veracruz, donde la contaminación del agua es uno de los principales problemas que preocupan a la población. Aunque los entrevistados en ambas áreas de estudios deben de prevenirse más, una forma de prevenir, es cuidar su recurso hídrico y una forma de evaluarlo esto a través del  $I_{PRA}$ .

El valor del  $I_{PRA}$  en ambas áreas de estudio obtuvo el grado de vulnerabilidad baja, es decir, que no todas las personas entrevistadas consideran algunas actividades como parte de la afectación al recurso hídrico, aunque otros estudios reconocen que los procesos urbanísticos tienen un efecto en la calidad de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Martínez Romero, 2013). Otro ejemplo de esta relación se ve reflejada en el estudio de Pérez Flores (2012, p. 101), donde menciona que El Puerto, Yucatán *los actores y sucesos sociales modifican el aprovechamiento de sus recursos*. Por su parte Malmberg (2014) logró correlacionar características demográficas y sociales para conocer como la población de nuevo se identifica como parte del problema (Aguilar Solís, 2015).

En tanto Soares y Gutiérrez (2011, p. 59) [mencionan que]: “Conocer las percepciones sobre el cambio climático de los pobladores locales crea oportunidades para el desarrollo de programas que tratan de encontrar formas más sustentables de articulación de los grupos sociales con sus recursos, ello por sí sólo no logra dar cuenta de la compleja realidad socioambiental y de la multiplicidad de variables que condicionan la sustentabilidad del desarrollo”. Lo cual puede resumirse de que las percepciones de la población local propician al cuidado del ambiente.

#### **9.4 COMPONENTE AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO**

La evaluación de la calidad del agua comprende la naturaleza física, química y biológica del agua, de acuerdo a la calidad natural y a los efectos humanos relacionados con la salud (Mejía Clara, 2005). En la región de la PY, se han realizado estudios enfocados a la posibilidad del deterioro de la calidad del agua del acuífero, debido a su naturaleza vulnerable y al incremento en las actividades humanas, lo cual es motivo de preocupación, ya que la contaminación del recurso hídrico de la PY, afectará a la calidad de vida de sus habitantes (Antigüedad *et al.*, 2007; Beddows *et al.*, 2007; Canúl Euán, 2013; Escalante Paredes, 2013; Torres Díaz *et al.*, 2014; Nava Galindo, 2015)

Para la calidad del agua se analizaron parámetros fisicoquímicos y se planteó el  $S_{FQO}$ , con parámetros que se analizaron *in situ* y *ex situ* (apartado 8.6.1) (Díaz Delgado *et al.*, 2005; Garbagnati *et al.*, 2005; Raffo Lecca, 2013; Carrillo Monsreal, 2014; Cabezas Castillo, 2015). El comportamiento del acuífero en el momento del muestreo medido a través de los parámetros analizados *in situ*, que a través del  $I_{PIS}$  reflejaron que el área C un mejor grado de vulnerabilidad que en el área K.

El valor del  $I_{pH}$ , en el área C presento un bajo grado de vulnerabilidad, mientras que en la K, presenta un muy bajo grado, ya que ambos valores están dentro de los intervalos de diferentes estudios de la región así como en el de la NOM-127 -SSA 1-1994.

La temperatura de los sitios de muestreos se representó con el indicador  $I_{TEM}$ , en el cual el área C como la K, presentaron un grado moderado de vulnerabilidad. Por lo general una menor temperatura se asocia a una mejor calidad del recurso hídrico, ya que de esta, dependen diversos procesos, como la proliferación de microorganismos, que pueden alterar las condiciones del agua y presentar problemas de sabor, olor y color (Barrenechea Martel, 2004; OMS, 2006; Carrillo Monsreal, 2014).

A partir de la conductividad eléctrica, se percibe una tendencia hacia una mayor presencia de SDT, lo cual con el  $I_{SDT}$  se corroboró, al presentarse un bajo grado de vulnerabilidad en el área C y en la K un alto grado de vulnerabilidad, reiterando acerca de su ubicación geográfica. Los puntos del área C se encuentran (de manera perpendicular) a aproximadamente 16.7 y hasta 17.5 km de la costa, mientras que los del área K están a aproximadamente 2.1 a 7 km. Un aspecto a considerar, es que la primera franja de 15 km de ancho paralela a la costa, el nivel del agua es hasta a menos de 5m, por lo que, debido a las características intrínsecas geológicas de la PY, podría infiltrarse más rápido los contaminantes debido a la falta de atenuación de estos (UADY, 2006; Aguilar Duarte *et al.*, 2016).

El  $I_{ALC}$ , obtuvo un grado bajo de vulnerabilidad en el área C, mientras que en el área K, un grado moderado, con lo que se podría sugerir, que se esté presentando una falla en el amortiguamiento del sistema acuífero en el área K (Barba Ho, 2002; Garbagnati *et al.*, 2005).

El valor del  $I_{NOS}$  en ambas áreas de estudio fue de un alto grado de vulnerabilidad. Se observaron muestras que sobrepasaron el valor dado por la NOM-127-SSA1-1994, esto se puede atribuir a diversas propiedades geológicas intrínsecas, previamente mencionadas. Al no existir agricultura en las zonas de estudio, los valores resultantes, pueden atribuirse a la filtración de residuos de fosas sépticas mal construidas, a la falta de mantenimiento en éstas y a la disposición de residuos sólidos en el área C. Esta situación, ya se ha reportado en otros sitios de la PY, donde la contaminación por nitratos es común, lo cual se agrava por la situación intrínseca de la plataforma kárstica (Pacheco Ávila *et al.*, 2004; Pérez Ceballos y Pacheco Ávila, 2004; Pérez Castillo y Rodríguez, 2008; Escalante Paredes, 2013; Canul Euán, 2013; Raffo Lecca, 2013).

En el caso del  $I_{CLS}$ , los resultados son contrastantes, ya que en el área C presenta un grado muy bajo vulnerabilidad, por el contrario el área K posee un alto grado de vulnerabilidad, esto se puede deber a la disolución del suelo o rocas (Díaz Delgado *et al.*, 2005), por el ingreso de heces humanas por las descargas de aguas servidas (Díaz

Delgado *et al.*, 2005; OMS, 2006; Espinoza *et al.*, 2014) e incluso intrusión marina, lo cual se puede sugerir, ya que las muestras del área K se encuentran más cercanas a la costa (Schmitter Soto, 2002; OMS, 2006; Graniel Castro, 2010; Escalante Paredes, 2013).

Al igual que el  $I_{CLS}$ , se presenta el mismo comportamiento en ambas áreas de estudio un mejor grado de vulnerabilidad en el área C (muy bajo) y un grado de baja vulnerabilidad en el área K. Este valor puede ser dado por la cercanía a la costa y, debido a sus altas concentraciones, el agua no es apta para consumo humano (Schmitter Soto, 2002; OMS, 2006; Graniel Castro, 2010; Escalante Paredes, 2013).

El  $S_{BO}$ , tuvo un moderado grado de vulnerabilidad en el área C mientras que el área K, presento un alto grado de vulnerabilidad, a lo que se puede sugerir que fue a causa de la ausencia de drenaje, la disposición de residuos sólidos y no las mejores prácticas de obtención de agua se hace evidente en el alto grado de vulnerabilidad del  $I_{CTS}$  en ambas áreas (Méndez Novelo *et al.*, 2014; Kauffer Michel y Escobar Castillejos, 2015). Aunado al alto grado de vulnerabilidad del  $I_{CTS}$  en el área K, se le suma el alto grado de vulnerabilidad del  $I_{CFS}$ , lo que representa un riesgo a la salud desde la presencia de coliformes totales acentuándose más en el área K, ya que indica contaminación bacteriana reciente además de que la presencia de estas bacterias indica la posibilidad de encontrar microorganismos patógenos en el agua (Canul Euán, 2013).

El  $I_{SDS}$ , se estableció como el único indicador del  $S_{ESP}$ , debido a lo observado en el reconocimiento de campo y a la carencia del servicio para disposición de aguas servidas. Su presencia indica contaminación antropogénica, por no presentarse de manera natural en el ambiente, el valor del  $I_{SDS}$  en el área C represento un bajo grado de vulnerabilidad y por el lado del área K, este indicador tiene un alto grado de vulnerabilidad, con lo que se puede sugerir, que es por la alta infiltración que representa estar en una zona kárstica como la PY y en el área K, por la falta de atenuación de contaminantes por ubicarse cerca de la costa.

### **9.5 COMPONENTE SOCIO-AMBIENTAL DEL RECURSO HÍDRICO**

De acuerdo al índice de vulnerabilidad planteado, el  $IVRH$ , el área K tiene un alto grado de vulnerabilidad hacia el recurso hídrico, mientras que el del área C es en moderado, lo cual puede explicarse, que a pesar de que ambas áreas de estudio presentaran en el  $IS_V$  con un grado de vulnerabilidad moderado, la parte del  $IA_V$ , fue la que contribuyó a que el área C, sea poseedora un grado de baja vulnerabilidad, mientras que el área K esta con un muy alto grado de vulnerabilidad.

En el área C, el  $S_{DS}$  en el  $IS_V$ , presento el menor desempeño del componente social, esto principalmente por los indicadores  $I_{VRS}$  e  $I_{VAC}$ . El primer indicador, el  $I_{VRS}$ , posee un grado de alta vulnerabilidad, debido a que en el área C existe la carencia de la disposición de residuos sólidos, lo que lleva a la posibilidad de que exista una infiltración de estos al subsuelo y hacia el recurso hídrico. Por parte del  $I_{VAC}$ , se retoma de nuevo la carencia de servicios, pero esta vez en el abastecimiento, lo cual lo hacen a través de pozos, obteniendo un muy alto grado de vulnerabilidad, debido a que no existe un control sobre el consumo, además de que estas perforaciones, al no realizarse de manera correcta podrían ocasionar intrusión marina.

En el caso del área K, el  $IS_V$ , es de interés debido a su moderada vulnerabilidad, ya que se empiezan a presentar signos de alteraciones perjudiciales, ya que destacan los indicadores con alta vulnerabilidad, estos son el  $I_{ES}$ ,  $I_{HO}$  y  $I_{CUS}$ . El primero, pese a tener un valor más cercano a una vulnerabilidad moderada comparado con el área C, es uno de los tres más destacados en el área K, es así que se refleja la falta de nivel educativo de los entrevistados. Por otro lado, el  $I_{HO}$ , es de los tres que más resalta en el área K, ya que puede tender a obtener un muy alto grado de vulnerabilidad, quizá se le puede atribuir a que como es un asentamiento con menor de dos años, donde se están en la etapa de ampliación del hogar, como lo es la construcción de cuartos, que se observó durante el reconocimiento de campo. Por último, tenemos el  $I_{CUS}$ , el cual sugiere la desconfianza hacia el recurso hídrico.

En el componente ambiental se presenta una diferencia de valores en el  $I_{AV}$ , en ambas localidades, ya que en el área C, posee un bajo grado de vulnerabilidad y en el área K, un muy alto grado de vulnerabilidad.

En el área C, posee solamente dos indicadores con muy alta vulnerabilidad que son  $I_{NOS}$  e  $I_{CTS}$ , los cuales guardan relación, ya que su presencia puede indicar influencia antropogénica.

Por el lado del área K, sucede lo mismo que en el área C, los indicadores  $I_{NOS}$  e  $I_{CTS}$ , poseen un muy alto grado de vulnerabilidad al igual que el  $I_{CFS}$ , pero este contempla los coliformes fecales, que indican contaminación fecal reciente, lo que es de preocupar por lo que se deben tomar acciones. Por otra parte, también poseen muy alto grado vulnerabilidad el  $I_{SDT}$ ,  $I_{CLS}$  y con un grado moderado el  $I_{SOS}$ , los cuales en su conjunto apoyan la idea de que la vulnerabilidad aumenta al estar más cerca de la costa, donde el lente de agua está más cerca del suelo, por lo que la filtración de los residuos de actividades humanas no poseen un tiempo de atenuación (Beddows *et al.*, 2007; Municipio de Solidaridad, 2007; González Carrasco, 2011; COMEY, 2012; Torres Díaz *et al.*, 2014; Aguilar Duarte *et al.* 2016).

## 10 CONCLUSIÓN

Con base en los resultados evaluados por el *IVRH*, se obtuvo un menor grado de vulnerabilidad en el área C que la K, por lo que la hipótesis planteada sobre que el grado de vulnerabilidad del recurso hídrico desde la perspectiva socio-ambiental sería menor en una localidad con un desarrollo urbano incipiente a comparación de una con un desarrollo urbano ya establecido, se rechazó.

Lo anterior, puede atribuirse al bajo desempeño del *IVRH* en el área de estudio K es principalmente a su ubicación, ya que se encuentra más cerca de la costa a comparación del área C, lo que conlleva que los residuos de las actividades humanas pueden infiltrarse de manera más rápido y sin atenuación debido a la poca distancia del suelo al manto freático, lo que representa un riesgo latente por parte del crecimiento que se plantea en su Programa de Desarrollo Urbano.

En el área C, el Índice de vulnerabilidad del componente ambiental del recurso hídrico ( $IA_v$ ) atenúa el moderado grado de vulnerabilidad del Índice de vulnerabilidad del componente social del recurso hídrico ( $IS_v$ ), lo que no permite que obtenga un menor grado en el *IVRH*, por lo que se deben de llevar a cabo acciones, se podría trabajar en primera instancia en el componente social, caso contrario en el área K, donde en su componente ambiental posee un grado de vulnerabilidad muy alto.

Como se mencionó el área K, presento una mayor vulnerabilidad que la del área C, a pesar de tener menor población así como tiempo mucho menor de desarrollo, lo cual se originó por su bajo desempeño ambiental, aunado a su alta vulnerabilidad intrínseca por su cercanía a la costa.

Finalmente, la construcción e implementación de este modelo puede ser aplicable a localidades similares dada a la naturaleza de los indicadores, subíndices e índices que cumplieron con los criterios establecidos.

## 11 PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

- El recurso hídrico de la PY es la única fuente de abastecimiento de la región, por lo que se sugiere continuar con el monitoreo de los sitios de muestreo, así como aumentar el número de ellos.
- También es recomendable aplicar a localidades con características similares, ya que este tipo de desarrollos urbanos se han replicado alrededor de las costas mexicanas.
- Para conservar las condiciones del acuífero, deben considerarse nuevos parámetros para caracterizar la calidad del agua.
- Se recomienda a las dependencias gubernamentales realizar estudios para conocer todas las posibles fuentes de contaminación, para tener un control de estas y considerar el crecimiento urbano que se plantea, sobre todo en Akumal.
- Gestionar una asamblea general con la población de las áreas de estudio acerca de los resultados obtenidos.
- Desarrollar talleres para concientizar a la población de las áreas de estudio, sobre todo a las amas de casa, ya que son ellas las que se encuentran mayor parte del tiempo en su vivienda.
- Se recomienda establecer programas en materia de seguridad en su salud de las personas de las áreas de estudio.
- Establecer planes de acción para favorecer la resiliencia de las localidades.
- Que las autoridades correspondientes revisen las fosas sépticas y que cumplan la NOM-006-CNA-1997.
- Se debe impulsar la educación ambiental en los niños, para que la elevación del nivel de actuación en el ámbito del desarrollo sostenible.
- Mejorar las condiciones de servicios e infraestructura con el fin de disminuir la vulnerabilidad ambiental y social de recurso agua y mejora las condiciones de vida de la población.



## 12 REFERENCIAS

- Aguilar Solís, E. I. (2015). *Percepción social del medio ambiente y el crecimiento urbano en San Cristobal de Las Casas, Chiapas. Estudio entre jóvenes universitarios*. Maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- Aguilar-Duarte, Y. y Bautista, F. y Mendoza, M. y Frausto, O. e Ihl, T. y Delgado, C. (2016). IVAKY: índice de la vulnerabilidad del acuífero kárstico yucateco a la contaminación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, [en línea] 15(3), pp.913-933.
- Aguilar-Duarte, Y; Bautista, F.; Mendoza, M. E.; Delgado, C. (2013). "vulnerabilidad y riesgo de contaminación de acuíferos kársticos". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(2), pp. 243-263
- Aké Cauich, A. E. (2016). *Variación espacio-temporal de la calidad del agua subterránea en el estado de Yucatán*. Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).
- Albornoz-Euán, B. y González-Herrera, R. (2017). "Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero yucateco bajo escenarios de cambio climático". *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11), pp.275-286.
- Alfaro García, L. (2016). *Propuesta metodológica para la creación y operación participativa de los Consejos de Unidad Hidrológica, establecidos en el proyecto de ley para la Gestión Integrada del Recurso Hídrico de Costa Rica*. Magister Scientiae. CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA.
- Alvario Castro, H. I. y Gordillo Vanegas, M.D. (2015). *Evaluación fisicoquímica y microbiológica de la calidad del agua de los pozos, ubicados en el sector de la ciudadela 5 de junio de San Juan de Puebloviejo - los Ríos*. Licenciatura. Universidad de Guayaquil
- Ambrosio Calderón, J. D. (1994). *Evaluación de la calidad bacteriológica del agua de consumo, de los pozos en la costa del Estado de Yucatán*. Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).
- Andrade Pérez, A. (2004). *Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico*. Disponible en: <http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-11/semana1/andrade01.pdf> [Consultado 15-09-2018]
- Andreo, B., Vadillo, I., Carrasco, F., Neukum, C., Jiménez, P., Goldscheider, N., ... y Göppert, N. (2004). "Precisiones sobre el funcionamiento hidrodinámico y la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero kárstico de la Sierra de Líbar (Provincias de Málaga y Cádiz, sur de España) a partir de un ensayo de trazadores". *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 17(3-4), pp. 187-197.

- Antigüedad, I., Morales, T. y Uriarte, J. A. (2007). “Los acuíferos karsticos. Casos del País Vasco”. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* (15), pp. 325- 332. Disponible en: <http://www.raco.cat/index.php/ect/article/viewFile/121424/167874> [Consultado 10-08-17]
- Arcos Pulido, M. P., Ávila de Navia, S. L., Estupiñán Torres, S. M., y Gómez Prieto, A. C. (2005). Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas*, 3(4), pp. 69-79.
- Arcos-Espinosa, G., González-Turrubiates, D. y Martínez-Cano, E. (compiladores) (2017). *El recurso hídrico en Tamaulipas: La cuenca del Río Guayajelo Tamasí*. Bloomington: Palibrio.
- Ávila García, P. (2002). *Cambio global y recursos hídricos en México: hidropolítica y conflictos contemporáneos por el agua. Proyecto INE/ADE, 45, 2002*. Disponible en: [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/cambio\\_global\\_y\\_rec\\_hdricos\\_mex.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cuencas/cambio_global_y_rec_hdricos_mex.pdf) [Consultado 17-10-17]
- Ávila García, P. (2008). “Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua en México”, *Ciencias*, (90), pp. 46-57. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Patricia\\_Garcia49/publication/41395006\\_Vulnerabilidad\\_socioambiental\\_seguridad\\_hidrica\\_y\\_escenarios\\_de\\_crisis\\_por\\_el\\_agua\\_en\\_Mexico/links/564cb93708ae4988a7a3d9e5.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Patricia_Garcia49/publication/41395006_Vulnerabilidad_socioambiental_seguridad_hidrica_y_escenarios_de_crisis_por_el_agua_en_Mexico/links/564cb93708ae4988a7a3d9e5.pdf) [Consultado 30-07-17]
- Ávila Torres, G. (2017). *Detección y cuantificación de coliformes, colifagos y adenovirus en el sistema acuífero del norte del estado de Quintana Roo*. Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Ávila Verdín, E. G., Rosas Topete, N., Sandoval Galaviz, I., Arciniega Ponce, A. y Emmanuel Pérez Soriano. (2016). “Legislación y la cultura del agua: análisis correlacional en Nayarit”. *CIBA Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 5(9). Disponible en: <http://www.ciba.org.mx/index.php/CIBA/article/view/46> [Consultado 17-10-17]
- Azuz-Adeath, I. y Rivera-Arriaga, E. (2009). “Descripción de la dinámica poblacional en la zona costera Mexicana durante el periodo 2000-2005”. *Papeles de población*, 15(62), pp. 75-107. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252009000400003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252009000400003&lng=es&tlng=es) [Consultado 08-06-17]
- Babinger, F. (2012). “El turismo ante el reto de peligros naturales recurrentes: una visión desde Cancún”. *Investigaciones geográficas*, (78), pp. 75-88.
- Baghapour, M. A., y Shooshtarian, M. R. (2018). “Assessment of groundwater quality for drinking purposes using Water Quality Index (WQI) in Shiraz, Iran (2011 to 2015)”. *Iranian Journal of Health, Safety and Environment*, 5(1), pp. 888-893.

- Banda Toapanta, E. A. (2017). *Las condiciones socioeconómicas y la satisfacción de necesidades básicas familiares del cuidador de las personas con discapacidad severa, beneficiarios del bono Joaquin Gallegos Lara del distrito de salud 18D04 del Cantón Pelileo-Patate*. Licenciatura. Universidad Técnica de Ambato.
- Baque-Mite, R., Simba-Ochoa, L., González-Ozorio, P., Suatunce, P., Diaz-Ocampo, E. y Cadme-Arevalo, L. (2016). "Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador". *Ciencia Unemi*, 9(20), pp. 109-117.
- Barrenechea Martel, A. (2004). Aspectos Físicoquímicos de la Calidad del agua. *en tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida*. Manual I: Capítulo 1 (CEPIS/OPS). Lima, Perú. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manuall/tomol/uno.pdf> [Consultado 24-10-17]
- Barrera-Escorcía, G. y Namihira-Santillán, P. E. (2004). "Contaminación microbiológica en la zona costera de Akumal, Quintana Roo, México". *Hidrobiológica*, 14(1), pp. 27-35.
- Batllori Sampedro, E., González Piedra, J. I., Díaz-Sosa, J., y Febles Patrón, J. L. (2006). "Caracterización hidrológica de la región costera noroccidental del estado de Yucatán, México". *Investigaciones geográficas*, (59), pp. 74-92.
- Bauer-Gottwein, P., Gondwe, B. R., Charvet, G., Marín, L. E., Rebolledo-Vieyra, M., y Merediz-Alonso, G. (2011). "Review: The Yucatán Peninsula karst aquifer, Mexico". *Hydrogeology Journal*, 19(3), pp. 507-524.
- Bautista Zuñiga, F. y Palacio, A.G. (2014). *Parte III. Regionalización edáfica del territorio de México*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Francisco\\_Bautista/publication/255685775\\_Peninsula\\_de\\_Yucatan/links/542305d20cf290c9e3ae2552/Peninsula-de-Yucatan.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Bautista/publication/255685775_Peninsula_de_Yucatan/links/542305d20cf290c9e3ae2552/Peninsula-de-Yucatan.pdf) [Consultado 31-05-17]
- Beddows, P.A., Blanchon, P., Escobar, E. y Torres-Talamante O. "Los cenotes de la península de Yucatán". *Arqueología Mexicana*, 83 (2007), pp. 32-35
- Bermúdez Zavala, Z. R. (2004). Cambio de uso de suelo como herramienta para la planeación costera, caso de estudio: Zona Costera del Municipio de Playas de Rosarito, B.C., México. Universidad Autónoma de Baja California.
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., y Segura-Araya, G. (2017). "Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)". *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), pp. 15-27.
- Buch, M. y Turcios, M. (2003). *Vulnerabilidad socioambiental: Aplicaciones para Guatemala*. Disponible en:

[http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicijg/IARNA/serie\\_tec/09tec2003.pdf](http://recursosbiblio.url.edu.gt/publicijg/IARNA/serie_tec/09tec2003.pdf) [Consultado 20-09-2017]

- Cabezas Castillo, V. S. (2015). *Evaluación de la calidad del agua del río Ushimana en el área de influencia de la parroquia Alangasí y propuesta del plan de gestión de las descargas contaminantes de la zona de estudio*. Licenciatura. Escuela Politécnica Nacional.
- Cabrera Molina, Erika, Hernández Garciadiego, Lucía, Gómez Ruíz, Humberto, y Cañizares Macías, Ma. del Pilar. (2003). “Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar”. *Revista de la Sociedad Química de México*, 47(1), pp. 88-92.
- Cabrera Sansores, A. y Pacheco Ávila, J. y Cuevas Sosa, E. y Ramírez, J. y Comas, M. y Cámara, A. (2002). “Hidrogeoquímica del Agua que Subyace a la JAPAY I, en Mérida, Yucatán, México”. *Ingeniería*, 6(3), pp.29-40.
- Calderón Carrillo, M., y Bustos Aguayo, J. M. (2007). Apropiación y conducta proambiental en un poblado periurbano de la ciudad de México. *Psicología para América Latina*, (10)
- Calderón Maya, J.; Campos Alanís, H. y Jiménez Sánchez, P.L. (2012). “Análisis de la Marginación Urbana en Cancún, Quintana Roo”. Artículos XII Seminario Internacional de la RII EN BH 2012 .: 3. (n.d.). pp: 20.
- Calderón Ortiz, R. A. (2017). *Propuesta de gestión ambiental del Río Cachaco*. Licenciatura. Escuela Politécnica Nacional.
- Calvache, M. F., Díaz del Olmo, F., Cámara, R., y Rodríguez, E. B. (2017). “La Encuesta Socio Ambiental: instrumento para el estudio integrado de espacios naturales protegidos. Aplicación a la Sierra Sur de Sevilla y Sierra de Cádiz”. *Estudios Geográficos*, 78 (282), pp. 31-69.
- Campos Aranda, D. F. (1998). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Canales Cerón, M. (2006). *Metodologías de investigación social*. Disponible en: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38669112/Canales\\_Ceron\\_Manuel\\_-\\_Metodologias\\_de\\_la\\_investigacion\\_social.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYG\\_Z2Y53UL3A&Expires=1546056554&Signature=oz4jo112TUh0Hw8avFjDN5xW3c4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCanales\\_Ceron\\_Manuel\\_-\\_Metodologias\\_de\\_l.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/38669112/Canales_Ceron_Manuel_-_Metodologias_de_la_investigacion_social.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYG_Z2Y53UL3A&Expires=1546056554&Signature=oz4jo112TUh0Hw8avFjDN5xW3c4%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCanales_Ceron_Manuel_-_Metodologias_de_l.pdf) [Consultado 08-10-17]

- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., y Schiavo, H. F. (2007). "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices". *Ciencia del suelo*, 25(2), pp. 173-178.
- Canul Euán, T. J. (2013). *Evaluación de la calidad del agua subterránea en Puerto Morelos, Quintana Roo*. Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).
- Carrillo Monsrreal, M. M. (2014). *Calidad del agua subterránea en la zona Mérida-Progreso utilizando un Sistema de Información Geográfica*. Licenciatura. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).
- CartoCrítica (2015). *Indicadores demográficos: Municipio y AGEB*. <http://www.cartocritica.org.mx/2015/indicadores-demograficos-municipio-y-ageb/> [Consultado 09-08-17]
- Casas Anguita, J. C., Repullo Labrador, J., Y Donado Campos, J. (2003). "La encuesta como técnica de investigación. Elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (I)". *Atención primaria*, 31(8), pp. 527-538.
- Casas Beltrán, D. A. (2013). *El desarrollo turístico residencial en la región Los frailes- Punta Gorda, México: un estudio sobre su sustentabilidad*. Doctorado. Centro de Investigación Biológica del Noreste: La Paz
- Castelain, J. G., Peluso, F., y Usunoff, E. (2001). Bacteriología de aguas subterráneas: metodología para el diseño de muestreo en áreas urbanas. In *Las caras del agua subterránea: congreso, en memoria de Germán Alfonso Galarza López* (pp. 561-568). Instituto Geológico y Minero de España.
- Castellanos Medellín, R. (2013). *Percepción de los problemas ambientales por parte de la población en la ciudad de Naranjos, Veracruz*. Especialidad. Universidad Veracruzana Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Región Poza Rica – Tuxpan.
- Castro Álvarez, U. (2007). "El turismo como política central de desarrollo y sus repercusiones en el ámbito local: algunas consideraciones referentes al desarrollo de enclaves turísticos en México". *TURyDES*, 1(1), pp. 1-9. Disponible en <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/133> [Consultado 08-06-17]
- Castro, M., Almeida, J., Ferrer, J., & Diaz, D. (2014). "Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global". *Ingeniería solidaria*, 10(17), pp. 111-124.
- Cervantes Rosas, O. D. (2008). *Diseño de un índice integral (vip) para evaluar Playas recreativas*. Doctorado. Universidad Autónoma de Baja California.

- Chowdhury, M., Mostafa, M. G., Biswas, T. K., Mandal, A., y Saha, A. K. (2015). "Characterization of the effluents from leather processing industries". *Environmental Processes*, 2(1), pp. 173-187.
- Cirerol, N. A. (2004). *Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical*. Doctorado. Universidad de Barcelona.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2011). "Situación de los recursos hídricos". Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). *Estadísticas del agua en México, edición 2011*. Disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo\\_2.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/SINA/Capitulo_2.pdf) [Consultado 31-10-17]
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Península de Yucatán (3105), Estado de Yucatán*. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103392/DR\\_3105.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103392/DR_3105.pdf) [Consultado 12-07-17]
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2016). *Atlas del Agua en México 2016*. Disponible en: [http://201.116.60.25/publicaciones/AAM\\_2016.pdf](http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf) [Consultado 15-06-2017]
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2007). *Los mapas de Pobreza en México, Anexo técnico metodológico*. Disponible en: [https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/med\\_pobreza/1024.pdf](https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/med_pobreza/1024.pdf) [Consultado 10-02-2018]
- Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (2017). *INGRESO, POBREZA Y SALARIO MÍNIMO*. Disponible en: <https://www.coneval.org.mx/SalaPrensa/Documents/INGRESO-POBREZA-SALARIOS.pdf> [Consultado 07-09-2018]
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2010). *Migración interestatal e intermunicipal*. Disponible en: [http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/2042/1/images/Migracion\\_interestatal\\_e\\_intermunicipal.pdf](http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/2042/1/images/Migracion_interestatal_e_intermunicipal.pdf) [Consultado 07-09-2018]
- Contreras Servín, C. y Galindo Mendoza, M. (2008). "Abasto futuro de agua potable, análisis espacial y vulnerabilidad de la ciudad de San Luis Potosí, México". *Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía*, (17), pp.127-137.
- Coordinación Metropolitana de Yucatán (COMEY). (2012). *Programa Integral de Desarrollo Metropolitano PIDEM II. Análisis estratégico de la ZMM II.5 Perfil Geoambiental*. Disponible en:

[http://comey.yucatan.gob.mx/marco\\_files/II.5\\_Perfil\\_Geoambiental.pdf](http://comey.yucatan.gob.mx/marco_files/II.5_Perfil_Geoambiental.pdf) [Consultado 12-07-17]

- Cruz Gómez, A. A. y Caldera Ortega, A. R. (2015). “Regulación y democracia en el sector de agua potable y saneamiento en México”. *JÓVENES EN LA CIENCIA*, 1(2), pp. 719-725.
- Diario Oficial (DOF). (2010). *LINEAMIENTOS y criterios generales para la definición, identificación y medición de la pobreza*. Disponible en: [https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/med\\_pobreza/DiarioOficial/DOF\\_lineamientos\\_pobrezaCONEVAL\\_16062010.pdf](https://www.coneval.org.mx/rw/resource/coneval/med_pobreza/DiarioOficial/DOF_lineamientos_pobrezaCONEVAL_16062010.pdf) [Consultado 03-10-2018]
- Díaz Delgado, C., Esteller Alberich, M. V. y López-Vera, F. (2005). *Recursos hídricos, Conceptos básicos y estudios de caso en Iberoamérica*. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/58927/2005-Recursos%20hidricos%202005.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consultado 08-03-18]
- Díaz-Bravo, Laura, Torruco-García, Uri, Martínez-Hernández, Mildred y Varela-Ruiz, Margarita. (2013). “La entrevista, recurso flexible y dinámico”. *Investigación en educación médica*, 2(7), pp. 162-167.
- Dinius, S. H. (1987). “Design of an index of water quality”. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 23(5), pp. 833-843.
- Domene, E., y Sauri, D. (2006). “Urbanization and Water Consumption: Influencing Factors in the Metropolitan Region of Barcelona”. *Urban Studies*, (43):9, pp. 1605-1623.
- Domínguez Aguilar, M. C. (2004). *Uso y manejo del agua urbana como indicador de sustentabilidad urbana de Cancún, Quintana Roo*. Maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV). Unidad Mérida.
- Domínguez Aguilar, M. C. (2004). *Uso y manejo del agua urbana como indicador de sustentabilidad urbana de Cancún, Quintana Roo*. Maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV). Unidad Mérida.
- Domínguez Serrano, M. y Blancas Peral, F. y Guerrero Casas, F. y González Lozano, M. (2011). “Una revisión crítica para la construcción de indicadores sintéticos”. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 11, pp.41-70.
- Eastman, J. R., J. E. McKendry and M. A. Fulk. (1995). "Change and time series analysis", 2nd ed. United Nations Institute for Training and Research, *Exploration in Geographic System Technology*, vol 1. Geneva, Switzerland, pp. 21-24

- Elizalde Hevia, A; Martí Vilar, M.; Martínez Salvá, Francisco A. (2006). "Una revisión crítica del debate sobre las necesidades humanas desde el Enfoque Centrado en la Persona". *Polis. Revista Latinoamericana*, 5(15). Disponible en: <http://polis.revues.org/4887> [Consultado 16-10-2017]
- Equihua-Pimentel, J. L., Velázquez-Machuca, M. A., Sánchez-Rodríguez, M., Seefoó-Luján, J. L., y Spring OU. (2011). "Gestión y calidad del agua en la cuenca del río Duero, Michoacán". *Spring OU. Coordinadora. Retos de la investigación del agua en México. Cuernavaca, México, CRIM-UNAM*, 521-530.
- Escalante Paredes, R. A. (2013). *Calidad química del agua subterránea en la zona metropolitana de la ciudad de Mérida, Yucatán*. Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).
- Escobar, L. (2006). "Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas". *Eure (Santiago)*, 32(96), pp. 73-98.
- Espejel Carbajal, I. y Arredondo García, C. (2007). *Metodología para el análisis de los ambientes marinos y terrestres. INFORME TECNICO FINAL. CONVENIO INE/A-1-025/2007*. Ensenada: INECC.
- Espinoza, V., Castillo, R. y Rovira D. M. (2014). *Parámetros físico-químicos y microbiológicos como indicadores de la calidad de las aguas de la subcuenca baja del Río David, Provincia de Chiriquí, Panamá*. Disponible en: <https://studylib.es/doc/7450087/par%C3%A1metros-f%C3%ADsico-qu%C3%ADmicos-y-microbiol%C3%B3gicos-como-indicad...> [Consultado 07-07-2017]
- Febles Patrón, J. y Hoogesteijn, A. (2008). "Análisis del Marco Legal para la Protección del Agua Subterránea en Mérida, Yucatán". *Ingeniería*, 12(3), pp.71-79.
- Feria Toribio, J.M. (2003). "Indicadores de sostenibilidad: Un instrumento para la gestión urbana" (en) LOPEZ TRIGAL, L. et al., coord. *La ciudad. Nuevos procesos, nuevas respuestas*. Universidad de León-A.G.E., pp.241-253.
- Fernández N., Solano F. (2005). *Índices de Calidad y de Contaminación del agua. Capítulo II. Indicadores de la Calidad del Agua - Generalidades*. Universidad de Pamplona.
- Fernández, L. (2006). ¿Cómo analizar datos cualitativos?. *Butlletí LaRecerca*, p. 1–13. Disponible en: <http://www.ub.edu/ice/recerca/pdf/ficha7-cast.pdf> [Consultado 05-01-2018]
- Fernández-García, M., Yáñez, C. J. N., Moya, Á. R. Z., y Mora, C. M. (2018). El análisis de la desigualdad urbana. Propuesta y validación de un índice de nivel socio-económico en áreas urbanas españolas (1991-2001). *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, (39), pp. 49-77.



- Fondo para la Comunicación (FEA) y la Educación Ambiental, A.C. (CEMDA); Centro Mexicano de Derecho Ambiental, A.C. y Presencia Ciudadana Mexicana, A.C. (2006). *El agua en México: lo que todas y todos debemos saber*. Primera edición. México.
- Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Disponible en: [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/07/atlas\\_vulnerabilidad\\_hidrica\\_en\\_mexico\\_2015.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2016/07/atlas_vulnerabilidad_hidrica_en_mexico_2015.pdf) [Consultado 03-0-4-2017]
- Forbes, D. L. y Liverman, D. G. E. (1996). Geological indicators in the coastal zone. *Geoindicators. Assessing rapid environmental changes in earth systems*. AA Balkema, Rotterdam, pp 175–192.
- Ford, D., y Williams, P. (2007). *Karst hydrogeology and geomorphology: West Sussex*. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118684986.ch1> [Consultado 03-09-18]
- Foschiatti, A. M. (2004). “Vulnerabilidad Global y Pobreza. Consideraciones conceptuales”. En: *Revista Geográfica Digital*. IGUNNE. Año 1. Nº 2. Julio – Diciembre.
- Foster S.; Hirata R.; Gomes D.; D’Elia M.; Paris M. (2002). *Protección de la Calidad del Agua Subterránea. Guía para Empresas de Agua, Autoridades Municipales y Agencias Ambientales*. Banco Mundial, Washington D.C.
- Frausto, Oscar (2013), “Observación de las ciudades de apoyo en la costa Caribe norte de México”, en *Coloquio de Turismo, Comercio y desarrollo Local*, Tabasco: Universidad de la Chontalpa.
- Fúquene Retamoso, C. E. (2007) *Producción limpia, contaminación y gestión ambiental*. Disponible en: [https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=ea0kufqBmtQC&oi=fnd&pg=PA17&dq=F%C3%BAquene+Retamoso,+C.+E.+\(2007\).+Producci%C3%B3n+limpia,+contaminaci%C3%B3n+y+gesti%C3%B3n+ambiental.+Bogot%C3%A1:+Pontificia+Universidad+Javeriana.&ots=xfGqjU6Hgm&sig=mePV-YSc7o\\_jBdbUQKel4pMwLcc#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=ea0kufqBmtQC&oi=fnd&pg=PA17&dq=F%C3%BAquene+Retamoso,+C.+E.+(2007).+Producci%C3%B3n+limpia,+contaminaci%C3%B3n+y+gesti%C3%B3n+ambiental.+Bogot%C3%A1:+Pontificia+Universidad+Javeriana.&ots=xfGqjU6Hgm&sig=mePV-YSc7o_jBdbUQKel4pMwLcc#v=onepage&q&f=false) [Consultado 08-11-2017]
- Garbagnati, M. A., González, P. S., Antón, R. I., y Mallea, M. A. (2005). “Características físico-químicas, capacidad buffer y establecimiento de la línea base ambiental del Río Grande, San Luis, Argentina”. *Ecología austral*, 15(1), pp. 59-71.
- García Gil y Graniel Castro (2010). “Geología”. Durán García, R. y Méndez González, M. E. *Biodiversidad y desarrollo humano en Yucatán*. Disponible en:

[http://www.seduma.yucatan.gob.mx/biodiversidad-yucatan/02Parte1\\_El\\_Estado/Capitulo1/01Geologia.pdf](http://www.seduma.yucatan.gob.mx/biodiversidad-yucatan/02Parte1_El_Estado/Capitulo1/01Geologia.pdf) [Consultado 12-07-17]

- García Lirios, C. (2015). “Confiabilidad y validez de un instrumento que mide el desarrollo local; vulnerabilidad hídrica, precariedad laboral, intensidad migratoria e identidad resiliente”. Ciudad de México: Margen (78), pp. 1-11. Disponible en: <https://www.margen.org/suscri/margen78/lirios78.pdf> [Consultado 16-09-17]
- García Sosa, J. y Espadas Solís, A. (2004). Análisis de vulnerabilidad física y medidas de mitigación del sistema de agua potable de Telchac Puerto ante la amenaza de huracanes. *Ingeniería*, 8(2), pp.0. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46780205> [Consultado 04-10-17]
- García, A. (2006). *Modelo regional de vulnerabilidad costera*. Doctorado. Ensenada: Universidad Autónoma de Baja California
- García, L. E. (1998). *Manejo integrado de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe*. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsarg/e/fulltext/caribe/caribe.pdf> [Consultado 20-09-2017]
- Gárfias, J., Franco, R., y Llanos, H. (2002). “Análisis de la vulnerabilidad intrínseca y su adecuación mediante un modelo de flujo con trazado de partículas para evaluar la vulnerabilidad del Acuífero del Curso Alto del Río Lerma, Estado de México”. *Hidrogeología*, 2, pp. 115-126
- Gobierno del Estado de Quintana Roo (n.d.). *Migrantes*. Disponible en: <https://www.groo.gob.mx/atencion-grupos-en-situacion-de-vulnerabilidad/migrantes> [Consultado 07-09-2018]
- Golovanevsky, L. (2007). Vulnerabilidad social: una propuesta para su medición en Argentina. *Revista de Economía y Estadística*, 45(2), pp. 53-94.
- Gómez, J. J. (2001). *Vulnerabilidad y medio ambiente*. Disponible en: [http://www.buyteknet.info/fileshare/data/ana\\_pla\\_sis\\_amb/Vul\\_medio%20ambiente.pdf](http://www.buyteknet.info/fileshare/data/ana_pla_sis_amb/Vul_medio%20ambiente.pdf) [Consultado 04-10-17]
- Gomez, L. (2016). *Riesgo hídrico poblacional en relación a las inundaciones y la calidad del agua superficial de la cuenca del Arroyo Claro en el Municipio de Malvinas Argentinas, Buenos Aires*. Licenciatura. Universidad Nacional del General Sarmiento.
- González Carrasco, W. C. (2011). *Manejo y protección de zonas de recarga hídrica y fuentes de agua para consumo humano en la subcuenca del río Zaratí, Panamá*. Magister Scientiae. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.

- González Turrubiates, J. G., González Turrubiates, D. M. E., Rodríguez Gómez, A., y Haces Zorrilla, M. A. (2010). Aplicación del proceso analítico jerárquico en la gestión del agua en la subcuenca del río Guayalejo-Tamesí.
- Graniel Castro., E. y Vera M., I. y González Hita, L. (2004). "Dinámica de la interfase salina y calidad del agua en la costa nororiental de Yucatán". *Ingeniería*, 8(3), pp.15-25.
- Grondona, S., Sagua, M., Massone, H., y Miglioranza, K. (2015). "Evaluación de la vulnerabilidad social asociada al consumo de agua subterránea en la cuenca del río Quequén Grande, provincia de Buenos Aires, Argentina". *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(4), pp. 351-359
- Guerrero Sánchez, C. E., y Pazmiño Flores, H. R. (2017). *Influencia de los Sulfatos y Cloruros Presentes en el Agua de Mezclado Sobre el Comportamiento Físico-Mecánico del Hormigón: Estudio en Laboratorio*. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/18860> [Consultado 07-07-2017]
- Gutiérrez Aguirre, M. (2007). "Biología y calidad del agua del acuífero norte de Quintana Roo". *Teoría y Praxis*, (3), pp.135-141.
- Guzmán-Arias, I. (2008). "Recursos hídricos en América Latina: planificación... es la estrategia". *Revista Tecnología en Marcha*, 21(1), pp. 161-173.
- Guzmán-Colis, G., Ramírez-López, E. M., Thalasso, F., Rodríguez-Narciso, S., Guerrero-Barrera, A. L., y Avelar-González, F. J. (2011). "Evaluación de contaminantes en agua y sedimentos del río San Pedro en el Estado de Aguascalientes". *Universidad y ciencia*, 27(1), pp. 17-32.
- Hammond, A., Adriaanse, A., Rodenburg, E., Bryant, D. y Woodward, R. (1995). *ENVIRONMENTAL INDICATORS: A Systematic Approach to Measuring and Reporting on Environmental Policy Performance in the Context of Sustainable Development*. Disponible en: [http://pdf.wri.org/environmentalindicators\\_bw.pdf](http://pdf.wri.org/environmentalindicators_bw.pdf) [Consultado 26-08-2017]
- Harlan, S., Yabiku, S., Larse, L., y Brazel , A. (2007). "Household water consumption in an Arid City, Affordance, and Attitudes". *Society and Natural Resources*, (22), 691-709
- Hernández, H. B. (2009). *Modelo de vulnerabilidad ambiental en Islas del noroeste de México: Propuestas de manejo*. Doctorado. Centro de Investigación Biológica del Noreste
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015 a). Cuéntame... Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/default.aspx> [Consultado 02-02-17]

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015 b). *Drenaje (DRENAJE)*. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/214/datafile/F23/V1704> [Consultado 15-09-2018]
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2016). *Metodología de Indicadores de la Serie Histórica Censal*. <https://docplayer.es/20965613-Indice-lista-de-indicadores-numero-de-pagina.html> [Consultado 09-02-18]
- Isunza Vizuet, G. (2010). “Efectos urbano-ambientales de la política de vivienda en la Ciudad de México”. *Espiral (Guadalajara)*, 17(49), pp. 129-159.
- J.M. Xavier, S. Gagliardi, H. Vidal, M. Montañoy L.R. Da Lucena, “Evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero mercedes en el área metropolitana de la ciudad de Paysandú – Comparación de los métodos GOD y DRASTIC,” *Revista Latino-Americana de Hidrogeología*, 1 (4), pp. 35-45
- Jiménez Cisneros, B. (2015). “Seguridad Hídrica: Retos y Respuestas, La fase VIII del programa Hidrológico Internacional de la UNESCO (2014-2021)”. *Aqua-Lac*, 7(1), pp. 20–27.
- Jiménez Madrid, A., Carrasco Cantos, F- y Martínez Navarrete, C. (2009). “Análisis comparativo de la evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de acuíferos carbonáticos (Sierra de Cañete, provincia de Málaga)”. *Boletín Geológico y Minero*, 120 (1), pp. 81-94
- Jiménez Madrid, A., Martínez Navarrete, C., y Carrasco Cantos, F. (2010). “Evaluación del riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Aplicación a los acuíferos carbonáticos de la Sierra de Cañete (sur de España)”. *Boletín Geológico y Minero*, 121(2), pp. 139-152.
- Jiménez, F., Velásquez, S., y Faustino, J. (2004). “Análisis integral de la vulnerabilidad a amenazas naturales en cuencas hidrográficas de América Central”. *VI Semana Científica (Resúmenes)*. Turrialba (Costa Rica), 11-12 Mar 2004, pp. 50-53.
- Jociles Rubio, M. I. (1999). “Las técnicas de investigación en antropología”. *Gazeta de Antropología*, 15. pp. 1-26
- Juárez Romero, O. y Cañedo Villarreal, R. y Barragán Mendoza, M. (2017). “Medición de la calidad de vida mediante índices sintéticos en localidades del municipio de Acapulco, Guerrero, México”. *Población y Salud en Mesoamérica*, 14(2), pp.1-19.
- Kauffer Michel y Escobar Castillejos (coord.). (2015). *De Chiapas a la Península de Yucatán: intersticios hídricos*. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/289540813\\_De\\_Chiapas\\_a\\_la\\_Peninsula\\_de\\_Yucatan\\_intersticios\\_hidricos/download](https://www.researchgate.net/publication/289540813_De_Chiapas_a_la_Peninsula_de_Yucatan_intersticios_hidricos/download) [Consultado 08-10-18]

- Kaztman, R. (2000). “Notas sobre la medición de la vulnerabilidad social”, en BID-Banco Mundial-CEPAL-IDEA, 5° Taller Regional. La medición de la pobreza: métodos y aplicaciones (continuación), Aguascalientes, 6 al 8 de junio de 2000, Santiago de Chile, CEPAL, p. 275-301, LC/R.2026.
- Krekeler, M. P., Probst, P., Samsonov, M., Tselepis, C. M., Bates, W., Kearns, L. E., y Maynard, J. B. (2007). “Investigations of subsurface flow constructed wetlands and associated geomaterial resources in the Akumal and Reforma regions, Quintana Roo, Mexico”. *Environmental geology*, 53(4), pp. 709-726.
- Kunz-Bolaños, I., y Romero-Vadillo, I. G. (2008). Naturaleza y dimensión del rezago habitacional en México. *Economía, sociedad y territorio*, 8(26), pp. 415-449.
- Leal-Bautista, R. y Hernández-Zárata, G. y Jaime M, N. y Cuevas R., G. y Velázquez Oliman, G. (2011). “Pathogens and pharmaceuticals pollutants as indicators of contamination at the northeastern aquifer of Quintana Roo”. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13(2), pp.211-219.
- León Vizcaíno, L. F. (1991). “Índice de Calidad del Agua, Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala, Reporte”, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Mexico, pp. 833-843
- Lesser Illades, J. M. y Espinosa Amador, E. (1979). “Características hidrogeoquímicas de un acuífero calcareo costero en la parte norte de la Península de Yucatán”. *Seminario sobre aprovechamiento y manejo racional de los recursos hidráulicos subterráneos de la Península de Yucatán*. Disponible en: <http://www.lessor.com.mx/files/79-3-Characterísticas-Hidrogeoquímicas-Acuifero-Calcareo-Yucatan.pdf> [Consultado 10-08-18]
- Lirios, C. G., Flores, M. D. L. M., y Guillén, J. C. (2013). “Desarrollo local: Vulnerabilidad hídrica, precariedad laboral, intensidad migratoria e identidad resiliente”. *Kairos: Revista de temas sociales*, (32), pp. 1-17.
- Lizárraga Mendiola, L. G., Gómez, L., Medina Barrera, F., y Nívar Cháidez, J. D. J. (2006). “Calidad del agua subterránea en Linares, Nuevo León, México”. *Ciencia UANL*, 9(4), pp. 426-430
- López Noguero, F. (2002). “El análisis de contenido como método de investigación”. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Educativa*, 4, pp.157–169.
- López-Roldán, P. y Fachelli, S. (2015). *Metodología de la investigación social cuantitativa*. Disponible en: <http://pdfhumanidades.com/sites/default/files/apuntes/L%C3%B3pez%20Rold%C3%>

[A1n%20y%20Fachelli%20-%20Tablas%20de%20Contingencia.pdf](#) [Consultado 02-01-2018]

- Lugo-Hubp, J., Aceves-Quesada, J. F., y Espinosa-Pereña, R. (1992). "Rasgos geomorfológicos mayores de la península de Yucatán". *Revista del Instituto de Geología*, 10(2), pp.143-150
- Magaña Rueda, Víctor O. y Gay García, Carlos. (2002). "Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos". *Gaceta Ecológica*, (65), pp. 7-23.
- Magaña, V. (2013). *Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático*. México, D.F: INECC, SEMARNAT. Disponible en; [http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012\\_estudio\\_cc\\_vyagef3.pdf](http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_vyagef3.pdf) [Consultado 06-08-17]
- Makki, A., Stewart, R., Panuwatwanich, K., y Beal, C. (2011). "Revealing the determinants of shower water end use consumption: enabling better targeted urban water conservation strategies". *Journal of Cleaner Production*. (60), pp. 1-18.
- Malmberg, J. S. (2014). *Social, demographic, and environmental influences on perception and memories of weather, climate and climate change*. Doctor. University of Colorado.
- Manuel Navarrete, D. (2012). "Entanglements of Power and Spatial Inequalities in Tourism in the Mexican Caribbean". Disponible en: [https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/20186/17\\_WP\\_Manuel-Navarrete\\_online.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/20186/17_WP_Manuel-Navarrete_online.pdf?sequence=1&isAllowed=y) [Consultado 09-06-17]
- Marín Guardado, G. García, A. y Daltabuit, M. (Coords.) (2012). (Edición 7). *Turismo, globalización y sociedades locales en la península de Yucatán, México*. Disponible en: <http://www.pasosonline.org/Publicados/pasosoedita/PSEedita7.pdf#page=55> [Consultado 08-06-17]
- Marín Pacheco, G. (2009). *Recursos hídricos*. UNESCO. [http://www.unescoetxea.org/ext/manual\\_EDS/pdf/04\\_recursos\\_castellano.pdf](http://www.unescoetxea.org/ext/manual_EDS/pdf/04_recursos_castellano.pdf) [Consultado 03-10-17]
- Marín, B., Cadavid, B., Panizzo, L., Lesmes L., Sanchez S., J. E., Lozano H. y Franco, A. (2003). *Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos*. Disponible en: <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/7010manualTecnicasanaliticas.pdf> [Consultado 24-10-17]

- Marín, L., Steinich, B., Pacheco, J. y Escolero, O. (2000). Hydrogeology of a contaminated sole-source karst aquifer, Mérida, Yucatán, Mexico. *Geofísica Internacional*, [en línea] 39(4), pp.359-365.
- Martínez Peña, R. M. (2008). *Percepción de riesgo de productos de limpieza domésticos en Mérida, Yucatán*. Maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV). Unidad Mérida.
- Martínez Romero, M. M., CastroRamírez, A. E., Macario, P. y Fernández, J. C. 2004. "Use and availability of craft vines in the influence zone of the Biosphere Reserve Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico". *Economic Botany* 58 (1), pp. 83-97
- Mata Lara, M., J. Rodrigo Garza Pérez y Salles Afonso de Almeida, P. (2016). *Camino a la resiliencia: monitoreo socioeconómico de Akumal, Q.Roo*. Disponible en: <http://www.lanresc.mx/intranet/noticias/Camino%20a%20la%20resilienciaAKUMAL%20verfin7sep16.pdf> [Consultado 04-10-17]
- Mazabel, D., y ZAMBRANO, G. M. (2013). Apropiación del espacio e identidad social en el ejido Ojo de Agua de Ballesteros, Salvatierra, México. *IN Estudios Culturales, Demográficos y Políticos*, pp. 181-195.
- Mejía Clara, M. R. (2005). *Análisis de la calidad del agua para consumo humano y percepción local de las tecnologías apropiadas para su desinfección a escala domiciliaria, en la microcuenca El Limón, San Jerónimo, Honduras*. Magister Scientiae. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza
- Méndez Novelo, R. y Pacheco Ávila, J. y Castillo Borges, E. y Cabrera Sansores, A. y Vázquez Borges, E. y Cabañas Vargas, D. (2014). "Calidad microbiológica de pozos de abastecimiento de agua potable en Yucatán, México". *Ingeniería*, 19(1), pp.51-61.
- Mendoza Díaz, M. (2008). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano; aplicación y determinación de medidas de adaptación en la subcuenca del río Copán, Honduras*. Magister Scientiae. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.
- Mendoza Díaz, M. M., & Jiménez Otárola, F. (2009). "Metodología para el análisis de la vulnerabilidad del recurso hídrico para consumo humano, validación en tres acueductos de la subcuenca del río Copán, Honduras A methodology for analyzing drinking water vulnerability: validation in three aqueducts of the Copán River subwatershed, Honduras" . *Recursos Naturales y Ambiente*. 56 (57) pp. 91-100.
- Miranda, J. K., & Sahuquillo, R. M. (1997). "Crecimiento bacteriano en las redes de distribución de agua potable: una revisión bibliográfica". *Ingeniería del agua*, 4(2), pp. 17-28.

- Monforte García, G. y Cantú Martínez, P.C. (2009). "Escenario del agua en México". *CUICYT/Recursos hídricos*, 6(30), pp. 31-40.
- Monge, C. (2009). "Grandes retos para abordar la crisis del agua". *Documentación Social: Revista de Estudios Sociales y Sociología Aplicada*, (153), pp. 59-72.
- Montes Castillo, M. D. L. L. (2006). "Calidad de vida". *Revista Mexicana de Medicina Física y Rehabilitación* 18 (1), 5-6.
- Mora Aliseda, J. y Garrido Velarde, J. y Díaz González, M. (2016). "Dinámicas socio-espaciales y previsiones demográficas en la cuenca Internacional del río Duero". *Cuadernos Geográficos*, 55(1), pp. 221-238
- Mora Salas, M. y Pérez Sáinz, J. P. (2006). "De la vulnerabilidad social al riesgo de empobrecimiento de los sectores medios: un giro conceptual y metodológico". *Estudios Sociológicos*, 24 (1), pp. 99-138.
- Morales Dueñas, E. (2012). *Ecoturismo y desarrollo rural: estudio de impacto socioeconómico de la empresa ecoturísticas "Xel-Ha" en la región noreste del estado de Quintana Roo*. Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Morote Seguido, Á. F.; 2016. "La disminución del consumo de agua urbano-turística en la costa de Alicante (España): Una amalgama de causas múltiples e interrelacionadas". *Revista de Estudios Regionales*, (106). pp. 133-164.
- Mukhopadhyay, A., Akber, A., y Al-Awadi. (2001). "Analisis of freshwater consumption patterns in the private residences of kwait". *Urban Water*. (3). pp. 53-62
- Municipio de Benito Juárez (2014). *PROGRAMA DE DESARROLLO URBANO DEL CENTRO DE POBLACIÓN CANCÚN, MUNICIPIO BENITO JUÁREZ, QUINTANA ROO (2014-2030)*. Disponible en: [http://seduvi.qroo.gob.mx/pdus/36-PDU%20DEL%20CENTRO%20DE%20POBLACION%20CANCUN%20BENITO%20JUAREZ%20QUINTANA%20ROO%202014-2030\(1\).pdf](http://seduvi.qroo.gob.mx/pdus/36-PDU%20DEL%20CENTRO%20DE%20POBLACION%20CANCUN%20BENITO%20JUAREZ%20QUINTANA%20ROO%202014-2030(1).pdf) [Consultado 08-03-2017]
- Municipio de Solidaridad. (2007). *Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población AKUMAL 2007-2032*. Disponible en: [http://seduvi.qroo.gob.mx/pdus/17PDU%20CENTRO%20POB%20AKUMAL%2013DICIEMBRE2007\\_1.pdf](http://seduvi.qroo.gob.mx/pdus/17PDU%20CENTRO%20POB%20AKUMAL%2013DICIEMBRE2007_1.pdf) [Consultado 30-01-17]
- Nava Galindo, V. A. (2015). *Percepción, conocimiento local y descripción de la calidad del agua de cenotes de interés turístico y recreacional*. Tesis de Maestría. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV).
- Ochoa, L. R. (2003). *Sistemas de Información Geográfica, ventajas y desventajas de su utilización en Guatemala* (Doctoral dissertation, Tesis de licenciatura). Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería).



- Ojeda de la Cruz, A. (2013). *Análisis Socio-espacial del Consumo de Agua Doméstica en Hermosillo, Sonora - Determinantes para el Diseño de una Política Pública* –. Doctorado. Universidad Autónoma de Nuevo León
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2003). *Agua para todos, agua para la vida*. Primera edición. Kioto, Japón.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2007). *El agua una responsabilidad compartida. 2do. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Resumen Ejecutivo*. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001495/149519S.pdf> [Consultado 31-05-17]
- Organización Mundial de la Salud (OMS) (2006). *Guías para la calidad del agua*. Disponible en: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf) [Consultado 07-07-2017]
- Padilla y Sotelo, L. S., Moliner, L., y María, A. (2003). “Percepción y conocimiento ambiental en la costa de Quintana Roo: una caracterización a través de encuestas”. *Investigaciones geográficas*, (52), pp. 99-116.
- Peña Perea, S. y Rosas Martínez, V. y Pedraza Cárdenas, Y. (2014). “Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas en la ciudad de Yopal, Casanare”. *Scientia Et Technica*, 19(1), pp.106-110.
- Pérez Ceballos, R. y Pacheco Ávila, J. (2004). “Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán”. *Revista Ingeniería*, 8 (1), pp. 33-42. Mérida: pp. 33–42. Disponible en: <http://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen8/vulnerabilidad.pdf> [Consultado 10-02-17]
- Pérez Ceballos, R. Y. (2003). *Vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación de nitratos en el estado de Yucatán*. Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).
- Pérez Correa, G. (2005). “Geografía y situación ambiental de Zitácuaro, Michoacán, México”. *Revista Geográfica*, 138, 129-174.
- Pérez Flores, A. (2012). *Percepción, uso y manejo de los cenotes en El Puerto, Yucatán*. Maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV). Unidad Mérida.
- Pérez Medina, S. (2007). *Estructura urbana segregada de Mérida y su influencia en el consumo recreativo, indicador de calidad de vida*. Doctorado. Universidad Autónoma de México (UNAM).

- Pérez Villegas, G. y Carrascal, E. (2000). "El desarrollo turístico en Cancún, Quintana Roo y sus consecuencias sobre la cubierta vegetal". *Investigaciones Geográficas (Mx)*, (43), pp. 145–166.
- Pérez-Castillo, A.G. y Rodríguez, A. (2008). "Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación", *Revista de Biología tropical*, 56(4), pp. 1905-1918.
- Pérez-Ceballos R., Pacheco-Ávila J. y Euán-Ávila J. (2008). "Evaluación a escala regional de la vulnerabilidad del agua subterránea a la contaminación en Yucatán, México". *Revista Ambiente Ecológico* (14), pp. 1-18
- Perry, E., Velazquez-Oliman, G. y Socki, R.A. (2003). "Hydrogeology of the Yucatán Peninsula". *The Lowland Maya Area: Three Millennia at the Human-Wildland Interface*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Rick\\_Socki/publication/267797484\\_Hydrogeology\\_of\\_the\\_Yucatan\\_Peninsula/links/554a75070cf21ed21358e5f4/Hydrogeology-of-the-Yucatan-Peninsula.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Rick_Socki/publication/267797484_Hydrogeology_of_the_Yucatan_Peninsula/links/554a75070cf21ed21358e5f4/Hydrogeology-of-the-Yucatan-Peninsula.pdf) [Consultado 20-02-17]
- Polanco Rodríguez A.G., Alberto J.A.N., Sánchez J.S., Rejón G.J.M., Gómez J.M. and Del Valls Casillas T.A. (2014), "Contamination by organochlorine pesticides in the aquifer of the Ring of Cenotes in Yucatan", México, *Water and Environment Journal*, 29(1), pp. 140-150.
- Poot Angulo, L. (2016). *Evaluación de la sorción de plaguicidas usados para el mantenimiento de un campo de golf en suelo de la Riviera Maya, Quintana Roo*. Maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Prado Roque, S. A. (n.d.). *Gerencia Regional de la Península de Yucatán de la Comisión Nacional del Agua*. Disponible en: [http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Regionales/Peninsula\\_Yucatan/CONGOAX2.htm](http://siga.cna.gob.mx/SIGA/Regionales/Peninsula_Yucatan/CONGOAX2.htm) [Consultado 03-02-2018]
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2016). *Apoyo del PNUD para la implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Disponible en: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/librarypage/poverty-reduction/undp-support-to-the-implementation-of-the-2030-agenda.html> [Consultado 28-02-2019]
- Raffo Lecca, E. (2013). "Tratado del agua y la legislación peruana". *Industrial Data*, 16(2), pp.106-117.
- Raimundo, A. M. (2010). "Propuesta para una definición de la franja costera, usos y actividades en la costa de Comodoro Rivadavia". *Revista electrónica del IGEOPAT*, 9 (1), pp. 66-100. Disponible en: [http://igeopat.org/parrafosgeograficos/images/RevistasPG/2010\\_V9\\_1/13-4.pdf](http://igeopat.org/parrafosgeograficos/images/RevistasPG/2010_V9_1/13-4.pdf) [Consultado 08-06-17]

- Rice, W. (2017). *Nuestros recursos (Our Resources)*. Disponible en: [https://books.google.com.mx/books?id=yqh5DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=%E2%80%A2%09Rice,+W.+\(2017\).+Nuestros+recursos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjiKa3Z7cHfAhUqgK0KHcjeB5QQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=yqh5DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=%E2%80%A2%09Rice,+W.+(2017).+Nuestros+recursos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjiKa3Z7cHfAhUqgK0KHcjeB5QQ6AEIKDAA#v=onepage&q&f=false) [Consultado 16-07-2017]
- Rina Fernández, N. (2005). *Estudio de la concentración de nitratos, nitritos y amonio en el agua de consumo del partido de moreno – provincia de Buenos Aires*. Licenciatura. Universidad de Flores.
- Rosenfeld E., San Juan G., Discoli C. (2000). “Índice de calidad de vida urbana para una gestión territorial sustentable”. *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 4 (2): pp. 01.35-38.
- Rueda G., O. y Betancur V., T. (2006). “Evaluación de la vulnerabilidad del agua subterránea en el Bajo Cauca Antioqueño”. *Avances en Recursos Hidráulicos*. (13), pp.71-88. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=145017291005> [Consultado 10-03-17]
- Saeedi M., Abessi O., Sharifi F., Meraji H. (2008) “Development of groundwater quality index”. *Environmental Monitoring Assessment*. 163, pp. 327-335
- Sahuquillo Herráiz, A. (2009). “La importancia de las aguas subterráneas”. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), pp. 97-114.
- Sainz Santamaria, J. y Becerra, M. (2003). “Los conflictos por el agua en México”. *Gaceta Ecológica*, (67), pp.61-68.
- Saldaña, R. A. C. (2014). “El estudio de la calidad de vida desde la mirada de los involucrados: la percepción ciudadana”. *Revista legislativa de estudios sociales y de opinión pública*, 7(13), pp. 153-177.
- Salhi, A., Stitou el Messari, J., Benabdelouahab, S., El Gettafi, M., Díaz, Y., Himi, M., y Casas Sainz, A. (2008). “Cartografía comparativa de la vulnerabilidad del acuífero costero de Ghis-Nekor (Marruecos)”. *Geogaceta*, (44), pp. 167-170.
- Sánchez-Sánchez, J. A., Álvarez-Legorreta, T., Pacheco-Ávila, J. G., González-Herrera, R. A., y Carrillo-Bribiezca, L. (2015). “Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México”. *Revista mexicana de ciencias geológicas*, 32(1), pp. 62-76.
- Sangronis, M. V., Rodríguez, A., Pérez, M., Oberto-Perdigón, L., Navas-Yamarte, P., y Martínez-Méndez, D. (2008). “Geohelmintiasis intestinal en preescolares y escolares de una población rural: realidad socio-sanitaria. Estado Falcón, Venezuela”. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, 28(1), pp. 14-19.

- Saucedo González, J. I. (2014). *Poder político y jurídico en Yucatán en el siglo XVI*. Disponible en: <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/8/3720/15.pdf> [Consultado 28-12-17]
- Schmitter-Soto, J. J. (2002). “Los cenotes de la Península de Yucatán”. *De la Lanza-Espino, G. y JL García-Calderón (Comps.). Lagos y Presas de México*. AGT. México, pp. 337-381.
- Secretaría de Gobierno del Estado de Quintana Roo (2015). *Panorama sociodemográfico de Quintana Roo 2015*. Disponible en: <http://coespo.groo.gob.mx/Descargas/doc/PANORAMA%20SOCIODEMOGRAFICO%20DE%20QUINTANA%20ROO%202015.pdf> [Consultado 07-09-2018]
- Secretaría de Turismo (SECTUR). (2017). *Reporte monitoreo hotelero*. [http://www.datatur.sectur.gob.mx/Documentos%20Publicaciones/2017-12\\_rpt\\_ocupacion.pdf](http://www.datatur.sectur.gob.mx/Documentos%20Publicaciones/2017-12_rpt_ocupacion.pdf) [Consultado 08-07-2018]
- Shandas, V., y Parandvash, G. (2009). “Integrating urban form and demographics in waterdemand management: an empirical case study of Portland, Oregon”. *Enviroment and Planning*, 1-18.
- Sigler, W. A. y Bauder, J. (2017). *Alcalinidad, pH y sólidos Disueltos Totales*. Disponible en: [http://region8water.colostate.edu/PDFs/w\\_e\\_espanol/Alkalinity\\_pH\\_TDS%202012-11-15-SP.pdf](http://region8water.colostate.edu/PDFs/w_e_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf) (Consultado 16-03-2017).
- Silveira Gramont, M. I., Aldana Madrid, L., Valenzuela Quintanar, A. I., Ochoa Nogales, C. B., Jasa-Silveira, G., y Camarena Gómez, B. (2016). “Necesidades educacionales sobre riesgo de plaguicidas en el contexto socio-ambiental de las comunidades agrícolas de Sonora”. *Nova scientia*, 8(16), 371-401.
- Soares, D., Murillo, D.; Romero, R. y Millán G. (2014). Amenazas y vulnerabilidades: las dos caras de los desastres en Celestún. *Yucatán Desacatos* (2014), pp. 159-177
- Solanes, M. y González-Villarreal, F. (2001). *Los principios de Dublin reflejados en una evaluación comparativa de ordenamientos institucionales y legales para una gestión integrada del agua*. Disponible en: <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/Tac3s.pdf> [Consultado 10-09-17]
- Sunkel, O. y Gligo, N. (1980). *Estilos de desarrollo y medio ambiente en la América Latina*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Talledos Sánchez, S. E. (2012). “La imposición de un espacio: de La Crucecita a Bahías de Huatulco”. *Revista mexicana de ciencias políticas y sociales*, 57(216), pp. 119-142.

- Tevni Grajales, G. (2000). *Tipos de investigación*. Disponible en: <http://tgrajales.net/investipos.pdf> [Consultado 09-02-2018]
- Torrens, C., Ciminari, M., y Jurio, E. (2000). *Problemáticas ambientales derivadas de la expansión urbana*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Celia\\_Torrens/publication/267196719\\_Problemáticas\\_ambientales\\_derivadas\\_de\\_la\\_expansion\\_urbana/links/56c45c1008ae736e7046df0e.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Celia_Torrens/publication/267196719_Problemáticas_ambientales_derivadas_de_la_expansion_urbana/links/56c45c1008ae736e7046df0e.pdf) [Consultado 03-02-17]
- Torres Díaz, M. C., Basulto Solis, Y. Y., Cortés Esquivel, J., García Uitz, K., Koh Sosa, Á., Puerto Romero, F., y Pacheco Ávila, J. G. (2014). "Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del agua subterránea en Yucatán". *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(3), pp. 189-203.
- Torres Díaz, María Concepción, Basulto Solis, Yanet Yahaira, Cortés Esquivel, Jorge, García Uitz, Karla, Koh Sosa, Ángel, Puerto Romero, Franklin, y Pacheco Ávila, Julia Guadalupe. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo de contaminación del agua subterránea en Yucatán. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 1(3), pp. 189-203.
- Urteaga, L. (1980): "Miseria, miasma y microbios. Las Topografías Médicas y el estudio del medio ambiente en el siglo XIX", *Geocrítica*, 29, pp. 1-50.
- Urzúa, A., y Caqueo-Urizar, A. (2012). Calidad de vida: Una revisión teórica del concepto. *Terapia psicológica*, 30(1), 61-71.
- Valcarcel, L., Alberro, N., y Frías, D. (2009). "El Índice de Calidad de Agua como herramienta para la gestión de los recursos hídricos". *Medio Ambiente y Desarrollo. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, (16), pp. 1-5.
- Vázquez Sosa, A., Frausto Martínez, O., Fraga Verdugo, J. (2014). "Redes sociales en contextos turísticos costeros: pueblos de apoyo". *Teoría y Praxis*, (17), pp.163-177.
- Velasco Gutiérrez, M. (2014). *Vulnerabilidad del sector hídrico por efectos del cambio climático en México*. Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vidal Moranta, T., y Pol Urrútia, E. (2005). "La apropiación del espacio: una propuesta teórica para comprender la vinculación entre las personas y los lugares". *Anuario de Psicología*, 2005, 36(3), pp. 281-297.
- Viilanueva Gomez, G. G. (2016). *Índices de calidad del agua para la zona anillo de cenotes del estado de Yucatán*. Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán (UADY).

- Villanueva Gómez, G. G. (2016). *Índices de calidad del agua para la zona anillo de cenotes del estado de Yucatán*. Maestría. Universidad Autónoma de Yucatán.
- Villanueva, S., y Botello, A. V. (1992). "Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y Caribe Mexicano: una revisión". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 8(1), pp.47-61.
- Vincent, K. (2004). *Creating an index of social vulnerability to climate change for Africa*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Katharine\\_Vincent/publication/228809913\\_Creating\\_an\\_Index\\_of\\_Social\\_Vulnerability\\_to\\_Climate\\_Change\\_in\\_Africa/links/546478a50cf2c0c6aec52194.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Katharine_Vincent/publication/228809913_Creating_an_Index_of_Social_Vulnerability_to_Climate_Change_in_Africa/links/546478a50cf2c0c6aec52194.pdf) [Consultado 08-10-17]
- Watler Reyes, W.J. (2008). *Análisis de vulnerabilidad de la contaminación del recurso hídrico en la subcuenca del río Siquirres, Costa Rica*. Maestría. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- White, W. (2007). Chemistry 6.1 Introduction, 210–257.
- Wirtgen, J. (2009). *Recursos hídricos. Resumen del 2 do informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/recursos-hidricos-foldout.pdf> [Consultado 31-05-17]
- Zamora Mendoza, M. M. (1995). *Efectos de algunos detergentes sobre los protozoarios presentes en los lodos activados de una planta de tratamiento*. Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Zarzosa Espinosa, P. (1996). "Aproximación a la medición del bienestar social. Idoneidad del indicador sintético, Distancia P2 (Aplicación al caso español)". *Cuadernos de Economía*, 24(68), pp. 139-163.

## ANEXOS

**Anexo 1. “ENCUESTA DE LAS CONDICIONES DE VIVIENDA Y DE LA PERCEPCIÓN DE LA POBLACIÓN CON RESPECTO AL RECURSO HÍDRICO”**

Área de estudio:	Fecha:	Hora:
Encuestador: Buen día, mi nombre es _____, soy (estudiante/profesor) en la Unidad de ciencias del agua y estoy haciendo un trabajo para conocer la calidad del agua y su efecto en la salud de las personas de esta zona.		

**A Aspectos demográficos**

<b>A01. Género:</b> 1 M( ) 2 F( )	<b>A02. Edad:</b>	<b>A03. Ocupación actual:</b>	
<b>A04. Escolaridad terminada:</b> 1 Sin estudios ( ) 2 Primaria ( ) 3 Secundaria ( ) 4 Preparatoria ( ) 5 Universidad ( ) 6 Posgrado ( )			
<b>A05 Lugar de procedencia</b> 1 Quintana Roo ( ) 2 Yucatán ( ) 3 Tabasco ( ) 4 Veracruz ( ) 5 Campeche ( ) 6 Otros estados ( )	<b>A06 Tiempo de residencia en su domicilio actual</b>	<b>A07 Número y edades de las personas en la vivienda:</b>	<b>A08 Aproximadamente, ¿cuál es el ingreso mensual promedio de los habitantes de la vivienda?</b> 1 \$0 a \$2,500 pesos ( ) 2 \$2,501 a \$5,000 pesos ( ) 3 \$5,001 a \$7,500 pesos ( ) 4 \$7,501 a \$10,000 pesos ( ) 5 Más de 10,000 pesos ( ) 6 No sabe/no contestó ( )

**B Datos de la vivienda**

<b>B01</b> ¿Su vivienda tiene escrituras? 1 Si ( ) 2 No ( )	
<b>B02</b> La vivienda es: 1 Propia ( ) 2 Rentada ( ) 3 Prestada ( ) 4 Otra:	
<b>B03</b> ¿Cuántos cuartos para dormir tiene su vivienda?	
<b>B04</b> Su vivienda está construida de: 1 <b>Material frágil</b> (desecho; cartón; lámina de asbesto o metálica; carrizo, bambú o palma; barro o bajareque) ( ) 2 <b>Material firme</b> (Madera; adobe; tabique, ladrillo, block, piedra, cemento o concreto) ( )	
<b>B05</b> ¿Tiene piso de tierra? 1 Si ( ) 2 No ( )	
<b>B06</b> ¿Dónde deposita su basura? 1 Contenedor de basura ( ) 2 Terrenos vacíos ( ) 3 Cenote o cuerpo de agua ( ) 4 La quema ( ) 5 Otros:	<b>B07</b> ¿Cuenta con recolección de basura (hasta su vivienda)? 1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )
	<b>B08</b> ¿Su vivienda tiene electricidad? 1 Si ( ) 2 No ( )
	<b>B09</b> ¿Está conectado a la red eléctrica? 1 Si ( ) 2 No ( ) *está conectado de manera informal: 1 Si ( ) 2 No ( )
<b>B10</b> ¿Está conectado a la red de drenaje? 1 Si ( ) 2 No ( )	
<b>B11</b> En caso de NO estar conectado a la red de drenaje, ¿usa fosa séptica? 1 Si ( ) 2 No ( )	
<b>B12</b> Si tiene fosa séptica, ¿cuántas veces al año le da mantenimiento? _____	
<b>B13</b> ¿Sabe a dónde van las aguas de su drenaje (sea el caso de red de drenaje o fosa séptica)?	
<b>B14</b> ¿Está conectado a la red de agua potable? 1 Si ( ) 2 No ( )	
<b>B15</b> En caso de NO estar conectado a la red de agua potable, ¿cómo se surte de agua? 1 Pozo ( ) 2 Pipa ( ) 3 Acarrear de otra vivienda ( ) 4 No tiene 5 Otros: _____	
<b>B16</b> ¿Sabe de dónde proviene el agua que consume? (no dar opciones) 1 Acuífero (aguas subterráneas) ( ) 2 No sé ( ) 3 Otro ( ) _____	



## C Calidad del agua

¿Qué tipo de agua usa para...?

<b>C1</b> Tomar	<b>C2</b> Cocinar	<b>D3</b> Bañarse e higiene personal
1 Garrafón ( )	1 Garrafón ( )	1 Garrafón ( )
2 De la llave ( )	2 De la llave ( )	2 De la llave ( )
3 De pozo ( )	3 De pozo ( )	3 De pozo ( )
4 De cenote ( )	4 De cenote ( )	4 De cenote ( )
5 Otros ( ), ¿cuál?	5 Otros ( ), ¿cuál?	5 Otros ( ), ¿cuál?
<b>C4</b> En su opinión, ¿el agua que sale de la llave (ó pozo) es potable, se puede beber sin riesgo? 1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )		
<b>C5</b> ¿Usted o alguien de su familia alguna vez ha experimentado irritación en la piel por contacto con agua de la llave (ó pozo) tal y como sale? 1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )		
<b>C6</b> ¿Usted o alguien de su familia se han enfermado frecuentemente de diarrea o enfermedades estomacales por contacto con agua de la llave (ó pozo) tal y como sale? 1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )		
El agua de llave (ó pozo) tiene:	1 Si	2 No
<b>C7</b> Color		
<b>C8</b> Sabor		
<b>C9</b> Olor		
<b>C10</b> ¿El color del agua de la llave cambia en diferentes épocas del año? 1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )		

## D Riesgos

### A enfermarse

**D1** ¿Usted cree que usted o su familia se pueden enfermar al tomar agua de la llave (pozo)?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**Sí la anterior es sí, ¿por qué? (¿que tiene el agua que puede enfermar a la gente?)**

**D2** ¿Usted cree que usted o su familia se pueden enfermar por tener contacto directo con agua de la llave (pozo)?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**D3** ¿De qué se puede enfermar su familia? (NO dar opciones)

- 1 infección gastrointestinal (diarrea/vomito) ( )
- 2 Infección de oídos ( )
- 3 Infección de la piel ( )
- 4 Infección ocular ( )
- 5 Otros ( ), ¿cuál?

**Afectación del recurso hídrico**

**D4** ¿En su vivienda, toman medidas para ahorrar agua? [Es decir, para reducir el consumo de agua] 1 Si ( ) 2 No ( )

**D5** ¿Ha escuchado, usted, alguna vez de la palabra: “contaminación”? 1 Si ( ) 2 No ( )

**D6** ¿Qué cosas se pueden contaminar? (NO dar opciones)

1 Aire ( )	2 Agua ( )	3 Suelo ( )	4 Alimentos ( )	5 No sé ( )
6 Otro:				

**D7** ¿Se puede saber cuándo el agua está contaminada?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**D8** ¿Usted considera que el agua puede estar contaminada aunque no se vea la contaminación?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**D9** ¿Considera que el agua de la lavadora pueden contaminar al agua?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**D10** ¿Usted considera que la fosa séptica puede contaminar el agua?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**D11** ¿Usted considera que la basura que tira la gente puede contaminar los cenotes?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**D12** ¿Usted considera que el agua contaminada se pueda limpiar totalmente?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**D13** ¿Usted considera que los turistas pueden contaminar el agua?

1 Si ( ) 2 No ( ) 3 No sé ( )

**D14** ¿Qué otras cosas a los alrededores pueden contaminar el suelo hacia el agua (subterránea)?

1 Todos los líquidos ( ) 2 Otros (basura, hojas, desechos de animales) ( ) 3 No/cualquier líquido, pero acá no ( ) 4 No sé ( )