

ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA (ISH)

CLAVE: HC1711.1

Informe final

Coordinación de Hidráulica

José Manuel Rodríguez Varela. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Velitchko Tzatchkov. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Petronilo Edilburgo Cortez Mejía. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Arizabeth Sainos Candelario. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana
Óscar Jesús Llaguno Guilberto. - Subcoordinación de Hidráulica Urbana




Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua

Luciano Sandoval Yoval. - Subcoordinación de Tratamiento de Aguas Residuales

Coordinación de Hidrología

David Ortega Gaucín. - Subcoordinación de Hidrología Superficial
Edgar Yuri Mendoza Cázares. - Subcoordinación de Hidrología Subterránea
Salvador Navarro Barraza. - Subcoordinación de Planeación Hídrica

México, 2017

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 2 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO	7
Objetivo	10
Alcances (Entregables)	10
Impactos sociales, económicos, científicos o tecnológicos	10
1 ANTECEDENTES	12
2 METODOLOGÍA.....	14
2.1 Revisión del estado del arte	14
2.2 Definición de los índices de seguridad hídrica municipal	28
2.3 Recopilación y análisis de información	29
3 ÍNDICES DE LA SEGURIDAD HÍDRICA	32
3.1 Índices de Gestión del Agua	32
3.1.1 Regiones hidrológicas administrativas para (RHA) para la gestión del agua	32
3.1.2 Contraste regional entre desarrollo y agua renovable (AR).....	34
3.1.3 Cuencas y acuíferos del país	35
3.1.4 Agua renovable.....	38
3.1.5 Precipitación pluvial	40
3.1.6 Aguas superficiales	41
3.1.7 Aguas subterráneas	42
3.1.8 Administración del Agua	43
3.2 Índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA) para todos los municipios del país	50
3.3 Índice de vulnerabilidad a la sequía en todos los municipios del país.....	53
3.3.1 Determinación de la serie de tiempo que se analizará, tomando en cuenta desde el primero hasta el último mes reportado por el MSM	54
3.3.2 Obtención de las frecuencias absolutas correspondientes a cada tipo de severidad de sequía (D0 a D4) por municipio, tomando en cuenta aquellos municipios con al menos el 40% de su territorio afectado por algún grado de sequía.	55
3.3.3 Cálculo de la probabilidad de sequía mediante la envolvente (D0 a D4), y expresión de la misma en porcentaje.	56
3.4 Abatimiento de agua subterránea con métodos indirectos.....	58
3.4.1 Monitoreo de variables hidrológicas.....	58
3.5 Vulnerabilidad social.....	74
3.5.1 Metodología CENAPRED desarrollada para el cálculo de la vulnerabilidad social	74
3.6 Índice municipal de seguridad hídrica	80
3.6.1 Peligro	80
3.6.2 Vulnerabilidad	85
3.6.3 Riesgo.....	87

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 3 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

3.6.4	Índice de seguridad hídrica municipal	88
3.7	Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH) a nivel estatal	90
3.7.1	Normalización de datos	90
3.7.2	Disponibilidad	91
3.7.3	Accesibilidad	95
3.7.4	Calidad y seguridad	96
3.7.5	Administración	98
3.7.6	Cálculo del IGSH.....	102
4	CONCLUSIONES	105
5	BIBLIOGRAFÍA	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Definición de indicadores del índice global de seguridad hídrica con fuentes de datos. Fuente (Animesh, K. G. et al, 2016).	21
Tabla 2-2. Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH): Cuatro criterios y sus indicadores.	22
Tabla 2-3. Fuentes de información de indicadores definidos	29
Tabla 3-1 Regiones hidrológicas	36
Tabla 3-2 Información de acuíferos.....	37
Tabla 3-3 Volumen anual de escurrimiento superficial por regiones hidrológica.....	41
Tabla 3-4 Volumen anual de agua subterránea por regiones hidrológica	42
Tabla 3-5 Títulos de concesión o asignación por tipo de uso	48
Tabla 3-6. Volumen concesionado por tipo de uso.	49
Tabla 3-7 Niveles propuestos de evaluación del IGASA	51
Tabla 3-8 Categorías para clasificar la probabilidad de las diferentes categorías de sequía.	57
Tabla 3-9 Indicadores que conforman el Índice de Peligro	80
Tabla 3-10 Indicadores que conforman el Índice de Vulnerabilidad	86
Tabla 3-11 Rangos de área y población para la seguridad en México.....	89
Tabla 3-12. Métodos de normalización de indicadores. Fuente: (OECD, 2008).	91
Tabla 3-13. Opciones para índice de sequías por Estado. Fuente (Gaucín, El peligro de sequía como indicador de seguridad hídrica, 2017)	93
Tabla 3-14. Resumen de parámetros (WATQ1), su razonamiento para la inclusión, y sus limitaciones en caracterizar la calidad del agua a nivel global. Fuente (Srebotnjak, T. et al, 2011).....	96

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 5 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1. Índice Global de Seguridad Hídrica agregado, calculado mediante la agregación de los índices de disponibilidad de agua, accesibilidad, seguridad y calidad, y administración. Los valores “0-1” (con los colores rojo a azul continuos) representan “baja a alta” seguridad. Las áreas sombreadas representan países con lagunas de datos. Fuente (Gain, K. A. et al, 2016). 23

Ilustración 2-2. Objetivos del PNH en Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. 24

Ilustración 2-3. Índice global de sustentabilidad hídrica del PNH. 27

Ilustración 3-1. Regiones hidrológico-administrativas 33

Ilustración 3-2 Regiones hidrológico-administrativas por nombre 33

Ilustración 3-3 Agua renovable per cápita, 2015 34

Ilustración 3-4 731 cuencas hidrológicas 35

Ilustración 3-5 Regiones hidrológicas 36

Ilustración 3-6 Acuíferos por Región hidrológico-administrativa 37

Ilustración 3-7 Agua renovable (hm³/año) 38

Ilustración 3-8 Agua renovable per cápita (m³/hab/año) 39

Ilustración 3-9 Precipitación pluvial 40

Ilustración 3-10 Intensidad de usos consuntivos por municipio, 2015 48

Ilustración 3-11 Fuente predominante por usos consuntivos por municipio, 2015 50

Ilustración 3-12 Índice IGASA 52

Ilustración 3-13 Indicador IAS 52

Ilustración 3-14 Índice IAAP 53

Ilustración 3-15 Registros históricos de la sequía obtenidos de la página web del MSM 54

Ilustración 3-16 Base de datos en Excel de los registros históricos de sequía por municipio en función de su grado de severidad. 54

Ilustración 3-17 Total de meses analizados con datos en el periodo del 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017. 55

Ilustración 3-18 Frecuencias absolutas de acuerdo a cada tipo de severidad de sequía (D0 a D4). 55

Ilustración 3-19 Base de datos ordenada de acuerdo al shapefile de municipios. 56

Ilustración 3-20 Cálculo de la frecuencia relativa de cada categoría de sequía, ajuste a la distribución normal y clasificación de la probabilidad. 57

Ilustración 3-21 Mapa nacional de probabilidad de ocurrencia de sequía a escala municipal. 57

Ilustración 3-22 Valores de estimación total almacenamiento para la República Mexicana, mes de enero del 2015. 60

Ilustración 3-23 Distribución espacial del promedio mensual de enero de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 62

Ilustración 3-24 Distribución espacial del promedio mensual de febrero de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 62

Ilustración 3-25 Distribución espacial del promedio mensual de marzo de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 63

Ilustración 3-26 Distribución espacial del promedio mensual de abril de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 63

Ilustración 3-27 Distribución espacial del promedio mensual mayo de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 64

Ilustración 3-28 Distribución espacial del promedio mensual de junio de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana. 65

Ilustración 3-29 Distribución espacial del promedio mensual de julio de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 66

Ilustración 3-30 Distribución espacial del promedio mensual de agosto de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 66

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 6 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

Ilustración 3-31 Distribución espacial del promedio mensual de septiembre de Almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 67

Ilustración 3-32 Distribución espacial del promedio mensual de octubre de almacenamiento de agua subterránea (GWS) años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 67

Ilustración 3-33 Distribución espacial del promedio mensual de noviembre de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana). 68

Ilustración 3-34 Distribución espacial del promedio mensual de diciembre de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana) 68

Ilustración 3-35 Promedio mensual de la superficie de aguas subterránea (GWS) para los años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana. 71

Ilustración 3-36 Serie de tiempo de superficie de aguas subterránea (GWS) para los años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana. 73

Ilustración 3-37 Valor promedio de GWS en la República Mexicana, del periodo 2002-2014. 74

Ilustración 3-38 Índice de vulnerabilidad social global 79

Ilustración 3-39 Mapa de peligro por inundación 81

Ilustración 3-40 Mapa de peligro por DBO 81

Ilustración 3-41 Mapa de peligro por incendios forestales 82

Ilustración 3-42 Mapa de peligro por sequías 82

Ilustración 3-43 Mapa de peligro por abatimiento del acuífero 83

Ilustración 3-44 Mapa de peligro para los servicios de agua potable 83

Ilustración 3-45 Mapa de peligro para el accesos a los servicios básicos del agua 84

Ilustración 3-46 Mapa de peligro para el acceso a los servicios de agua potable. 84

Ilustración 3-47 Índice de peligro en la República Mexicana 85

Ilustración 3-48 Índice de vulnerabilidad en la República Mexicana 87

Ilustración 3-49 Índice de riesgo en la República Mexicana 88

Ilustración 3-50 Índice de seguridad hídrica en la República Mexicana 89

Ilustración 3-51. Índice mundial de gobernanza 2005-2015 para México. Fuente: (Kaufmann, D. y Kraay A., 2017)..... 99

Ilustración 3-52. Marco legal por cuencas transfronterizas. Puntaje de tratados por cuenca y categoría de riesgos. Fuente: (UNEP, 2016)..... 100

Ilustración 3-53. Mapa de tensión hidropolítica por cuencas transfronterizas. Puntaje de riesgos relativos. Fuente: (UNEP, 2016). 101

Ilustración 3-54 Normalización del puntaje de riesgo por tensión hidropolítica transfronteriza. 102

Ilustración 3-55. Índice Global de Seguridad Hídrica a nivel estado. 103

Ilustración 3-56. Mapa del índice Global de Seguridad Hídrica a nivel estado. 104

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 7 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

RESUMEN EJECUTIVO

Por primera vez en México, se realizó un análisis y definición de índices específicos de seguridad hídrica, a nivel estatal y municipal. Con base en una revisión del estado del arte, se identificaron al menos nueve definiciones de seguridad hídrica. Una representativa de ellas es: Disponibilidad de una cantidad y calidad de agua aceptable para la salud, asegurar las necesidades diarias, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos asociados con el agua para las personas, el medio ambiente y las economías.

Se identificaron varias metodologías internacionales y nacionales para medir la seguridad hídrica, incluyendo la del Programa Nacional Hídrico (PNH) con ocho indicadores en los que se incluyen dos índices. En ninguna se indica de manera específica su aplicación a nivel municipal. Una metodología interesante es la del Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH) para medir la seguridad hídrica según el objetivo 6 de los 17 objetivos globales para Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas “Garantizar la *disponibilidad* de agua y su *gestión* sostenible y el *saneamiento* para todos, que está en función de los siguientes cuatro criterios: Disponibilidad, Accesibilidad a los servicios, Seguridad y calidad, y Administración, que fue aplicada a nivel mundial por sus autores.

Se decidió trabajar sobre siete indicadores: 1) el índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA) del PNH; 2) el índice de vulnerabilidad a la sequía; 3) abatimientos de aguas subterráneas con métodos indirectos, como el experimento de recuperación de gravedad y clima; 4) vulnerabilidad social; 5) indicador municipal de seguridad hídrica; 6) índice global de seguridad hídrica a nivel estatal; y 7) un indicador de gestión del agua.

Se analizó la metodología del Índice Global de Seguridad Hídrica, para poder aplicarla, lo cual se hizo a nivel estatal con datos 2015, principalmente de la CONAGUA, así como datos internacionales en la componente de administración. Los autores que proponen ese índice lo aplicaron a nivel mundial, de modo que se puede identificar el desempeño de cada país en seguridad hídrica, pero aún de cada región dentro de los países, estableciendo un benchmarking mundial de seguridad hídrica que facilita la cooperación internacional. En este índice se pueden identificar cuatro criterios o factores físicos y socioeconómicos interrelacionados de atención prioritaria, ponderados, que son la disponibilidad hídrica, la accesibilidad a los servicios de agua y saneamiento, la seguridad y calidad del agua, y su administración. Estos cuatro factores interrelacionados se integran a su vez por varios indicadores también ponderados. Dentro del criterio de administración se incluye el índice mundial de gobernanza (IMG), constituido por seis indicadores que varían en un rango percentil de 0 a 100.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 8 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

Referente al peligro por sequía como indicador de seguridad hídrica en México, se determinó el peligro por sequía a escala municipal mediante el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de sequía. Para ello, se analizaron los datos en función de su grado de severidad correspondientes al periodo del 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017. El total de meses analizados fue de 169, dado que hubo dos meses en que no se reportaron datos. De esta manera se obtuvo el mapa nacional de probabilidad de ocurrencia de sequía a escala municipal, donde se pueden observar los estados y municipios del país con mayor propensión a padecer este fenómeno climatológico. De los resultados obtenidos se concluye que los estados de la República Mexicana que tienen mayor probabilidad de ser afectados por sequía son los que se ubican en el noroeste (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa), en el centro-norte (Chihuahua, Coahuila, Durango, norte de Nuevo León y de Tamaulipas), centro-occidente (Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guanajuato), y sureste (Tabasco, Chiapas, Yucatán, Campeche y Quintana Roo).

Se formuló finalmente una metodología probabilística de la seguridad hídrica, diferente de las demás analizadas, donde la seguridad se considera como el complemento a uno del riesgo. El riesgo a su vez se define como la contingencia o proximidad a un daño, entendiéndose como la posibilidad de tener pérdidas significativas o resultados adversos, o como la probabilidad de que se presente un determinado evento (llamado peligro), y las potenciales consecuencias adversas que tendrían para la salud humana, medio ambiente o las actividades económicas (vulnerabilidad). El riesgo se obtiene entonces como el producto de la vulnerabilidad social y el índice de peligro, cuantificado en términos de probabilidad de ocurrencia de un fenómeno en un lapso de tiempo estimado, potencialmente dañino para los bienes expuestos. Para estimar los indicadores socioeconómicos de vulnerabilidad para cada municipio, se recopiló la información de los últimos años y se normalizaron los parámetros que conforman el índice de vulnerabilidad, ya que estos influyen directamente sobre las condiciones básicas de bienestar y desarrollo de los individuos y de la sociedad en general. Se realizó un análisis de tres diferentes metodologías para la generación de la vulnerabilidad social. Para medir la probabilidad de incidencia y así calcular el índice de peligro se contemplaron los parámetros: incendios forestales, inundaciones, calidad del agua, abatimiento de acuíferos, y sequias, de acuerdo a su peligrosidad. La metodología propuesta se implementó en un sistema de Información Geográfica (SIG) que proporciona un valor único integrado del índice de seguridad hídrica, a nivel municipal y para cada uno de los municipios que conforman la República Mexicana. Con esta base, resulta que para índice de seguridad hídrica para el rango de 0.00 a 0.50 un área de 795,782.48 km² (24,997,440 habitantes), para un rango de 0.51 a 0.60 un área de 309,285.57 km²(9,423,135 habitantes), de 0.61 a 0.70 se presentan 311,240.27 km² (26,179,813 habitantes), de 0.71 a 0.80 el rango abarca un área de 344,361.10 km² (34,858,987 habitantes) y a partir del rango de 0.81 a 1.00 se cuenta con área de 195,569.77 km²(168,771,163 habitantes).

 <p>SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p> 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
Página 9 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 10 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

Objetivo

Establecer a nivel municipal índices de Seguridad Hídrica de: accesibilidad y disponibilidad a los servicios de agua potable y saneamiento; seguridad y calidad del agua ante fenómenos de inundaciones, sequías y de contaminación del recurso agua.

Alcances (Entregables)

Desarrollar una herramienta para obtener indicadores de seguridad hídrica (ISH) aplicables a nivel municipal, con la cual sea posible determinar el estado en que se sitúa cada municipio en materia de accesibilidad y disponibilidad a los servicios de agua potable y saneamiento, seguridad y calidad del agua ante fenómenos de inundaciones, sequías y de contaminación del recurso agua.

Impactos sociales, económicos, científicos o tecnológicos

- a) Evaluar la disponibilidad del agua
- b) Mitigar riesgos por fenómenos naturales o antropogénicos
- c) Identificar riesgos por contaminación
- d) Identificar posibles conflictos sociales por el agua

  <p>SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p>	<p>ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 11 de 113</p>	<p>México, 2017</p>	<p>Clave: HC1711.1</p>

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 12 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

1 ANTECEDENTES

Con el crecimiento de la población en México, ha generado un incremento y diversificación de los usos del agua. Esto genera diversos problemas como: acuíferos y cuencas sobreexplotadas, contaminación de cuerpos de agua, falta de saneamiento, deterioro de la infraestructura hidráulica, entre otros. Aunado a lo anterior se tiene la problemática del cambio climático que definitivamente tendrá un impacto directo en la disponibilidad y accesibilidad del agua, así como daños causados por inundaciones o sequías según sea el caso.

En el IMTA se tiene la experiencia del Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO) que cuenta con 245 participantes, que servirán como base para la solicitud de una parte de la información requerida para la definición y cálculo de los índices de seguridad hídrica (ISH) de los sistemas de agua potable.

Asimismo, se cuenta con el Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático, en el que a nivel municipal se define la vulnerabilidad ante las sequías e inundaciones, mismo que servirá de base para la definición de indicadores de seguridad hídrica.

En el Plan Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018 se indica como premisa nacional contribuir lograr la seguridad y sostenibilidad hídrica. Es con la propuesta del proyecto de índices de Seguridad Hídrica, que se podrá contar con una herramienta de consulta que permita identificar mediante una serie de indicadores del estado en materia de seguridad hídrica en que se encuentra el país, esto a nivel municipal.

  <p>SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p>	<p>ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 13 de 113</p>	<p>México, 2017</p>	<p>Clave: HC1711.1</p>

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 14 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

2 METODOLOGÍA

La metodología planteada incluye las siguientes actividades:

- 1) Revisión del estado del arte
- 2) Definición de los índices de seguridad hídrica municipal
- 3) Recopilación y análisis de información
- 4) Identificación de ciudades para verificar la información base
- 5) Desarrollo de un sistema de Información Geográfica (SIG)
- 6) Página WEB para consulta en línea de los ISH
- 7) Entrevista a experto internacional para el tema de índices de Seguridad Hídrica
- 8) Informe final

Se describen en este capítulo las primeras tres actividades. La 4 no fue necesaria, la 5 está implícita en los resultados que se describen en el siguiente capítulo, la 6 se dejó para la segunda etapa del proyecto, y la 7 tampoco fue necesaria en esta primera etapa.

2.1 Revisión del estado del arte

El objetivo de esta actividad es determinar el estado del arte a nivel nacional e internacional en materia de índices de seguridad hídrica a nivel municipal, como base para la propuesta de indicadores a trabajar en el proyecto, y para contar con un marco general a nivel nacional e internacional en materia de indicadores de seguridad hídrica.

2.1.1 Definiciones existentes de Seguridad Hídrica

Se realizó una revisión bibliográfica en la que se identificaron varias definiciones de este concepto, entre otras las siguientes:

- 1) (Calow R., and Tucker J. , 2013) La disponibilidad de una adecuada cantidad y calidad del agua para la salud, asegurar las necesidades diarias, los ecosistemas y la producción, y la capacidad de acceder a ella, junto con un nivel aceptable de riesgos para las personas y el ambiente, relacionados con el agua, y la capacidad para gestionar los mismos.
- 2) (Grey D. y Sadoff C., 2007): Disponibilidad de una cantidad y calidad de agua aceptable para la salud, asegurar las necesidades diarias, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos asociados con el agua para las personas, el medio ambiente y las economías.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 15 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

- 3) (Animesh, K. G. et al, 2016): Retoman la anterior definición de (Grey D. y Sadoff C., 2007) y complementan en que alcanzar la seguridad hídrica, vital para el bienestar de la gente, agricultura, energía y otros sectores, es uno de los mayores retos del siglo XXI para la comunidad científica, sociedad y política. Asimismo proponen el Índice Global de Seguridad Hídrica para medir la seguridad hídrica según el objetivo 6 de los 17 objetivos globales para Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) (ONU, 2017) : “Garantizar la *disponibilidad* de agua y su *gestión* sostenible y el *saneamiento* para todos”.

- 4) (Martínez - Austria P., 2013): Aquella condición que asegura el abastecimiento sustentable de agua para todos los usos, en condiciones de equidad y a precios asequibles, para promover la salud, el desarrollo económico, la producción de alimentos y energía y la conservación del medio ambiente. Protege, con un riesgo aceptable, a la población y a los sistemas productivos contra los efectos de eventos hidrometeorológicos extremos; mitiga sus efectos e incluye medidas de adaptación frente a los efectos del cambio climático.

- 5) (Mason N. and Roger C., 2012): Consiste en tener suficiente agua, en cantidad y calidad, para las necesidades humanas (salud, sustento y actividades productivas) y los ecosistemas, acompañada de la capacidad de acceso y aprovechamiento, para equilibrar los distintos sectores, y de manejar los riesgos asociados al agua, incluyendo inundaciones, sequías y contaminación.

- 6) (OCDE, 2013): Mantener en niveles aceptables cuatro riesgos asociados al agua: el riesgo de escasez, como falta de agua suficiente (en el corto y largo plazo) para los usos beneficiosos de todos los usuarios; el riesgo de inadecuada calidad para un propósito o uso determinado; el riesgo de los excesos (incluidas las inundaciones), entendidas como el rebase de los límites normales de un sistema hidráulico (natural o construido) o la acumulación destructiva de agua en áreas que no están normalmente sumergidas; y el riesgo de deteriorar la resiliencia de los sistemas de agua dulce, por exceder la capacidad de asimilación de las fuentes de agua superficiales o subterráneas y sus interacciones, con la eventual superación de los umbrales aceptables, causando daños irreversibles en las funciones hidráulicas y biológicas del sistema.

- 7) (ONU - Agua, 2013): Capacidad de una población para resguardar el acceso sostenible a cantidades adecuadas de agua de calidad aceptable para el sustento, bienestar y desarrollo socioeconómico sostenibles; para asegurar la protección contra la contaminación transmitida por el agua y los desastres

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 16 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

relacionados con ella, y para preservar los ecosistemas, en un clima de paz y estabilidad política.

- 8) (Norman E., Bakker K. Cook Ch., Dunn G., Allen D., 2010): Acceso durable al agua a la escala de una cuenca en cantidad suficiente y calidad aceptable para asegurar la protección de la salud humana y de los ecosistemas.
- 9) (Global Water Partnership (GWP), 2016): Aquella en la que cada persona tiene agua segura y a un costo accesible para llevar adelante una vida sana y productiva y en el que las comunidades son protegidas de inundaciones, sequías y enfermedades de origen hídrico. La seguridad hídrica promueve la protección ambiental y la justicia social abordando los conflictos y disputas que puedan surgir a partir de recursos hídricos compartidos.

Con la revisión bibliográfica mencionada anteriormente, se puede establecer que la seguridad hídrica es transversal a todos los aspectos del desarrollo económico; las personas asignan significado al concepto de seguridad hídrica dependiendo de la escala y el contexto particular en el que es aplicado; la seguridad hídrica nunca podrá ser alcanzada totalmente porque las condiciones físicas y económicas están en constante cambio, lo que requiere la adaptación continua; no existe una única solución para aumentar la seguridad hídrica.

Además se puede mencionar que las soluciones deben adaptarse a las condiciones locales en cada país, cuenca, ciudad, proyecto o área de gestión; la seguridad hídrica y la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) son simbióticas, la gestión adaptativa inmersa en los procesos de la GIRH ayuda a mejorar la seguridad hídrica del nivel nacional al local; la seguridad hídrica debe ser vista como la meta de la GIRH; no se puede gestionar lo que no se puede medir y por tanto la medición de la seguridad hídrica es fundamental para aumentarla; los parámetros de aceptación varían de país a país con la realidad regional.

De acuerdo a lo señalado, la tarea de alcanzar una mayor seguridad hídrica supone responder no sólo a los riesgos que se observan en la actualidad, sino en forma muy importante en dar respuestas adecuadas a los nuevos desafíos que presenta el sector. Los principales retos a vencer para alcanzar la seguridad hídrica se manifiestan en la escasez de agua, la contaminación de los cuerpos de agua, los efectos adversos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos (inundaciones y sequías), los crecientes conflictos por el agua y el deterioro ambiental de cuencas y acuíferos. Los factores principales que inducen o incrementan estos riesgos para la seguridad hídrica son los procesos demográficos, la creciente demanda de alimentos, tanto por crecimiento demográfico como por cambios en la dieta, la demanda de agua para producción de energía, los efectos del cambio climático y la deficiente gestión del agua. (Martínez - Austria P., 2013).

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 17 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

Una sociedad segura es la que tiene un sistema de gestión y la infraestructura capaces de mantener en un nivel aceptable los riesgos actuales y dispone de la capacidad de adaptación para atender los riesgos del futuro. El concepto de Seguridad Hídrica ha tenido un amplio uso a nivel global asociado a otros objetivos críticos para el desarrollo de la humanidad, como son los de seguridad alimentaria y seguridad energética. Al respecto, los informes a la Conferencia Internacional: “Nexos entre Seguridad Hídrica, energética y alimentaria. Soluciones para la Economía Verde” (Hoff H., 2015), organizada por el Gobierno de Alemania como una contribución a la Conferencia de Naciones Unidas sobre Desarrollo Sustentable de Río de Janeiro (2012), y otros documentos de foros y agencias internacionales (World Economic Forum (WEF), 2011), (FAO, 2011), (Bellfield H. , 2015) han puesto en evidencia las interrelaciones que existen entre dichos objetivos. Por una parte comparten los desafíos y restricciones que imponen temas tales como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico, la urbanización, la globalización económica, el cambio climático, entre otros y, por otra, presentan la necesidad de gestionar con una visión integrada las externalidades que se generan entre los sectores y las oportunidades de obtener beneficios compartidos.

La gestión del recurso hídrico, el desarrollo de la agricultura de riego y el desarrollo de los biocombustibles, son temas que requieren visiones integradas para controlar los impactos negativos y potenciar sus beneficios para una mejor seguridad hídrica, alimentaria y energética. Es importante tener presente que el desafío de la seguridad hídrica, también tiene diferencias significativas con los otros dos. Mientras que en relación con la alimentación y la energía existen mercados globales que, en general, inciden directamente en el acceso a dichos bienes, en el caso del agua inevitablemente el acceso depende de los factores locales, como son las demandas de agua y las fuentes de abastecimiento ubicadas en el entorno geográfico, teniendo el comercio mundial solo un papel indirecto (Peña H., 2016).

Al tener la Seguridad Hídrica una compleja y estrecha relación con las políticas económicas y otras políticas sectoriales, los niveles de riesgo debieran corresponder a un balance entre diversos objetivos de política, con el propósito de que una mayor seguridad en una de ellas no implique una reducción inaceptable en otras (Peña H., 2016).

Ningún país puede cumplir sus objetivos de desarrollo si no mejora la manera en que sus recursos hídricos son gestionados. El agua corre por todas las venas de toda la economía y de la sociedad. Los principales usuarios del recurso (energía, agricultura e industria) deben hacer un uso más eficiente del agua, adoptando nuevas tecnologías y prácticas inteligentes: reducir, reciclar y reutilizar (Global Water Partnership, 2012).

Reunir los conocimientos a través del prisma de la seguridad hídrica nos ayudará a diseñar soluciones de colaboración” (Dr. Mohamed Ait Kadi, Presidente del Comité

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 18 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

Técnico de GWP). Para superar los grandes y complejos desafíos en materia de agua, es primordial sumar voluntades, capacidades y recursos; así como cambiar la forma tradicional de relacionarnos con ella, es decir, no seguirla viendo como un recurso inagotable, sino como un bien escaso y costoso que es necesario administrar responsablemente (PNH, 2014).

2.1.2 Metodologías identificadas para obtener los índices de seguridad hídrica

El concepto de seguridad hídrica ha tenido una amplia aceptación como una forma para identificar los objetivos de la gestión del agua. El desarrollo de una metodología para evaluarla permitiría definir áreas con problemas, evaluar el impacto de las medidas de mejoramiento y permitirá comparar la situación con los diversos subsectores relacionados con el tema. A lo largo del tiempo y de acuerdo a las necesidades del sector se han desarrollado diversas metodologías con sus respectivos indicadores, para conocer o establecer la seguridad hídrica que guarda un continente, o región o país o una zona en particular (Peña H., 2016). Se identificaron varias metodologías internacionales y nacionales para medir la seguridad hídrica. A continuación se describen brevemente.

2.1.2.1 Metodología aplicada en la región Asia Pacífico

En la región Asia Pacífico (AWDO, 2013) se propuso medir en forma integral la seguridad hídrica, sobre la base de cinco dimensiones orientadas a medir:

- La satisfacción a nivel de los hogares las necesidades de abastecimiento de agua potable y saneamiento
- La capacidad de abastecer y obtener beneficio productivo del agua utilizada en el desarrollo de la agricultura, minería, industria y energía
- El apoyo de los servicios relacionados al agua al mejoramiento de la calidad de vida en ciudades y pueblos
- La capacidad de los cuerpos de agua de mantener sus servicios ambientales.
- La capacidad para hacer frente y recuperarse de los impactos de los desastres relacionados con el agua

Cada dimensión fue cuantificada mediante dos a cuatro indicadores, los cuales generan un valor representativo de cada una de ellas y, en conjunto, de la seguridad hídrica. En algunos casos se subdividieron los indicadores, debido a la complejidad y amplitud que presentaron éstos. Algunos de los indicadores que se emplearon fueron:

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 19 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

- Calidad de los servicios de agua potable y saneamiento (% de población urbana con servicio de agua potable, % de aguas servidas con tratamiento, etc.).
- Condición ambiental de los ríos
- Incidencia de enfermedades relacionadas con el agua
- Pérdida de años de vida por discapacidad
- Generación de electricidad expresada en %
- Pérdidas económicas por habitante debido a inundaciones, entre muchos otros.

2.1.2.2 Metodología (Mason N. and Roger C., 2012)

Estos autores plantearon un análisis sistemático de los temas que se relacionan con la seguridad hídrica, con el fin de establecer una metodología que refleje la situación y los avances de países en la materia. La propuesta sugiere agrupar los temas en torno a cinco ideas:




- Capacidad efectiva de acceder a recursos hídricos
- Gestión de la variabilidad y el riesgo
- Satisfacción de las necesidades humanas, incluidas las relativas a la producción
- Atención de los requerimientos ambientales
- Gestión de la competencia y el conflicto en relación con el aprovechamiento de los recursos hídricos.

Tomando como base las ideas anteriores proponen indicadores que utilizan bases de datos existentes a nivel internacional.

2.1.2.3 Metodología (Van Beek E. y Arriens W. L., 2014)

Proponen una metodología que depende de los temas y problemas relevantes de cada zona de estudio, y establecen un esquema de cuatro etapas:

- Identificación de la visión y de las metas que se pretenden alcanzar con el sistema de gestión de recursos hídricos
- Determinación las dimensiones que resultan críticas para la seguridad hídrica, en la realidad particular que se evalúa
- Identificación de los indicadores que informen acerca de las distintas dimensiones, considerando la información que está disponible o el posible uso de procedimientos de cuantificación alternativos, asignándoles un peso que refleje su importancia en la dimensión respectiva.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 20 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

- Asegurar que los indicadores reflejen los elementos centrales de una gestión integrada de los recursos hídricos (equidad social, sustentabilidad ambiental y eficiencia económica).

2.1.2.4 Metodología (Ait-Kadi M. y Lincklaen A. W., 2016)

Plantean que los indicadores para poder establecer una seguridad hídrica deben estar sustentados en tres dimensiones, que a su vez se subdividen en temas, los cuales pueden ser empleados para establecer los indicadores, conforme a lo siguiente:

a) Dimensiones sociales

- Asegurar el acceso equitativo a los servicios y recursos hídricos mediante políticas y marcos legales robustos a todos los niveles
- Construir resiliencia en las comunidades para enfrentar eventos hídricos extremos mediante medidas duras y suaves

b) Dimensiones ambientales

- Gestionar el agua de modo más sostenible como parte de economías verdes
- Restaurar los servicios eco sistémicos en las cuencas fluviales para mejorar la salud de los ríos

c) Dimensiones económicas

- Aumentar la productividad y conservación hídrica en todos los sectores usuarios de agua
- Compartir los beneficios económicos, sociales y ambientales de los ríos, lagos y acuíferos transfronterizos

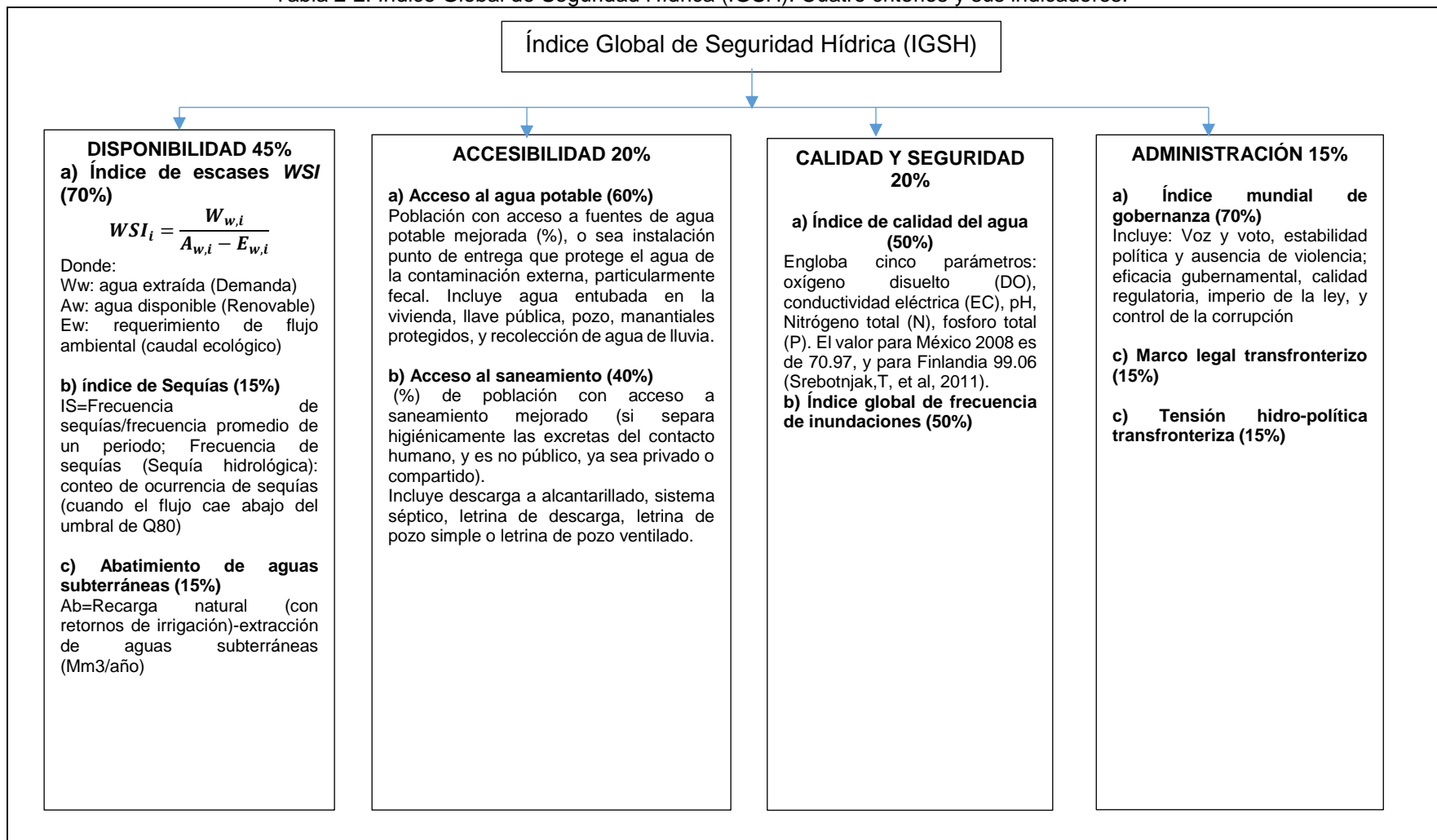
2.1.2.5 Metodología (Animesh, K. G. et al, 2016)

Animesh Gain et al. propusieron y aplicaron a nivel mundial el Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH) para medir la seguridad hídrica según el objetivo 6 de los 17 objetivos globales para Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017) “Garantizar la *disponibilidad* de agua y su *gestión* sostenible y el *saneamiento* para todos. El IGSH está en función de los siguientes cuatro criterios: Disponibilidad, Accesibilidad a los servicios, Seguridad y calidad, y Administración. Ver en la Tabla 2-1 la definición de criterios e indicadores con fuentes de información. Ver en la Tabla 2-2 sus alcances y ponderados. El índice propuesto se calculó agregando valores del indicador sobre la base de pixel por pixel, usando el método de ordenado pesado promedio, a nivel mundial. Ver también en la Ilustración 2-1 el mapa con los resultados de la aplicación mundial del IGSH.

Tabla 2-1. Definición de indicadores del índice global de seguridad hídrica con fuentes de datos.
Fuente (Animesh, K. G. et al, 2016).

Criterio de seguridad hídrica	Indicadores	Escala espacial y temporal	Definición, noción y fuente de datos
Disponibilidad	Índice de escasez de agua (WSI)	Resolución espacial 0.5°; valores medios mensuales del 2010	WSI es definido como la relación entre el agua total retirada y la disponibilidad. Fuente (Wada, Y.; Wisser, D.; Berkens, F. P., 2014)
	Índice de sequía (DI)	Resolución espacial 0.5°; valor anual del 2012	El DI fue calculado usando el modelo hidrológico PCR-GLOBWB. Fuente (wada, Y. et al, 2013)
	Agotamiento de acuíferos	Resolución espacial 0.5°; valor anual del 2010	Fue calculado usando el modelo hidrológico PCR-GLOBWB. Fuente (Wada, 2012)
Accesibilidad a los servicios	Acceso al saneamiento	Datos con escala país del 2014	Porcentaje de la población con acceso al saneamiento. Fuente (Hsu, A. et al, 2014)
	Acceso a agua potable	Datos con escala país del 2014	Porcentaje de la población con acceso a agua potable. Fuente (Hsu, A. et al, 2014)
Seguridad y calidad	Índice de calidad de agua	Datos con escala del país del 2012	Fuente: (Srebotnjak, T. et al, 2012)
	Índice de frecuencia de inundación	Frecuencia de inundaciones con escala país de 1985-2003	Fuente: Center for H et al/2005
Administración	Índice de gobernanza mundial	Datos con escala país del 2010	Fuente: (Kaufmann et al, 2010)
	Marco jurídico transfronterizo	Datos con escala de cuenca para 2015	Fuente: http://twap-rivers.org/indicators/
	Tensión política transfronteriza	Datos con escala de cuenca para 2015	Fuente: http://twap-rivers.org/indicators/

Tabla 2-2. Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH): Cuatro criterios y sus indicadores.



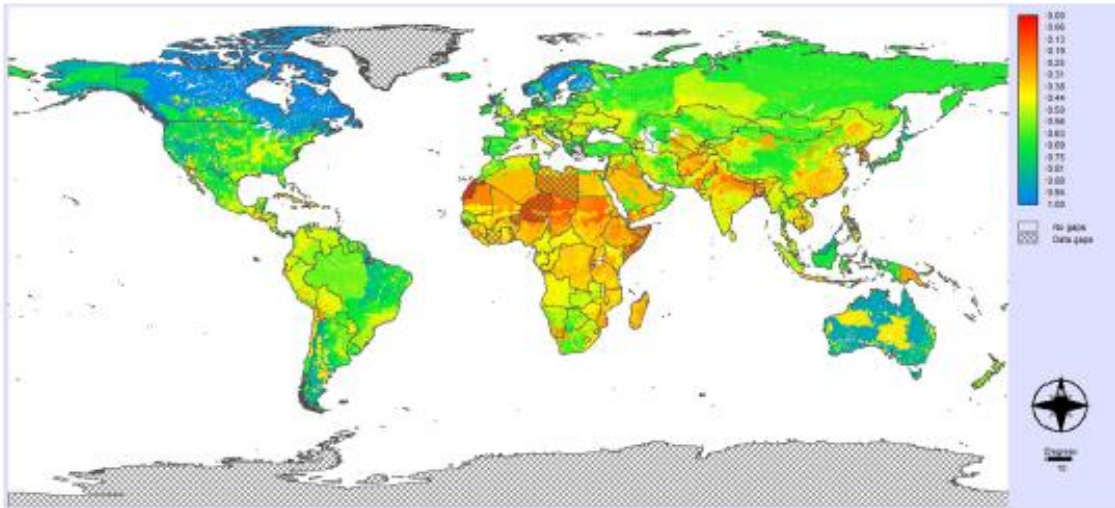


Ilustración 2-1. Índice Global de Seguridad Hídrica agregado, calculado mediante la agregación de los índices de disponibilidad de agua, accesibilidad, seguridad y calidad, y administración. Los valores “0-1” (con los colores rojo a azul continuos) representan “baja a alta” seguridad. Las áreas sombreadas representan países con lagunas de datos. Fuente (Gain, K. A. et al, 2016).

2.1.2.6 Metodología del Índice de Desarrollo Ambiental (Environmental Performance Index EPI)

Esta es una metodología más amplia, propuesta por la Universidad de Yale, basada en dos grandes componentes: la salud ambiental y la vitalidad de los ecosistemas (Hsu, A. et al, 2014), ambos con un peso del 50%, que se integran a su vez por varios indicadores, como se indica a continuación:

Salud ambiental (50%:

- a) Impactos en la salud (33%)
- b) Calidad del aire (33%)
- c) Agua y saneamiento (33%)

Vitalidad de ecosistemas (50%):

- a) Recursos hídricos (25%)
- b) Agricultura (10%)
- c) Bosques (10%)
- d) Pesca (5%)
- e) Biodiversidad y hábitat (25%)
- f) Clima y energía (25%)

2.1.2.7 Metodología del Programa Nacional Hídrico (PNH)

La metodología de indicadores del Programa Nacional Hídrico (PNH) 2014-2018, está basada en un diagnóstico de la situación nacional, de sus objetivos, estrategias y líneas de acción, como se muestra en la Ilustración 2-2.






Ilustración 2-2. Objetivos del PNH en Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018.

Incluye los indicadores siguientes, entre los que se encuentran dos índices:

- 1) Índice Global de Sustentabilidad Hídrica (IGSH)
- 2) Decretos de reserva de agua para uso ambiental formulados
- 3) Población y superficie productiva protegida contra inundaciones
- 4) Programas de manejo de sequías elaborados y aprobados por consejos de cuenca
- 5) Índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA)
- 6) Influencia del desarrollo tecnológico del sector hídrico en la toma de decisiones
- 7) Productividad del agua en distritos de riego (kg/m^3)
- 8) Proyectos de cooperación internacional atendidos

Cada indicador incluye una ficha con el número del indicador, objetivo, descripción general, observaciones (con las componentes de cada indicador y su método de cálculo), periodicidad, fuentes de datos para su aplicación, referencias adicionales, y línea base, y meta 2018. En ese sentido la definición y cálculo de los indicadores

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 25 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

es clara. Sin embargo, se observa que estos ocho indicadores no convergen en un solo índice que dé una visión global de la situación del país, de cada estado y de cada municipio.

2.1.2.8 Metodología del PNH con propuesta de modificación IMTA

La metodología del PNH fue analizada por la Coordinación de Hidrología del IMTA, resultando en la opción de un sólo Índice de Seguridad y Sustentabilidad Hídrica, que fue puesta a consideración de la CONAGUA, ya se argumenta que la anterior contiene dos índices en lugar de uno.

Esta propuesta incluye:

- Indicador GIRH (Presión hídrica)
- Indicador de Seguridad Hídrica (Factor de riesgo ante eventos hidrometeorológicos)
- Indicador de Sustentabilidad Hídrica (Índice global de acceso a los servicios básicos de agua)
- Indicador de Sustentabilidad Hídrica (Ecosistemas conservados; Incrementar la disponibilidad de agua para actividades económicas)

2.1.2.9 Metodología probabilística del índice de seguridad

En términos probabilísticos, la seguridad es el complemento a 1 del riesgo, es decir:

$$\text{Seguridad} = 1 - \text{Riesgo} \qquad \text{Ecuación 1}$$




A su vez, se han encontrado varias definiciones del riesgo, como:

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} \times \text{Amenaza} \qquad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Riesgo} = \text{Peligro} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición} \qquad \text{Ecuación 3}$$

El concepto de Vulnerabilidad Hídrica está bien desarrollado y evaluado por el IMTA. Se tienen el “Atlas de vulnerabilidad hídrica de México 2015 ante el cambio climático”, que llega a nivel municipal, el “Proyecto de Índices de vulnerabilidad ante la sequía 2015”, y otros documentos.

Ya que se tiene la vulnerabilidad, solo falta evaluar la amenaza, para obtener el riesgo, y luego la seguridad por la Ecuación (1). En un esquema de este tipo, los indicadores a manejar en principio podrían ser los mismos para los cuales el IMTA ya tiene valorada la vulnerabilidad.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 26 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

2.1.2.10 Comentarios a las metodologías de índices de seguridad

De las nueve metodologías descritas, siete coinciden en general con los criterios y componentes a considerar en su evaluación, unas más amplias que otras. En ninguna se indica de manera específica su aplicación a nivel municipal. La metodología del índice de desarrollo ambiental EPI incluye además calidad del aire, clima y energía, biodiversidad y hábitat, pesca y bosques. La metodología probabilística, tiene un enfoque diferente de las demás.

Algunos comentarios son los siguientes:




- En la metodología del PNH, aunque es amplia y clara en su aplicación, como ya se observó, no convergen sus ocho indicadores, dos de ellos índices, en un solo indicador que dé una visión global de la situación del país, de cada estado y de cada municipio. No acota o define su aplicación en su escala espacial. Asimismo, y por ejemplo el índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA), con dos componentes (acceso a los servicios de agua potable (IAAP), y acceso a los servicios de saneamiento (IAS)) y nueve variables (cobertura de agua potable, cobertura urbana de agua potable, cobertura rural de agua potable, agua desinfectada, cobertura de alcantarillado, cobertura urbana de alcantarillado, cobertura rural de alcantarillado, eficiencia de recolección de agua residual generada, y cobertura de tratamiento de agua residuales municipales) pareciera muy completo. Sin embargo, actualmente en los distintos organismos internacionales se está hablando de servicios mejorados de agua potable y saneamiento, en donde el agua se protege de la contaminación externa, particularmente fecal. Para que eso pueda ser se requiere entre otras cosas, presión continua en las redes de distribución, lo cual en pocas ciudades sucede. Eso de momento no lo evalúa el IGASA, pero se puede proponer, junto con otros ajustes que sean necesarios, para su mejora. Se observa que se mezclan indicadores de desempeño con indicadores que miden el avance en procesos y actividades. Por ejemplo en el índice global de sustentabilidad: número de sitios superficiales de medición de calidad del agua (proceso), y porcentaje de sitios de monitoreo con buena y excelente calidad del agua respecto al DBO₅ (desempeño). Ver Ilustración 2-3. En general el planteamiento es bueno pero tiene algunas oportunidades de mejora.

Ficha del indicador

Indicador	1. Índice Global de Sustentabilidad Hídrica (IGSH)
Objetivo	Objetivo 1. Fortalecer la gestión integrada y sustentable del agua.
Descripción general	Este índice mide la forma en que se realiza la gestión de los recursos hídricos para lograr la sustentabilidad en las cuencas y acuíferos del país y garantizar la seguridad hídrica. Toma en cuenta la cantidad de agua de que se dispone y la que se consume por los diferentes tipos de usuarios, la calidad del agua y la administración de los recursos hídricos.
Observaciones	<p>Este índice considera cuatro componentes que integran 18 variables:</p> <p>Grado de presión sobre los recursos hídricos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grado de presión sobre el agua superficial por uso agrícola (%). • Grado de presión sobre el agua superficial por uso en abastecimiento público-urbano (%). • Grado de presión sobre el agua superficial por los usos en la industria autoabastecida y termoeléctricas (%). • Grado de presión sobre el agua subterránea por uso agrícola (%). • Grado de presión sobre el agua subterránea por uso en abastecimiento público-urbano (%). • Grado de presión sobre el agua subterránea por los usos en la industria autoabastecida y termoeléctricas (%). <p>Medición del ciclo hidrológico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Número de estaciones hidrométricas en operación. • Número de estaciones climatológicas operando. • Número de sitios superficiales de medición de la calidad del agua. • Porcentaje de sitios de medición con información completa de los indicadores de calidad del agua superficial. <p>Calidad del agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de sitios de monitoreo con buena y excelente calidad del agua respecto a DBO₅. • Porcentaje de sitios de monitoreo con buena y excelente calidad del agua respecto a DQO. • Porcentaje de sitios de monitoreo con buena y excelente calidad del agua respecto a SST.

Ilustración 2-3. Índice global de sustentabilidad hídrica del PNH.

- La metodología del EPI, que sí establece los servicios mejorados de agua potable y saneamiento, es de momento muy amplia. Estaría fuera de los alcances de lo que se está buscando a nivel municipal. Sin embargo es muy completa.
- La metodología del Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH) de (Gain, K. A. et al, 2016) se aplicó a nivel mundial, incluyendo México en sus diferentes regiones, pixel por pixel, con resolución en escala espacial 0.5° para los indicadores de disponibilidad. Está bien soportada en sus fuentes de información y métodos de normalización, pesado y agregación. Siempre se puede considerar algún indicador adicional, o eliminar alguno de los que

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 28 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

incluye. Sin embargo, al igual que en el caso de sistemas de abastecimiento de agua potable, donde cualquier discusión sobre pérdidas debe ser precedida de una clara definición de los componentes del balance de agua, con una terminología común internacional, en el caso de la seguridad hídrica también es útil seguir un estándar, para fines de benchmarking y de colaboración internacional. El IGSH tiene la ventaja de que fue desarrollada para medir la seguridad hídrica según el objetivo 6 de los 17 objetivos globales para Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU O. d., 2017).

2.2 Definición de los índices de seguridad hídrica municipal

El objetivo de esta actividad es definir los índices de seguridad hídrica municipal a desarrollar en el proyecto. Esto con base en la revisión del estado del arte, considerando la disponibilidad del recurso, la accesibilidad a fuentes de agua seguras, seguridad y calidad del servicio, y de gestión del agua.

A partir de las nueve metodologías descritas en el capítulo anterior, el grupo de trabajo que conforma este proyecto analizó y decidió trabajar los siguientes índices:

1. Generar el índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA) del PNH de todos los municipios del país para el año 2016, con la metodología del PNH y con datos de la CONAGUA.
2. Establecer el índice de vulnerabilidad a la sequía en todos los municipios del país, de acuerdo al Monitor de Sequía en México (MSM) que maneja el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la CONAGUA.
3. Determinar los abatimientos de aguas subterráneas con métodos indirectos, como el experimento de recuperación de gravedad y clima (GRACE) y otras fuentes de información.
4. Determinar la vulnerabilidad social por municipio de acuerdo a diferentes métodos.
5. Construir un Indicador Municipal de seguridad Hídrica, con base en la metodología probabilística.
6. Determinar a nivel estatal el Índice Global de Seguridad Hídrica (Animesh, K. G. et al, 2016) con datos disponibles oficiales, principalmente de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), así como los internacionales necesarios
7. Proponer un Indicador de Gestión del Agua, con base en información oficial disponible

2.3 Recopilación y análisis de información

El planteamiento inicial de recopilación de información, mediante formatos, solicitudes, llamadas de campo, visitas de campo y demás, no fue necesario, ya que en realidad la información existente está disponible en las páginas WEB de las dependencias oficiales e instituciones y organismos nacionales e internacionales generadores de dicha información. Información de disponibilidad, esto es agua renovable per cápita, y concesión de agua superficial y subterránea está disponible sólo a nivel estatal. La disgregación a municipal es la que habría gestionar o determinar.

En la Tabla 2-3 se muestran las fuentes de información de cada uno de los indicadores definidos.

Tabla 2-3. Fuentes de información de indicadores definidos

No.	Indicador o índice	Fuentes de información
1	Valores 2016 del Índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA) para todos los municipios del país	Datos de agua y saneamiento se obtuvieron de la CONAGUA, de su página web, tiene información de la situación del subsector de agua potable, Drenaje y Saneamiento del año 2015
2	Índice de vulnerabilidad a la sequía en todos los municipios del país	Los datos históricos de sequías se obtuvieron de la página web del servicio meteorológico nacional (SMN), en base al monitor de sequía.
3	Abatimientos de aguas subterráneas con métodos indirectos	El experimento de recuperación de gravedad y clima (GRACE; por sus siglas en inglés) es orientado al monitoreo mensual de las variaciones temporales de la gravedad, que son asociadas a los movimientos de masa en la superficie de la tierra. Los resultados de las anomalías de gravedad, permiten obtener el valor total del almacenamiento de agua (TWS), que representa la contribución del agua contenida su fase solida (hielo, nieve); líquida, en superficie (ríos, cuerpos de agua); líquida en el suelo (primero dos metros de la superficie de la Tierra) y agua subterránea.

No.	Indicador o índice	Fuentes de información
4	Vulnerabilidad social	Para los criterios de vulnerabilidad social se tiene la información del INEGI del año 2010
5	Índice Municipal de Seguridad Hídrica	Para los criterios de vulnerabilidad social se tiene la información del INEGI del año 2010, para el peligro se utilizaron datos del experimento de recuperación de gravedad y clima (GRACE, sobre abatimiento de agua),
6	Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH) a nivel estatal (Animesh, K. G. et al, 2016).	<p>Para los criterios de Disponibilidad, Accesibilidad, y Calidad y Seguridad, se utilizan datos 2015 de la Comisión Nacional del Agua: Estadísticas del Agua en México, edición 2016; Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)/Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) / Volúmenes Inscritos (Estatal)-Gráfica: Volumen concesionado para usos consuntivos por fuente de extracción (2015); El peligro de sequía como indicador de seguridad hídrica (Gaucín, David); Sistema Nacional de Información del Agua (SINA): Reporte Acuíferos 2015 (Estatal); Situación del subsector agua Potable, Drenaje y Saneamiento, Edición 2016; Declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos (nacional).</p> <p>Para el de Administración, datos 2015: Worldwide Governance Indicators-Natural Resource Governance Institute (NRGI); UNEP, UNEP-DHI Transboundary River Basins: Status and Trends. United Nations Environment Programme.</p>
7	Indicador de Gestión del Agua	Información de la CONAGUA,

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 31 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 32 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

3 ÍNDICES DE LA SEGURIDAD HÍDRICA

Está implícito en los resultados que a continuación se describen, el desarrollo de un sistema de información geográfica (SIG) para mostrar gráfica y tubularmente la aplicación de los índices.

Se presenta un resumen con resultados de cada uno de los indicadores desarrollados. Los informes completos de cada uno de ellos se pueden consultar en los anexos digitales de este documento.

3.1 Índices de Gestión del Agua

3.1.1 Regiones hidrológicas administrativas para (RHA) para la gestión del agua

Para fines de administración y preservación de las aguas nacionales, a partir de 1997 el país se ha dividido en trece RHA, las cuales están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos. Los límites de las RHA respetan los municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), órgano administrativo, normativo, técnico y consultivo encargado de la gestión del agua en México, desempeña sus funciones a través de trece organismos de cuenca, cuyo ámbito de competencia son las RHA (ver Ilustración 3-1 e Ilustración 3-2).

Los municipios que conforman cada una de esas RHA se indican en el Acuerdo de Circunscripción Territorial de los Organismos de Cuenca publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de abril de 2010. Por otra parte, la CONAGUA cuenta con veinte direcciones locales en las entidades federativas en las que no se encuentran las sedes de los organismos de cuenca, (CONAGUA, 2016).

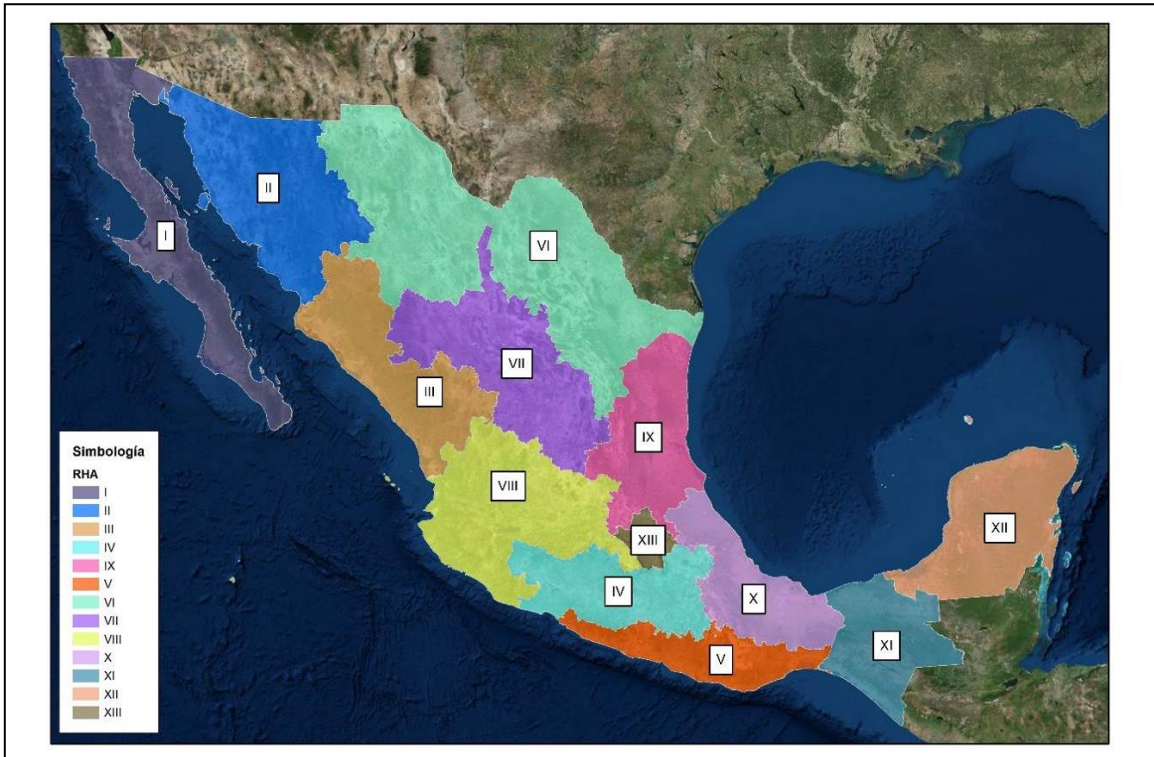


Ilustración 3-1. Regiones hidrológico-administrativas
Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2016)



Ilustración 3-2 Regiones hidrológico-administrativas por nombre
Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2016).

3.1.2 Contraste regional entre desarrollo y agua renovable (AR)

Los valores agregados nacionales como población, agua renovable (AR) o PIB, encubren la gran diversidad regional de nuestro país. Se presentan variaciones importantes entre las características regionales. Al agruparse las regiones hidrológico-administrativas V, X, XI y XII, que se encuentran en el sureste del país, se pueden contrastar con las regiones restantes.

Las regiones del sureste presentan dos terceras partes del agua renovable en el país, con una quinta parte de la población que aporta la quinta parte del PIB nacional. Las regiones del norte, centro y noroeste cuentan con una tercera parte del agua renovable en el país, cuatro quintas partes de la población y de la aportación regional al PIB nacional. Considerando el agua renovable per cápita, la disponible en las regiones del sureste es siete veces mayor que la disponible en el resto de las regiones hidrológico-administrativas de nuestro país. (CONAGUA, 2016).

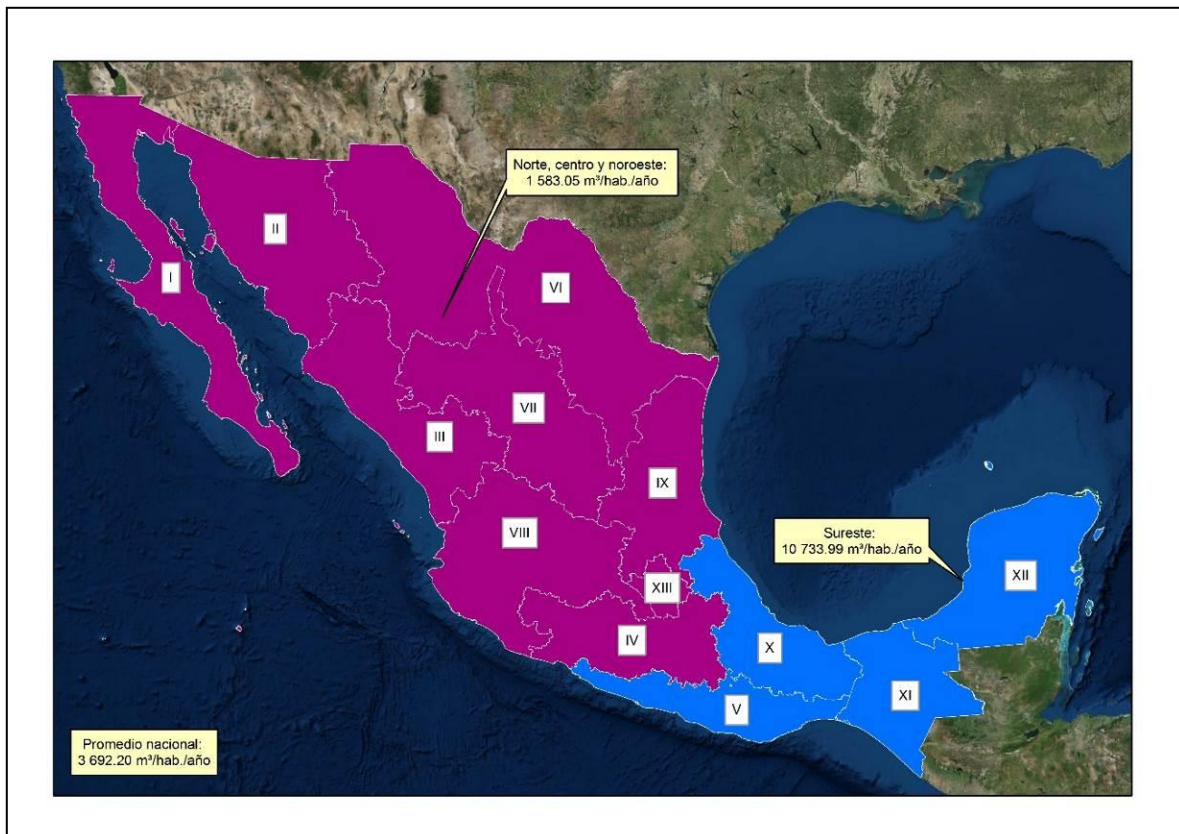


Ilustración 3-3 Agua renovable per cápita, 2015
 Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2016).

3.1.3 Cuencas y acuíferos del país

En el ciclo hidrológico, una proporción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por corrientes y cuerpos de agua siguiendo la conformación del terreno, constituyendo las aguas superficiales; o bien se infiltra al subsuelo como agua subterránea. Las cuencas son unidades naturales del terreno, definidas por la existencia de una división de las aguas superficiales debida a la conformación del relieve.

Para propósitos de administración de las aguas nacionales, la CONAGUA ha definido 731 cuencas hidrológicas, ver Ilustración 3-4. Al 31 de diciembre del 2015 se tenían publicadas las disponibilidades de 731 cuencas hidrológicas, conforme a la norma NOM-011-CONAGUA-2000, de las cuales 627 se encontraban en situación de disponibilidad.

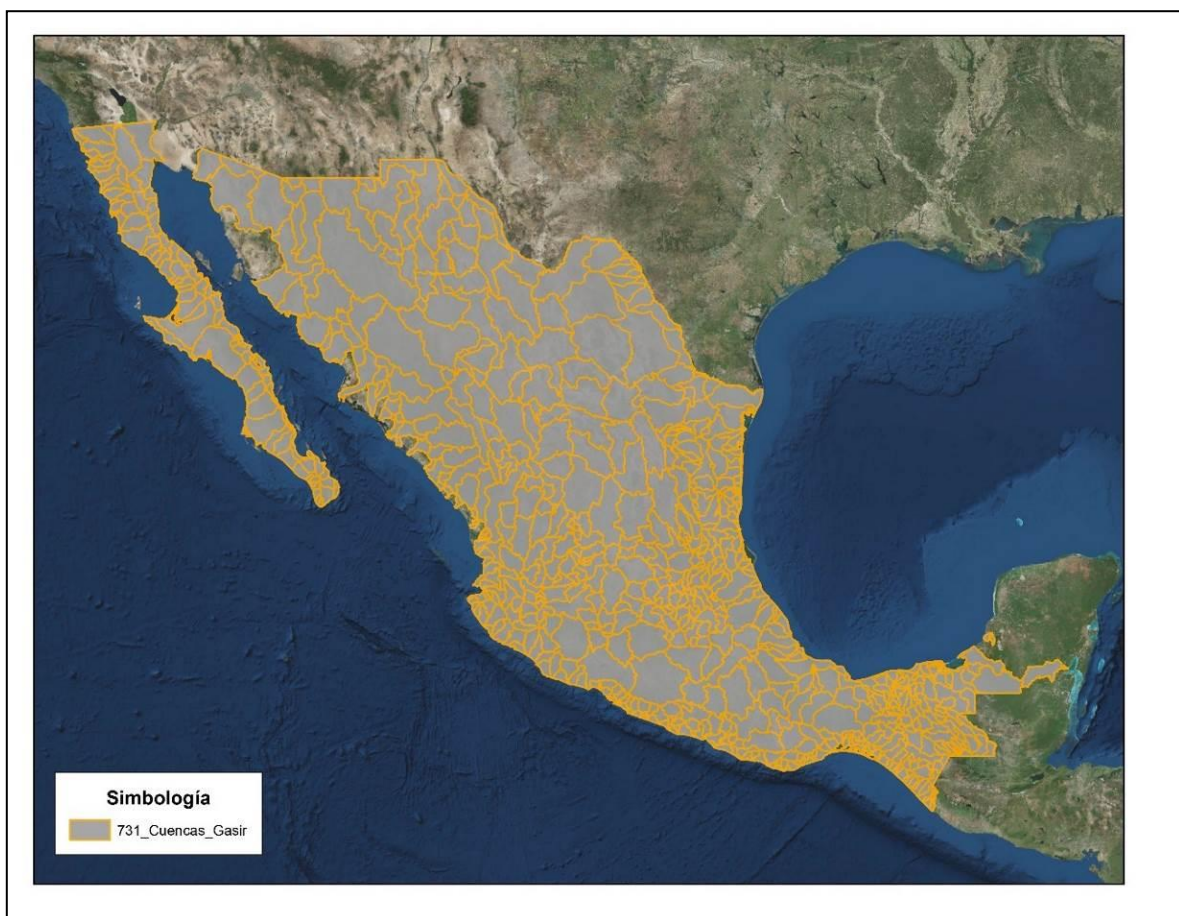


Ilustración 3-4 731 cuencas hidrológicas
 Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2016).

Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas que se muestran en la Ilustración 3-5, y a su vez se agrupan en las 13 regiones hidrológico-administrativas (RHA).



Ilustración 3-5 Regiones hidrológicas

Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2016).

Tabla 3-1 Regiones hidrológicas

Núm.	Nombre	Núm.	Nombre
1	B.C. Noroeste	20	Costa Chica de Guerrero
2	B.C. Centro-Oeste	21	Costa de Oaxaca
3	B.C. Suroeste	22	Tehuantepec
4	B.C. Noreste	23	Costa de Chiapas
5	B.C. Centro-Este	24	Bravo-Conchos
6	B.C. Sureste	25	San Fernando Soto La Mar.
7	Rio Colorado	26	Panuco
8	Sonora Norte	27	Norte de Veracruz
9	Sonora Sur	28	Papaloapan
10	Sinaloa	29	Coatzacoalcos
11	Presidio-San Pedro	30	Grijalva-Usumacinta
12	Lerma-Santiago	31	Yucatán Oeste
13	Huicicila	32	Yucatán Norte
14	Rio Ameca	33	Yucatán Este
15	Costa de Jalisco	34	Cuencas Cerradas del Nte.
16	Armería-Coahuayana	35	Mapimí
17	Costa de Michoacán	36	Nazas-Aguanaval
18	Balsas	37	El Salado
19	Costa Grande de Guerrero		

Fuente: (CONAGUA 2016b)

En lo que se refiere a las aguas subterráneas, el país está dividido en 653 acuíferos. La denominación de los acuíferos se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 5 de diciembre de 2001.

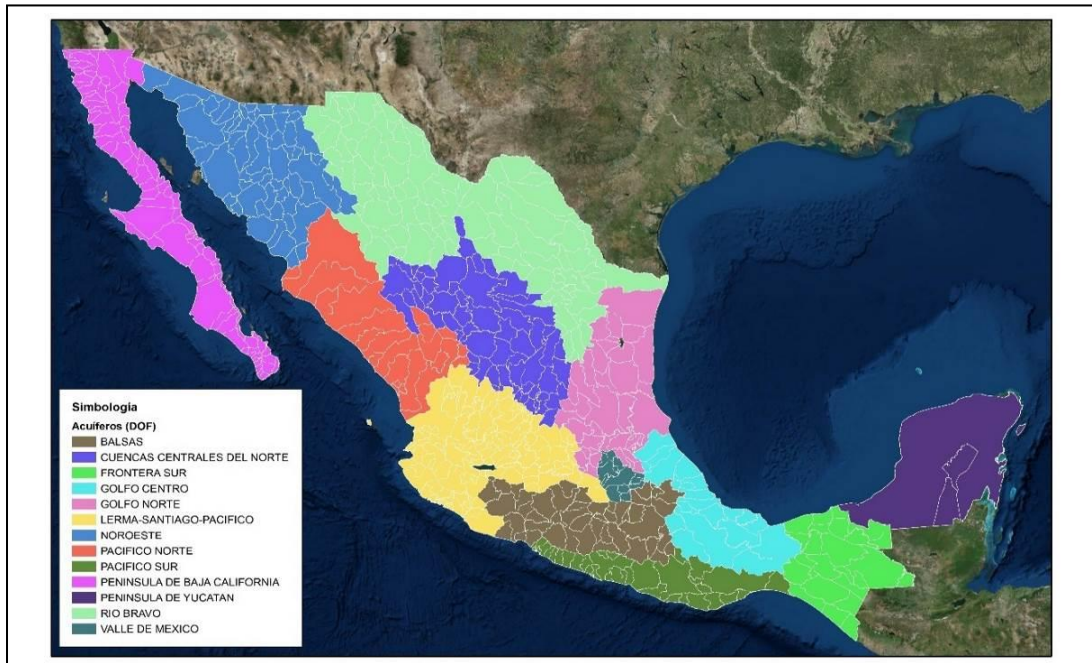


Ilustración 3-6 Acuíferos por Región hidrológico-administrativa
 Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2016).

Tabla 3-2 Información de acuíferos

Número de RHA	Número de acuíferos				Recarga media (hm³)
	Total	Sobreexplotado	Con intrusión marina	Bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres	
I	88	14	11	5	1 658
II	62	10	5		3 207
III	24	2			3 076
IV	45	1			4 873
V	36				1 936
VI	102	18		8	5 935
VII	65	23		18	2 376
VIII	128	32			9 656
IX	40	1			4 108
X	22				4 599
XI	23				22 718
XII	4		2	1	25 316
XIII	14	4			2 330
Total	653	105	18	32	91 788

Fuente: (CONAGUA, 2016).

3.1.4 Agua renovable

Anualmente México recibe aproximadamente 1 449 471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación. De esta agua, se estima que el 72.5% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 21.2% escurre por los ríos o arroyos, y el 6.3% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos.

Tomando en cuenta los flujos de salida (exportaciones) y de entrada (importaciones) de agua con los países vecinos, el país cuenta anualmente con 446 777 millones de metros cúbicos de agua dulce renovable.

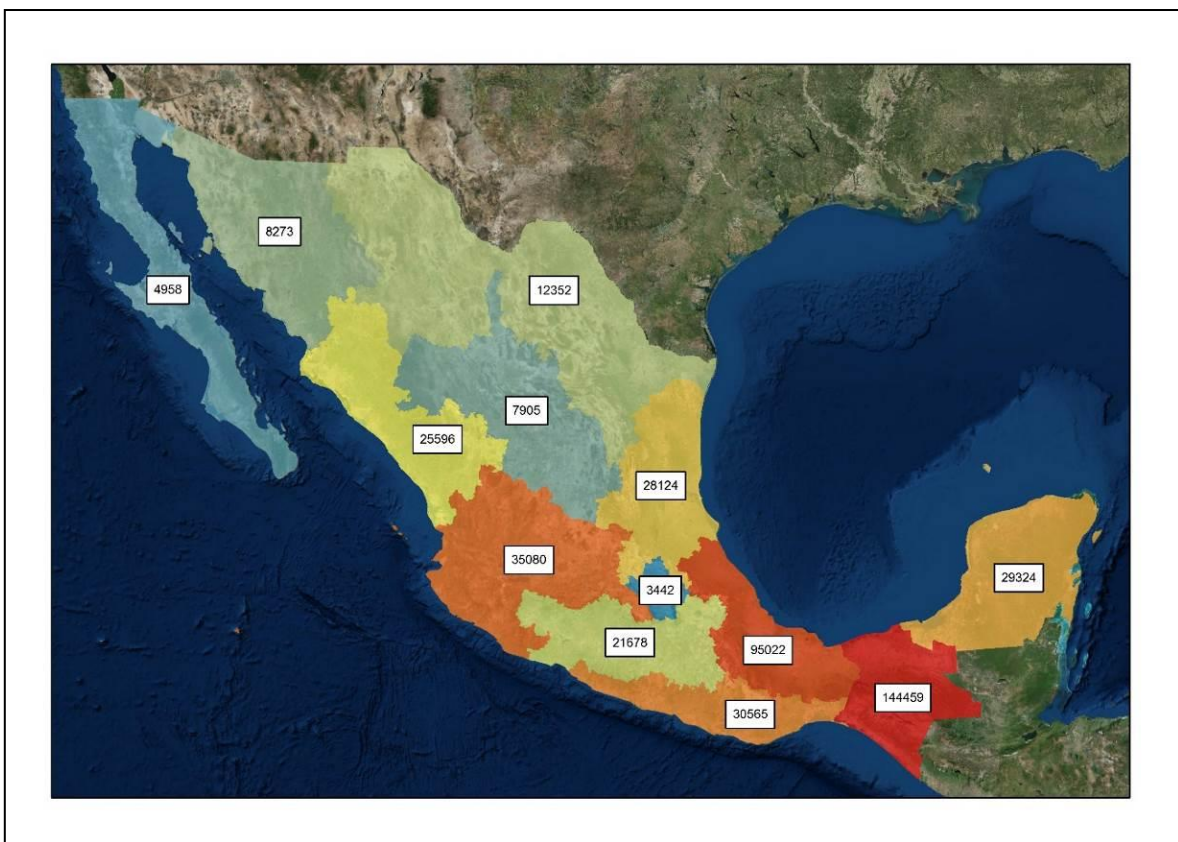


Ilustración 3-7 Agua renovable (hm³/año)
 Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2016)

Los flujos de entrada representan el volumen de agua que escurre hacia nuestro país, generado en las cuencas transfronterizas que comparte México con sus países vecinos (Estados Unidos de América, Guatemala y Belice). Los flujos de salida representan el volumen de agua que México debe entregar a Estados Unidos de América conforme al “Tratado de Aguas” de 1944.

El agua renovable se debe analizar desde tres perspectivas:

- **Distribución temporal:** en México existen grandes variaciones del agua renovable a lo largo del año. La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco.
- **Distribución espacial:** en algunas regiones del país ocurre precipitación abundante y existe una baja densidad de población, mientras que en otras sucede lo contrario.
- **Área de análisis:** la problemática del agua y su atención es predominantemente de tipo local. Los indicadores calculados a gran escala esconden las fuertes variaciones que existen a lo largo y ancho del país.

En algunas RHA como en la I Península de Baja California, VI Río Bravo, VIII Lerma-Santiago-Pacífico y XIII Aguas del Valle de México, el valor del agua renovable per cápita es preocupantemente bajo.

El agua renovable per cápita se estima al 2015 en 3,692 m³/hab/día.

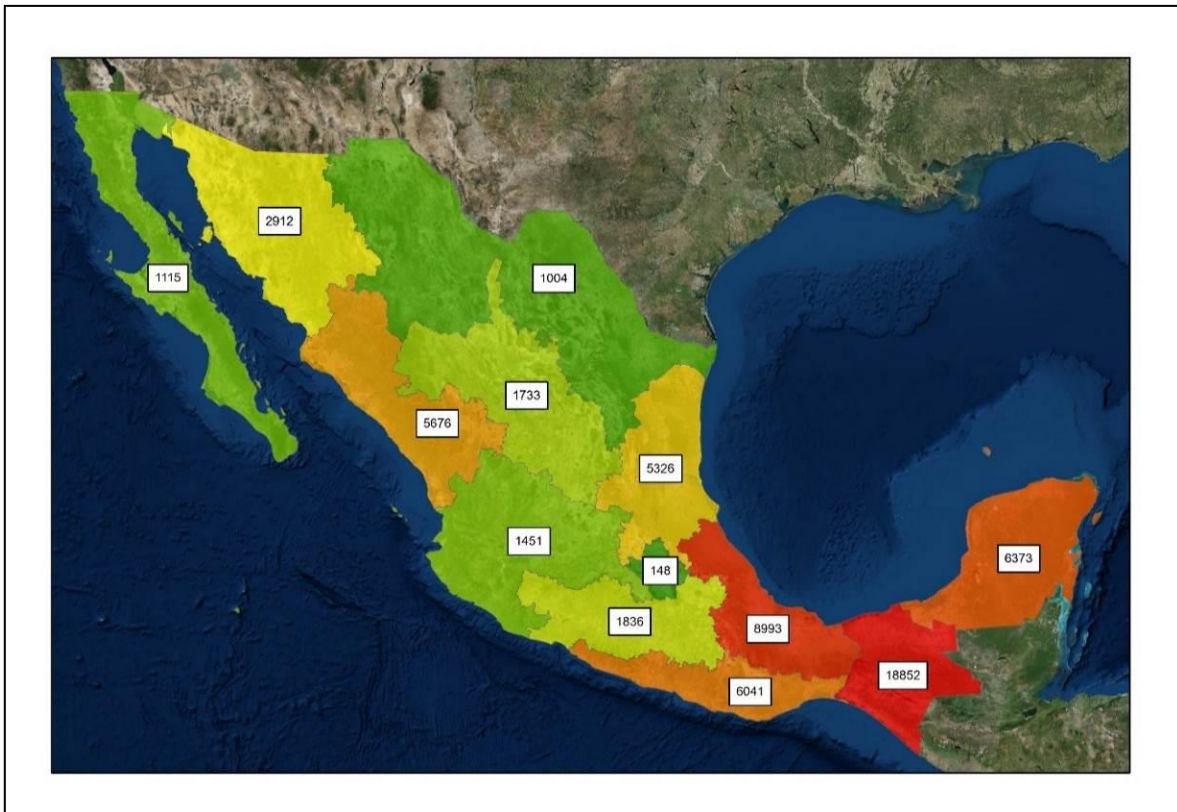


Ilustración 3-8 Agua renovable per cápita (m³/hab/año)
 Fuente: Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2016).

3.1.5 Precipitación pluvial

La precipitación normal del país en el periodo de 1981-2010 fue de 740 milímetros. Los valores normales, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM), corresponden a los promedios calculados para un periodo uniforme y relativamente largo, el cual debe tener como mínimo 30 años de recabar información, lo cual se considera como un periodo climatológico mínimo representativo. Además, dicho periodo deberá iniciar el 1° de enero de un año que termine en uno y finalice el 31 de diciembre de un año que termine en cero.

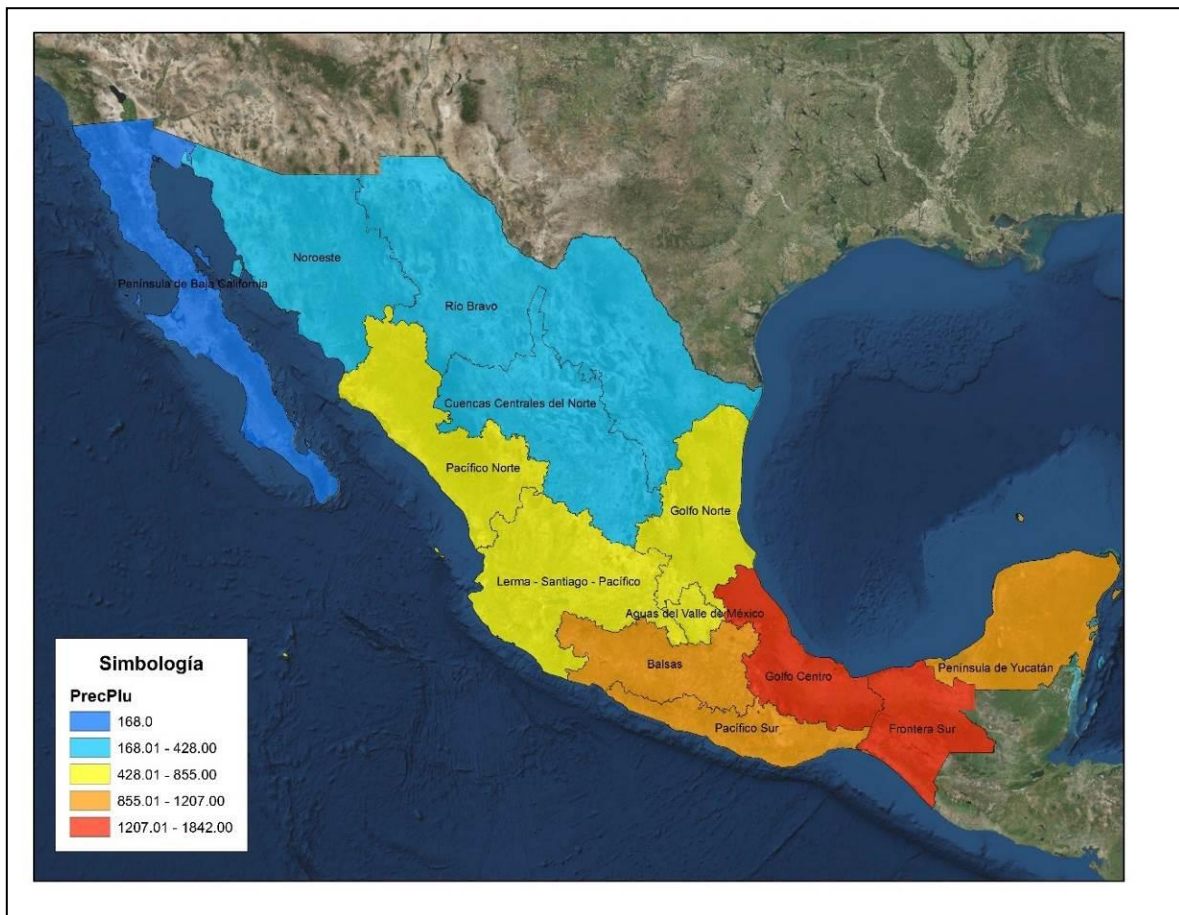


Ilustración 3-9 Precipitación pluvial
Fuente: (CONAGUA 2016f)

3.1.6 Aguas superficiales

Los ríos y arroyos del país constituyen una red hidrográfica de 633 mil kilómetros de longitud, en la que destacan cincuenta y un ríos principales por los que luye el 87% del escurrimiento superficial del país y cuyas cuencas cubren el 65% de la superficie territorial continental del país. Por su superficie destacan las cuencas de los ríos Bravo y Balsas, y por longitud destacan los ríos Bravo y Grijalva-Usumacinta. Los ríos Lerma y Nazas-Aguanaval pertenecen a la vertiente interior. La Tabla 3-3 describe el volumen anual promedio superficial registrado al 2016 en hm³, por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).

Tabla 3-3 Volumen anual de escurrimiento superficial por regiones hidrológica

Núm.	Nombre	hm ³	Núm.	Nombre	hm ³
1	B.C. Noroeste	159.12	20	Costa Chica de Guerrero	10,632.57
2	B.C. Centro-Oeste	4.14	21	Costa de Oaxaca	24.96
3	B.C. Suroeste	15.59	22	Tehuantepec	926.08
4	B.C. Noreste	0.09	23	Costa de Chiapas	1,272.87
5	B.C. Centro-Este	2.06	24	Bravo-Conchos	6925.5
6	B.C. Sureste	16.7	25	San Fernando Soto La Mar.	1,-398.06
7	Rio Colorado	221.92	26	Panuco	5,280.86
8	Sonora Norte	56.82	27	Norte de Veracruz	6,518.2
9	Sonora Sur	6,321.39	28	Papaloapan	22,419.6
10	Sinaloa	11,851.53	29	Coatzacoalcos	280.36
11	Presidio-San Pedro	2,529.64	30	Grijalva-Usumacinta	62,205.41
12	Lerma-Santiago	24,249.62	31	Yucatán Oeste	2.63
13	Huicicila	143.82	32	Yucatán Norte	0.01
14	Rio Ameca	217.04	33	Yucatán Este	1
15	Costa de Jalisco	1,112.37	34	Cuencas Cerradas del Nte.	96.06
16	Armería-Coahuayana	1,369.57	35	Mapimí	35.72
17	Costa de Michoacán	66.36	36	Nazas-Aguanaval	115.55
18	Balsas	40,712.76	37	El Salado	51.06
19	Costa Grande de Guerrero	212.96			

3.1.7 Aguas subterráneas

Las aguas subterráneas desempeñan un papel de creciente importancia en el crecimiento socioeconómico del país, gracias a sus características físicas que les permiten ser aprovechadas de manera versátil, pues funcionan como presas de almacenamiento y red de distribución, siendo posible extraer agua en cualquier época del año de prácticamente cualquier punto de la superficie del acuífero. Funcionan además como filtros purificadores, preservando la calidad del agua.

La Tabla 3-4 describe el volumen anual promedio subterráneo registrado al 2016 en hm³, por el Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).

Tabla 3-4 Volumen anual de agua subterránea por regiones hidrológica

Núm.	Nombre	hm ³	Núm.	Nombre	hm ³
1	B.C. Noroeste	436.9	20	Costa Chica de Guerrero	286.45
2	B.C. Centro-Oeste	48.78	21	Costa de Oaxaca	39.5
3	B.C. Suroeste	214.69	22	Tehuantepec	40.37
4	B.C. Noreste	34.98	23	Costa de Chiapas	335.91
5	B.C. Centro-Este	14.9	24	Bravo-Conchos	2,330.57
6	B.C. Sureste	112.05	25	San Fernando Soto La Mar.	392.83
7	Rio Colorado	662.62	26	Panuco	3,150.99
8	Sonora Norte	427.98	27	Norte de Veracruz	105.52
9	Sonora Sur	1,534.1	28	Papaloapan	1,308.46
10	Sinaloa	573.09	29	Coatzacoalcos	140.49
11	Presidio-San Pedro	510.51	30	Grijalva-Usumacinta	608.45
12	Lerma-Santiago	6,378.17	31	Yucatán Oeste	840.55
13	Huicicila	110.42	32	Yucatán Norte	2,829.68
14	Rio Ameca	426.28	33	Yucatán Este	372.35
15	Costa de Jalisco	241.78	34	Cuencas Cerradas del Nte.	1,541.21
16	Armería-Coahuayana	839.06	35	Mapimí	165.79
17	Costa de Michoacán	23.78	36	Nazas-Aguanaval	1,214.08
18	Balsas	1,878.22	37	El Salado	1,377.19
19	Costa Grande de Guerrero	165.51			

3.1.8 Administración del Agua

Para medir la eficiencia de la administración del agua, se debe considerar los principales usos del agua en México: En México, durante el 2015; 76.3% del agua se utilizó en la agricultura; 14.6%, en el abastecimiento público; 4.8%, en las termoeléctricas y 4.3%, en la industria autoabastecida.

Por lo tanto, es importante considerar dichos rubros y cuáles son sus indicadores de desempeño.

3.1.8.1 Presas registradas

Las presas en México se encuentran a cargo de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), donde se administra y regula el uso y distribución del agua (ver Tabla 3-5).

Tabla 3-5 Principales presas del país

Núm.	Clave SGT	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad al NAMO (hm ³)	AÑO	RHA	Usos
1	693	Dr. Belisario Domínguez	La Angostura	12 762	1978	Frontera Sur	G
2	1453	Infiernillo	Infiernillo	12 500	1964	Balsas	G, C
3	706	Netzahualcóyotl	Malpaso Raudales	10 596	1964	Frontera Sur	G, I, C
4	2754	Presidente Miguel Alemán	Temascal	8 119	1955	Golfo Centro	G, I, C
5	2516	Aguamilpa Solidaridad	Aguamilpa	5 540	1993	Lerma-Santiago-Pacífico	G, I
6	345	Internacional La Amistad	La Amistad	4 378	1968	Río Bravo	G, I, A, C
7	3440	Internacional Falcón	Falcón	3 912	1953	Río Bravo	A, C, G
8	3617	General Vicente Guerrero Consumador de la Independencia Nacional	Las Adjuntas	3 910	1971	Golfo Norte	I, A
9	3148	Adolfo López Mateos	El Humaya o Varejonal	3 086	1964	Pacífico Norte	G, I
10	3243	Álvaro Obregón	El Oviachic	2 989	1952	Noroeste	G, I, A
11	3320	Plutarco Elías Calles	El Novillo	2 963	1964	Noroeste	G, I
12	3218	Miguel Hidalgo y Costilla	El Mahone	2 921	1956	Pacífico Norte	G, I
13	3216	Luis Donaldo Colosio	Huites	2 908	1995	Pacífico Norte	G, I
14	750	La Boquilla	Lago Toronto	2 894	1916	Río Bravo	I, G
15	1084	Lázaro Cárdenas	El Palmito	2 873	1946	Cuencas Centrales del Norte	I, C
16	2742	Miguel de la Madrid	Cerro de Oro	2 600	1988	Golfo Centro	I
17	2538	Leonardo Rodríguez Alcaíne	El Cajón	2 282	2006	Lerma-Santiago-Pacífico	G
18	3210	José López Portillo	El Comedero	2 250	1981	Pacífico Norte	G, I
19	3203	Gustavo Díaz Ordaz	Bacurato	1 860	1981	Pacífico Norte	G, I
20	1463	Ing. Carlos Ramírez Ulloa	El Caracol	1 739	1986	Balsas	G
21	701	Manuel Moreno Torres	Chicoasén	1 632	1980	Frontera Sur	G

Núm.	Clave SGT	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad al NAMO (hm ³)	AÑO	RHA	Usos
22	2689	Cuchillo-Solidaridad	El Cuchillo	1 123	1994	Río Bravo	A, I
23	3241	Adolfo Ruiz Cortines	Mocúzari	1 114	1955	Noroeste	G, I, A
24	688	Ángel Albino Corzo	Peñitas	1 091	1987	Frontera Sur	G
25	3490	Ing. Marte R. Gómez	El Azúcar	995	1946	Río Bravo	I
26	2708	Presidente Benito Juárez	El Marqués	964	1961	Pacífico Sur	I
27	1679	Ing. Fernando Hiriart Balderrama	Zimapán	930	1990	Golfo Norte	G
28	1436	Solís	Solís	870	1949	Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
29	3302	Lázaro Cárdenas	La Angostura	864	1942	Noroeste	I, A
30	3229	Sanalona	Sanalona	845	1948	Pacífico Norte	G, I, A
31	494	Venustiano Carranza	Don Martín	614	1930	Río Bravo	I, A, C
32	3557	Estudiante Ramiro Caballero Dorantes	Las Ánimas	571	1976	Golfo Norte	I
33	3211	Josefa Ortiz de Domínguez	El Sabino	514	1967	Pacífico Norte	I
34	1710	Cajón de Peña	Tomatlán o El Tule	511	1976	Lerma-Santiago-Pacífico	I, A
35	2257	José María Morelos	La Villita	510	1968	Balsas	G, I
36	3693	Chicayán	Paso de Piedras	468	1977	Golfo Norte	I
37	2206	Constitución de Apatzingán	Chilatán	450	1989	Balsas	I, C
38	813	Francisco I. Madero	Las Vírgenes	425	1949	Río Bravo	I, C
39	3154	Ing. Aurelio Benassini Viscaño	El Salto o Elota	415	1988	Pacífico Norte	I, C
40	1477	El Gallo	El Gallo	410	1998	Balsas	I
41	2826	Manuel Ávila Camacho	Valsequillo, o Balcón del Diablo	400	1946	Balsas	I
42	2126	Valle de Bravo	Valle de Bravo	391	1947	Balsas	A
43	49	Plutarco Elías Calles	Calles	340	1931	Lerma-Santiago-Pacífico	I
44	2382	Tepuxtepec	Tepuxtepec	323	1930	Lerma-Santiago-Pacífico	G, I
45	5056	Picachos	Picachos	322	2008	Pacífico Norte	C, I, A
46	1045	Francisco Zarcob	Las Tórtolas	309	1968	Cuencas Centrales del Norte	C, I
47	825	Ing. Luis L. León	El Granero	309	1968	Río Bravo	I, C
48	3202	Ing. Guillermo Blake Aguilar	El Sabinal	300	1985	Pacífico Norte	C, I
49	2631	José López Portillo	Cerro Prieto	300	1984	Río Bravo	A, I
50	1328	Laguna de Yuriria	Yuriria	288	1550	Lerma-Santiago-Pacífico	I
51	1825	Manuel M. Diéguez	Santa Rosa	258	1964	Lerma-Santiago-Pacífico	G
52	1035	Federalismo Mexicano	San Gabriel	255	1981	Río Bravo	I, A, C
54	1507	Vicente Guerrero	Palos Altos	250	1968	Balsas	I
53	1782	General Ramón Corona Madrigal	Trigomil	250	1993	Lerma-Santiago-Pacífico	I
55	3478	Presidente Lic. Emilio Portes Gil	San Lorenzo	231	1983	Golfo Norte	I
57	2167	El Bosque	El Bosque	220	1951	Balsas	A, C
56	4365	Trojes Solidaridad	Trojes	220	1980	Lerma-Santiago-Pacífico	I

Núm.	Clave SGT	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad al NAMO (hm ³)	AÑO	RHA	Usos
58	3239	Abelardo L. Rodríguez	Hermosillo	220	1948	Noroeste	I, A, C
60	3662	Canseco	Laguna de Catemaco	200	1960	Golfo Centro	G
59	2286	Melchor Ocampo	El Rosario	200	1975	Jerma-Santiago-Pacífico	I
61	1583	Endhó	Endhó	182	1951	Valle de México	I, C
62	2136	Villa Victoria	Villa Victoria	177	1944	Balsas	A
64	1315	Ignacio Allende	La Begoña	150	1968	Jerma-Santiago-Pacífico	I, C
63	3308	Ing. Rodolfo Félix Valdéz	El Molinito	150	1991	Noroeste	I, C
65	1926	Tacotán	Tacotán	149	1958	Jerma-Santiago-Pacífico	I, C
66	1702	Basilio Vadillo	Las Piedras	146	1976	Jerma-Santiago-Pacífico	I
67	3747	El Chique	El Chique	140	1992	Jerma-Santiago-Pacífico	I
68	917	El Tintero	El Tintero	138	1949	Río Bravo	I, C
69	1499	Revolución Mexicana	El Guineo	127	1984	Pacífico Sur	I, C
70	2011	Huapango	Huapango	122	1780	Golfo Norte	I
71	3790	Gobernador Leobardo Reynoso	Trujillo	118	1949	Cuencas Centrales del Norte	I
72	3197	Lic. Eustaquio Buelna	Guamúchil	113	1972	Pacífico Norte	I, A, C
73	1365	La Purísima	La Purísima	110	1979	Jerma-Santiago-Pacífico	I, C
74	1459	Andrés Figueroa	Las Garzas	103	1984	Balsas	I
75	711	Juan Sabines	El Portillo II o Cuxquepeques	100	1982	Frontera Sur	I
76	1203	Santiago Bayacora	Bayacora	100	1988	Pacífico Norte	I
77	237	Abelardo L. Rodríguez	Rodríguez o Tijuana	92	1937	Península de Baja California	A, C
78	836	Las Lajas	Las Lajas	90	1964	Río Bravo	I, C
79	5133	Derivadora Las Blancas	Las Blancas	90	2000	Río Bravo	I, C
80	731	Abraham González	Guadalupe	85	1961	Noroeste	I, C
81	1887	El Salto	El Salto	85	1993	Jerma-Santiago-Pacífico	A
82	2202	Cointzio	Cointzio	85	1939	Jerma-Santiago-Pacífico	I, A
83	1057	Presidente Guadalupe Victoria	El Tunal	81	1962	Pacífico Norte	I
84	3807	Miguel Alemán	Excamé	81	1949	Jerma-Santiago-Pacífico	I, G, C
85	1800	Ing. Elías González Chávez	Puente Calderón	80	1991	Jerma-Santiago-Pacífico	A
86	1040	Francisco Villa	El Bosque	79	1968	Pacífico Norte	I
87	2886	Constitución de 1917	Presa Hidalgo	70	1969	Golfo Norte	I
88	2113	San Andrés Tepetitlán	Tepetitlán	68	1964	Jerma-Santiago-Pacífico	I
89	2931	San Ildefonso	El Tepozán	68	1942	Golfo Norte	I
90	3267	Cuauhtémoc	Santa Teresa	62	1950	Noroeste	I
91	2359	San Juanico	La Laguna	60	1950	Balsas	I, C
92	1478	Hermenegildo Galeana	Ixtapilla	58	1970	Balsas	I
93	2005	Guadalupe	Guadalupe	57	1983	Valle de México	I

Núm.	Clave SGT	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad al NAMO (hm ³)	AÑO	RHA	Usos
94	4677	Ing. Juan Guerrero Alcocer	Vinoramas	55	1994	Pacífico Norte	I, A, C
95	3562	República Española	Real Viejo o El Sombrero	55	1974	Golfo Norte	I
96	3639	San José Atlanga	Atlanga	55	1959	Balsas	I
97	1639	Requena	Requena	53	1922	Valle de México	I
98	4531	Ing. Guillermo Lugo Sanabria	La Pólvara	52	1988	Lerma-Santiago-Pacífico	I
99	1664	Taxhimay	Taxhimay	51	1912	Valle de México	I
101	2408	Zicuirán	La Peña	50	1957	Balsas	I
100	867	Pico del Águila	Pico del Águila	50	1993	Río Bravo	I
102	1255	El Barrial	El Barrial	49	1981	Lerma-Santiago-Pacífico	I
103	2782	Yosocuta	San Marcos Arteaga	47	1969	Balsas	I, A
104	1166	San Bartolo	Santa Lucía	46	1926	Pacífico Norte	I
105	2847	La Soledad	Apulco Mazatepec	46	1962	Golfo Centro	G
106	1850	El Carrizo	El Carrizo	45	2008	Lerma-Santiago-Pacífico	I
107	4763	Prof. y Gral. Alberto Carrera Torres	Real de Borbón	45	1983	Golfo Norte	I
109	981	Caboraca	Canoas	45	1992	Pacífico Norte	I
108	381	La Fragua	La Fragua	45	1991	Río Bravo	I
110	1918	Ing. Santiago Camarena	La Vega	44	1956	Lerma-Santiago-Pacífico	I
111	1666	La Laguna	Tejocotal	44	1913	Golfo Centro	G
112	4559	Guaracha	San Antonio	43	1913	Lerma-Santiago-Pacífico	I
113	3027	Ponciano Arriaga	Las Lajillas o La Laguna del Mante	42	1965	Golfo Norte	I, A
114	4758	La Patria es Primero	Las Alazanas	40	1971	Golfo Norte	I
115	1304	La Gavia	La Gavia	6	1980	Lerma-Santiago-Pacífico	C
116	4604	Corral de Palmas	Rompepicos	0	2004	Río Bravo	C

Total, Capacidad 127,372.89 Hm, Fuente: Estadísticas del Agua en México. CONAGUA 2012.

3.1.8.2 Distritos y unidades de riego existentes

“El riego es fundamental para la alimentación mundial. De la superficie cultivada, sólo el 19% tiene infraestructura de riego, sin embargo, produce más del 40% de los cultivos del mundo (FAO, 2011). En los últimos años la agricultura ha utilizado mayor cantidad de agroquímicos, que han derivado en la contaminación de suelos y acuíferos. La prospectiva es que al 2050, la agricultura necesitará incrementar su producción 60% a nivel global, y 100% más en países en desarrollo, lo que difícilmente podrá lograrse con las tendencias actuales de crecimiento de uso e ineficiencia (WWAP, 2015). México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en superficie con infraestructura de riego, mientras que en los primeros lugares están China, India, y los Estados Unidos de América” (CONAGUA, 2016).

Tabla 3-6 Distritos y unidades de riego existentes

Región hidrológica-administrativa		Número de DR	Superficie total (ha)	Usuarios	Superficie física regada, año agrícola 2009/10 (ha)	Volumen distribuido (hm ³)
No	Nombre					
I	Península de Baja California	7	466,590	34,861	405,611	4,215
II	Noroeste	10	860,112	89,184	776,608	8,239
III	Pacífico Norte	9	199,373	56,835	162,790	2,464
IV	Balsas	11	230,558	17,803	93,027	770
V	Pacífico Sur	5	73,343	10,191	33,703	507
VI	Río Bravo	13	469,468	32,467	202,972	1,894
VII	Cuencas Centrales del Norte	1	71,964	33,387	48,386	793
VIII	Lerma Santiago Pacífico	13	450,034	71,301	281,707	2,995
IX	Golfo Norte	2	41,805	6,483	29,556	554
X	Golfo Centro	4	36,250	6,923	27,476	347
XI	Frontera Sur	2	17,785	4,988	14,505	85
XII	Península de Yucatán	7	122,174	67,932	87,047	1,430
XIII	Valle de México	2	245,693	18,593	222,309	2,523
Total		86	3,285,149	450,948	2,385,697	26,816

Fuente: Estadísticas del Agua en México. (CONAGUA, 2016).

3.1.8.3 Volumen concesionado por tipo de uso

A diciembre de 2015, se contaba con 486 896 títulos de concesión o asignación de aguas nacionales inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua (Repda), que corresponden a un volumen concesionado de 85 664 millones de metros cúbicos (hm³) de usos consuntivos y 180 895 hm³ de usos no consuntivos. (CONAGUA, 2016).

Tabla 3-5 Títulos de concesión o asignación por tipo de uso

Usos agrupados	Número de títulos	Porcentaje
Agrícola	312,053	64.09%
Abastecimiento publico	144,832	29.75%
Industria autoabastecida	29,804	6.12%
Termoeléctricas	55	0.01%
Subtotal usos consuntivos	486,744	99.97%
Conservación ecológica (uso no consuntivo)	1	0.00%
Hidroeléctricas (uso no consuntivo)	151	0.03%
Total	486,896	100.00%

Fuente: Conagua (2016c).

Estadísticas del Agua en México, edición 2016

En México se concentra una gran cantidad de agua superficial en el sur, sureste del país, pero el mayor volumen concesionado se concentra en el noroeste. Otro factor a considerar, es el tipo de fuente de extracción, mismo que puede ser de origen subterráneo o superficial.

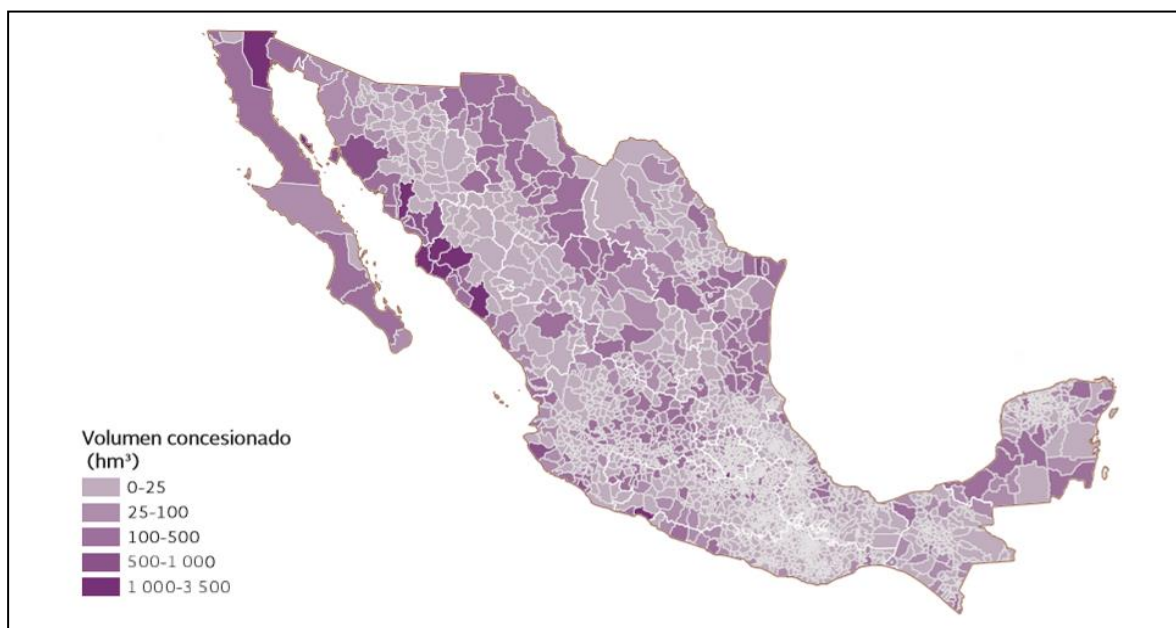


Ilustración 3-10 Intensidad de usos consuntivos por municipio, 2015
 Fuente: Estadísticas del Agua en México. (CONAGUA, 2016).

Tabla 3-6. Volumen concesionado por tipo de uso.

Cv e	Entidad Federativa	Volumen concesionado (hm ³)	Agrícola	Abastecimiento Público	Industria autoabastecida	Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad
1	Aguascalientes	622.3	478.5	127.1	15.7	-
2	Baja California	3,049.2	2,587.5	187.5	82.8	191.5
3	Baja California Sur	422.3	339.3	64.8	13.9	4.3
4	Campeche	1,201.9	1,030.4	143.9	23.9	3.6
5	Coahuila de Zaragoza	2,038.9	1,648.4	239.7	75.9	74.9
6	Colima	1,792.6	1,668.6	97.3	26.7	-
7	Chiapas	1,970.7	1,541.4	389.0	40.3	-
8	Chihuahua	5,159.8	4,588.8	489.8	53.7	27.5
9	Distrito Federal	1,122.6	1.2	1,089.6	31.8	-
10	Durango	1,565.3	1,366.5	170.5	16.8	11.5
11	Guanajuato	4,094.6	3,454.2	547.2	72.6	20.5
12	Guerrero	4,428.7	900.5	384.2	21.9	3,122.1
13	Hidalgo	2,370.8	2,093.2	162.9	32.1	82.6
14	Jalisco	4,985.2	3,712.0	1,061.8	211.3	0.1
15	México	2,744.1	1,173.3	1,358.4	181.8	30.6
16	Michoacán de Ocampo	5,436.8	4,792.1	373.1	223.6	47.9
17	Morelos	1,313.5	986.2	279.3	48.0	-
18	Nayarit	1,332.8	1,110.8	115.8	406.2	-
19	Nuevo León	2,068.9	1,473.3	511.9	83.5	0.2
20	Oaxaca	1,322.4	1,021.3	266.3	34.9	-
21	Puebla	2,122.8	1,614.2	428.2	73.9	6.5
22	Querétaro	1,010.2	640.4	304.9	59.1	5.7
23	Quintana Roo	1,014.9	277.1	212.4	525.3	-
24	San Luis Potosí	2,058.8	1,337.9	655.1	34.7	31.0
25	Sinaloa	9,542.1	8,989.9	509.2	43.0	-
26	Sonora	7,027.1	6,130.6	770.3	109.7	16.5
27	Tabasco	496.2	224.6	183.8	87.8	-
28	Tamaulipas	4,215.1	2,710.0	334.9	114.9	55.5
29	Tlaxcala	269.5	162.8	89.5	17.1	-
30	Veracruz de Ignacio de la Llave	5,287.0	3,232.8	551.3	1,095.2	407.8
31	Yucatán	1,983.4	1,673.2	255.8	45.3	9.1
32	Zacatecas	1,593.6	1,397.3	124.3	72.0	-
Total		85,664.1	64,358.3	12,479.8	3,975.4	4,149.4

Fuente: Estadísticas del Agua en México. (CONAGUA, 2016).

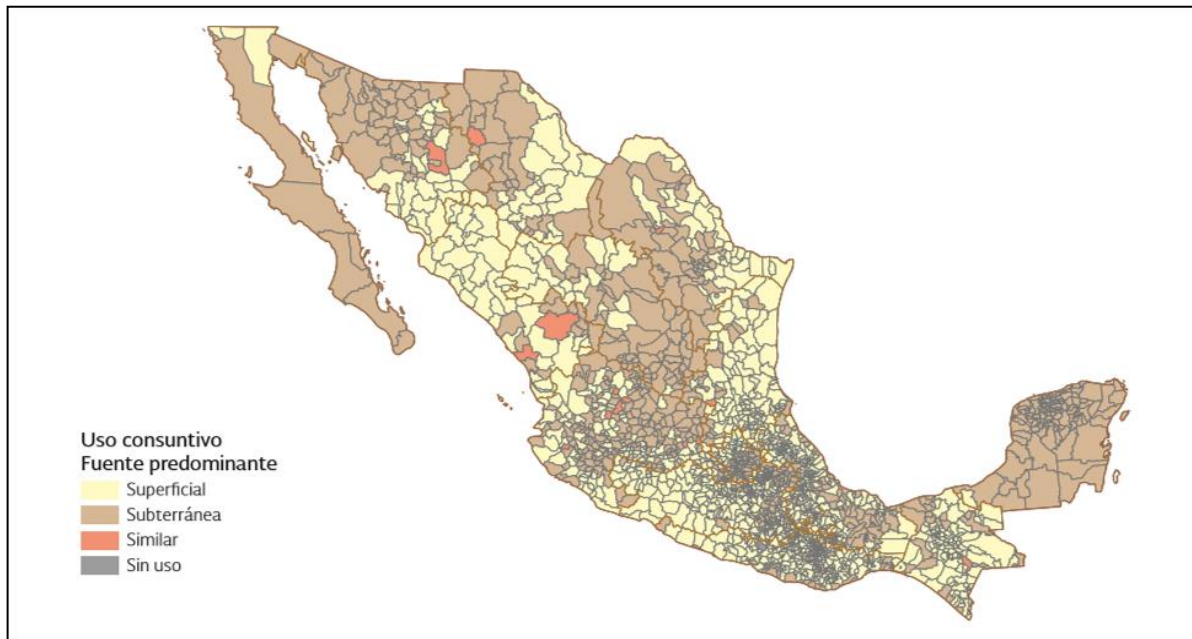


Ilustración 3-11 Fuente predominante por usos consuntivos por municipio, 2015
Fuente: Estadísticas del Agua en México. (CONAGUA, 2016).

3.2 Índice global de acceso a los servicios básicos de agua (IGASA) para todos los municipios del país

El cálculo del IGASA se realizó por municipio y la información se presenta para cada uno de los Estados que conforman el país. Así, para obtener el IGASA primero se deben obtener el IAAP y el IAS, para calcular el primero se utilizó:

1. El número de habitantes por municipio
2. El número de habitantes con servicio público de agua

El segundo es dividido entre el primero, y así se obtiene el IAAP. Los valores van de 0 a 1.

El IAS está conformado por dos parámetros, uno es la red de drenaje y el otros es el tratamiento de las aguas residuales generadas. El primero utilizó la siguiente información:

1. El número de habitantes por municipio
2. Número de habitantes con red pública de Drenaje

El segundo es dividido entre el primero y los valores van de 0 a 1.

En el anexo 1, se presentan las tablas e ilustraciones por municipio de los cálculos realizados con los pasos anteriores.

Para el cálculo de segundo indicador se utilizó la siguiente información:

1. El número de habitantes por municipio

2. Dotación de agua por habitante día
3. Generación de agua residual (L/s)
4. Capacidad instalada de tratamiento de aguas residuales (L/s)

El 1 se multiplica por el segundo y por 0.75 (que representa la porción de agua residual que llega al drenaje) para obtener la generación de agua residual por municipio. Este valor se divide al valor dado en el punto 4. Los valores obtenidos van de 0 a 1.

Una vez obtenidos estos dos parámetros, cada uno es multiplicado por 0.5 (ponderación de peso de importancia), el resultado de ambos se suma y este valor será el IAS. Los valores obtenidos van de 0 a 1.

Una vez obtenidos el IAAP y el IAS, cada uno es multiplicado por 0.5 (ponderación de peso de importancia), el resultado de ambos se suma y este valor será el IGASA. Los valores obtenidos van de 0 a 1.

Si bien, en el Plan Nacional Hídrico el IGASA se evalúa con tres intervalos, en este estudio se plantean cinco los cuales son (Tabla 3-7):

Tabla 3-7 Niveles propuestos de evaluación del IGASA

No.	Rango	Servicio	Color
1	$0.801 < \text{IGASA} \leq 1.0$	Muy bien	
2	$0.601 < \text{IGASA} \leq 0.8$	Bien	
3	$0.401 < \text{IGASA} \leq 0.6$	Regular	
4	$0.201 < \text{IGASA} \leq 0.4$	Mal	
5	$0.000 < \text{IGASA} \leq 0.2$	Muy mal	

En el anexo 1, se presentan los resultados obtenidos en cada uno de los municipios por estados de la República Mexicana, en donde primero se muestra una tabla que contiene la información utilizada para obtener el IAAP y el IAS, así como los resultados de ambos índices y por supuesto el IGASA, además en esta tabla se pueden apreciar los intervalos y su color distintivo, que establece el estatus del servicio.

En el mismo anexo, además se tienen tres planos que muestran de una forma colorida la distribución de los índices en el mismo, tomando como referencia los intervalos de evaluación, lo que proporciona de forma general cómo se encuentra el estado de los servicios.

Después, en una segunda tabla se indica el número de municipios que se tiene en cada uno de los intervalos y el porcentaje estatal que representan, para cada uno de los índices obtenidos. Finalmente, se presentan las gráficas por municipio que muestra la integración de los tres índices y al igual que en los planos se puede apreciar su estatus dentro de los cinco intervalos de evaluación Seguridad hídrica: componente agua subterránea. A continuación se presentan de la Ilustración 3-12 a la Ilustración 3-14 el índice a nivel país.

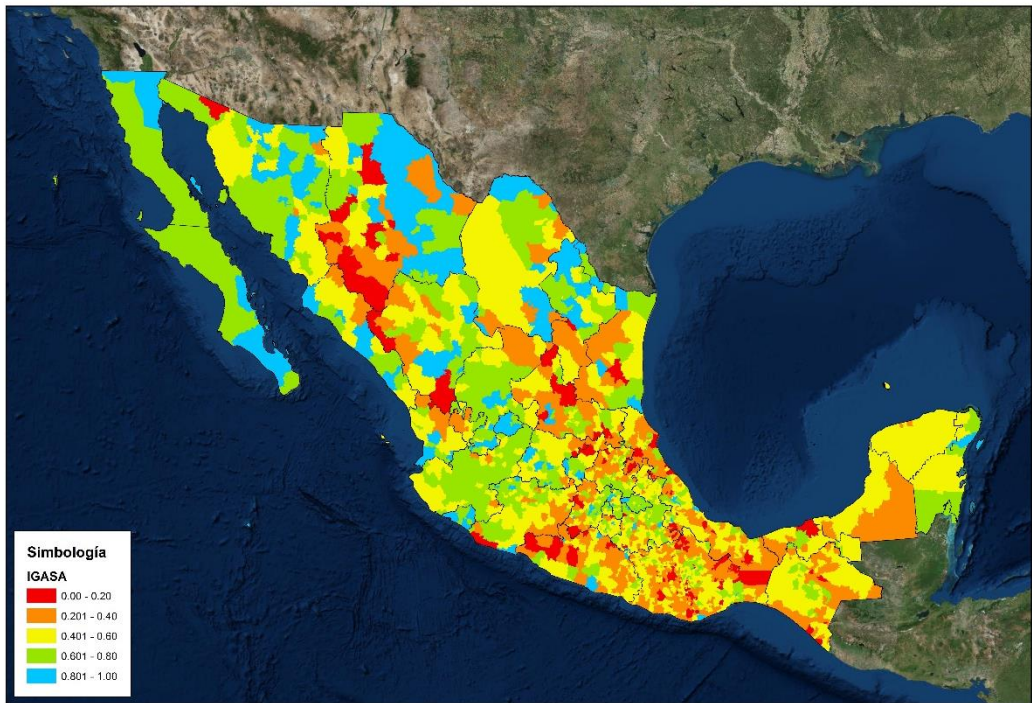


Ilustración 3-12 Índice IGASA

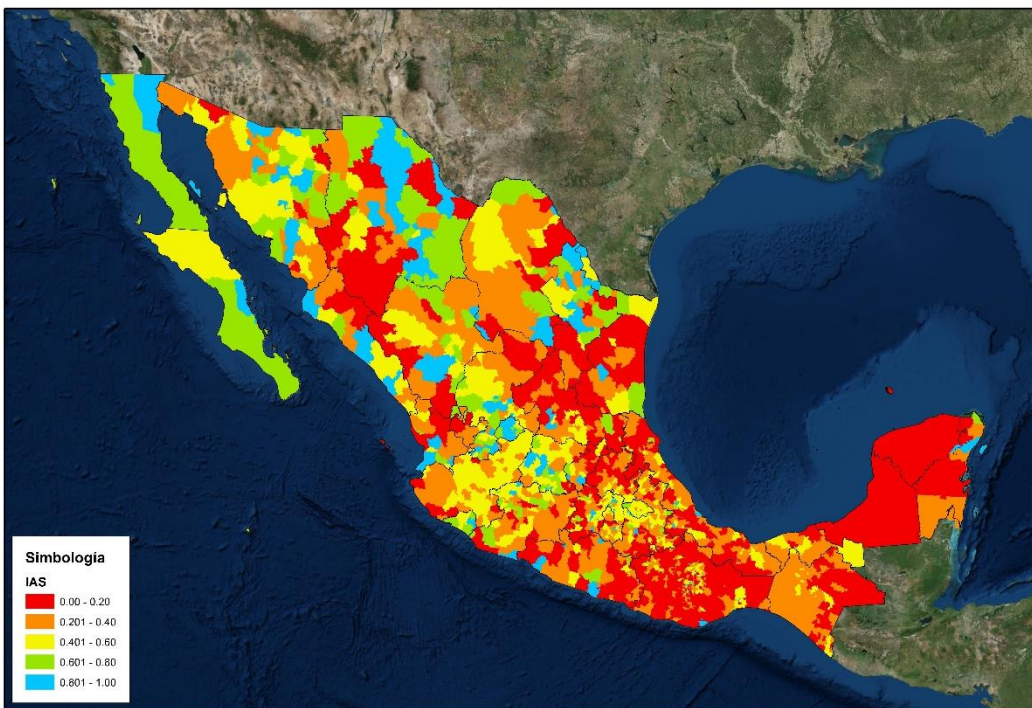


Ilustración 3-13 Indicador IAS

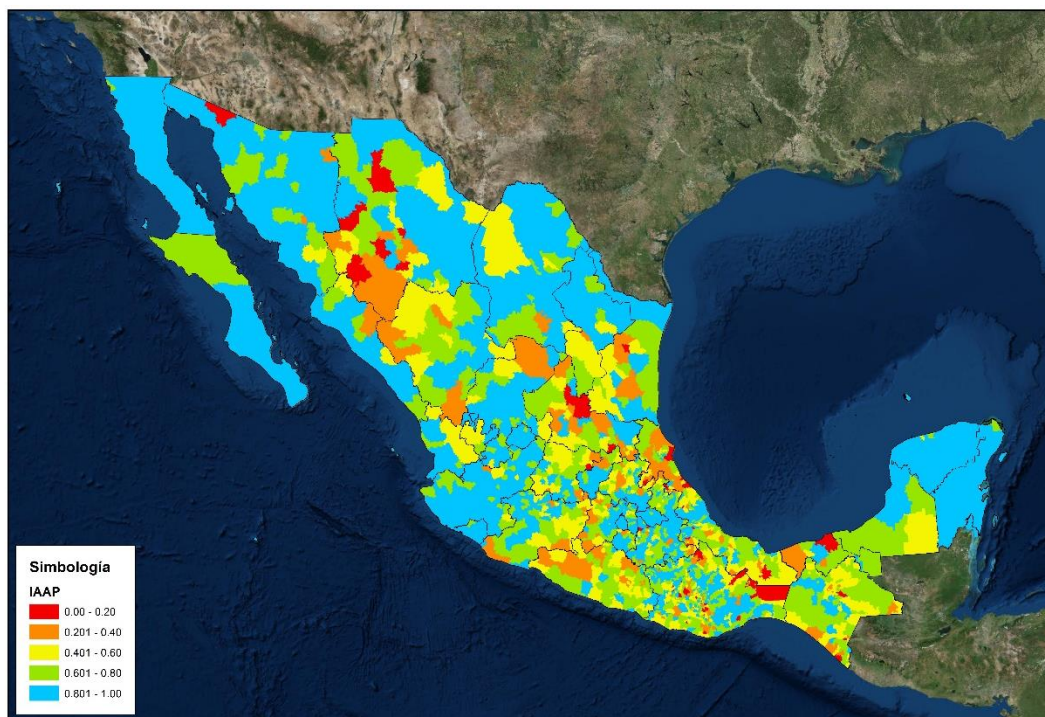


Ilustración 3-14 Índice IAAP

3.3 Índice de vulnerabilidad a la sequía en todos los municipios del país

El peligro por sequía a escala municipal se determinó calculando la probabilidad de ocurrencia de sequía (frecuencia relativa) mediante los registros del MSM, lo cual implicó la realización de las siguientes actividades:

Obtención de los registros históricos de sequía por municipio en función de su grado de severidad (D0 a D4) de la página oficial del MSM, y elaboración de una base de datos de Excel.

Los datos de los registros históricos de sequía se obtuvieron accediendo al link de la página web del MSM <http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>.

En la Ilustración 3-15 se muestra dónde se pueden descargar estos registros y en la Ilustración 3-16 se observa la base de datos elaborada a partir de los registros obtenidos.

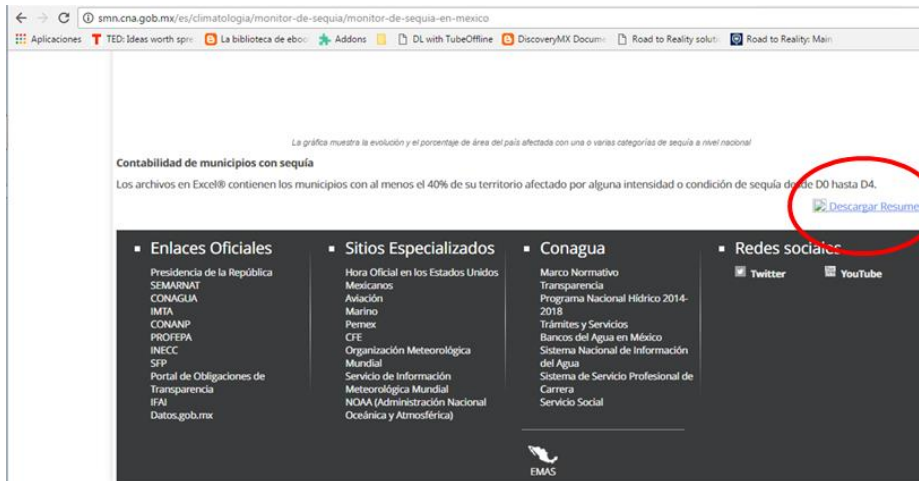


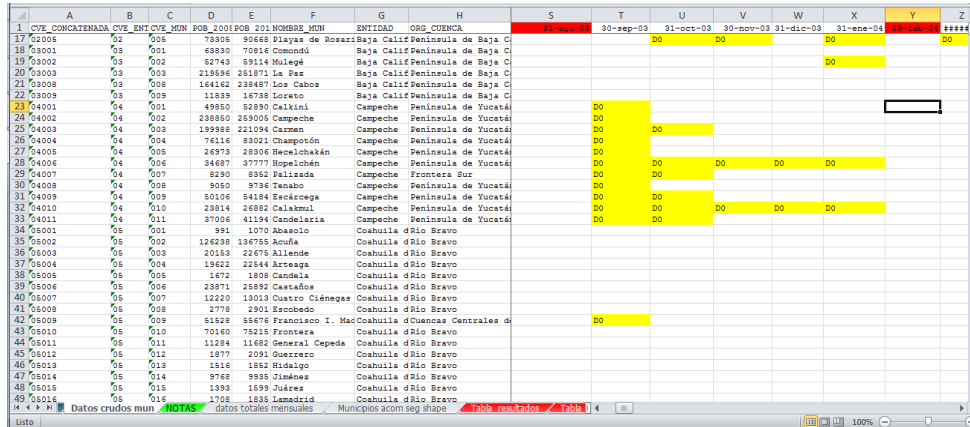
Ilustración 3-15 Registros históricos de la sequía obtenidos de la página web del MSM

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	CVE_CONCATENADA	CVE_ENT_CVE_MUN	POB_2001POB_2011	ENTIDAD	ORG_CUENCA	CLV_OC	CON_CUENCA	CVE_CONC	31-ene-03	28-feb-03	31-mar-03	30-abr-03	31-ma			
14	02002	02	855962	336826	Mexicali	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California	2	D2	D2	D1	D1	D1		
15	02003	02	91034	101079	Tecate	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California	2	D1	D0					
16	02004	02	1410687	22906	Tijuana	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California	2	D0						
17	02005	02	73005	90668	Playas de Rosarí	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California	2	D0						
18	03001	03	63830	70816	Comondú	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California Sur	1							
19	03002	03	52743	59114	Mulegé	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California Sur	1							
20	03003	03	219596	251871	La Paz	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California Sur	1	D0	D0	D0	D0	D0	D0	
21	03008	03	164162	238487	Los Cabos	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California Sur	1	D2	D2	D2	D2	D2		
22	03009	03	11939	16738	Loreto	Baja Calif	Península de Baja C.I.	Baja California Sur	1							
23	04001	04	49950	52390	Calkiní	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0						
24	04002	04	238850	259005	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0	D1						
25	04003	04	199988	221094	Carmen	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0	D1	D1	D1	D1		
26	04004	04	76116	83021	Champotón	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0	D1	D0	D0	D0	D0	
27	04005	04	26973	28206	Hecelchakán	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0						
28	04006	04	34687	37777	Hopelchén	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0						
29	04007	04	8290	8352	Palizada	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0	D1	D1	D1	D1		
30	04008	04	9080	9786	Tanabá	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D1						
31	04009	04	50106	54184	Xucupetán	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0	D0	D0	D0	D0	D0	
32	04010	04	23814	26882	Calakmul	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0	D0	D0	D0	D0	D0	
33	04011	04	37006	41194	Candelaria	Campeche	Península de Yucatá	Península de Yucatan	25	D0	D0	D1	D1	D1	D1	
34	05001	05	991	1070	Abasolo	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
35	05002	05	126238	136755	Acuña	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12	D0	D0	D0	D0	D0	
36	05003	05	20153	22675	Allende	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
37	05004	05	19622	22544	Arteaga	Coahuila	Río Bravo	VI	Del Altiplano	14						
38	05005	05	1672	1908	Candela	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
39	05006	05	23871	25892	Castaños	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
40	05007	05	12220	13013	Cuatro Ciénegas	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12	D1	D1	D0	D1	D1	
41	05008	05	2778	2901	Sanbenedo	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
42	05009	05	51548	58576	Francisco I. MacC	Coahuila	de Cuencas Centrales	de VII	Mesa-Aguanaval	18	D2	D2	D2	D2	D2	
43	05010	05	70160	75215	Frontera	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
44	05011	05	11284	11682	General Cepeda	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
45	05012	05	1977	2091	Guerrero	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						
46	05013	05	1516	1852	Hidalgo	Coahuila	Río Bravo	VI	Río Bravo	12						

Ilustración 3-16 Base de datos en Excel de los registros históricos de sequía por municipio en función de su grado de severidad.

3.3.1 Determinación de la serie de tiempo que se analizará, tomando en cuenta desde el primero hasta el último mes reportado por el MSM

Se analizaron los datos en función de su grado de severidad (D0 a D4) del periodo del 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017, el total de meses fueron 171, sin embargo, en dos de estos meses no hubo registro de ningún dato (31 de agosto del 2003 y el 29 de febrero del 2004), por lo tanto, el total de meses analizados fueron 169. Ver Ilustración 3-17

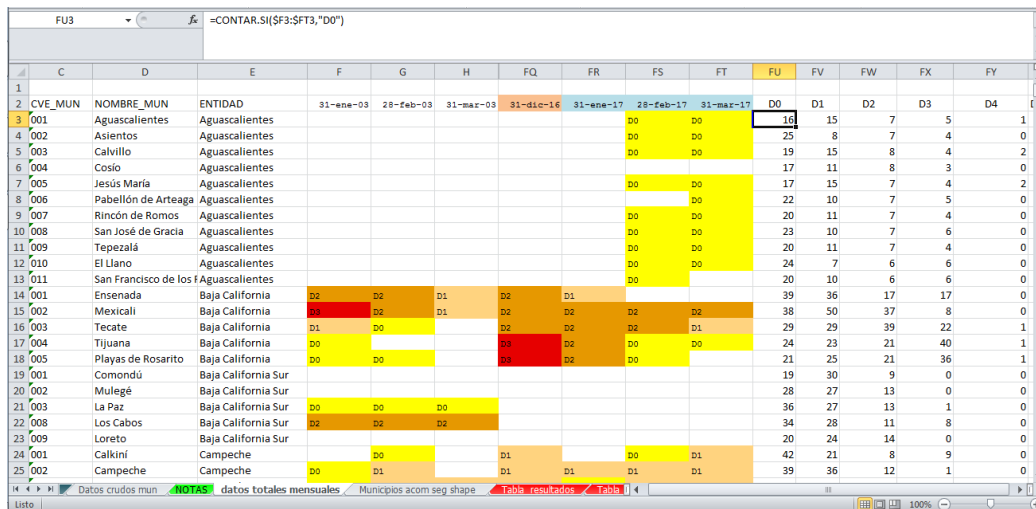


A	B	C	D	E	F	G	H	S	T	U	V	W	X	Y	Z
CVE_CONCATENADA	CVE_ENT	CVE_MUN	POB_2001	POB_2011	NOMBRE_MUN	ENTIDAD	ORG_CUENCA	31-ene-03	30-sep-03	31-oct-03	30-nov-03	31-dic-03	31-ene-04	30-feb-04	###
17	03005	03	78905	90669	Playas de Rosarito	Baja Calif	Península de Baja C								
18	03001	03	68830	70516	Comondú	Baja Calif	Península de Baja C								
19	03002	03	52743	59114	Mulegé	Baja Calif	Península de Baja C								
20	03003	03	219696	261971	La Paz	Baja Calif	Península de Baja C								
21	03008	03	164162	239497	Los Cabos	Baja Calif	Península de Baja C								
22	03009	03	11839	16738	Loreto	Baja Calif	Península de Baja C								
23	04001	04	49850	62890	Calkiní	Campeche	Península de Yucatá								
24	04002	04	238950	259005	Campeche	Campeche	Península de Yucatá								
25	04003	04	199988	221094	Carmen	Campeche	Península de Yucatá								
26	04004	04	76116	83021	Champotón	Campeche	Península de Yucatá								
27	04005	04	26973	28306	Hecelchakán	Campeche	Península de Yucatá								
28	04006	04	34687	37777	Hopelchén	Campeche	Península de Yucatá								
29	04007	04	8290	8362	Palizada	Campeche	Frontera Sur								
30	04008	04	9050	9736	Tenabo	Campeche	Península de Yucatá								
31	04009	04	50106	54194	Escárcega	Campeche	Península de Yucatá								
32	04010	04	23814	26882	Calakmul	Campeche	Península de Yucatá								
33	04011	04	37006	41194	Candelaria	Campeche	Península de Yucatá								
34	05001	05	991	1070	Absoluto	Coahuila	dRío Bravo								
35	05002	05	126238	186755	Acuña	Coahuila	dRío Bravo								
36	05003	05	20153	22675	Allende	Coahuila	dRío Bravo								
37	05004	05	19622	22644	Arteaga	Coahuila	dRío Bravo								
38	05005	05	1672	1808	Candela	Coahuila	dRío Bravo								
39	05006	05	23871	25892	Castaños	Coahuila	dRío Bravo								
40	05007	05	12220	13013	Cuervo Clénegas	Coahuila	dRío Bravo								
41	05008	05	2778	2902	Escobedo	Coahuila	dRío Bravo								
42	05009	05	51528	55674	Francisco I. Mac	Coahuila	dCuencas Centrales d								
43	05010	05	70160	75215	Frontera	Coahuila	dRío Bravo								
44	05011	05	11284	11692	General Cepeda	Coahuila	dRío Bravo								
45	05012	05	1877	2091	Ozoresero	Coahuila	dRío Bravo								
46	05013	05	1516	1852	Hidalgo	Coahuila	dRío Bravo								
47	05014	05	9768	9938	Jiménez	Coahuila	dRío Bravo								
48	05015	05	1393	1539	Queret	Coahuila	dRío Bravo								
49	05016	05	1708	1835	Lamedrid	Coahuila	dRío Bravo								

Ilustración 3-17 Total de meses analizados con datos en el periodo del 31 de enero del 2003 al 31 de marzo del 2017.

3.3.2 Obtención de las frecuencias absolutas correspondientes a cada tipo de severidad de sequía (D0 a D4) por municipio, tomando en cuenta aquellos municipios con al menos el 40% de su territorio afectado por algún grado de sequía.

En el periodo del 28 de febrero del 2014 al 31 de marzo del 2017 los registros se encontraron de manera quincenal. Sin embargo, ya que el análisis se realizó de manera mensual, se eliminaron los registros de la primera quincena de este periodo. Para obtener las frecuencias absolutas se realizó un conteo de cuantos D0 hasta D4 hubo en los 169 meses registrados (Ilustración 3-18). Posteriormente la base de datos fue ordenada de acuerdo a los datos del shapefile de municipios como se muestra en la Ilustración 3-19.



C	D	E	F	G	H	FQ	FR	FS	FT	FU	FV	FW	FX	FY
CVE_MUN	NOMBRE_MUN	ENTIDAD	31-ene-03	28-Feb-03	31-mar-03	31-dic-16	31-ene-17	28-feb-17	31-mar-17	D0	D1	D2	D3	D4
3	001	Aguascalientes								16	15	7	5	1
4	002	Asientos								25	8	7	4	0
5	003	Calvillo								19	15	8	4	2
6	004	Cosío								17	11	8	3	0
7	005	Jesús María								17	15	7	4	2
8	006	Pabellón de Arteaga								22	10	7	5	0
9	007	Rincón de Romos								20	11	7	4	0
10	008	San José de Gracia								23	10	7	6	0
11	009	Tepezalá								20	11	7	4	0
12	010	El Llano								24	7	6	6	0
13	011	San Francisco de los R								20	10	6	6	0
14	001	Ensenada	D2	D2	D1	D2	D1			39	36	17	17	0
15	002	Mexicali	D2	D2	D1	D2	D2	D2		38	50	37	8	0
16	003	Tecate	D1	DO		D2	D2	D2	D1	29	29	39	22	1
17	004	Tijuana	DO			D2	DO	DO		24	23	21	40	1
18	005	Playas de Rosarito	DO	DO		D1	D2	DO		21	25	21	36	1
19	001	Comondú								19	30	9	0	0
20	002	Mulegé								28	27	13	0	0
21	003	La Paz	DO	DO	DO					36	27	13	1	0
22	008	Los Cabos	DO	DO	DO					34	28	11	8	0
23	009	Loreto								20	24	14	0	0
24	001	Calkiní		DO		D1		DO	D1	42	21	8	9	0
25	002	Campeche	DO	D1		D1	D1	D1		39	36	12	1	0

Ilustración 3-18 Frecuencias absolutas de acuerdo a cada tipo de severidad de sequía (D0 a D4).

Ilustración 3-19 Base de datos ordenada de acuerdo al shapefile de municipios.

3.3.3 Cálculo de la probabilidad de sequía mediante la envolvente (D0 a D4), y expresión de la misma en porcentaje.

La probabilidad de ocurrencia de un evento determinado, es decir el nivel de certeza que tenemos de que ocurra dicho suceso, es la razón entre el número de veces en que ocurrió dicho evento y el número de repeticiones del experimento. A esta razón se le denomina frecuencia relativa.

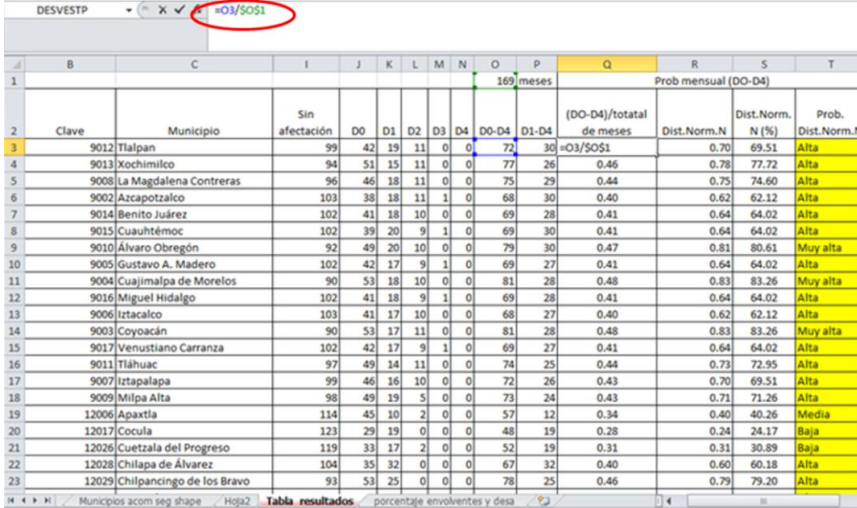
Para calcular la frecuencia relativa se utilizó la Ecuación 4.

$$P(A) = \frac{A}{N}$$

Ecuación 4

Dónde: P es la probabilidad de ocurrencia; A es el número de meses con sequía; y N el número total de registros en el periodo.

Los valores de la probabilidad oscilan en un rango cerrado de [0, 1]. Con el objetivo de clasificar estas probabilidades en percentiles con categorías de igual tamaño se ajustaron estos valores a una distribución normal y el resultado se multiplicó por 100 para expresarlas en porcentaje. Dado que se tienen cinco categorías de clasificación de la probabilidad de la sequía, entonces cada rango de percentil obedece al 20%. Ver Ilustración 3-20.



	B	C	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1									169 meses			Prob mensual (DO-D4)		
2	Clave	Municipio	Sin afectación	D0	D1	D2	D3	D4	D0-D4	D1-D4	(DO-D4)/total de meses	Dist.Norm.N	Dist.Norm. N (%)	Prob. Dist.Norm.N
3	9012	Tlalpan	99	42	19	11	0	0	72	30	=O3/SO\$1	0.70	69.51	Alta
4	9013	Kochimilco	94	51	15	11	0	0	77	26	0.46	0.78	77.72	Alta
5	9008	La Magdalena Contreras	96	46	18	11	0	0	75	29	0.44	0.75	74.60	Alta
6	9002	Azcapotzalco	103	38	18	11	1	0	68	30	0.40	0.62	62.12	Alta
7	9014	Benito Juárez	102	41	18	10	0	0	69	28	0.41	0.64	64.02	Alta
8	9015	Cuauhtémoc	102	39	20	9	1	0	69	30	0.41	0.64	64.02	Alta
9	9010	Álvaro Obregón	92	49	20	10	0	0	79	30	0.47	0.81	80.61	Muy alta
10	9005	Gustavo A. Madero	102	42	17	9	1	0	69	27	0.41	0.64	64.02	Alta
11	9004	Cuajimalpa de Morelos	90	53	18	10	0	0	81	28	0.48	0.83	83.26	Muy alta
12	9016	Miguel Hidalgo	102	41	18	9	1	0	69	28	0.41	0.64	64.02	Alta
13	9006	Iztacalco	103	41	17	10	0	0	68	27	0.40	0.62	62.12	Alta
14	9003	Coyoacán	90	53	17	11	0	0	81	28	0.48	0.83	83.26	Muy alta
15	9017	Venustiano Carranza	102	42	17	9	1	0	69	27	0.41	0.64	64.02	Alta
16	9011	Tláhuac	97	49	14	11	0	0	74	25	0.44	0.73	72.55	Alta
17	9007	Iztapalapa	99	46	16	10	0	0	72	26	0.43	0.70	69.51	Alta
18	9009	Milpa Alta	98	49	19	5	0	0	73	24	0.43	0.71	71.26	Alta
19	12006	Apaxtla	114	45	10	2	0	0	57	12	0.34	0.40	40.26	Media
20	12017	Cocula	123	29	19	0	0	0	48	19	0.28	0.24	24.17	Baja
21	12026	Cuetzala del Progreso	119	33	17	2	0	0	52	19	0.31	0.31	30.89	Baja
22	12028	Chilapa de Álvarez	104	35	32	0	0	0	67	32	0.40	0.60	60.18	Alta
23	12029	Chilpancingo de los Bravo	93	53	25	0	0	0	78	25	0.46	0.79	79.20	Alta

Ilustración 3-20 Cálculo de la frecuencia relativa de cada categoría de sequía, ajuste a la distribución normal y clasificación de la probabilidad.

Tabla 3-8 Categorías para clasificar la probabilidad de las diferentes categorías de sequía.

Clasificación de la probabilidad	Valor del percentil
Muy baja	$0 < P \leq 20$
Baja	$20 < P \leq 40$
Media	$40 < P \leq 60$
Alta	$60 < P \leq 80$
Muy alta	$80 < P \leq 100$

Se elaboró en ArcGis el mapa nacional de probabilidad de ocurrencia de sequía a escala municipal, tomando en cuenta la envolvente D1-D4, tal como se ilustra en la Ilustración 3-21.

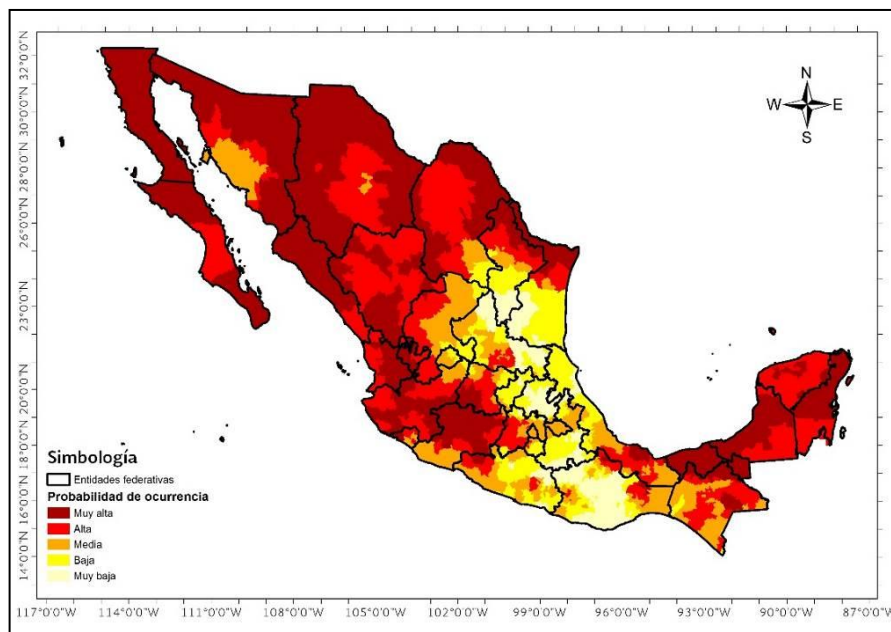


Ilustración 3-21 Mapa nacional de probabilidad de ocurrencia de sequía a escala municipal.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 58 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

Si se requiere ver todo el procedimiento y análisis de los resultados, éstos se encuentran en el anexo 2.

3.4 Abatimiento de agua subterránea con métodos indirectos

El presente reporte describe la metodología para calcular la disponibilidad de agua en el territorio mexicano, tomando en cuenta lecturas de gravedad, que procesa y publica el experimento GRACE. El producto final es un mapa de recuperación-abatimiento de agua, con una resolución espacial de 1° terrestre y temporalidad anual. Si el lector está interesado en leer el informe completo, vaya al anexo 3.

3.4.1 Monitoreo de variables hidrológicas

México cuenta con una red de medición pluviométrica que cubre todo el país, sin embargo, en el ámbito del agua subterránea carece de una red nacional que represente la variación espacial del nivel freático y piezométrico en un periodo de tiempo que permita su comparación (se aclara que la CONAGUA cuenta con información piezométrica de cierto número de acuíferos, pero ésta no es sistemática para todos los acuíferos de la República Mexicana cuando menos en la última década).

Las unidades regionales conocidas como Organismos de Cuencas y Direcciones Administrativas Locales, cuentan con programas de monitoreo piezométrico que se realizan de forma anual en los principales acuíferos de su jurisdicción. Los recorridos se efectúan midiendo redes preestablecidas que cuentan con un registro histórico de la variación del nivel en pozos. En otros muchos casos las mediciones se realizan en obras subterráneas que no conforman una red de medición, teniendo como consecuencia que el registro no sea continuo en el tiempo.

Los esfuerzos de monitoreo no son suficientes por lo que es necesario implementar técnicas que permitan incrementar la medición de variables hidrogeológicas, para comprender de mejor manera la variación espacial y temporal de las mismas. Con la finalidad de avanzar en el monitoreo de variables terrestres, organizaciones mundiales, universidades e Instituciones (NASA, GSFC, NOAA, NCEP) han implementado redes de monitoreo regionales, con las que se alimentan modelos hidrológicos que dan como resultado registros temporales y espaciales, tal es el caso de la base de datos Global Land Data Assimilation System (GLDAS; (Rodell M., 2004) y Nort Land Data Assimilati3n System (NLDAS).

GLDAS es una nueva generaci3n de observaciones de la superficie de la tierra que genera de datos para los modelos de superficie de la Tierra. Las restricciones para los modelos son aplicadas en dos sentidos: 1) Forzar a los modelos de superficie de la Tierra (LSMs; por sus siglas en ingl3s) con observaciones basadas en el campo meteorol3gico. 2) El

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 59 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

empleo de técnicas de asimilación, tomando en cuenta observaciones en la superficie terrestre que son restrictivas para soluciones no reales de los modelos.

El experimento de recuperación de gravedad y clima (GRACE; por sus siglas en inglés) es orientado al monitoreo mensual de las variaciones temporales de la gravedad, que son asociadas a los movimientos de masa en la superficie de la tierra. Los resultados de las anomalías de gravedad, permiten obtener el valor total del almacenamiento de agua (TWS), que representa la contribución del agua contenida su fase solida (hielo, nieve); líquida, en superficie (ríos, cuerpos de agua); líquida en el suelo (primero dos metros de la superficie de la Tierra) y agua subterránea.

La medición del campo gravitacional de la tierra es compleja, por lo que a continuación se describe el marco físico en al cual se basa.

3.4.1.1 Método

Los datos de la misión GRACE, en conjunto con modelos hidrológicos, se emplean para generar estimaciones en la variación total del almacenamiento de agua subterránea (Tapley *et al.*; 2004, Wahr *et al.*, 2004; Syed *et al.*, 2008).

Los datos Nivel 2 se utilizan para estimar cambios mensuales en el almacenamiento de agua, tanto en tierra como en el océano. Cada solución consiste en un conjunto de armónicos esféricos, C_{lm} y S_{lm} , asociados a un grado (l) y orden (m) ≤ 120 . Estos coeficientes son una expansión de armónicos esféricos del geoide y cuyo grado determina la escala (resolución) horizontal.

Debido a que GRACE es sensible a los cambios de agua verticalmente integrados a través de una columna de agua y se extiende a lo largo de cientos a miles de kilómetros, no existe información relevante con la cual comparar dichos cambios. En su lugar se obtiene una evaluación inicial de la información comparándola visualmente con modelos numéricos restringidos (Wahr J. S. S., 2004).

(Scanlon B.R., 2012) han propuesto una metodología para estimar cambios hidrológicos en cuencas pequeñas, la cual puede resumirse en tres grandes puntos:

3.4.1.2 Resultados

3.4.1.2.1 Valores de TWA

Aplicando la metodología se obtuvieron los registros mensuales para el periodo de tiempo 2002 al 2015 de TWA, SSS y GWS, en el territorio que ocupa la República Mexicana, con una malla regular de 1° grado terrestre (aproximadamente 111.12 km; Ilustración 3-22).

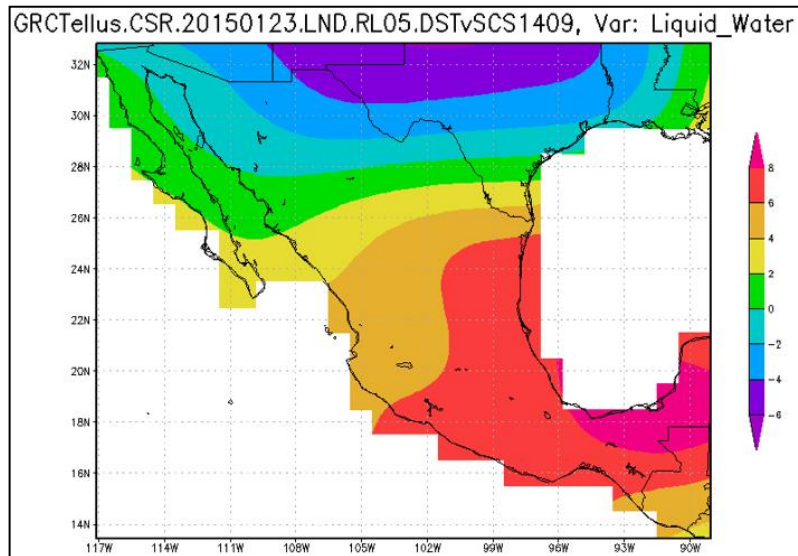


Ilustración 3-22 Valores de estimación total almacenamiento para la República Mexicana, mes de enero del 2015.

Los planos que muestran el valor total del almacenamiento de agua, mes a mes, del año 2015, se muestran el anexo 3. Es de destacar que los cambios de masa donde se observa mayor variación corresponden con los ciclos estacionales invierno y verano y en primavera otoño existe un proceso de transición. En la época de invierno existen los mayores abatimientos y en verano las recuperaciones que son asociadas al efecto de la precipitación. Este fenómeno es típico en zonas áridas y semiáridas. En la época de primavera y otoño existe un proceso intermedio donde se recupera o abate el valor total de almacenamiento de agua.

En el territorio de la República Mexicana el mayor abatimiento se registra en la época invernal y recuperaciones en el verano. En la región Administrativa Península de Baja California, (Baja California), existen recuperaciones en el invierno debido a que en este periodo existen las mayores precipitaciones son las lluvias. En Baja California Sur se mantiene un valor constante del cambio total del almacenamiento de agua, pero esto es atribuido a la influencia del límite de la cuenca que produce efectos de interferencia en los órdenes y grados de los armónicos esféricos utilizados.

En las zonas administrativas de Noroeste, Pacífico Norte, Cuencas Centrales del Norte, Río Bravo, se mantiene una tendencia de abatimiento que en época de verano tiende a recuperarse, pero la tendencia es siempre abatirse.

Los mayores contrastes del valor total de almacenamiento de agua se llevan a cabo al Sur de la unidad administrativa Lerma Santiago Pacífico y Golfo Norte; Aguas del Valle de México, Balsas, Pacífico Sur, Golfo centro y Frontera Sur donde existen variaciones estacionales (primavera, verano, otoño, invierno) y se observan marcados abatimientos, para la época de invierno, y recuperaciones, en la época de verano, manifestándose un

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 61 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

comportamiento intermedio en las épocas primavera y otoño. El comportamiento anteriormente descrito es característico en húmedas, donde domina los procesos cíclicos de lluvias y secas, típico de las zonas tropicales.

La Península de Yucatán, presenta abatimientos y recuperaciones del valor total del almacenamiento de agua en la misma periodicidad, pero con intensidades de menor variación, su comportamiento es de mayor estabilidad tendiendo de estable a recuperación, pero de la misma forma de la Península de Baja California se considera necesario analizar las anomalías con órdenes y grados mayores para definir procesos locales, tomando en cuenta que al realizarlo debemos filtrar el ruido que se produce en la señal, así como considerar que el valor del error de la estimación será siempre mayor.

En forma general se identifica que el Norte del país se mantiene un valor total del almacenamiento del agua entre estable y abatimiento, Al centro del país dominado por las unidades administrativas Lerma Santiago Pacifico y Golfo Norte; Aguas del Valle de México, Balsas, Pacifico Sur, Golfo centro y Frontera Sur, se presentan las mayores variaciones de masa de agua y la Península de Yucatán tiende a ser estable, debiendo tomarse esto último con reserva ya que los procesos locales son los dominantes y se ocultan al analizarse con órdenes y grados menores (60), de los armónicos esféricos.

La base de datos del valor total del almacenamiento de agua con límites de la República Mexicana, con una malla de 1° terrestre, periodo mensual, para el año 2015, y georeferenciada para una proyección estándar de grados y fracción de grado, proyección WGS84, se encuentra en el anexo 3.

3.4.1.2.2 Valores de GWS

La distribución espacial del GWS en la República Mexicana, en el período de tiempo de 2002 a 2014, se analizó mes a mes iniciando marzo del 2012, fecha en que se tienen los primeros registros de GRACE, a diciembre del 2014 (ver anexo GWS). Los resultados se muestran a continuación como valor promedio mensual de GWS para cada mes, tomando el período de tiempo 2002-2014 (De Ilustración 3-23 a Ilustración 3-27).

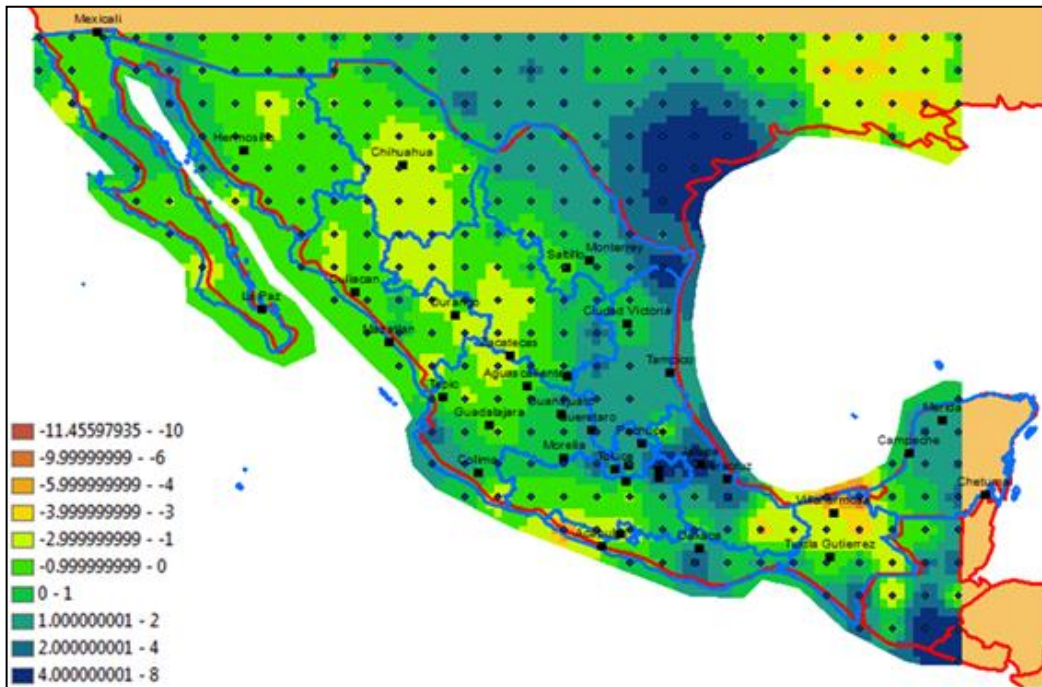


Ilustración 3-23 Distribución espacial del promedio mensual de enero de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

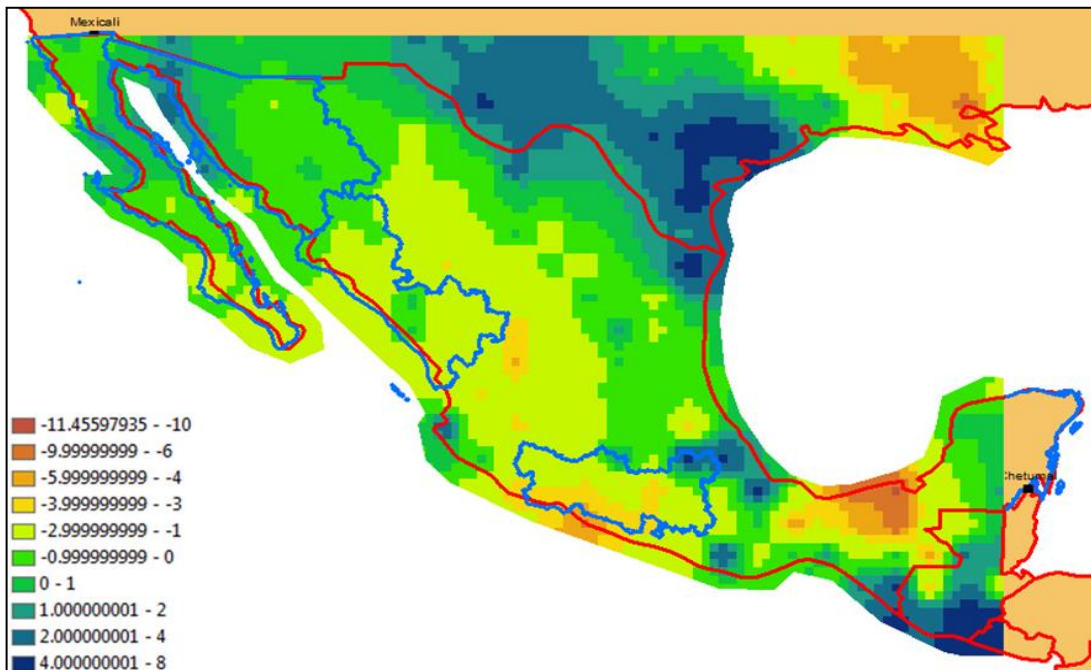


Ilustración 3-24 Distribución espacial del promedio mensual de febrero de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

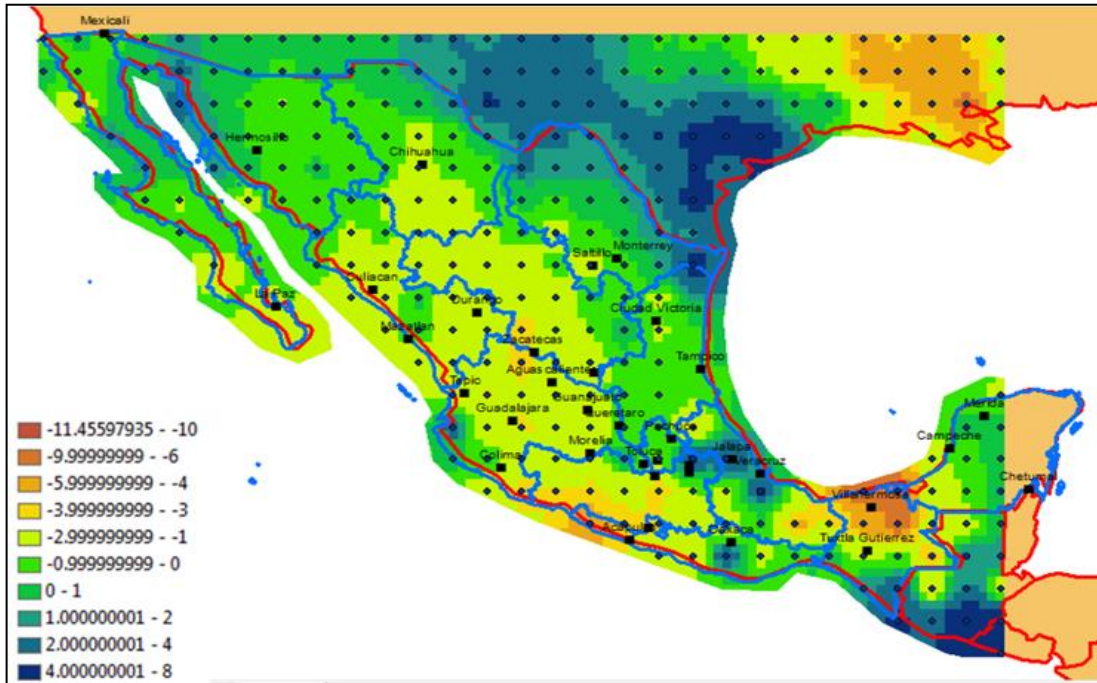


Ilustración 3-25 Distribución espacial del promedio mensual de marzo de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

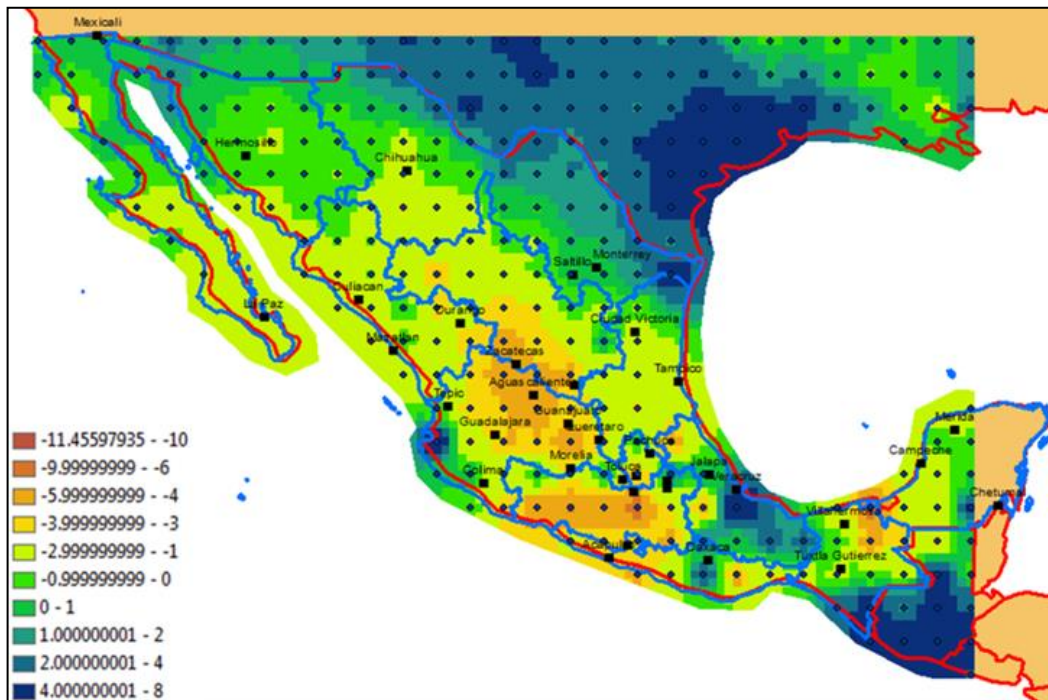


Ilustración 3-26 Distribución espacial del promedio mensual de abril de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

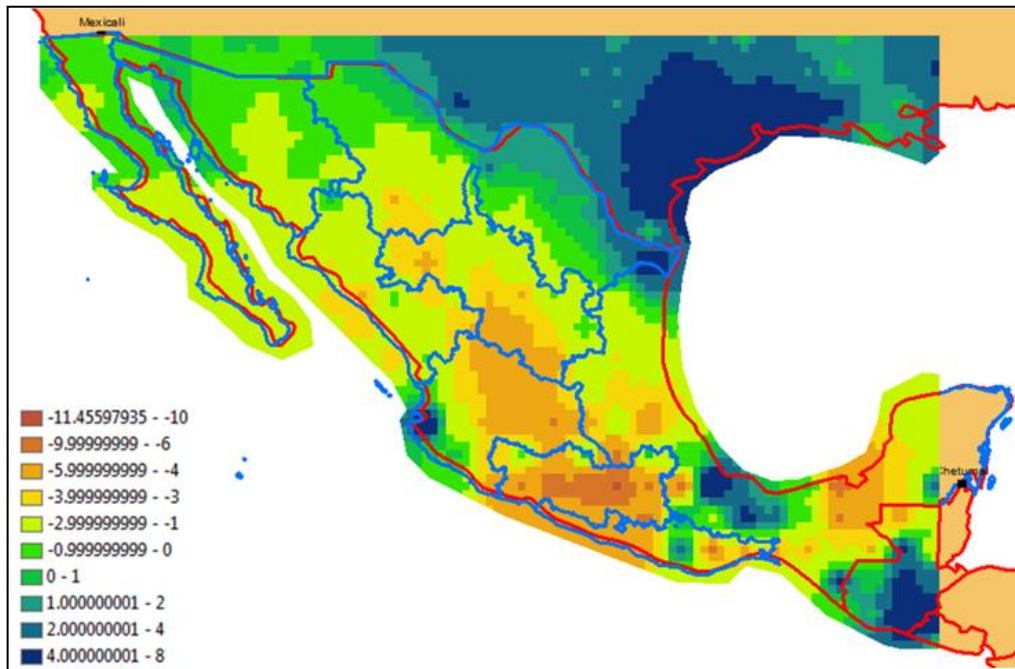


Ilustración 3-27 Distribución espacial del promedio mensual mayo de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

Se observan variaciones estacionales ligadas a la época de lluvia a lo largo del territorio nacional. La segunda componente de menor intensidad que ocurre en invierno principalmente hacia la zona norte del territorio, originado por los frentes fríos de invierno cuya nubosidad genera nevadas y lluvias hacia la región norte de México y las costas del Golfo de México hasta la península de Yucatán.

En contra parte a la época de lluvia, existe la época de estiaje o secas, ciclo donde ocurren abatimientos en la GWS.

De igual manera es de destacar que los cambios de masa de agua donde se observa mayor variación corresponden con los ciclos estacionales invierno y verano y en primavera otoño primavera existe un proceso de transición.

En la época de invierno existen los mayores abatimientos y en verano las recuperaciones que son asociadas al efecto de la precipitación. Este fenómeno es típico en zonas áridas y semiáridas. En la época de primavera y otoño existe un proceso intermedio donde se recupera o abate el valor GWS.

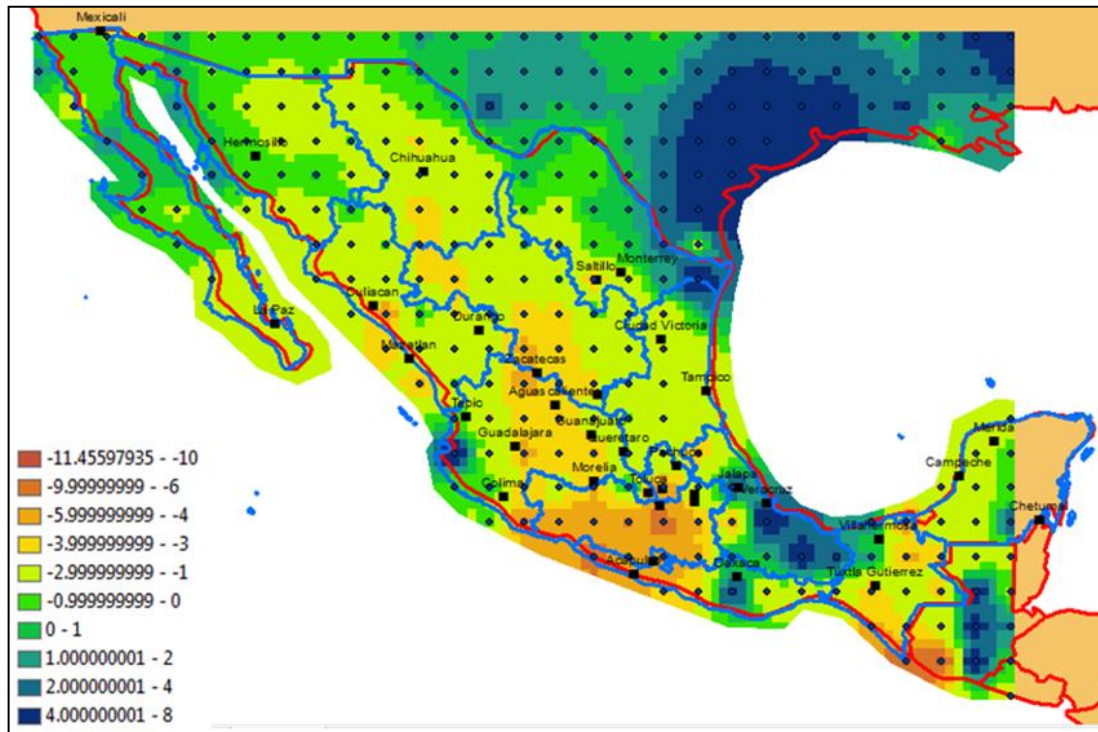


Ilustración 3-28 Distribución espacial del promedio mensual de junio de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana.

En valor promedio de la GWS para el mes de julio de los años 2002 a 2014 muestra que la infiltración y la recarga se extienden hacia a casi toda la zona costera del Golfo de México, incluyendo la península de Yucatán y se extiende hacia la porción central de la República Mexicana hacia la cuenca del valle de México y la cabecera de la cuenca del río Panuco. En las costas del océano pacífico durante el mes de julio, se observa un valor de recarga e infiltración principalmente para la zona media de la península de Baja California, hacia la zona del desierto de Vizcaino (Ilustración 3-29).

Durante el mes de agosto se conservan las condiciones presentes durante el mes de julio en la República Mexicana para la GWS (Ilustración 3-30).

En el mes de agosto prevalecen e incrementan las condiciones existentes en los meses de julio y agosto, pero se extienden hacia la zona de la Cuenca del río Balsas, las cuencas costeras del Pacífico Norte entre Hermosillo y Mazatlán, la cabecera de la cuenca del río Lerma y la porción oriental de Cuencas Centrales (Ilustración 3-31).

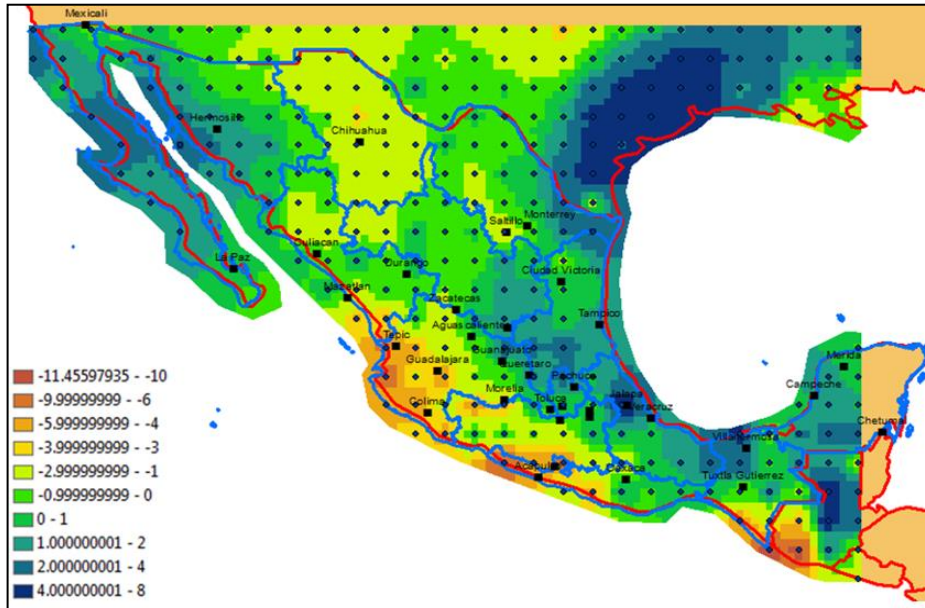


Ilustración 3-29 Distribución espacial del promedio mensual de julio de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

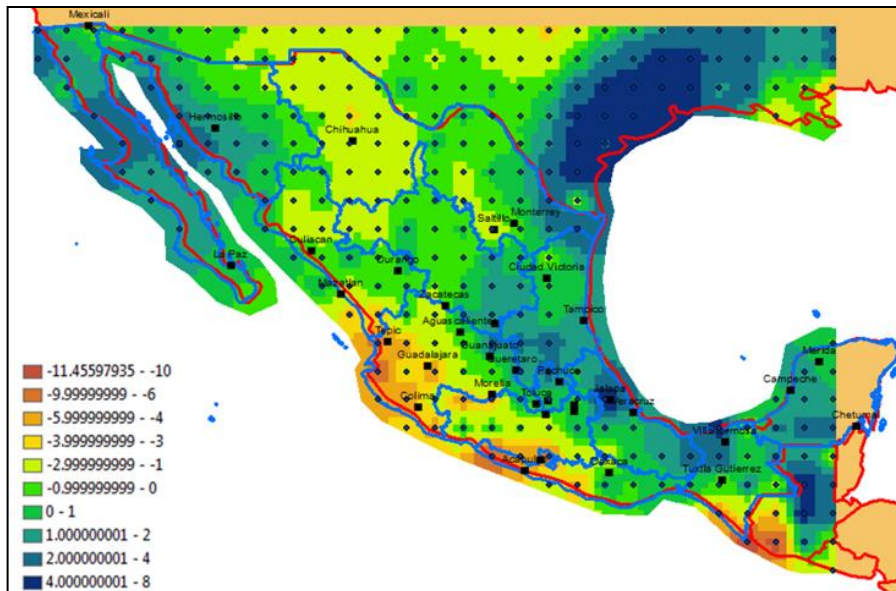


Ilustración 3-30 Distribución espacial del promedio mensual de agosto de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

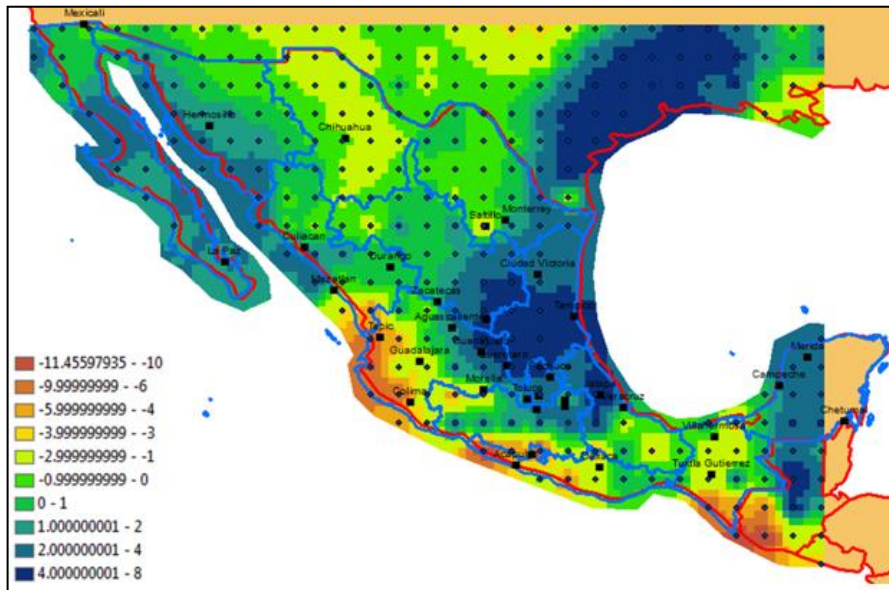


Ilustración 3-31 Distribución espacial del promedio mensual de septiembre de Almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

El mes de octubre es semejante en la distribución al mes de septiembre, sin embargo, se muestra más intenso hacia la porción central de la República Mexicana principalmente hacia las cabeceras de las cuencas del Valle de México, Río Lerma, Río Panuco, Balsas, Costas de Veracruz (Xalapa) así como en la porción de la península de Yucatán y las costas de Oaxaca (Ilustración 3-32).

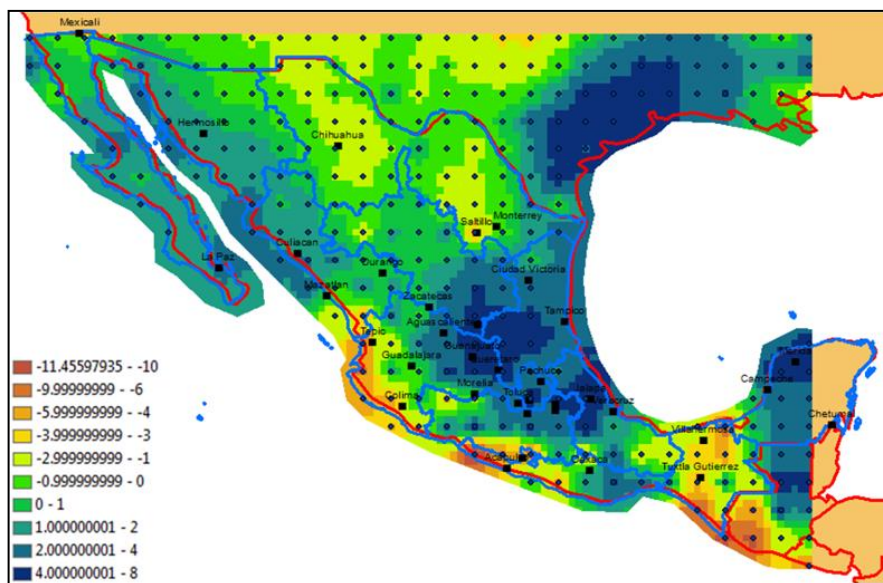


Ilustración 3-32 Distribución espacial del promedio mensual de octubre de almacenamiento de agua subterránea (GWS) años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

Con el fin de la temporada de lluvias se manifiesta de igual manera los efectos de almacenamiento de agua subterránea en el mes de noviembre (Ilustración 3-33) con una disminución o atenuación progresiva de dichas zonas para el mes de diciembre (Ilustración 3-34).

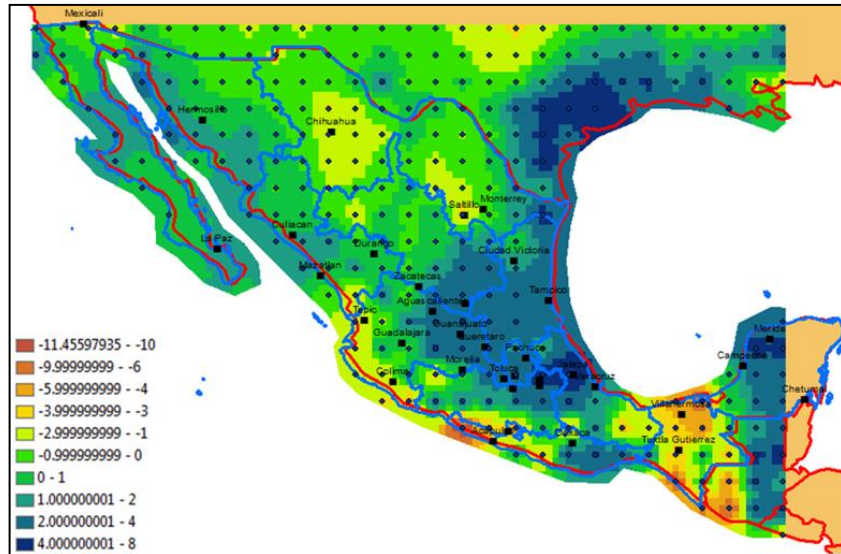


Ilustración 3-33 Distribución espacial del promedio mensual de noviembre de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana).

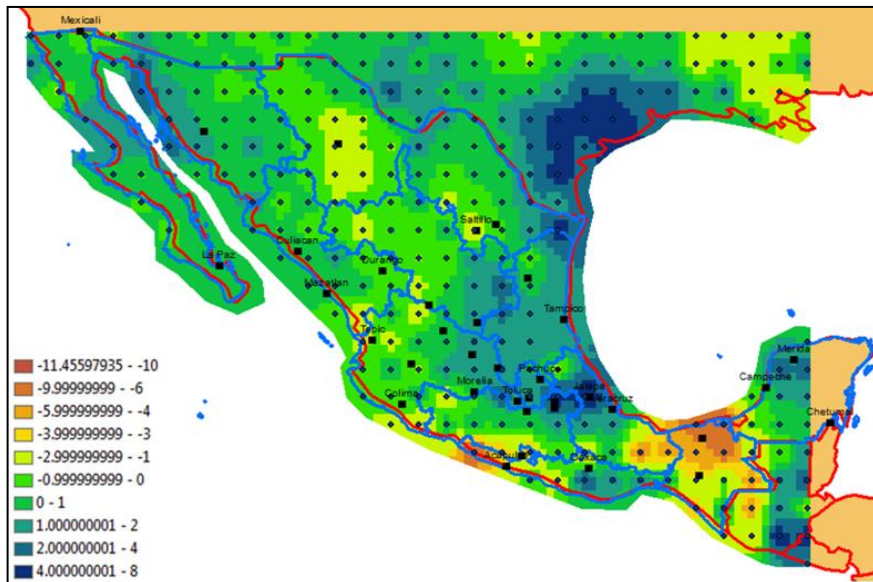


Ilustración 3-34 Distribución espacial del promedio mensual de diciembre de almacenamiento de agua subterránea (GWS; años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana)

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 69 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

3.4.1.2.3 Componente GWS

La variación estacional del promedio mensual de la Superficie de Aguas Subterránea (GWS) para los años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana se presenta en la Ilustración 3-35. Se presenta como ejemplos de la variación estacional del promedio mensual de la superficie de aguas subterránea a vértices representativos de las diferentes regiones administrativas que tiene identificada la CONAGUA como cuencas hidrológicas, para los vértices de Tijuana Baja California, Hermosillo Sonora, Vizcaino Baja California Sur, Torreón Coahuila, Peñitas Tabasco y Península de Yucatán (Ilustración 3-35).

Las variaciones estacionales del promedio mensual de la GWS muestran intervalos de – 6.0 a 10.0 cm para las diferentes regiones de la República Mexicana (Ilustración 3-35). Considerando la temporada oficial de la época de lluvias durante los días 15 de mayo al 15 de octubre de cada año, acorde con la CONAGUA. Los niveles de GWS muestran una estacionalidad acorde a estos procesos dependiendo de la zona geográfica, con una mezcla de los efectos de la temporada de lluvias en la porción sur, central y norte oriental de la República Mexicana versus con la temporada invernal de lluvias por frentes fríos en la zona noreste del país.

En la región administrativa Península de Baja California existen comportamientos inversos en la distribución de la variación mensual de la GWS para los vértices de Tijuana y Vizcaino. Es importante resaltar que el ancho de la Península oscila entre los 96 km, presentando su máxima extensión en el centro con casi 189 km. Los efectos locales son enmascarados al momento de realizar el filtrado de los armónicos esféricos mayores a los 90 órdenes.

La variación mensual de la GWS para la zona de Tijuana Baja California oscila entre los - 2.5 a 2.5 cm. En la época invernal, coincidente con la temporada de lluvias en esta región norte de Baja California, existe una distribución normal acumulativo positiva de almacenamiento entre 0.4 a 2.2 cm para el promedio de los meses de febrero a mayo con máximos en marzo y abril del 2002 al 2004, desfasado en dos meses de retardo con la temporada de invierno en la zona (Ilustración 3-35), inversamente, existe un proceso de descarga o abatimiento durante con distribución normal invertida entre -0.2 a -2.2 cm para los meses promedio de junio a diciembre y que se extiende al mes de enero de cada año, con valor mínimo en el mes de agosto durante los años 2002 a 2014, correspondiente a la temporada de primavera-verano-otoño, en el cual corresponde al periodo de secas o estiaje en la región (Ilustración 3-35).

La variación mensual GWS observada en la porción central de la península de Baja California hacia la zona de Vizcaino, Baja California Sur, oscila entre los -1.8 a 2.0 cm asociada a la temporada de lluvias y ciclones para la República Mexicana, pero desfasado con dos meses de retardo. En la época de lluvias en México, existe una distribución normal acumulativo positiva de almacenamiento entre 0.3 a 2.0 cm para el promedio de los meses

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 70 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

de julio a diciembre con máximos en agosto y septiembre del 2002 al 2004, desfasado en dos meses con la temporada de invierno en la zona (Ilustración 3-35), inversamente, existe un proceso de descarga o abatimiento durante con distribución normal invertida entre -0.2 a -1.8 cm para los meses promedio de enero a junio con valor con mínimos en los meses de abril y mayo de los años 2002 a 2014, correspondiente con la temporada de secas o estiaje en la región (Ilustración 3-35).

En la zona Noroeste del país en el estado de Sonora, en la zona aledaña a la localidad de Hermosillo Sonora, el intervalo de la GWS osciló entre 1.7 y 1.4 cm para los años 2002 al 2014. La temporada de recuperación o almacenamiento entre 0.8 a 1.4 cm de GWS se presenta durante los meses de agosto a octubre con máximo en septiembre, correspondiente a finales de verano y principios del otoño (Ilustración 3-35).

En la zona centro de la República Mexicana entre Zacatecas y Coahuila, se ubica la localidad de Torreón Coahuila, en esta zona se observan variaciones de la GWS entre -3.1 a 0.6 cm, con predominio al abatimiento sobre la recarga o infiltración. La recarga es incipiente durante los meses de septiembre y octubre con valores de 0.4 a 0.6 cm entre los años 2002 a 2014. Mientras que la temporada descendente o abatimiento es el resto de los meses del año entre noviembre a agosto para los años 2002 a 2014, con el mayor nivel de abatimiento en el mes de mayo con -3.1 cm en promedio (Ilustración 3-35).

La variación en la GWS en la zona centro-sur del país, considerando a la localidad de Peñitas Tabasco como representativa de las regiones administrativas Golfo centro, Pacífico Sur y Frontera Sur, se acumula la mayor cantidad de lluvia anual del País (Ilustración 3-35), se observan valores de GWS entre 1.5 a casi 4 cm entre junio a agosto con máximo en el mes de agosto durante los años 2002 a 2014. Los periodos de abatimiento o descarga ocurren los restantes meses del año de septiembre a mayo entre los años 2002 a 2014 con mínimo en el mes de diciembre con valores de -5.5 cm para el mismo periodo (Ilustración 3-35).

En la Península de Yucatán se observa un comportamiento con dos máximos, el primero definido en la temporada habitual de lluvias con máximo en octubre y noviembre y el segundo máximo en el mes de enero correspondiente con la época de invierno, época de nortes que llegan a esta región (Ilustración 3-29) y mínimos con un estiaje manifiesto en los meses de mayo, junio y julio entre los años 2002 a 2014 (Ilustración 3-35).

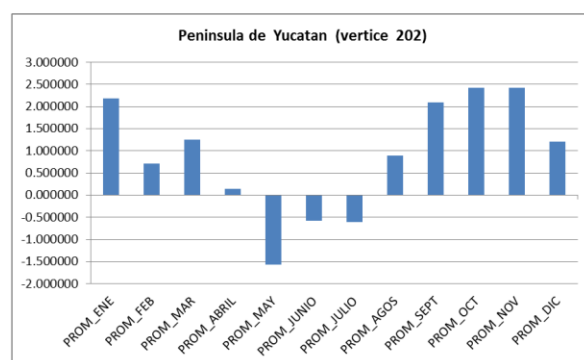
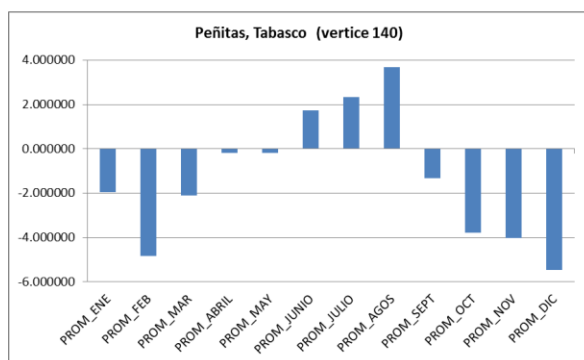
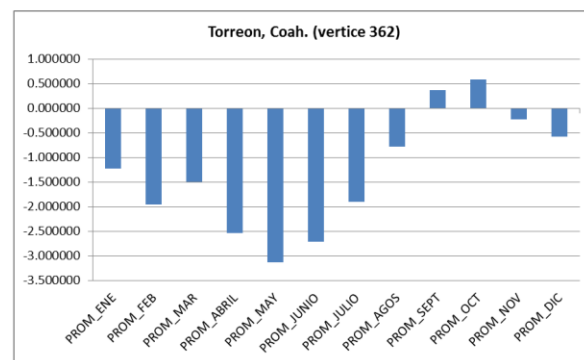
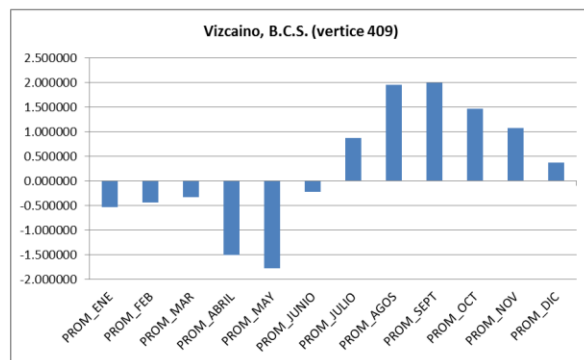
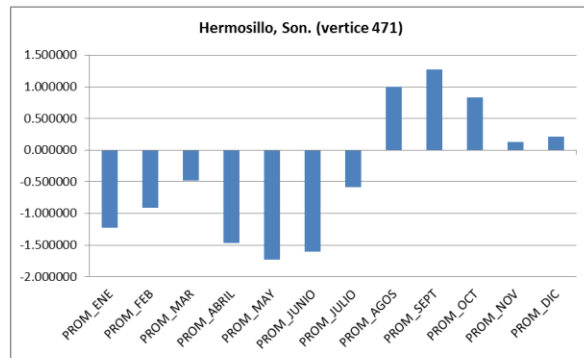
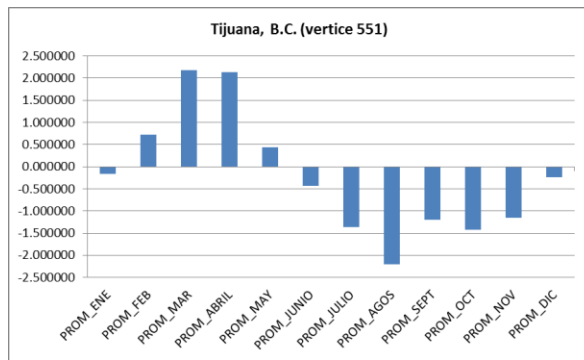


Ilustración 3-35 Promedio mensual de la superficie de aguas subterránea (GWS) para los años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana.

3.4.1.2.4 Variación multianual

La variación multianual del promedio mensual del GWS para los años 2002 a 2014, se presenta como ejemplos para los vértices de Tijuana Baja California, Hermosillo Sonora, Vizcaino Baja California Sur, Torreón Coahuila, Peñitas Tabasco y Península de Yucatán (Ilustración 3-36).

En general se muestra una tendencia al abatimiento en toda la República Mexicana con menor o mayor grado, en función de le pendiente de la tendencia, la tendencia de mayor a

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 72 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

menor abatimiento es de Tijuana, Hermosillo, Torreón, Peñitas y Península de Yucatán. La excepción se tuvo en la zona de Vizcaino donde se observa una tendencia hacia la recarga para los años 2002 a 2014 (Ilustración 3-36).

Periodos multianuales donde predomina la infiltración se definen para Tijuana entre los años 2004 a 2005 y 2010 a 2011. En Vizcaino de los años 2006 a 2014. En Torreón para los años 2004 a 2008. En Peñitas Tabaco del 2002 al 2005 y del 2014 al 2014, principalmente. Se observan periodos multianuales de descarga o abatimiento en los años 2013 y 2014 para Tijuana. En Hermosillo en los años 2012 a 2014. En Vizcaino del 2002 al 2005. En Torreón del 2002 al 2004 y 2009 a 2013 (Ilustración 3-36).

3.4.1.2.5 Valor promedio del GWS

Tomando como base los resultados mensuales de GWS se procedió a la elaboración del plano promedio de GWS para el periodo 2002-2014, del cual se deducen las zonas que de forma continua presentan abatimientos/recuperaciones. Las zonas con abatimiento continuo se localizan al norte y noreste del país, justo en las zonas áridas y semiáridas, es importante resaltar que corresponden con la presencia de los acuíferos que se clasifican como sobreexplotados (límites de color rojo). Las zonas administrativas Río Bravo (estado de Chihuahua y Coahuila), Cuencas centrales (Coahuila) y Lerma Santiago (Jalisco y Bajío) son las que registran valores negativos de GWS (abatimientos) y corresponden a las áreas que deberían implementar estrategias de manejo para evitar el avance de este fenómeno.

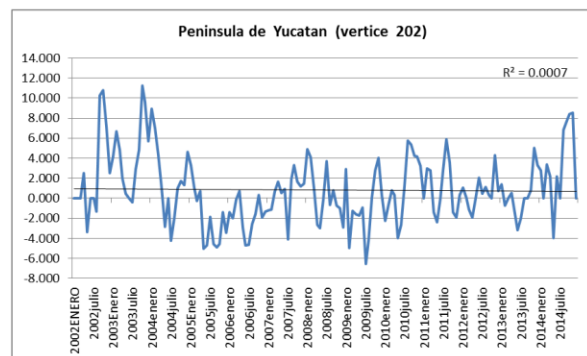
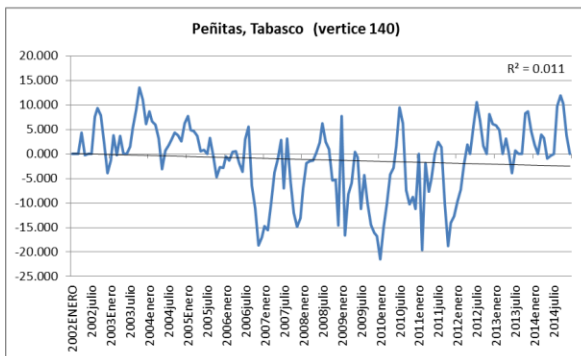
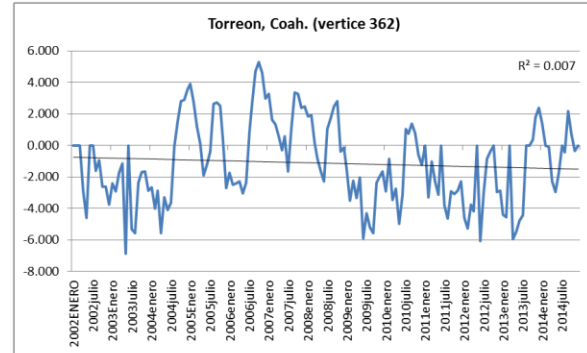
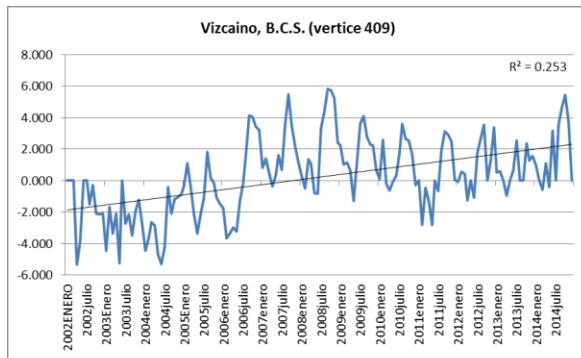
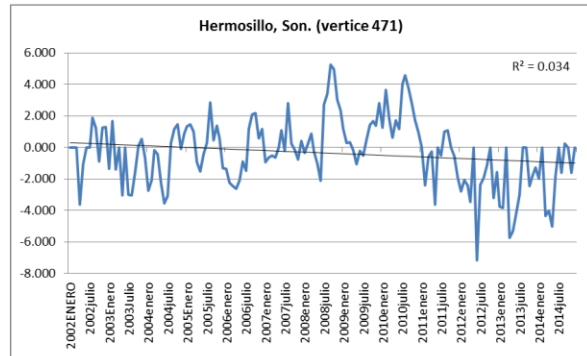
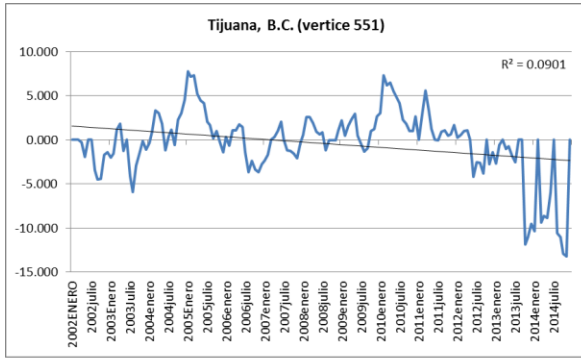


Ilustración 3-36 Serie de tiempo de superficie de aguas subterránea (GWS) para los años 2002 a 2014 para distintas zonas de la República Mexicana.

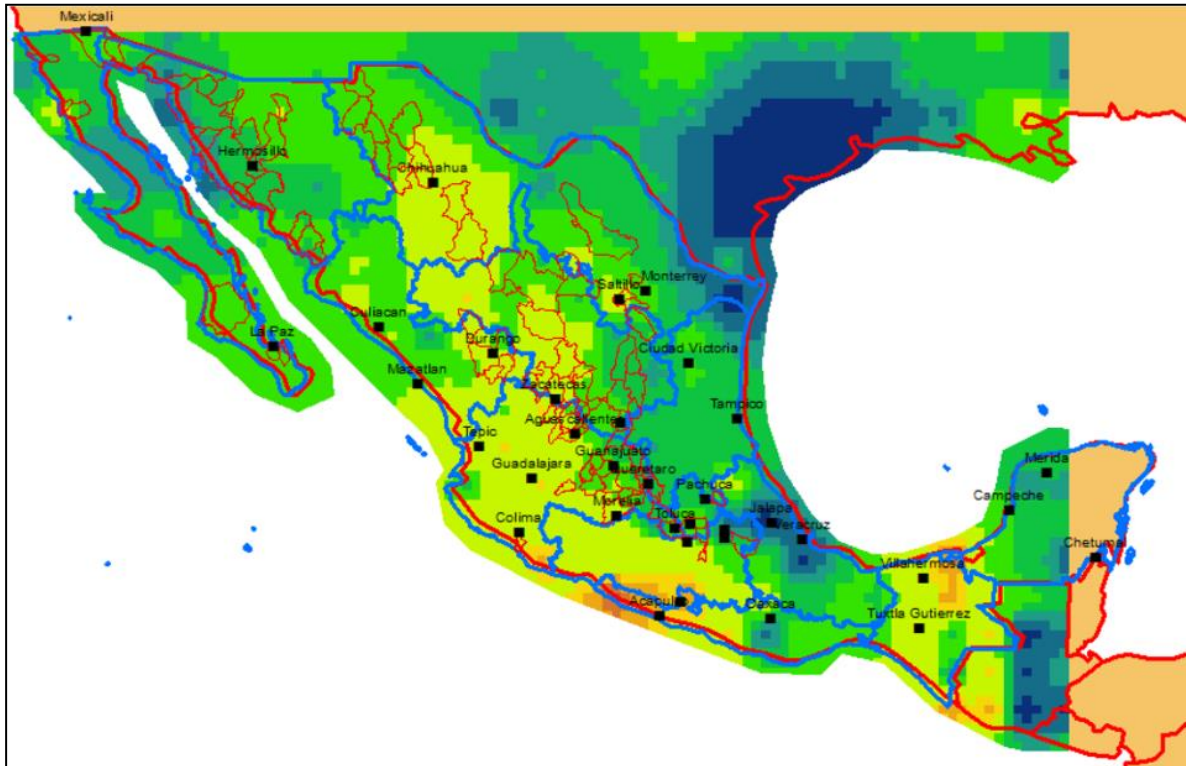


Ilustración 3-37 Valor promedio de GWS en la República Mexicana, del periodo 2002-2014.

3.5 Vulnerabilidad social

En el presente proyecto se realizó un análisis de tres diferentes metodologías para la generación de la vulnerabilidad social, dichos análisis particulares se encuentran en el anexo 4, a continuación se detalla el método seleccionado para el análisis de seguridad hídrica.

3.5.1 Metodología CENAPRED desarrollada para el cálculo de la vulnerabilidad social

Está dirigida a los responsables de las unidades municipales de Protección Civil, teniendo como principal objetivo la identificación de las características de la población susceptible de sufrir daño, en su persona o bienes que posea, a consecuencia de algún fenómeno natural.

Lo anterior va unido a la posibilidad de medir la capacidad de prevención y respuesta que se tenga en el municipio, es decir, el grado de organización y recursos para atender una emergencia. Para lograr lo anterior, se han elegido algunos indicadores que permitirán conocer las principales características de la población, su capacidad de organización y elementos indispensables para la atención de una emergencia, los cuales aportarán elementos para cuantificar la vulnerabilidad social asociada a desastres

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 75 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) define para efectos de esta metodología se define la vulnerabilidad social como “el conjunto de características sociales y económicas de la población que limita la capacidad de desarrollo de la sociedad; en conjunto con la capacidad de prevención y respuesta de la misma frente a un fenómeno y la percepción local del riesgo de la población”.

Para estimar la vulnerabilidad, se divide en 3 partes: la primera una aproximación de sus condiciones sociales y económicas, la cual proporciona un parámetro para medir las posibilidades de organización y recuperación después de un desastre. La segunda se basa en crear plantillas, que a modo de pregunta establece resultados de la información requerida bajo rangos y valores.

Para la aplicación en el proyecto en cuestión solo se tomará en cuenta las condiciones económicas y sociales que se presentan en los diferentes municipios del país y la información que se utiliza para el cálculo se describe a continuación.

✓ **Salud**

- ✓ Médicos por cada 1000 habitantes

Uno de los principales indicadores de desarrollo se refleja en las condiciones de salud de la población, es por eso necesario conocer la accesibilidad que ésta tiene a los servicios básicos de salud, así como la capacidad de atención de los mismos. Médicos por cada 1,000 habitantes

La Secretaría de Salud indica que es aceptable que exista un médico por cada 1,000 habitantes, por lo que el indicador reporta la disponibilidad de médicos para atender a la población por cada 1,000 habitantes en un periodo determinado. La baja proporción de médicos se reflejará en las condiciones de salud de la población, lo que agudiza las condiciones de vulnerabilidad, situación que se podría acentuar en caso de emergencia o desastre.

- ✓ Tasa de mortalidad infantil

Este indicador se refiere a la posibilidad de un recién nacido de sobrevivir el primer año de vida. Tomando en cuenta que el riesgo de muerte es mayor en los primeros días, semanas y meses de vida, la mortalidad durante este periodo indicará en gran medida las condiciones de la atención a la salud de la población en el caso de la madre.

- ✓ Población no derechohabiente

Este indicador muestra el porcentaje de la población no derechohabiente, la cual es la que menos acceso tiene a servicios de salud y en consecuencia es la que en menor medida

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 76 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

acude a las instituciones de salud, esta situación incide directamente en la vulnerabilidad de la población.

✓ **Educación**

Las características educativas influirán directamente en la adopción de actitudes y conductas preventivas y de autoprotección de la población, asimismo, pueden mejorar sus conocimientos sobre fenómenos y riesgos. Es un derecho fundamental de todo individuo el tener acceso a la educación y es una herramienta que influirá en los niveles de bienestar del individuo.

✓ **Analfabetismo**

Además de las limitaciones directas que implica la carencia de habilidades para leer y escribir, es un indicador que muestra el retraso en el desarrollo educativo de la población, que refleja la desigualdad en el sistema educativo. La falta de educación es considerada como uno de los factores claves con respecto a la vulnerabilidad social.

✓ **Población de 6 a 14 años que asiste a la escuela**

El indicador muestra a la población que se encuentra en edad de demandar los servicios de educación básica, la cual es fundamental para continuar con capacitación posterior que proporcione las herramientas para acceder al mercado laboral.

Para este indicador no se tuvo la información disponible, por lo que no fue posible realizar un mapa por municipios.

✓ **Grado promedio de escolaridad**

Refleja a la población que cuenta con menos de nueve años de educación formal, la educación secundaria es obligatoria para la conclusión del nivel básico de educación. Se considerará a la población mayor de 15 años que no ha completado la educación secundaria como población con rezago educativo.

✓ **Vivienda**

La vivienda es el principal elemento de conformación del espacio social, ya que es el lugar en donde se desarrolla la mayor parte de la vida. La accesibilidad y las características de la vivienda determinan en gran medida la calidad de vida de la población.

En relación con los desastres de origen natural, la vivienda es uno de los sectores que recibe mayores afectaciones. Los daños a la vivienda resultan ser, en algunos casos, uno de los principales parámetros para medir la magnitud de los desastres. Cuando el estado de una vivienda es precario, el número y la intensidad de los factores de riesgo que se presentan por diversos fenómenos resultan elevados y las amenazas a la salud de sus habitantes se elevan de igual manera.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 77 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

La vulnerabilidad de una vivienda, en una de sus tantas facetas, se reflejará tanto en los materiales de construcción, como en los servicios básicos con los que cuenta o de los que carece. Para efectos de esta metodología se han tomado seis indicadores que permitirán establecer el grado de vulnerabilidad de la población con respecto a la calidad de su vivienda.

Los primeros indicadores se refieren al número de viviendas que no cuentan con los servicios básicos (agua, luz y drenaje) ya que reflejarán una aproximación a la cantidad de viviendas que no cuenta con los satisfactores de necesidades básicas y de saneamiento de la población, lo cual incide directamente tanto en la comodidad, como en condiciones de salud de la población.

Aun cuando no es una regla, una gran cantidad del sector vivienda que no cuenta con servicios básicos pertenece al sector informal de la construcción, y se localiza en zonas altamente expuestas a peligros naturales, zonas de reserva ecológica o fuera de planes de desarrollo urbano, lo anterior las hace altamente vulnerables.

✓ Viviendas sin servicio de agua entubada

La falta de agua entubada en caso de desastre puede llegar a retrasar algunas labores de atención, ya que el llevar al lugar agua que cumpla con las mínimas medidas de salubridad toma tiempo y regularmente la obtención y el almacenamiento de agua en viviendas que no cuentan con agua entubada se lleva a cabo de manera insalubre.

✓ Población sin servicio de drenaje

La carencia de drenaje en una vivienda puede llegar a aumentar su vulnerabilidad frente a enfermedades gastrointestinales, las cuales en situaciones de desastre aumentan considerablemente.

✓ Viviendas sin servicio de electricidad

La falta de energía eléctrica aumenta la vulnerabilidad de las personas frente a los desastres naturales, ya que el no contar con este servicio excluye a la población de formas de comunicación, asimismo la capacidad de respuesta se puede retrasar.

✓ Viviendas con paredes de material de desecho y láminas de cartón

Este indicador mostrará el número de viviendas que por las características del material con que fue construida puede ser vulnerable frente a cierto tipo de fenómenos.

Con los datos que contiene el INEGI, no se tienen variables que se puedan utilizar para la construcción del indicador.

✓ Viviendas con piso de tierra

Las viviendas de piso de tierra aumentan la vulnerabilidad de sus habitantes frente a desastres naturales, ya que el riesgo de contraer enfermedades es mayor y su resistencia frente a ciertos fenómenos es menor que otro tipo de construcciones.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 78 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

✓ Déficit de vivienda

El déficit de vivienda es el resultado de un explosivo crecimiento demográfico, la inequitativa distribución de la riqueza, la falta de financiamiento de algunos sectores de la población para poder adquirir una vivienda. Además, el problema no sólo se remite a la insuficiencia de la vivienda sino también a las condiciones de la misma.

Para este indicador no se cuenta con información de parte del censo 2010, por lo que no se realizó un mapa descriptivo.

✓ Población económicamente activa (PEA) que recibe ingresos de menos de 2 salarios mínimos

Aun cuando son diversos los factores que influyen en la determinación de los salarios, las remuneraciones guardan relación con la productividad en el trabajo, además este indicador proporcionará de manera aproximada el porcentaje de la población que no puede satisfacer sus necesidades básicas de alimentación, vivienda, salud, etc.

✓ Razón de dependencia

Mientras mayor sea la razón de dependencia, más personas se verán en desventaja frente a un desastre de origen natural ya que su capacidad de respuesta y prevención prácticamente va a ser nula.

✓ Tasa de desempleo abierto

Este indicador se refiere directamente a la situación de desempleo que influye sobre la capacidad de consumo de la población, así como en la capacidad de generar los recursos que posibiliten la adquisición de bienes satisfactorios.

✓ **Población**

Se consideran principalmente tres aspectos sociales de la población: dos de ellos se refieren a la distribución y dispersión de los asentamientos humanos y el tercero a los grupos étnicos que cuyas condiciones de vida se asocian a diferencias culturales y sociales, y que a su vez representan uno de los grupos más marginados del país.

✓ Densidad de población

La densidad, más que un problema de sobrepoblación, refleja un problema de mala distribución de la población, además de que la tasa de crecimiento es elevada, el problema se agudiza por la migración del medio rural a las ciudades. Cuando la gente se encuentra concentrada en un área limitada, una amenaza natural puede tener un impacto mayor.

✓ Población de habla indígena

La mayoría de los municipios donde se asienta la población indígena, presenta una estructura de oportunidades muy precaria, lo cual se refleja en condiciones de vulnerabilidad de esta población.

✓ **Dispersión poblacional**

La dispersión poblacional se manifiesta principalmente en localidades pequeñas cuyas condiciones de escasez y rezago en la disponibilidad de servicios públicos representan un problema. Estas localidades presentan las mayores tasas de fecundidad, mortalidad infantil y ausencia o deficiencia de servicios básicos: agua, drenaje, electricidad, telefonía y caminos de acceso.

3.5.1.1 Resultados

De la información disponible en INEGI y con base a la metodología propuesta por (CENAPRED-AR, 2014) se determinó la estimación de un índice global de vulnerabilidad social, que se obtiene considerando todos los valores presentes en los rangos de la metodología, que van de vulnerabilidad muy baja hasta vulnerabilidad muy alta. Ver Ilustración 3-38 Índice de vulnerabilidad social global.

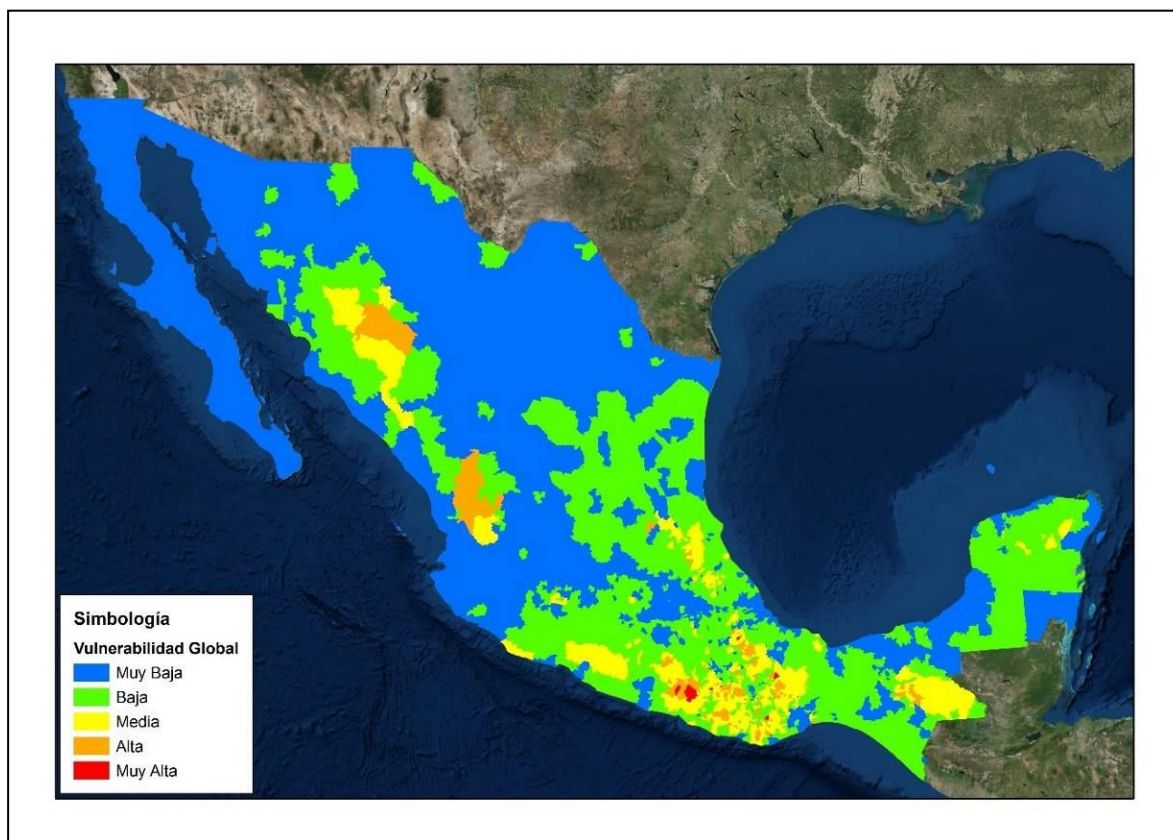


Ilustración 3-38 Índice de vulnerabilidad social global

3.6 Índice municipal de seguridad hídrica

3.6.1 Peligro

El índice de peligro se cuantifica en términos de probabilidad y la ocurrencia de un fenómeno en un lapso de tiempo estimado, potencialmente dañino para los bienes expuestos. Para medir la probabilidad de incidencia y así calcular el índice de Peligro se contemplaron los siguientes parámetros (Tabla 3-9) de acuerdo a su peligrosidad:

Tabla 3-9 Indicadores que conforman el Índice de Peligro

Tema	Indicadores	Fuente	Año	Disponibilidad
Incendios forestales	Incendios forestales por municipio	CONAFOR	2010-2016	✓
Inundaciones	Declaratorias de emergencia (ciclones, lluvia intensas, inundaciones, bajas temperaturas, granizada, nevada, helada y tornado)	CONAGUA	2016	✓
Calidad del agua	Demanda bioquímica de oxígeno por municipio	CONAGUA	2016	✓
Acuífero	Abatimiento del nivel freático por municipio	IMTA	2016	✓
Sequias	Anormalmente seco Sequia moderada Sequia severa Sequia extrema Sequia excepcional	IMTA	2003 -2017	✓
Agua potable y saneamiento	Índice Global de Acceso a los Servicios Básicos de Agua (IGASA) Acceso a los servicios de saneamiento (IAS) Acceso a los servicios de agua potable (IAAP)	CONAGUA	2016	✓

Para cada parámetro se recopiló toda la información disponible de cada municipio de la República de los últimos años, con el fin de obtener un valor promedio y así aplicarle una Distribución Normal para que cada variable adopte valores o rangos iguales y diseñar un escenario de acontecimientos futuros considerando las tendencias actuales.

De la Ilustración 3-39 a la Ilustración 3-43, se presentan los mapas para cada uno de los peligros.

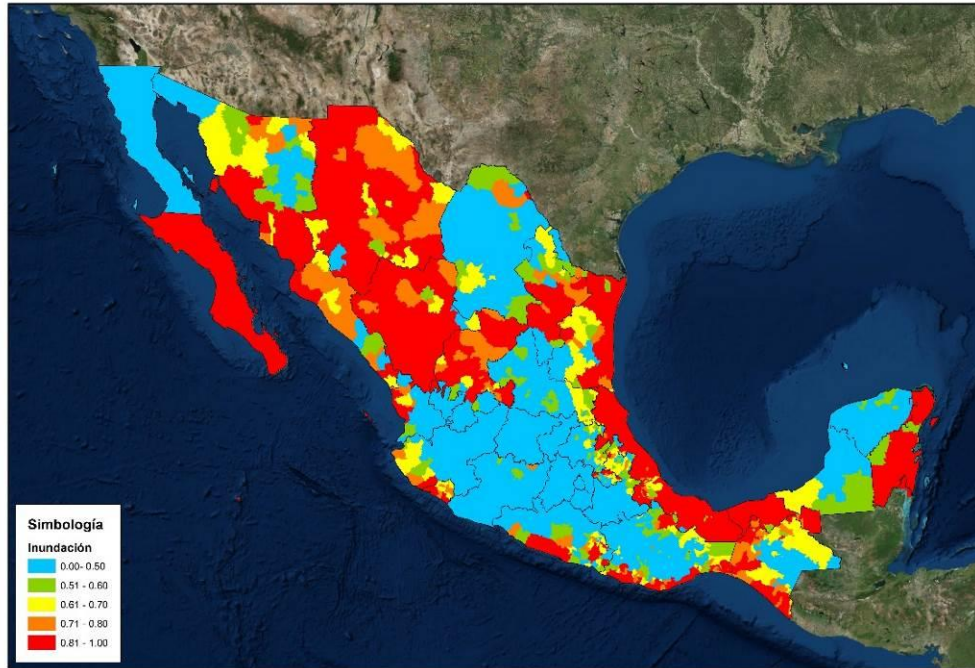


Ilustración 3-39 Mapa de peligro por inundación

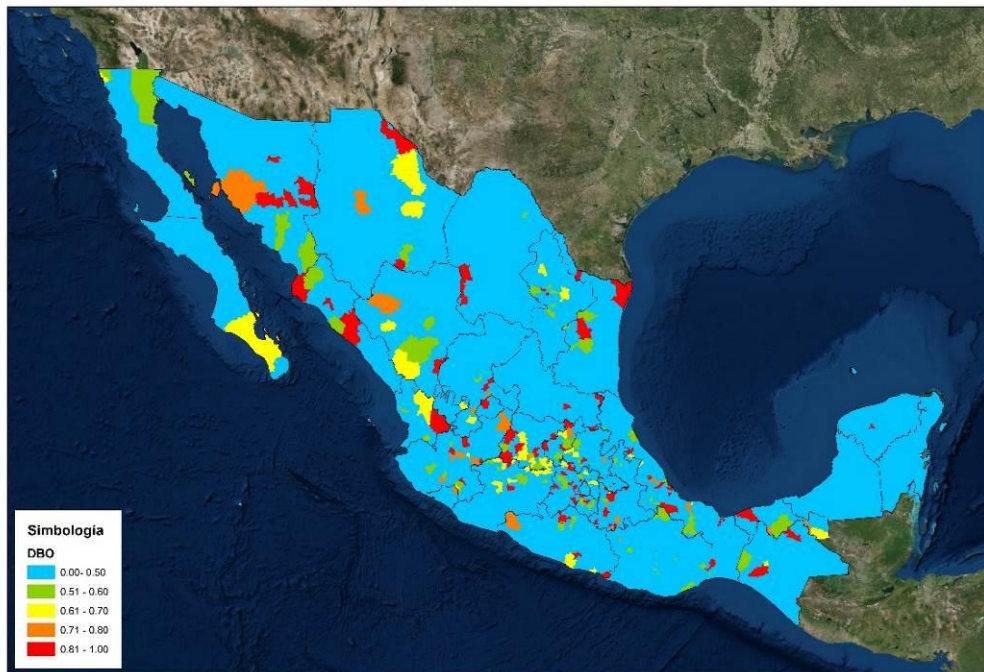


Ilustración 3-40 Mapa de peligro por DBO

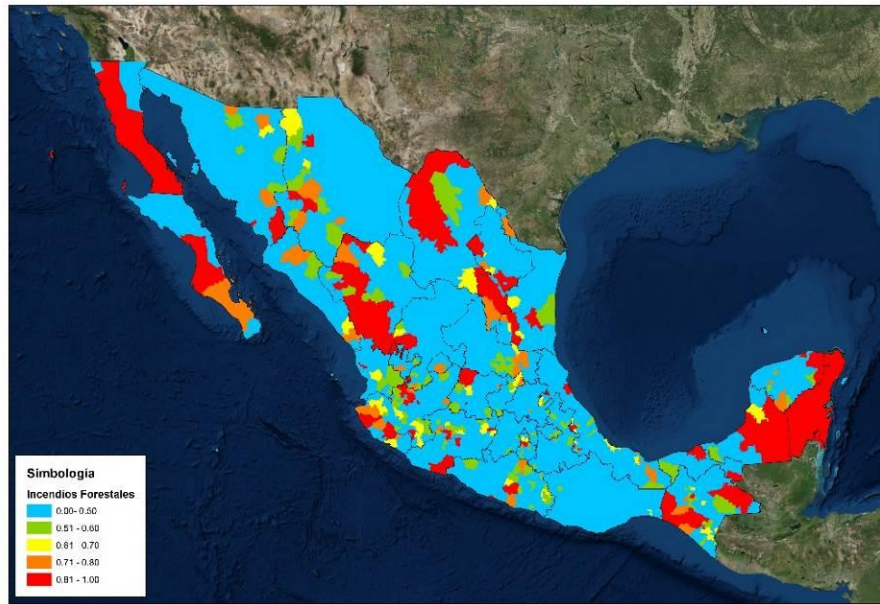


Ilustración 3-41 Mapa de peligro por incendios forestales

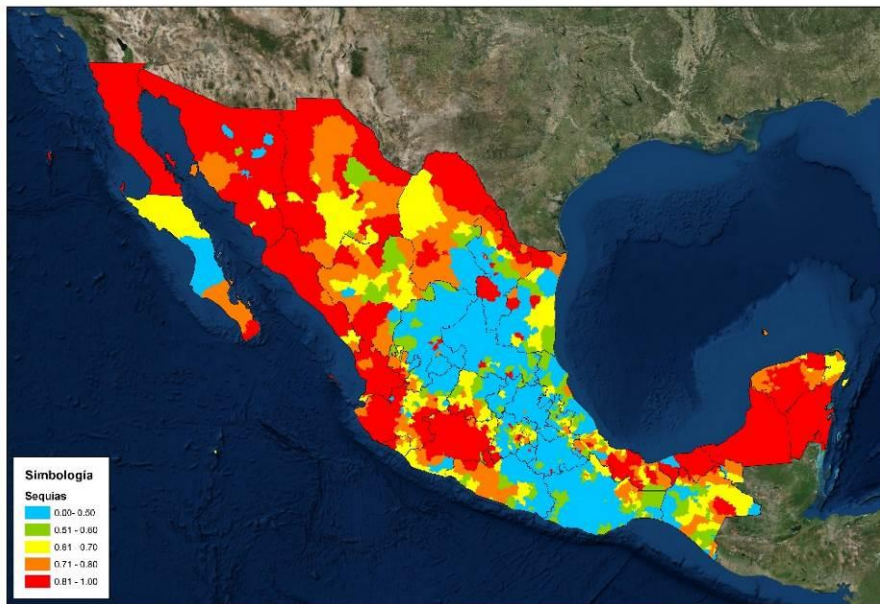


Ilustración 3-42 Mapa de peligro por sequias

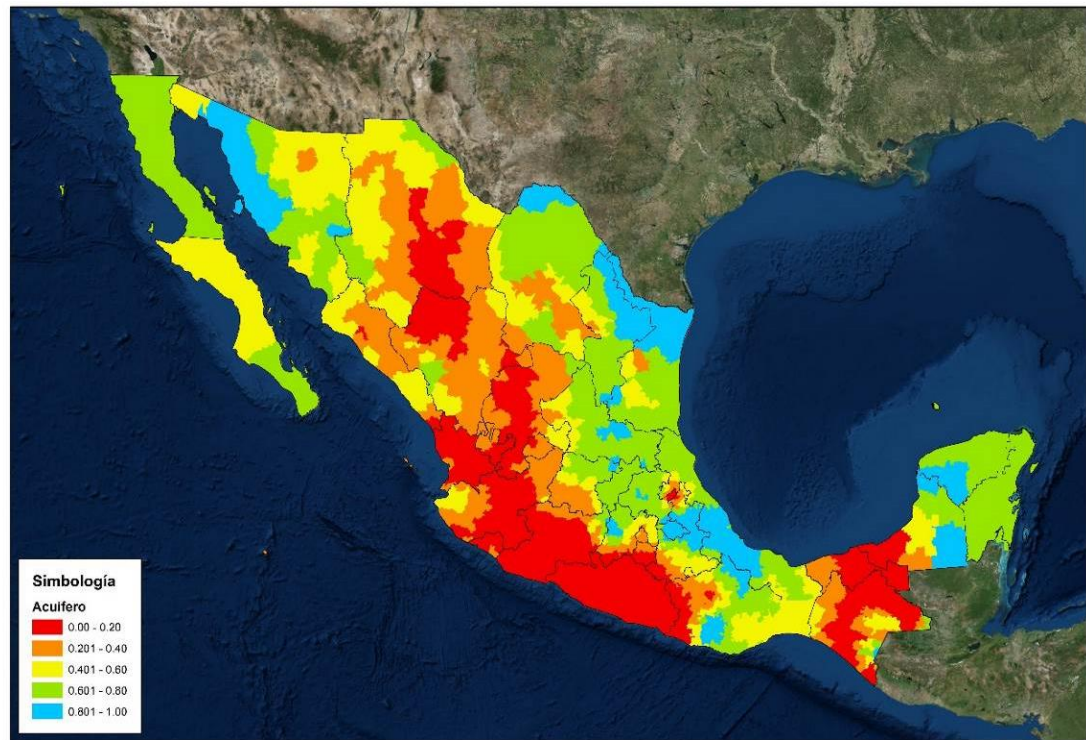


Ilustración 3-43 Mapa de peligro por abatimiento del acuífero

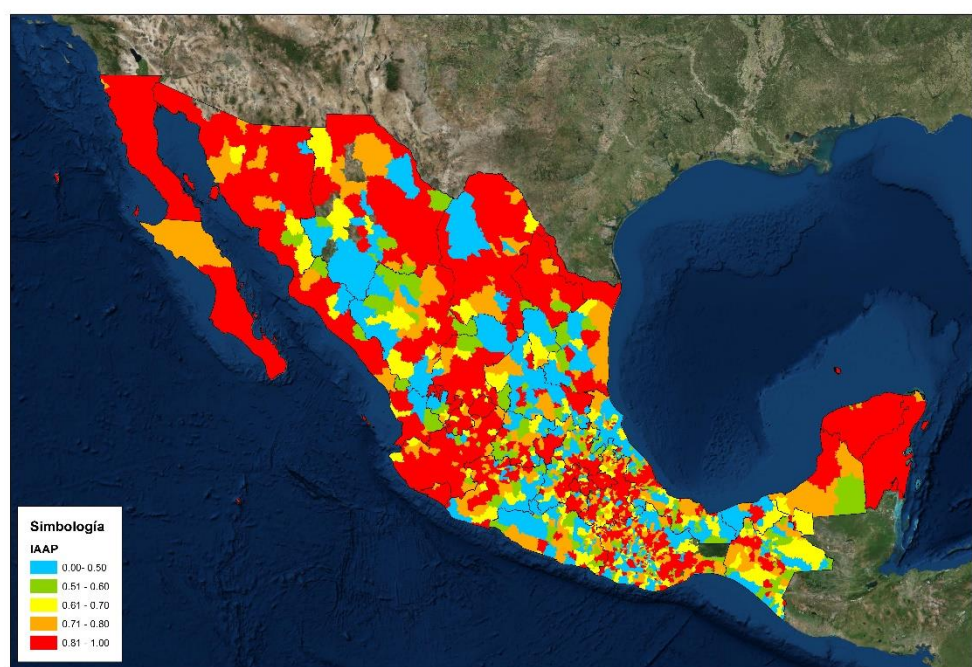


Ilustración 3-44 Mapa de peligro para los servicios de agua potable

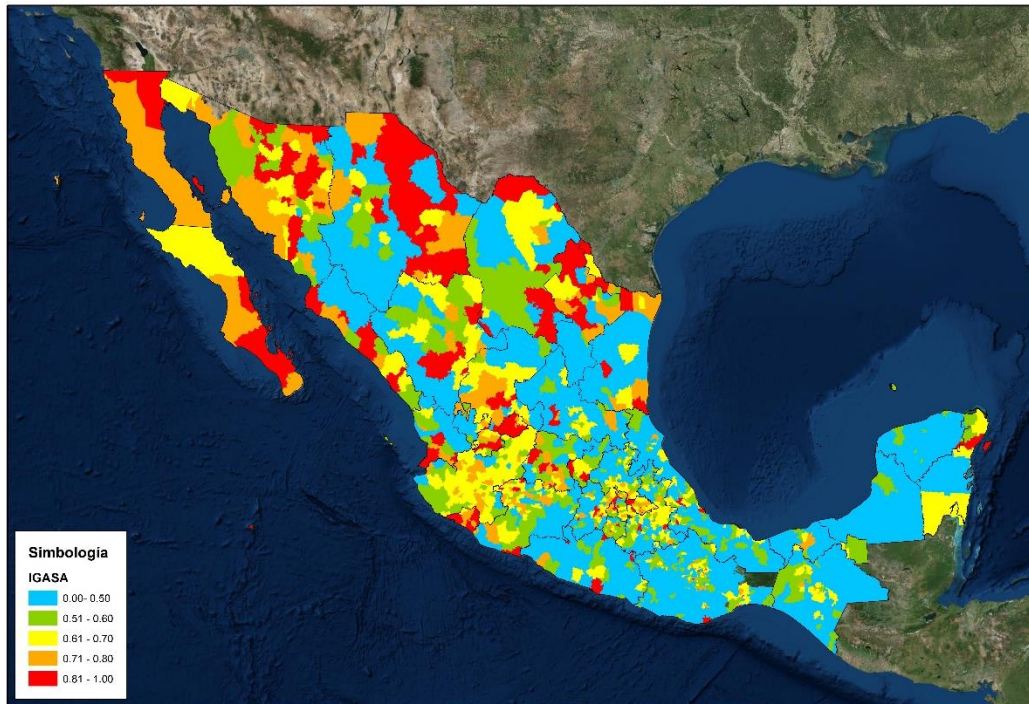


Ilustración 3-45 Mapa de peligro para el accesos a los servicios básicos del agua

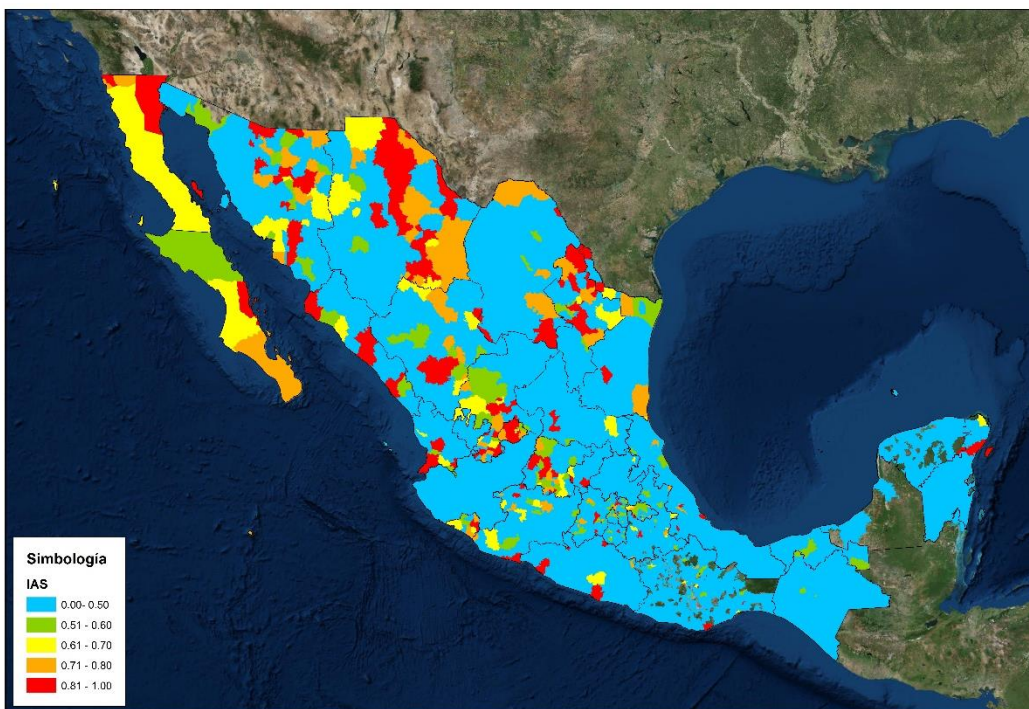


Ilustración 3-46 Mapa de peligro para el acceso a los servicios de agua potable.

Una vez generado el índice de ocurrencia de cada fenómeno por municipio, estos se suman para obtener un índice de probabilidad de peligro por cada municipio.

3.6.1.1 Índice de peligro a nivel municipal

A partir de los anteriores criterios señalados, se puede expresar el cálculo del peligro con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 \text{Peligro}_{mun} = & I.F. + Inund. + DBO + Sequias + Acuíferos + IGASA \\
 & + IAP + IAS
 \end{aligned}
 \qquad \text{Ecuación 5}$$

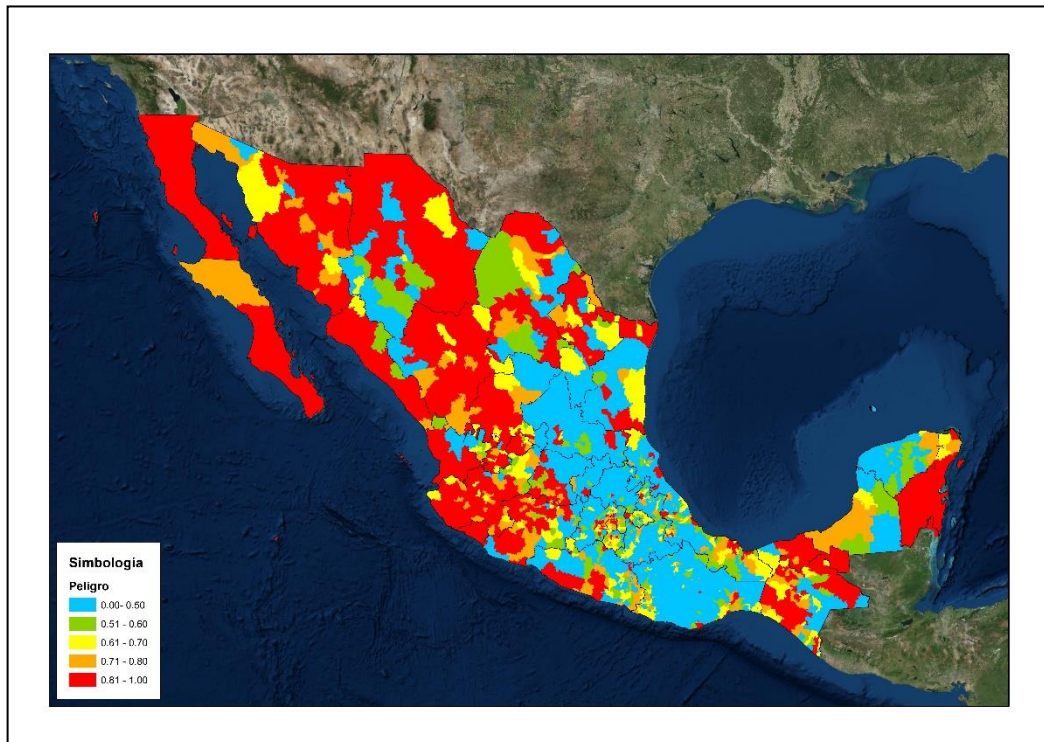


Ilustración 3-47 Índice de peligro en la República Mexicana

3.6.2 Vulnerabilidad

Para estimar los indicadores socioeconómicos de vulnerabilidad para cada municipio, de igual manera se recopiló la información de los últimos años y se normalizaron los parámetros que conforman el índice de vulnerabilidad, ya que estos influyen directamente sobre las condiciones básicas de bienestar y desarrollo de los individuos y de la sociedad en general, estos indicadores se mencionan a continuación:

Tabla 3-10 Indicadores que conforman el Índice de Vulnerabilidad

Tema	Indicadores	Fuente	Año	Disponibilidad
GRAPOES	Grado Promedio de Escolaridad	INEGI	2010	✓
PM	Proporción de Médicos por cada 1,000 habitantes	INEGI	2010	✓
TMI	Tasa de Mortalidad Infantil	INEGI	2010	✓
PND	Población No Derechohabiente	INEGI	2010	✓
A	Analfabetismo	INEGI	2010	✓
TVNDAE	Viviendas sin servicio de Agua Potable	INEGI	2010	✓
TVND	Viviendas sin servicio de Drenaje	INEGI	2010	✓
TVNDE	Viviendas sin servicios de Electricidad	INEGI	2010	✓
TVPH	Viviendas con piso de Tierra	INEGI	2010	✓
PEA	Población Económicamente Activa	INEGI	2010	✓
RD	Razón de Dependencia	INEGI	2010	✓
TDA	Tasa de Desempleo Abierto	INEGI	2010	✓
PI	Población de Habla Indígena	INEGI	2010	✓

3.6.2.1 Índice de vulnerabilidad a nivel municipal

Para generar el índice general de Vulnerabilidad por cada municipio, una vez normalizados los datos se procede a sumar cada uno de los parámetros y así obtener un índice global por cada municipio, como:

$$\begin{aligned}
 \text{Vulnerabilidad}_{mun} &= \text{GRAPROES} + \text{PM} + \text{PND} + \text{TMI} + \text{A} + \text{TVNDAE} + \text{TVND} \\
 &+ \text{TVNDE} + \text{TVPH} + \text{PEA} + \text{RD} + \text{TDA} + \text{PI}
 \end{aligned}
 \quad \text{Ecuación 6}$$

De la ecuación 6, se clasificaron los resultados por municipio para generar un mapa de índice de vulnerabilidad. Considerando los siguientes rangos:

En la Ilustración 3-48, se tiene representado la vulnerabilidad de manera global, el cual está delimitado en áreas municipales.

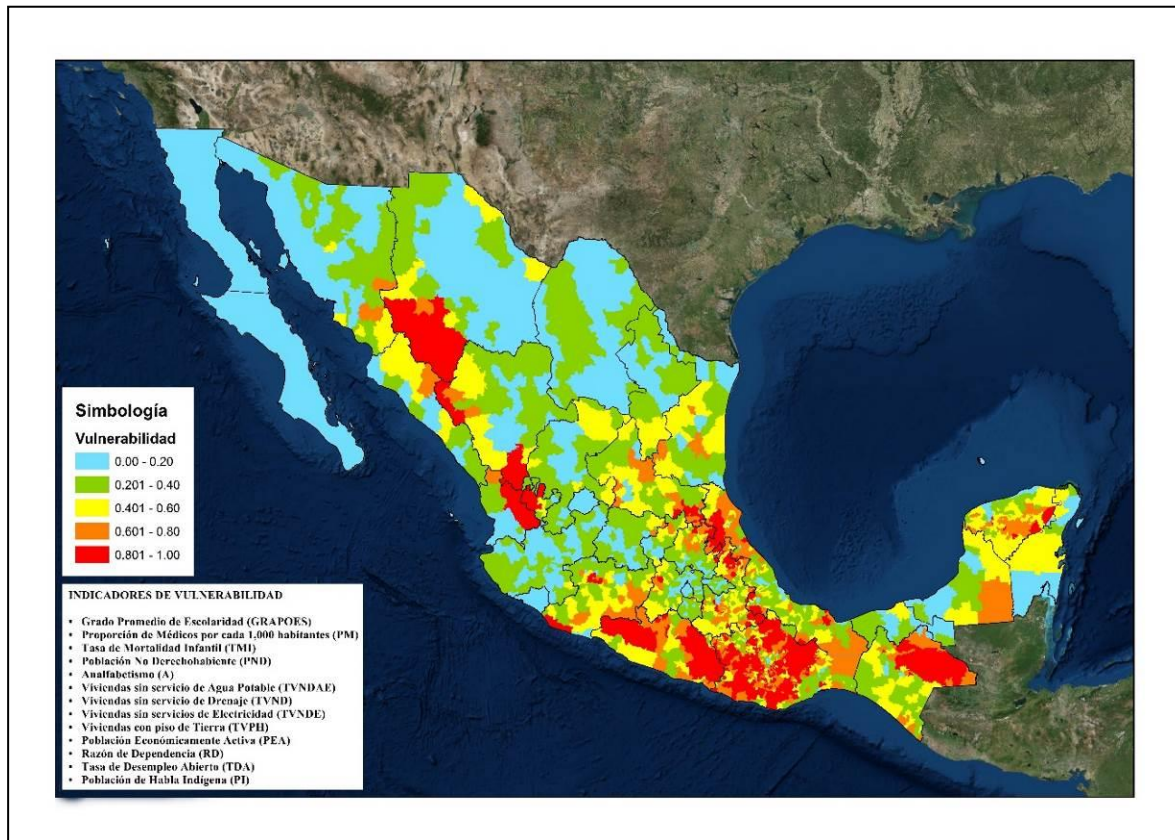


Ilustración 3-48 Índice de vulnerabilidad en la República Mexicana

3.6.3 Riesgo

El riesgo se define como la contingencia o proximidad a un daño, entendiéndose como la posibilidad de tener pérdidas significativas o resultados adversos. También se puede definir como la probabilidad de que se presente un determinado evento (llamado peligro), y las potenciales consecuencias adversas que tendrían para la salud humana, medio ambiente o las actividades económicas (vulnerabilidad).

Por lo tanto, para definir el índice de riesgo por cada municipio se suman los índices totales de peligro con el de vulnerabilidad y así obtener un índice global por municipio.

$$Riesgo_{mun} = Peligro_{mun} \times Vulnerabilidad_{mun}$$

Ecuación 7

Para representar el índice de riesgo se generó un mapa partiendo de los resultados de la ecuación anterior,

La Ilustración 3-49, expresa el nivel de riesgo que se obtiene a partir del índice de peligro (Ilustración 3-47) y el índice de vulnerabilidad representado en la Ilustración 3-48.

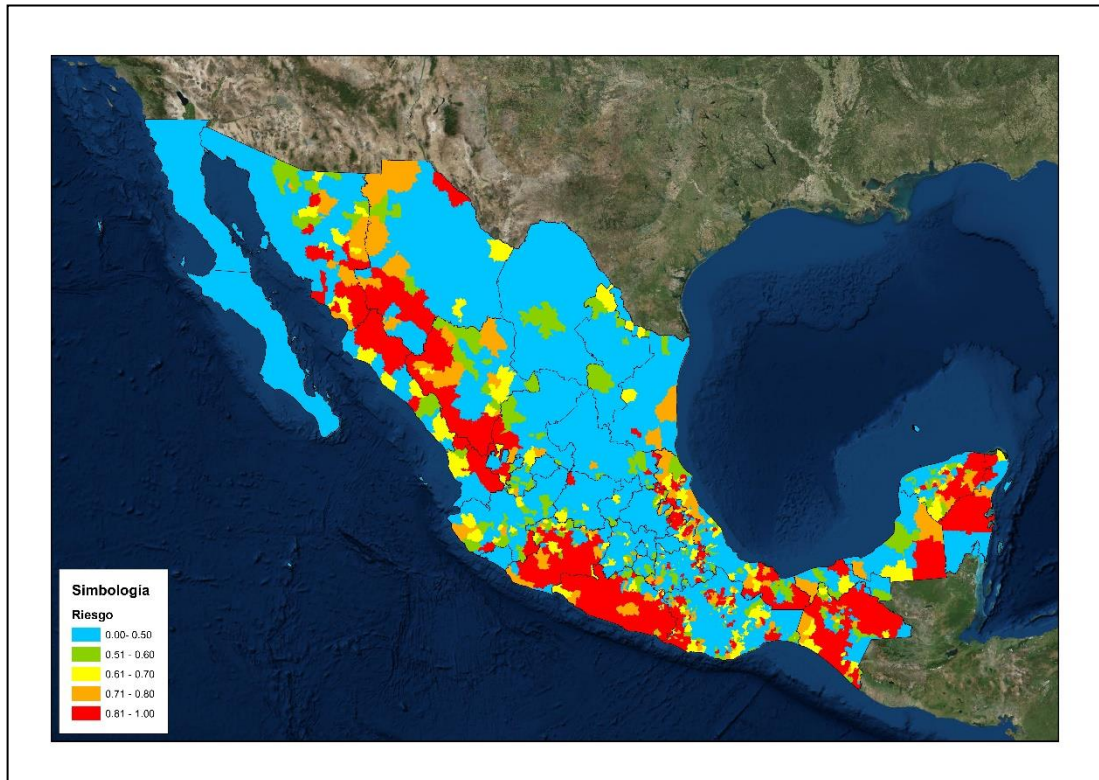


Ilustración 3-49 Índice de riesgo en la República Mexicana

3.6.4 Índice de seguridad hídrica municipal

El riesgo y la seguridad hídrica son dos conceptos estrechamente relacionados. El riesgo mide el daño que los procesos biofísicos y sociales pueden ocasionar a la población y los ecosistemas. La seguridad hídrica muestra la capacidad de una sociedad para satisfacer sus necesidades básicas de agua, la conservación y el uso sustentable de los ecosistemas acuáticos y terrestres; así como la capacidad para producir alimentos sin atentar contra la calidad y cantidad de los recursos hídricos disponibles, y los mecanismos y regulaciones sociales para reducir y manejar los conflictos o disputas por el agua.

Para establecer el índice de seguridad hídrica, es necesario tomar en cuenta que el Índice de riesgo es el inverso al índice de seguridad hídrica, por lo tanto:

$$Seg.Hidrica_{mun} = 1 - Riesgo_{mun}$$

Ecuación 8

Aplicando la ecuación anterior, en el sistema de información geográfica elaborado, resulta que: el área y población de acuerdo con el censo de INEGI de 2010 (ver Tabla 3-11); para el rango de 0.00 a 0.50 se obtuvo un área de 795,782.48 km² (24,997,440 habitantes), para un rango de 0.51 a 0.60 se tiene un área de 309,285.57 km² (9,423,135 habitantes), de 0.61 a 0.70 se presentan 311,240.27 km² (26,179,813 habitantes), de 0.71 a 0.80 el rango abarca un área de 344,361.10 km² (34,858,987 habitantes) y a partir del rango de 0.81 a 1.00 se cuenta con área de 195,569.77 km² (16,877,163 habitantes).

Tabla 3-11 Rangos de área y población para la seguridad en México

Rango	Municipios	Área (km ²)	Población (hab)	Población (%)
0.00 - 0.50	951	795,782.48	24,997,440	22.25
0.51 - 0.60	292	309,285.57	9,423,135	8.39
0.61 - 0.70	367	311,240.27	26,179,813	23.30
0.71 - 0.80	439	344,361.10	34,858,987	31.03
0.81 - 1.00	407	195,569.77	16,877,163	15.02
Total	2,456	1,956,239.18	112,336,538	100.00

En conclusión, los municipios con menor índice de seguridad hídrica son: San Francisco (Oax), San Juan Lachigalla (Oax), San Pedro Martir (Oax), Monjas (Oax), Coatecas Altas y San Jeronimo Taviche (Oax), como se muestra en la siguiente ilustración.

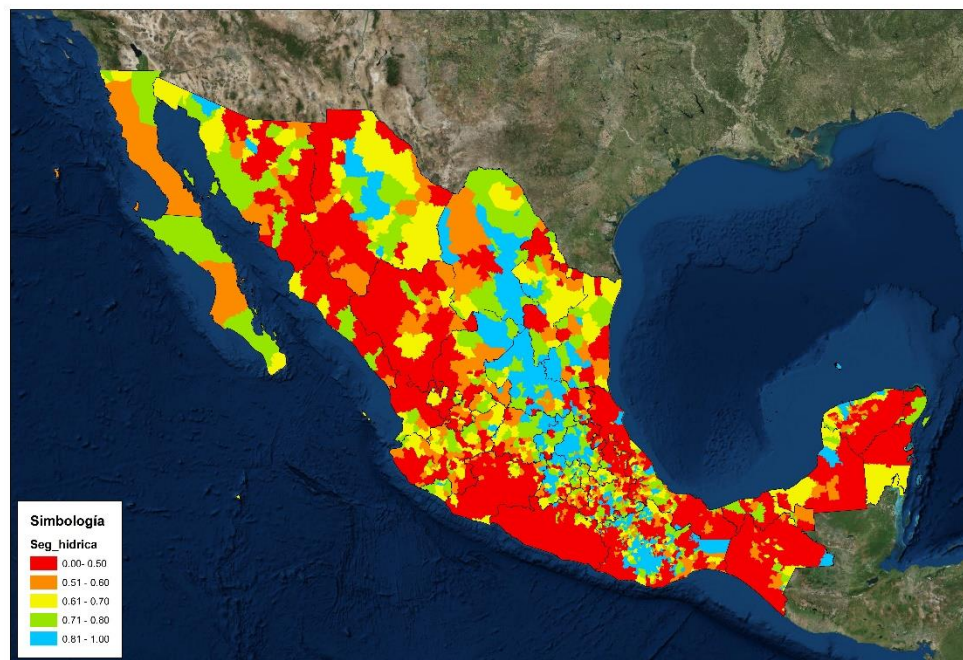


Ilustración 3-50 Índice de seguridad hídrica en la República Mexicana

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 90 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

3.7 Índice Global de Seguridad Hídrica (IGSH) a nivel estatal

Se describe la metodología del índice, y se presenta el resultado final de su aplicación con datos 2015, principalmente de la CONAGUA, así como datos internacionales en la componente de administración. Ver informe completo de la aplicación de este índice en el anexo 6.

Una de las propuestas de la literatura técnica internacional para medir la seguridad hídrica es El Índice Global de Seguridad Hídrica (Animesh, K. G. et al, 2016), que mide la seguridad hídrica según el objetivo 6 de los 17 objetivos globales para Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU): “Garantizar la *disponibilidad* de agua y su *gestión* sostenible y el *saneamiento* para todos” (ONU O. d., 2017).

Lo interesante de este índice es que los autores lo aplicaron a nivel mundial, de modo que se puede identificar el desempeño de cada país en seguridad hídrica, pero aún de cada región dentro de los países. Existe pues un benchmarking mundial de seguridad hídrica que facilita la cooperación internacional, ya que la medición es con el mismo índice y no con índices elaborados por cada país con diferentes contenidos, y por tanto con diferentes significados, siendo por tanto no comparables. Al respecto, en el tema de balances en sistemas de abastecimiento de agua potable, (Lambert, 2002) establece que cualquier discusión sobre pérdidas debe ser precedida de una clara definición de los componentes del balance de agua, con una terminología común internacional.

En este índice se pueden identificar cuatro factores físicos y socioeconómicos interrelacionados de atención prioritaria, ponderados, que son la disponibilidad hídrica, la accesibilidad a los servicios de agua y saneamiento, la seguridad y calidad del agua, y su administración. Estos cuatro factores interrelacionados se integran a su vez por varios indicadores también ponderados. La metodología de aplicación del Índice Global de Seguridad Hídrica se describe en los apartados siguientes.

3.7.1 Normalización de datos

Previo a la agregación de cualquier dato dentro de un indicador, en un conjunto de datos que con frecuencia tienen diferentes unidades de medición, estos deben normalizarse. La OECD considera nueve métodos de normalización, que se presentan en la Tabla 3-12 . (OECD, 2008)

Dentro de los métodos más aplicados de normalización en los temas agua potable y seguridad hídrica están los de estandarización, Min-Max, y el de escalas categóricas, como se verá más adelante.

Tabla 3-12. Métodos de normalización de indicadores. Fuente: (OECD, 2008).

Método	Ecuación
1. Clasificación (Ranking)	$I_{qc}^t = Rank(x_{qc}^t)$
2. Estandarización (o z-puntuación)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc-\tau}^t}{\sigma_{qc-\tau}^t}$
3. Min-Máx	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc-\min_c}^t(x_q^{t_0})}{\max_c(x_q^{t_0}) - \min_c(x_q^{t_0})}$
4. Distancia a un país de referencia	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc-\tau}^{t_0}}$ o $I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc-\tau}^0}{x_{qc-\tau}^0}$
5. Escalas categóricas	Ejemplo: $I_{qc}^t = \begin{cases} 0 & \text{si } x_{qc}^t < P^{15} \\ 20 & \text{si } P^{15} \leq x_{qc}^t < P^{25} \\ 40 & \text{si } P^{25} \leq x_{qc}^t < P^{65} \\ 60 & \text{si } P^{65} \leq x_{qc}^t < P^{85} \\ 80 & \text{si } P^{85} \leq x_{qc}^t < P^{95} \\ 100 & \text{si } P^{95} \leq x_{qc}^t \end{cases}$
6. Indicadores arriba o bajo de la media	$I_{qc}^t = \begin{cases} 1 & \text{si } w > (1 + p) \\ 0 & \text{si } (1 - p) \leq w \leq (1 + p) \\ -1 & \text{si } w < (1 - p) \end{cases}$ <p>Donde: $w = \frac{x_{qc}^t}{x_{qc-\bar{c}}^{t_0}}$</p>
7. Indicadores cíclicos (OECD)	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t))}$
8. Balance de opiniones (EC)	$I_{qc}^t = \frac{100}{N_e} \sum_e^{N_e} sgn_e(x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1})$
9. Porcentaje de diferencias anuales sobre años consecutivos	$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc}^{t-1}}{x_{qc}^t}$

x_{qc}^t es el valor del indicador q para el país c en un tiempo t . \bar{c} el país de referencia. El operador sgn proporciona el signo del argumento (es decir +1 si el argumento es positivo, -1 si el argumento es negativo). N_e es el número total de expertos encuestados. P^i es el percentil i de la distribución del indicador x_{qc}^t y p es el límite alrededor de la media.

3.7.2 Disponibilidad

La disponibilidad hídrica se determina en función de los indicadores de escasez, de sequías, y de abatimiento de aguas subterráneas, con ponderaciones de 70%, 15%, y 15% respectivamente, y cuya determinación y normalización se describen en los siguientes apartados.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 92 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

En su indicador de escasez está la oferta sustentable y la demanda sustentable, y en este último dato se incluye la demanda para los servicios de agua potable, y todos los demás usos (agropecuario, industrial y otros), y pudiera pensarse que en alguna medida se duplica con el indicador de servicio de agua potable de la componente de Accesibilidad a los Servicios Mejorados, sólo que la característica de mejorado lo hace diferente, además de que junto con el saneamiento, también mejorado, son la parte central del objetivo 6 de los 17 objetivos globales para Desarrollo Sostenible establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2017), e inciden directamente en la salud y bienestar de toda la población.

3.7.2.1 Índice de escasez

Se determina en función de la oferta sustentable o renovable, de la demanda ambiental que corresponde al gasto ecológico, y la demanda de la oferta, o sea la demanda de agua renovable para todos los usos, público urbano y rural, industrial, y agropecuario, y el ambiental ya está establecido.

La metodología retoma el índice de escasez de agua (*WSI*) definido como la relación del total de agua extraída y del agua disponible, tomando en cuenta los requerimientos de flujo ambiental Ecuación 9). El agua disponible incluye el agua subterránea renovable. La extracción incluye el agua superficial y el agua subterránea renovable que se usa en la agricultura, industria y en los hogares. Sin embargo, el uso de agua subterránea no renovable, es decir su sobreexplotación, no se incluye dentro del agua extraída, sino en un indicador separado (Animesh, K. G. et al, 2016).

$$WSI_i = \frac{W_{w,i}}{A_{w,i} - E_{w,i}} \quad \text{Ecuación 9}$$

donde:

W_w : agua extraída (Demanda)

A_w : agua disponible (Renovable)

E_w : requerimiento de flujo ambiental (caudal ecológico)

En la anterior ecuación el caudal ecológico E_w se calcula como Q_{90} , es decir el flujo de escurrimiento mensual que es excedido 90% del tiempo, ya que aunque es mejor determinarla por el grado y naturaleza de su dependencia del flujo de escurrimiento, tal información es raramente observada directamente (Animesh, K. G. et al, 2016).

En su aplicación práctica el caudal ambiental se puede calcular como un % del agua disponible o renovable ($\%A_w$). Asimismo, *WSI* sólo puede variar entre 0 y 100% del denominador, ya que el uso de agua subterránea no renovable no se incluye dentro del agua extraída sino en un indicador separado.

Por lo explicado, cualquier resultado de la Ecuación 9 sólo puede estar entre 0 y 1, que es la escala requerida para su integración con otros indicadores. Es decir, ya no requiere de la aplicación del algún método de normalización.

3.7.2.2 Índice de sequías

Corresponde a la sequía hidrológica, en función de su frecuencia y la frecuencia promedio de un periodo. Para estimar la sequía hidrológica la metodología del índice usa el flujo mensual percentil 80, Q80, es decir el flujo medio de escurrimiento mensual que es excedido el 80% del tiempo (Animesh, K. G. et al, 2016).

En su aplicación se puede usar el criterio en el cual se determina el porcentaje de municipios afectados por la sequía, o bien el porcentaje de área estatal afectada en un periodo de análisis, como se muestra en la Tabla 3-13 para el caso de las entidades de México con periodo de análisis del 2003 al 2017 (Gaucín, El peligro de sequía como indicador de seguridad hídrica, 2017).

++

Tabla 3-13. Opciones para índice de sequías por Estado. Fuente (Gaucín, El peligro de sequía como indicador de seguridad hídrica, 2017)

Entidad federativa	Índice de sequías ₁ (% municipios con sequía*)	Índice de sequía ₂ (% de área con sequía-2003-2017)
Aguascalientes	0.1361	0.25
Baja California	0.4959	0.67
Baja California Sur	0.2398	0.40
Campeche	0.2493	0.50
Coahuila de Zaragoza	0.2782	0.45
Colima	0.1877	0.43
Chiapas	0.1802	0.39
Chihuahua	0.2607	0.48
Distrito Federal	0.1619	0.43
Durango	0.229	0.41
Guanajuato	0.1977	0.39
Guerrero	0.12	0.35
Hidalgo	0.0781	0.27
Jalisco	0.2315	0.44
México	0.1609	0.37
Michoacán	0.2651	0.50
Morelos	0.1272	0.33
Nayarit	0.2404	0.51

Entidad federativa	Índice de sequías ₁ (% municipios con sequía*)	Índice de sequía ₂ (% de área con sequía-2003-2017)
Nuevo León	0.1774	0.35
Oaxaca	0.0681	0.25
Puebla	0.1043	0.31
Querétaro	0.1049	0.28
Quintana Roo	0.2417	0.46
San Luis Potosí	0.1111	0.30
Sinaloa	0.2901	0.54
Sonora	0.3264	0.62
Tabasco	0.3189	0.49
Tamaulipas	0.1613	0.37
Tlaxcala	0.1443	0.33
Veracruz	0.1362	0.39
Yucatán	0.2139	0.47
Zacatecas	0.1714	0.32

Por lo que se ve en la Tabla 3-146 que cualquier resultado del indicador de sequía sólo puede estar entre 0 y 1, por lo que tampoco requiere normalización.

3.7.2.3 Abatimiento de aguas subterráneas

Se determina en función de la recarga natural y los retornos de irrigación, y de la extracción anual de aguas subterráneas (para todos los usos), que si es mayor a la recarga natural más los retornos de irrigación, significa abatimiento. El abatimiento se calcula como la diferencia entre los valores de estas variables, o como su cociente.

En este caso el cociente de la extracción entre la recarga natural más los retornos de riego puede ser mayor a 1, por lo que requiere normalizarse.

El método de normalización aplicado a los valores de abatimiento, obtenidos del cociente de la extracción y la recarga, para ponerlos en escala de 0 a 1, es el Mín-Max como se muestra en Ecuación 10 (OECD, 2008):

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - \min_c(x_q^{t_0})}{\max_c(x_q^{t_0}) - \min_c(x_q^{t_0})} \quad \text{Ecuación 10}$$

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 95 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

donde $I_{q,c}^t$: valor normalizado de un indicador individual q para un país (estado) c en un tiempo t .

$x_{q,c}^t$: valor crudo del indicador individual q para el país (estado) c en tiempo t , con $q=1, \dots, Q$ y $c=1, \dots, M$.

3.7.2.4 Cálculo de disponibilidad

Los indicadores de escasez, sequía y abatimiento, tienen carácter negativo, mientras que el concepto de disponibilidad tiene carácter positivo, por lo que la agregación se puede realizar con la ecuación siguiente:

$$I_{Disp} = 1 - ((0.7Esc) + (0.15Seq) + (0.15Abat))$$

Ecuación 11

3.7.3 Accesibilidad

La accesibilidad se determina como la suma del 60% de la cobertura de agua potable y el 40 de la cobertura de alcantarillado (Animesh, K. G. et al, 2016). Ver Ecuación 12.

$$I_{Acce} = (0.6agua) + (0.4saneam))$$

Ecuación 12

Por tratarse coberturas en porcentaje, los resultados se pueden considerar entre 0 y 1. No se requiere de alguna otra consideración de normalización.

3.7.3.1 Cobertura de servicios mejorados de agua potable

Población con acceso a fuentes de agua potable mejorada (%), o sea instalación punto de entrega que protege el agua de la contaminación externa, particularmente fecal. Incluye agua entubada en la vivienda, llave pública, pozo, manantiales protegidos, y recolección de agua de lluvia.

3.7.3.2 Cobertura de servicios mejorados de saneamiento

Población con acceso a saneamiento mejorado (%), si separa higiénicamente las excretas del contacto humano, y es no público, ya sea privado o compartido. Incluye descarga a alcantarillado, sistema séptico, letrina de descarga, letrina de pozo simple o letrina de pozo ventilado.

3.7.4 Calidad y seguridad

3.7.4.1 Índice de calidad del agua

De acuerdo con la metodología (Animesh, K. G. et al, 2016) y sus referencias (Srebotnjak, T. et al, 2011), a partir de consultas con expertos y de la disponibilidad de datos en la UNEP GEMS/Water (United Nation's Environment Programme's Global Environment Monitoring System for Water), los parámetros de calidad del agua son los cinco siguientes:

- Oxígeno disuelto (DO) en [mg/L]
- Conductividad eléctrica [Micro Siemens/cm]
- pH [Adimensional]
- fosforo total (P) [mg/L]
- nitrógeno total (N) [mg/L]

En relación a esos parámetros, el Programa UNEP GEMS/Water está en una posición única para monitorear el estado de la calidad del agua tierra adentro así como mantener la única base global de datos de calidad del aguas, GEMStat, con más de dos millones de entradas para lagos, ríos, y sistemas de aguas subterráneas, mediante cerca de 3,200 estaciones de monitoreo en poco más de 100 países. Ver en la **Tabla 3-14** el resumen y argumentos para la selección de los cinco parámetros, como base de monitoreo de la calidad del agua (Srebotnjak, T. et al, 2011).

Tabla 3-14. Resumen de parámetros (WATQ1), su razonamiento para la inclusión, y sus limitaciones en caracterizar la calidad del agua a nivel global. Fuente (Srebotnjak, T. et al, 2011).

Parámetro	Código	Unidad	Vínculo a vitalidad ecológica	Limitantes
Oxígeno Disuelto	OD	mg de O ₂ /L	Mide la saturación de oxígeno del cuerpo de agua y su capacidad para sostener la vida acuática aeróbica y su idoneidad para agua potable; bajo OD incrementa la conversión de nitratos a nitritos y sulfatos a sulfuros.	Es influenciado por la temperatura del agua (el agua fría puede contener más oxígeno); OD óptimo depende de las especies y el uso previsto del agua; la saturación además amenaza la vida acuática.
Conductividad eléctrica	EC	Micro Siemens /cm	Mide la cantidad total de iones disueltos en el agua y es un proxy por la contaminación antropogénica, idoneidad para agua potable; además está ligada a la composición y diversidad de especies	Es influenciada por la geología, clima evaporación, dimensión del depósito de agua relativo al tamaño del cuerpo de agua, y metabolismo bacterial en el cuerpo de agua.
pH	pH	Sin dimensión	Mide la acides o alcalinidad de los cuerpos de agua y afecta la respiración y desarrollo de la vida acuática también como la biodisponibilidad de metales solubles	Influenciado por la geología.
Fósforo total	P	mg/L	Nutriente y factor limitante para el crecimiento de algas, y por	Influenciado por la geología.

Parámetro	Código	Unidad	Vínculo a vitalidad ecológica	Limitantes
			tanto indicador de riesgo de eutrofización; vinculado a cambios en composición de las especies	
Nitrógeno total	N	mg/L	Compuesto de nitrógeno inorgánico y orgánico disuelto y particulado e indicador de riesgo eutrofización; vinculado a cambios en composición de las especies.	Elemento de origen natural influenciado por bacterias, fitoplancton, y la descomposición de la materia acuática.

En este caso las unidades de los cinco parámetros son diferentes, por lo que se requiere aplicar algún método de normalización. Una vez normalizados, se les considera igual peso, por lo que los resultados se suman y dividen entre cinco para obtener un índice global de calidad con rango de 0 a 100.

La transformación de los resultados de los cinco parámetros a una escala común, se hace de manera diferente en cada caso, mediante el método de escalas categóricas. Para el caso del pH los datos crudos se convierten a una escala de proximidad a valores objetivo, mediante la **Ecuación 13** en la que PTT (Proximity To Target) indica el valor de estación, de proximidad al objetivo; los subíndices i y j denotan el país o estado y estación respectivamente, y max o min el máximo o mínimo observado (winsorized-tratamiento estadístico sobre valores extremos y espurios) para el país (estado) i y estación j . El valor objetivo de un parámetro se denota por t . (Srebotnjak, T. et al, 2011):

$$PH_{i,j}^{PTT} = \begin{cases} 100, t_1^{PH} \leq PH_{i,j} \leq t_2^{PH} \\ 100 - 100x \frac{t_1^{PH} - PH_{i,j}}{t_1^{PH} - PH_{min}}, PH_{i,j} < t_1^{PH} \\ 100 - 100x \frac{PH_{i,j} - t_2^{PH}}{PH_{max} - t_2^{PH}}, PH_{i,j} > t_2^{PH} \end{cases} \quad \text{Ecuación 13}$$

3.7.4.2 Índice de inundaciones (seguridad)

Este índice es la frecuencia, local, municipal, estatal o nacional, de inundaciones en un periodo dado. Por ejemplo en México se tiene disponible información de declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos por municipio en el periodo 2000-20016, que publica la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2017-3).

Los resultados requieren la aplicación de un método de normalización. Siguiendo el mismo criterio de calidad del agua (Srebotnjak, T. et al, 2011).

3.7.4.3 Cálculo del Índice de calidad y seguridad

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 98 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

Los pesos de los indicadores de calidad y seguridad son 50% y 50% respectivamente, por lo que la agregación se realiza con la Ecuación 14.

$$I_{CS} = (0.5C) + (0.5S) \quad \text{Ecuación 14}$$

3.7.5 Administración

El índice de administración se integra por el Índice mundial de gobernanza con un peso de 70%, marco legal transfronterizo (15%), y tensión hidro-política transfronteriza (15%). Este índice de administración afecta a los otros tres criterios del Índice Global de Seguridad Hídrica (disponibilidad, accesibilidad, y calidad y seguridad), principalmente el índice mundial de gobernanza, que se aplica a nivel país, y que evalúa: voz y voto, estabilidad política y ausencia de violencia, eficacia gubernamental, calidad regulatoria, estado de derecho, y control de la corrupción.

3.7.5.1 Índice mundial de gobernanza

Dentro del índice mundial de gobernanza (The Worldwide Governance Indicators, 2017 Update), se establece que *“la gobernanza consiste en las tradiciones e instituciones por las cuales se ejerce la autoridad en un país. Esto incluye el proceso por el cual los gobiernos son seleccionados, monitoreados y reemplazados; la capacidad del gobierno para formular e implementar efectivamente políticas sólidas; y el respeto de los ciudadanos y el estado por las instituciones que gobiernan las interacciones económicas y sociales entre ellos”* (Kaufmann, D. y Kraay A., 2017).

En la Ilustración 3-51 se muestra la variación de los seis indicadores del índice mundial de gobernanza para México, en rango percentil de 0 a 100, del 2005 al 2015 (Kaufmann, D. y Kraay A., 2017). Se observa que tanto la eficacia gubernamental como la calidad regulatoria crecieron ligeramente, pero los otros cuatro indicadores, voz y voto, estabilidad política y no violencia, estado de derecho, y control de la corrupción siguieron empeorando.

El índice mundial de gobernanza (IMG) se obtiene del promedio de los 6 indicadores, los cuales se pueden considerar con valores entre 0 y1, por lo que no se requiere normalizarlos.

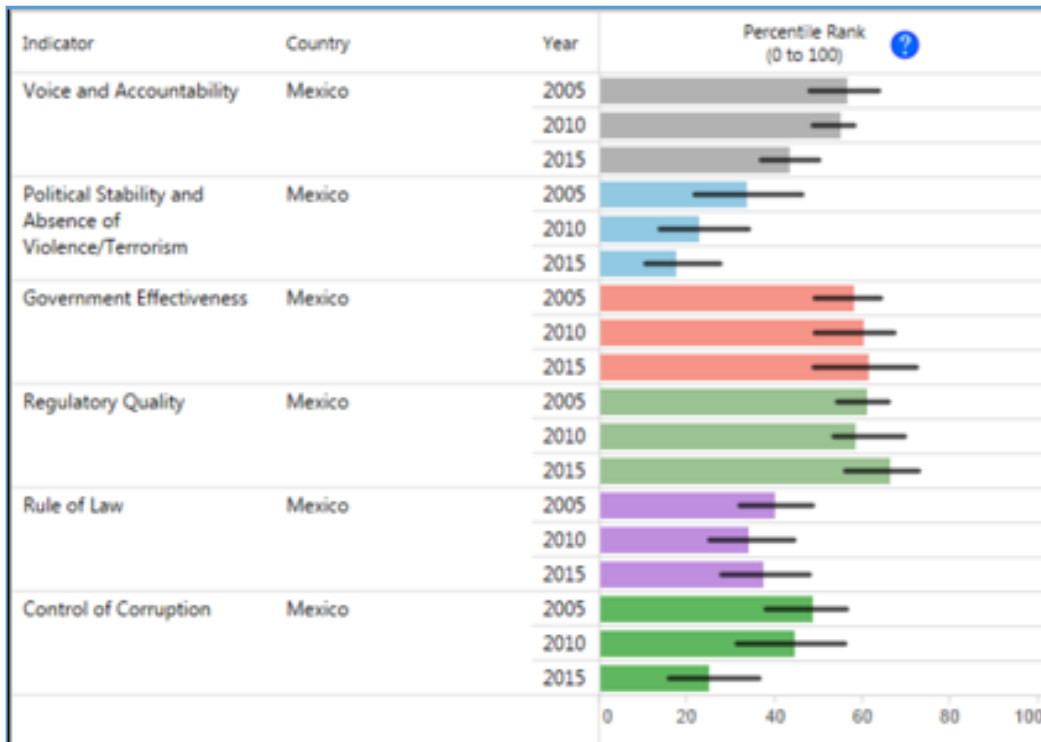


Ilustración 3-51. Índice mundial de gobernanza 2005-2015 para México. Fuente: (Kaufmann, D. y Kraay A., 2017)

3.7.5.2 Marco legal transfronterizo

El Programa ambiental de la ONU proporciona información sobre los tratados cuencas transfronterizas y su estatus, a nivel mundial (Transboundary River Basins: Status and Trends. United Nations Environment Programme) (UNEP, 2016). En la Ilustración 3-52 se muestra un mapa que mediante colores indica el rango de tratados por cuencas transfronterizas, y los niveles de riesgo asociados, incluidas las cuencas transfronterizas norte y sur de México. Como se observa en la Ilustración 3-52, el rango de tratados puede variar de 6.8- 7 con los riesgos relativos más bajos, a 0.019 con los riesgos más altos de conflicto entre países.

Siendo el mayor puntaje 7, asociado al menor riesgo, los valores se normalizan dividiendo entre este número.

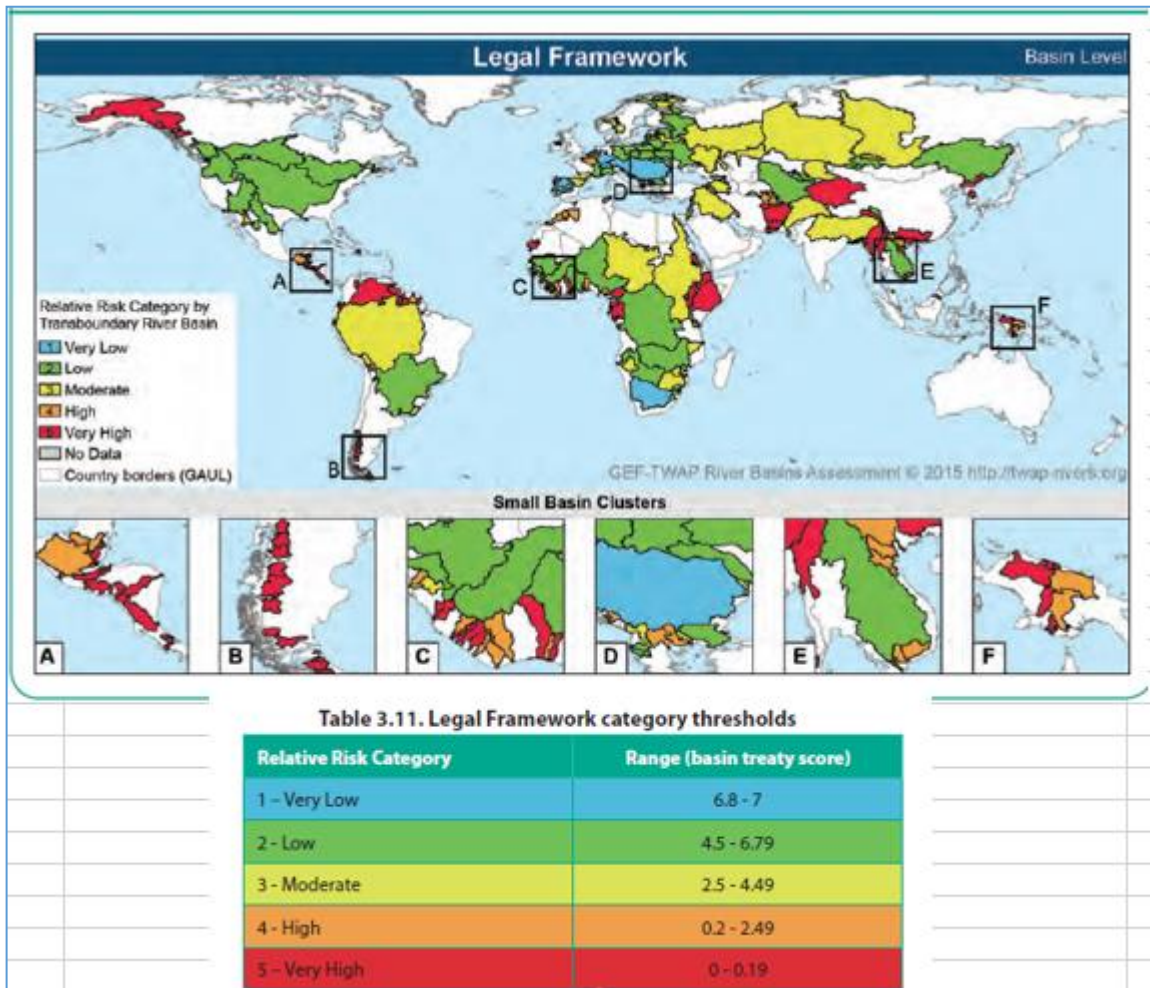


Ilustración 3-52. Marco legal por cuencas transfronterizas. Puntaje de tratados por cuenca y categoría de riesgos. Fuente: (UNEP, 2016).

3.7.5.3 Tensión hidropolítica transfronteriza

De manera similar a la anterior, en la Ilustración 3-53 se muestra un mapa que mediante colores indica el nivel de tensión en cuencas transfronterizas, y los niveles de riesgo asociados. En este caso el mayor puntaje de 5 está asociado al mayor riesgo.

Los valores se normalizan mediante la ecuación indicada en la gráfica de la Ilustración 3-54.

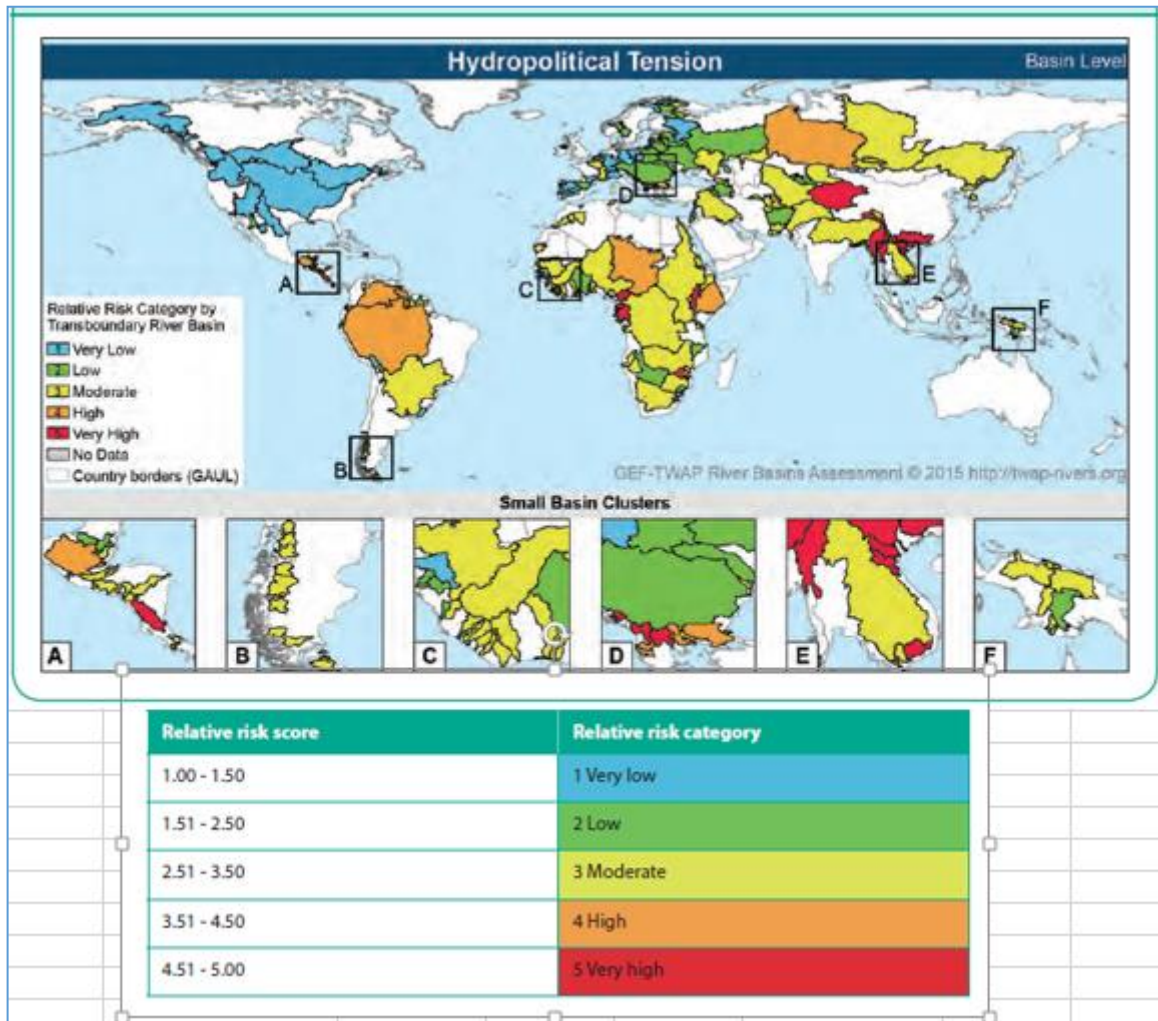


Ilustración 3-53. Mapa de tensión hidropolítica por cuencas transfronterizas. Puntaje de riesgos relativos.
Fuente: (UNEP, 2016).

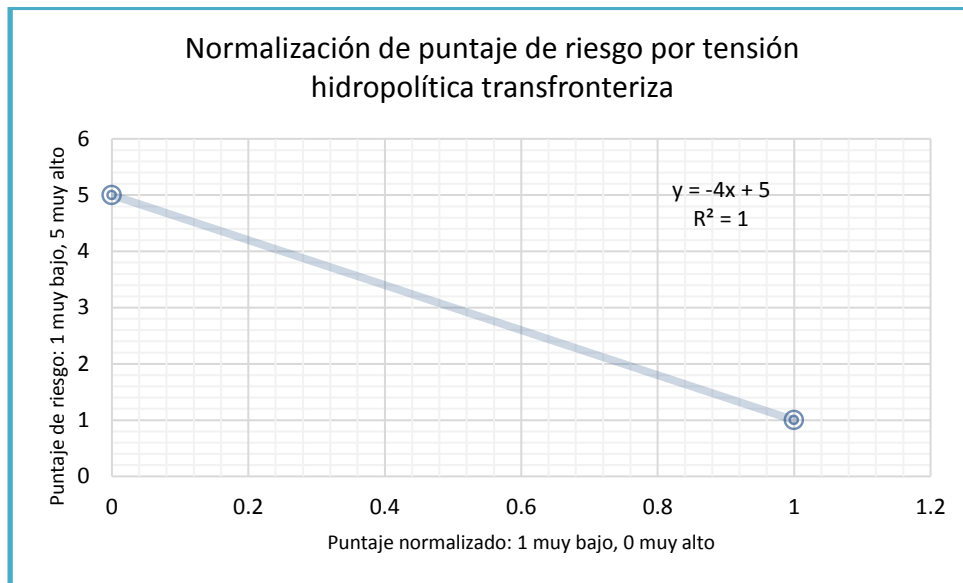


Ilustración 3-54 Normalización del puntaje de riesgo por tensión hidropolítica transfronteriza.

3.7.5.4 Cálculo del Índice de administración estatal

El Índice de administración, de acuerdo con la agregación de los tres indicadores y sus pesos, se determina con la Ecuación 15.

$$I_{Ad} = (0.7 \text{ IMG}) + (0.15 \text{ ML}) + (0.15 \text{ TT}) \quad \text{Ecuación 15}$$

3.7.6 Cálculo del IGSH

Finalmente, se hace la integración de los cuatro índices para obtener el Índice Global de Seguridad Hídrica con los pesos establecidos en la metodología: DISPONIBILIDAD 45%, ACCESIBILIDAD 20%, CALIDAD Y SEGURIDAD 20%, ADMINISTRACIÓN 15% (Animesh, K. G. et al, 2016).

Se hizo la aplicación del índice en los Estados de la República Mexicana. Ver resultados en la Ilustración 3-55 y mapa en la Ilustración 3-56. Se observa que los estados con situación más crítica según el IGSH son Sonora, Baja California y Guanajuato. Les siguen Ciudad de México, Colima, Aguascalientes y Sinaloa.

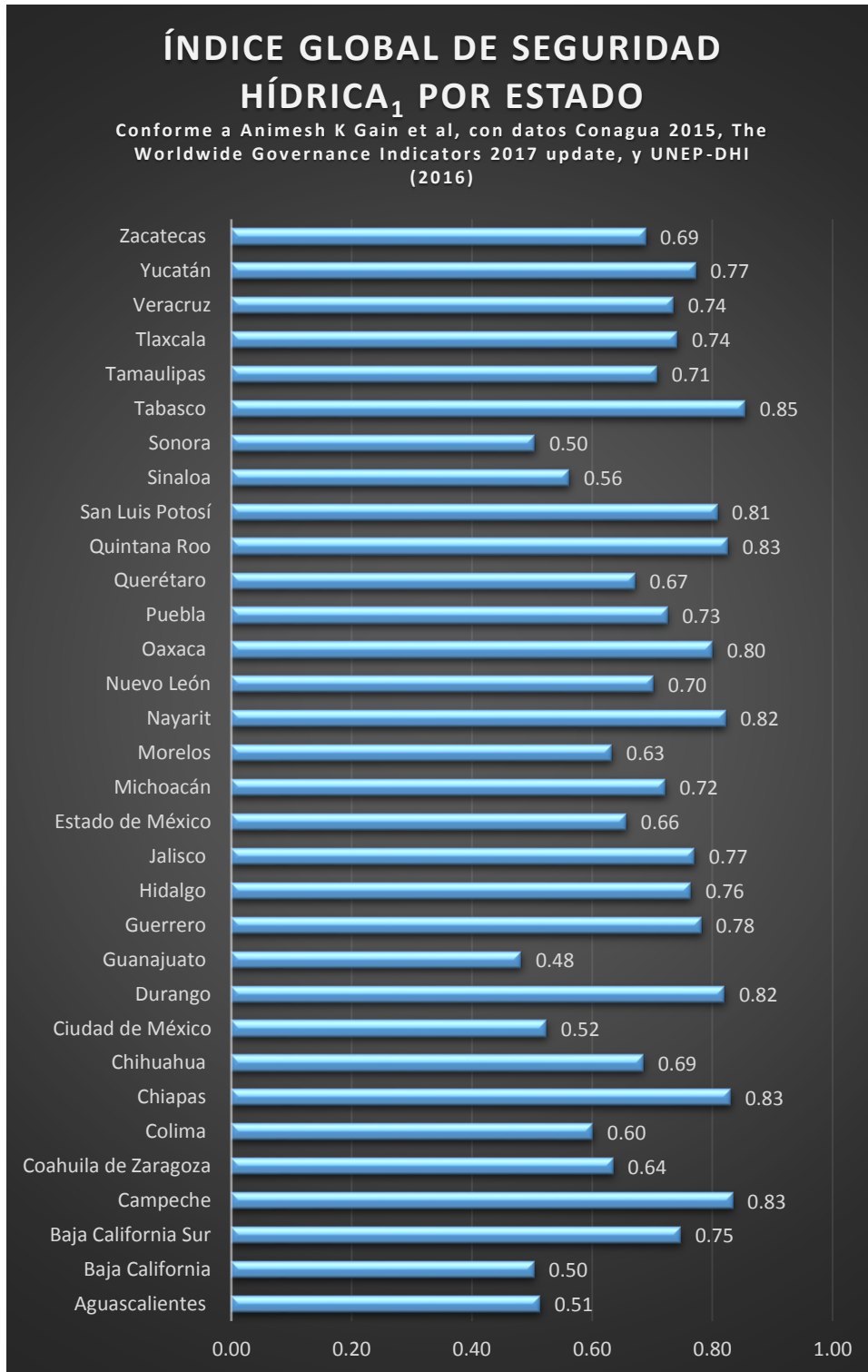


Ilustración 3-55. Índice Global de Seguridad Hídrica a nivel estado.

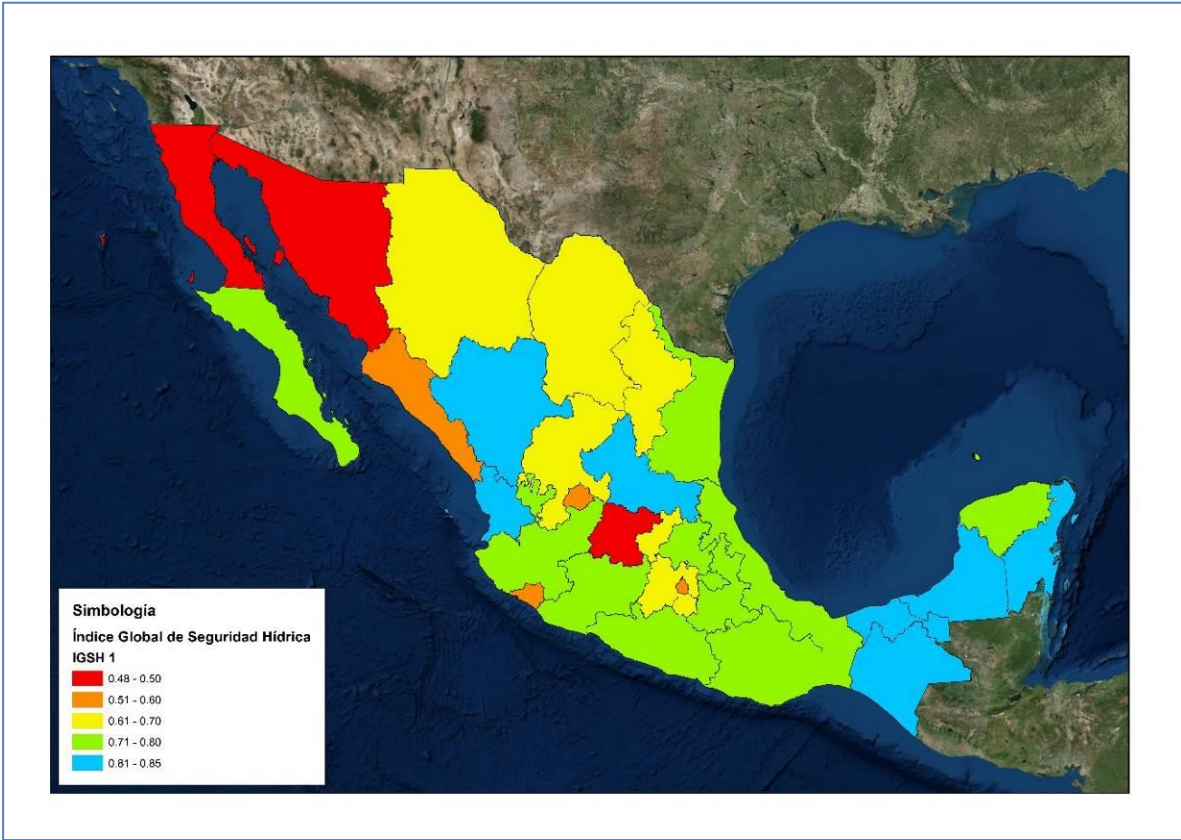


Ilustración 3-56. Mapa del índice Global de Seguridad Hídrica a nivel estado.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 105 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

4 CONCLUSIONES

Con la revisión bibliográfica realizada se puede establecer que la seguridad hídrica es transversal a todos los aspectos del desarrollo económico; las personas asignan significado al concepto de seguridad hídrica dependiendo de la escala y el contexto particular en el que es aplicado; la seguridad hídrica nunca podrá ser alcanzada totalmente porque las condiciones físicas y económicas están en constante cambio, lo que requiere la adaptación continua; no existe una única solución para aumentar la seguridad hídrica. Las soluciones además deben adaptarse a las condiciones locales en cada país, cuenca, ciudad, proyecto o área de gestión; la seguridad hídrica y la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) son simbióticas, la gestión adaptativa inmersa en los procesos de la GIRH ayuda a mejorar la seguridad hídrica del nivel nacional al local; la seguridad hídrica debe ser vista como la meta de la GIRH; no se puede gestionar lo que no se puede medir y por tanto la medición de la seguridad hídrica es fundamental para aumentarla.

La tarea de alcanzar una mayor seguridad hídrica supone responder no sólo a los riesgos que se observan en la actualidad, sino en forma muy importante en dar respuestas adecuadas a los nuevos desafíos que presenta el sector. Los principales retos a vencer para alcanzar la seguridad hídrica se manifiestan en la escasez de agua, la contaminación de los cuerpos de agua, los efectos adversos de los fenómenos hidrometeorológicos extremos (inundaciones y sequías), los crecientes conflictos por el agua y el deterioro ambiental de cuencas y acuíferos. Los factores principales que inducen o incrementan estos riesgos para la seguridad hídrica son los procesos demográficos, la creciente demanda de alimentos, tanto por crecimiento demográfico como por cambios en la dieta, la demanda de agua para producción de energía, los efectos del cambio climático y la deficiente gestión del agua.

La principal limitante para la construcción de un indicador apegado a la realidad, que además refleje claramente la situación del país, es la falta de información, en dicho rubro se incluye la falta de medición, seguimiento y procesamiento de datos, información asimétrica a diferentes niveles de agregación (estatal y municipal) y el manejo discrecional de la información existente. Por otro lado, una complicación a la hora de realizar la integración de la información es determinar el grado de beneficio que aporta a la seguridad hídrica, debido a la complejidad del problema. Al considerar la infraestructura existente, derivado de las diferentes necesidades y condiciones a nivel regional, se contaba con información referente al número de presas y sus capacidades, así como con información sobre distritos y unidades de riego, sin que dicha información se pudiera ver explícitamente reflejada en cómo contribuye o no a lograr la seguridad hídrica, ya que no necesariamente el hecho de que exista infraestructura versus un lugar en donde no exista garantiza que en esa zona exista mayor nivel de seguridad, situación que obedece más a las diferencias regionales del país.

Respecto a los componentes que se analizaron para generar el indicador de Gestión, se puede concluir que van implícitos dentro de los indicadores considerados, y que inciden de forma transversal. Se recomienda incorporar en el futuro información relativa a los

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 106 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

presupuestos autorizados y efectivamente erogados en los municipios, relativos al control de inundaciones, sequías, tratamiento de agua, mejora de servicios de agua potable, etc.; acciones que inciden directamente en el fortalecimiento de la seguridad hídrica del país.

Para la aplicación del IGSH a nivel estatal se cuenta con información anual disponible, principalmente de la CONAGUA, así como datos internacionales en la componente de administración. El problema para la aplicación municipal son los datos para la componente de disponibilidad, como el agua renovable per cápita, el volumen concesionado (demanda), la concesión agua subterránea, y la concesión agua superficial, los cuales sólo tienen hasta nivel estado. Se ha empezado a trabajar al respecto con los especialistas de hidrología del grupo de trabajo de este proyecto.

Se analizó la metodología del Índice Global de Seguridad Hídrica, para poder aplicarla, lo cual se hizo a nivel estatal con datos 2015, principalmente de la CONAGUA, así como datos internacionales en la componente de administración. Los autores que proponen ese índice lo aplican a nivel mundial, de modo que se puede identificar el desempeño de cada país en seguridad hídrica, pero aún de cada región dentro de los países, estableciendo un benchmarking mundial de seguridad hídrica que facilita la cooperación internacional. En este índice se pueden identificar cuatro criterios o factores físicos y socioeconómicos interrelacionados de atención prioritaria, ponderados, que son la disponibilidad hídrica, la accesibilidad a los servicios de agua y saneamiento, la seguridad y calidad del agua, y su administración. Dentro del criterio de administración se incluye el índice mundial de gobernanza (IMG), constituido por seis indicadores que varían en un rango percentil de 0 a 100. Del 2005 al 2015 en México crecieron ligeramente la eficacia gubernamental y la calidad regulatoria, pero los otros cuatro indicadores, voz y voto, estabilidad política y no violencia, estado de derecho, y control de la corrupción, empeoraron. El índice resultante del promedio de los seis indicadores es 42.37. En la aplicación se observa que los estados con situación más crítica según el IGSH son Sonora, Baja California y Guanajuato. Les siguen Ciudad de México, Colima, Aguascalientes y Sinaloa.

Los estados de la república mexicana que tienen mayor probabilidad de ser afectados por sequía son los que se ubican en el noroeste (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa), en el centro-norte (Chihuahua, Coahuila, Durango, norte de Nuevo León y de Tamaulipas), centro-occidente (Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guanajuato), y sureste (Tabasco, Chiapas, Yucatán, Campeche y Quintana Roo). Estos resultados coinciden con los registros históricos de las sequías en México, pues los estados del territorio nacional que históricamente han sido más afectados por las sequías –y donde se presenta con mayor frecuencia este fenómeno– están ubicados en el norte y en el altiplano mexicano. Estos estados tienen el agravante de estar ubicados en zonas que se caracterizan por ser eminentemente áridas, por lo que su población y las distintas actividades económicas son altamente vulnerables ante la escasez y la falta de agua provocada por sequía, dado que en la mayor parte de ellos predominan los climas secos y semisecos extremos. Pero aunque la gran mayoría de los estados y municipios más vulnerables y que tienen mayor probabilidad y riesgo de sequía se ubican en el norte del país y en la altiplanicie mexicana, lo cierto es que incluso estados del sur como Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Tabasco (que

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 107 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

se caracterizan por ser típicamente lluviosos) tienen municipios con alto grado de vulnerabilidad ante la sequía, y también son severamente afectados por el fenómeno, sobre todo en aquéllos años en que ocurre la presencia de El Niño, como sucedió en 2015. En ese año, muchos municipios de Chiapas, Guerrero, Oaxaca y Tabasco, principalmente, fueron declarados en situación de emergencia y desastre por sequía, y sumaron cuantiosas pérdidas en la producción agrícola y pecuaria.

Por otro lado, aplicando el sistema de información geográfica desarrollado en este proyecto con base en metodología probabilística de la seguridad hídrica, que considera el riesgo, la vulnerabilidad social y el peligro, resulta que para índice de seguridad hídrica para el rango de 0.00 a 0.50 un área de 795,782.48 km² (24,997,440 habitantes), para un rango de 0.51 a 0.60 un área de 309,285.57 km²(9,423,135 habitantes), de 0.61 a 0.70 se presentan 311,240.27 km² (26,179,813 habitantes), de 0.71 a 0.80 el rango abarca un área de 344,361.10 km² (34,858,987 habitantes) y a partir del rango de 0.81 a 1.00 se cuenta con área de 195,569.77 km²(168,771,163 habitantes).

 <p>SEMARNAT SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p> 	<h2>ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA</h2>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
Página 108 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 109 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

5 BIBLIOGRAFÍA

- Ait-Kadi M. y Lincklaen A. W. (2016). *Aumentar la seguridad hídrica. Un imperativo para el desarrollo*. Secretariado del Global Water Partnership (GWP). www.gwptoolbox.org.
- Animesh, K. G. et al. (2016). Measuring global water security towards sustainable development. *Environmental Research Letters*, doi:10.1088/1748-9326/11/12/124015.
- Arreguín C. F., López P. M., Rodríguez L. O., Montero M. M. (2015). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México Ante el Cambio Climático*. Cuernavaca: ISBN: 978-607-9368-07-4.
- Assessment, I. C. (2012). *Global Water Security*. USA: Intelligence Community Assessment.
- Assessment, I. C. (2012). *Global Water Security*. USA: Intelligence Community Assessment.
- AWDO. (2013). *Asian Water Development Outlook - Measuring water security in Asia and The Pacific*. Manila: ADB.
- Bellfield H. . (2015). *Water, Energy and food security nexus in Latin America and the Caribbean*. Global Canopy Programme.
- Calow R., and Tucker J. . (2013). *Achieving water security. Lesson form research in water supply, sanitation and hygiene in Ethiopia*. Developments Institute (ODI), Londres.
- Case K., G. K.-C. (2010). *GRACE Nivel 1B Data Product User Handbook: Jet Propulsion Laboratory*.
- Castorena, G. (1980). *Las sequías en el siglo XX, en Análisis histórico de las sequías en México*. México: SARH/CNH: 59-81.
- CENAPRED. (2016). <http://www.anr.gob.mx/descargas/?dir=Indicadores>. ANR Descargas.
- CENAPRED-AR. (2014). Evaluación de la vulnerabilidad física y social. *Guía básica para la elaboración de Atlas Nacional de Riesgos, Versión Electrónica*, 75-102.
- Chao, B. a. (1987). *Changes in the Earth's rotation and low-degree gravitational field induced by earthquakes*. Geophys. J. R. Astron. Soc., 91, 569-596.
- CONAGUA. (2015). *Atlas del Agua en México*. CONAGUA. 142 p. [en línea]. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Naturales, septiembre 2011 [citado 02 de mayo 2017]. México: Disponible para World Wide Web <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>.
- CONAGUA. (2016). Estadísticas del Agua en México. SEMARNAT.
- CONAGUA 2016b. (s.f.). Subdirección General Técnica.
- CONAGUA 2016f. (s.f.). Coordinación General del Servicio Meteorológico.
- CONAGUA. (14 de 12 de 2017). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)*. Obtenido de Registro Público de Derechos de Agua (REPGA) / Volúmenes Inscritos (Estatul)-Gráfica: Volumen concesionado para usos consuntivos por fuente de extracción (2015): <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua> y http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=usosAgua
- CONAGUA. (14 de 12 de 2017.2). *Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)*. Obtenido de Reporte Acuíferos 2015 (Estatul): <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/situacion-de-los-recursos-hidricos> y http://201.116.60.25/sina/index_jquery-mobile2.html?tema=acuiferos
- CONAGUA. (18 de 12 de 2017-3). *Sistema Nacional de Información del Agua*. Obtenido de Declaratorias por fenómenos hidrometeorológicos (nacional): <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-del-agua-sina> y <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=declaratoriasFenomenos&ver=mapa>
- CONAGUA, . (2016). *Estadísticas del Agua en México, edición 2016*; D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; Comisión Nacional del Agua. México, D. F.: D. R. © Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONAGUA, C. (2014). Programa Nacional Hídrico 2014-2018. *Diario Oficial de la Federación*, 1-48.
- Cook C. y Bakker K. (2012). *Water Security: Debating an emerging paradigm*. Global Environmental Change 22, 94 - 102.
- Culbert, T. (1973). *The classic maya collapse*. Albuquerque, University of New Mexico Press.
- Dalhin, B. (1983). *Climate and prehistory on the Yucatan peninsula*. Climatic Change 5(3):245-264.
- Escalante, C., & Reyes, L. (1998). *Identificación y análisis de las sequías en la región hidrológica número 10, Sinaloa en Ingeniería Hidráulica*, 23-43. México.
- FAO. (2003). *Incrementar la productividad del agua*.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 
Página 110 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

- FAO. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture – Managing systems at risk*. Consultado en: <http://www.fao.org/docrep/017/i1688e/i1688e.pdf> .
- FAO. (2011). *The water - Energy - Food Nexus. A new Approach in support of food security and sustainable agriculture*. Disponible en <http://www.fao.org/energy/41459-08c8c5bb39e0d89e17fdb63314c4c6ce5.pdf>.
- Florescano, E. (2000). *Breve historia de la sequía en México, 2ª ed.* México: CONACULTA.
- Florescano, E., y Cervera, J., & Gavilán Arias, D. (1980). *Las sequías en México: historia, características y efectos en Comercio Exterior*. México: 30(7):747-757.
- Gain K et al. (2016). Measuring global water security towards sustainable development. *Environmental Research Letters*, doi:10.1088/1748-9326/11/12/124015.
- Gain, K. A. et al. (2016). Measuring global water security towards sustainable development. *Environmental Research Letters*, doi:10.1088/1748-9326/11/12/124015.
- García Acosta, V. (1993). *Las sequías históricas de México, en Desastres y Sociedad* 2-18.
- García Acosta, V., Pérez Cevallos, J., & Molinar del Villar, A. (2003). *Desastres Agrícolas en México. Catálogo histórico, Tomo I. Época prehispánica y colonial* . México: FCE/CIESAS (958-1822).
- Gaucín, D. (2017). *El peligro de sequía como indicador de seguridad hídrica*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Gaucín, D. (2017). *El peligro de sequía como indicador de seguridad hídrica*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Gill, R. (2008). *Las grandes sequías mayas. Agua, vida y muerte, 1ª ed. en español*. México: FCE.
- Global Water Partnership (GWP). (2016). *Aumentar la seguridad hídrica, un imperativo para el desarrollo*. Global Canopy Programme.
- Global Water Partnership. (2012). *La seguridad hídrica para el crecimiento y la sostenibilidad*. Río + 20 : Secretaría Mundial. www.gwptoolbox.org.
- Grey D. y Sadoff C. (2007). *¿Hundirse o nadar? La seguridad Hídrica para el crecimiento y el desarrollo*. Político Hídrica 9: 545 - 557.
- GTZ. (2017). Obtenido de <http://www.gfz-potsdam.de/en/grace/>
- GWP. (2012). Global Water Partnership, La seguridad hídrica para el crecimiento y la sostenibilidad. Secretaría Mundial. www.gwptoolbox.org.
- GWP, G. W. (2015). Water Security and Sustainable Growth. *SECURING WATER, SUSTAINING GROWTH*.
- Han, D. y. (1995). *The viscoelastic relaxation of a realistically stratified Earth, and a further analysis of postglacial rebound*. Geophys. J. Int., 120, 287-311.
- Healy R. W. (2010). Estimating Groundwater Recharge ISBN 978-0-521-86396-4. Cambridge University Press, 245 p.
- Hodell, D., Curtis, J., & Brenner, M. (1995). *Possible role of climate in the collapse of Classic Maya Civilization*. Nature 375:391-394.
- Hoff H. (2015). *Understanding the nexus. Background paper for the Bonn 2011 Conference: The Water, Energy and Foods Security Nexus*. Stockholm, Sweden: Stockholm Environment Institute (SEI).
- Hsu, A. et al. (2014). *Environmental Performance Index*. Yale: yale center for Environmental Law and policy, Yale University.
- IMTA. (2016). *Programa estratégico institucional de innovación científica y tecnológica para la seguridad hídrica*. Morelos, México: inédito.
- INEGI. (2013). *Estadísticas a propósito del día mundial contra la desertificación y la sequía* (<http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2013/sequia0.pdf>) . INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), 17 de junio de 2013,.
- IPCC, I. (2013). *The physical science basis, summary for policymakers*. Geneva: Climate change 2013, WMO/UNEP.
- K Gain et al, A. (2016). Measuring global water security towards sustainable development. *Environmental Research Letters*.
- Kaufmann et al, D. (2010). The Worldwide Governance Indicators: Methodology and Analytical Issues. *World Bank Policy Research Working Paper*, no. 5430.
- Kaufmann, D. y Kraay A. (18 de 12 de 2017). *Worldwide Governance Indicators-Natural Resource Governance Institute (NRGI) and Brookings Institution-World Bank Development Research Group* . Obtenido de The World Bank Group: <http://info.worldbank.org/governance/wgi/index.aspx#home>
- Lambert, A. O. (2002). International Report; Water losses management and techniques, . *Water Science and Technology: Water Supply* Vo. 2 No. 4, 1- 20.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 111 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

- Lautze J and Manthritlake H. (2012). Old concepts, new package, what value? *Nat. Resour. Water security*, Forum 36 76–87.
- Lean, J., & Rind, D. (2001). *Earth's response to a variable Sun*. in *Science* 292(5515):234-236.
- Lee Erick, et al. (2014). *INFORME DEL ESTADO DE LA FRONTERA-Un análisis integral de la frontera México-Estados Unidos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Martínez - Austria P. (2013). *Los retos de la seguridad hídrica*. Jiutepec, Morelos: Tecnología y Ciencias del Agua, Vol. IV, No. 5, 165 - 180.
- Martínez-Austria., P. (2013). *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. IV, núm. 5. 165-180.
- Mason N. and Roger C. (2012). *Water security: from abstract concept to meaningful metrics. An initial overview of options*. Londres: Working paper No. 357, Overseas Development Institute (ODI).
- Norman E., Bakker K. Cook Ch., Dunn G., Allen D. (2010). *La sécurité hydrique: Guide d'introduction, Élaboration d'un cadre stratégique en matière de Sécurité Hydrique au Canada comme outil d'amélioration de la gouvernance de l'eau des bassins versants (2008 - 2012)*. Canada: ISBN 978-0-88865-698-8.
- OCDE. (2013). *Water Security for better lives*. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos: OECD Studies on Water, OECD Publishing.
- OECD. (2008). *Handbook on Construction Composite Indicators-Methology and user guide*. Ispra, Italia: OECD 2008.
- ONU - Agua. (2013). *Water security and the global water agenda. A UN-Water Analytical Brief*. United Nation University.
- ONU. (2017). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*, <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>.
- ONU, O. d. (27 de Julio de 2017). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Obtenido de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- ONU-Agua. (2013). *Water security & the global water agenda. A UN-Water Analytical Brief*. United Nations University.
- Ortega-Gaucin et al, D. (2017). CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES MUNICIPALES DE VULNERABILIDAD ANTE LA SEQUÍA: UNA METODOLOGÍA. *XXIV CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA*, 3.
- Ortega-Gaucin, D. (2012). *Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación*. Apodaca: IANL.
- Ortega-Gaucin, D. (2017). *El peligro por sequía como indicador de seguridad hídrica en México*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Peña H. (2016). *Desafíos a la seguridad hídrica en América Latina y El Caribe*. Serie Recursos Naturales. CEPAL.
- PNH. (2014). *Programa Nacional Hídrico 2014 - 2018*. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Comisión Nacional del Agua.
- Rodell M., p. R.-j. (2004). The global land data assimilation system, *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 85(3), 381–394.
- Rodell, M. a. (1999). *Detectability of variations in continental water storage from satellite observations of the time dependent gravity field*, *Water Resour. Res.*, 35(9), 2705–2723, doi:10.1029/1999WR900141.
- Rodríguez, O., Jaime E., & MacLachlan, C. (2001). *Hacia el ser histórico de México. Una reinterpretación de la Nueva España*. México: Diana.
- Sakumura C., S. B. (2014). *Ensemble prediction and intercomparison analysis of GRACE time-variable gravity field models*. *Geophysical Research Letters*, 41(5), 1389-1397, doi: 10.1002/2013GL058632.
- Scanlon B.R., L. L. (2012). *Ground referencing GRACE satellite estimates of groundwater storage changes in the California Central Valley*. USA: Water Resources Research, vol. 48, doi: 10.1029/2011WR011312
- Scanlon, B. R. (2016). *Global evaluation of new GRACE mascon products for hydrologic applications*, *Water Resour. Res.*, 52, 9412–9429, doi:10.1002/2016WR019494.
- Schubert, Siegfried D., Suarez, M., Pegion, P., Koster, R., & Bacmeister, J. (2004). *Causes of long-term drought in the U.S. Great Plains*. in *Journal of Climate* 17(3):485-503.
- Sheffield, Justin, Andreadis, K., Wood, E., & Lettenmaier, D. (2009). *Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity-area-duration analysis and temporal variability of large-scale events*. in *Journal of Climate* 22(8):1962-1981.

 	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 112 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

- SMN, (. (2017). *Monitor de Sequía en México (MSM)* (<http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-en-mexico>).
- Soares, D., Romero, R., & López, R. (2015). Conceptualización de vulnerabilidad y construcción de un Índice de Vulnerabilidad Social. *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático (Efectos del cambio climático en el recurso hídrico de México)*, 9-39.
- SRE. (2017). *México en el mundo-Diagnóstico y perspectivas de las relaciones internacionales. Obtenido de Panorama general de la frontera sur: <http://mexicoenelmundo.senado.gob.mx/Com-de-Asuntos-Fronterizos-Sur.php>*. S. d.-L.-C.
- SRE, S. d.-L.-C. (28 de julio de 2017). *México en el mundo-Diagnóstico y perspectivas de las relaciones internacionales. Obtenido de Panorama general de la frontera sur: <http://mexicoenelmundo.senado.gob.mx/Com-de-Asuntos-Fronterizos-Sur.php>*
- Srebotnjak et al, T. (2011). *A global Water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. Ecological Indicators* / 10.1016/j.ecolind.2011.04.023.
- Srebotnjak, T. et al. (2011). *A global water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. Ecological Indicators, doi: 10.1016/j.ecolind.2011.04.023.*
- Srebotnjak, T. et al. (2012). *A global water Quality Index and hot-deck imputation of missing data. Ecological Indicators, doi: 10.1016/j.ecolind.2011.04.023, 12.*
- Swenson S., a. J. (2002). *Methods for inferring regional surface-mass anomalies from Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) measurements of time-variable gravity. Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012), 107(B9), ETG-3, doi: 10.1029/2001JB000576.*
- Swenson S., J. W. (2003). *Estimated accuracies of regional water storage variations inferred from the Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE). Water Resources Research, 39(8), doi: 10.1029/2002WR001808.*
- Tapley B.D., S. B. (2004). GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System. *SCIENCE*, 305, 503-505 doi: 10.1126/science.1099192.
- UNEP, U.-D. a. (2016). *Transboundary River Basins: Status and Trends. United Nations Environment Programme. Nairobi: UNEP-DHI and UNEP.*
- Van Beek E. y Arriens W. L. (2014). *Water security: Putting the concept into practice. Technical Committee background paper series no. 20. GWP.*
- Vörösmarty, C.J., et al. (2000). Vulnerability from climate change and population growth *Science. Global water resources*, 289 284–8.
- Wada, Y. e. (2012). *past and future contribution of global groundwater depletion to sea-level rise. Geophysical Research Letters, 1-6.*
- wada, Y. et al. (2013). *Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. Environ. Res.*
- Wada, Y.; Wisser, D.; Berken, F. P. (2014). *Global modeling of withdrawal, allocation and consumptive use of surface water and groundwater resources. Earth System Dynamics, 5, 15-40.*
- Wahr J., M. M. (1998). *Time variability of the Earth's gravity field: Hydrological and oceanic effects and their possible detection using. GRACE: Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 103(B12), 30205-30229, doi: 10.1029/98JB02844.*
- Wahr J., S. S. (2004). *Time-variable gravity from GRACE: First results: Geophysical Research Letters 31, L11501, doi: 10.1029/2004GL019779. University of TEXAS: Internet: Center for Space Research SR Release-05 GRACE Nivel-2 Data Products Updated: 2015-04-07. <http://www.csr.utexas.edu/grace/RL05.html>.*
- WILCHES, C. (1993). *La Vulnerabilidad Global, Los Desastres no son Naturales. En Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. (págs. 11-47.). Puerto Limón, Costa Rica.: Maskrey, A. (Comp.).*
- Wilhite, D. (2000). *Drought as a natural hazard: concepts and definitions in Donald A. Wilhite (ed.) Vol. I Routledge: 3-18. New York: Drought: a global assessment.*
- Wilhite, D., & Glantz, M. (1985). *Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. Water International 3:111–120.*
- WMO. (2006). *(World Meteorological Organization), Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros. Ginebra.*
- World Economic Forum (WEF). (2011). *Water Security: Water - Food - Energy Climate Nexus. Washington D. C.: The World Economic Forum Water Initiative. Edited by Dominic Waughray, USA: Island Press.*

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ÍNDICES DE SEGURIDAD HÍDRICA	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 113 de 113	México, 2017	Clave: HC1711.1

WWAP. (2015). *United Nations World Water Assessment Programme - World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World.* . Paris: UNESCO.