



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



COORDINACIÓN DE DESARROLLO PROFESIONAL E INSTITUCIONAL

SUBCOORDINACIÓN DE POSGRADO

T E S I S

METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD Y EL RIESGO ANTE LA SEQUÍA EN LOS ORGANISMOS OPERADORES DE AGUA POTABLE (OOAPAS) DE MÉXICO

que para obtener el grado de
Doctora en Ciencias y Tecnología del Agua

presenta
Heidy Viviana Castellano Bahena

Tutor: Dr. David Ortega Gaucin

Jiutepec, Morelos

Año 2021





Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada “Metodología para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo ante la sequía en los Organismos Operadores de Agua Potable (OOAPAS) de México”, otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

Heidy Viviana Castellano Bahena

NOMBRE Y FIRMA DE LA ESTUDIANTE

Jiutepec, Morelos, México, agosto 2021





DOCTORADO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DEL AGUA

Ante el Jurado integrado por:

Presidente: Dr. Héctor David Camacho González

Secretario: Dr. Martín José Montero Martínez

Vocal 1: Dr. David Ortega Gaucin

Vocal 2: Dr. Sergio Vargas Velázquez

Vocal 3: Dr. Edmundo Pedroza González

Director de tesis

Dr. David Ortega Gaucin

Jiutepec, Morelos, México, agosto 2021
Instituto Mexicano de Tecnología de Agua



DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

A mi madre Celia Bahena Bernal, por haberme apoyado en cada uno de mis pasos y enseñarme buenos valores, por la motivación constante que permitieron que hoy en día sea la persona que soy y por su amor incondicional.

A mi amigo y tutor el Dr. David Ortega Gaucin, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y apoyo permitió el desarrollo de este trabajo.

A los sinodales el Dr. Héctor David Camacho González, Dr. Martín José Montero Martínez, Dr. Sergio Vargas Velázquez y al Dr. Edmundo Pedroza González por las valiosas contribuciones que hicieron a lo largo de la realización de este proyecto de investigación, y por el tiempo que dedicaron para revisarlo, aún a pesar de tantas actividades que los ocupan.

A mi amigo el M.I. Jesús De la Cruz Bartolón por su apoyo y conocimiento que compartió cuando lo requerí.

Mi profundo agradecimiento al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua y a Conacyt por el apoyo otorgado.

INDICE

<i>Resumen</i>	<i>i</i>
Capítulo 1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Antecedentes.....	10
1.3. Objetivos e hipótesis	14
1.4. Organización de la tesis.....	15
Capítulo 2. Marco conceptual y metodológico del riesgo por sequía y sus componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad	18
2.1. Amenaza o peligro hidrometeorológico	19
2.1.1. Definición y tipos de sequía	20
2.1.2. Parámetros de la sequía	21
2.1.3. Métodos de evaluación de la sequía	22
2.2. Exposición a la sequía	28
2.2.1. Características que influyen en la evaluación de la exposición	29
2.2.2. Métodos para calcular la exposición.....	30
2.2.3. Modelos matemáticos.....	30
2.3. Vulnerabilidad ante la sequía	31
2.3.1. Conceptualización de vulnerabilidad	32
2.3.2. Componentes de la vulnerabilidad	33
2.3.3. Características que influyen en la evaluación de la vulnerabilidad	35
2.3.4. Métodos para calcular la vulnerabilidad.....	35
2.3.5. Modelos matemáticos.....	36
2.4. Riesgo.....	38
2.4.1. Definiciones de riesgo.....	38
2.4.2. Modelos matemáticos para calcular el riesgo.....	38
2.5. Consideraciones sobre el marco conceptual y metodológico.....	40
Capítulo 3. Metodología	42
3.1. Áreas de estudio	42
3.1.1. Área Hidropolitana de Monterrey (AHM).....	42
3.1.2. Área Metropolitana de Guadalajara (AMG)	44
3.2. Evaluación del riesgo por sequía.....	45
Capítulo 4. Índice de amenaza o peligro por sequía (IA)	48
4.1. Análisis y Caracterización de la sequía meteorológica, estudio de caso (AHM y AMG) 49	
4.1.1. Selección de estaciones meteorológicas en las áreas de estudio.....	49
4.1.2. Homogenización y relleno de datos utilizando el software Climatol.....	51
4.1.3. Comportamiento histórico de las lluvias	52
4.1.3.1. AHM	52
4.1.3.2. AMG	54
4.1.4. Métodos de evaluación de la sequía meteorológica	56
4.1.4.1. Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)	57

4.1.5.	Análisis de la sequía meteorológica en las áreas de estudio periodo (1980-2018)	58
4.1.5.1.	AHM	58
4.1.5.2.	AMG.	65
4.2.	Análisis y Caracterización de la sequía hidrológica, estudio de caso (AHM y AMG) 75	
4.2.1.	Selección de estaciones hidrométricas, datos hidrométricos mensuales y series temporales 75	
4.2.2.	Distribuciones de probabilidad.....	77
4.2.2.1.	Función de distribución logarítmica normal	77
4.2.2.2.	Función de distribución gamma	77
4.2.2.3.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	78
4.2.3.	Métodos de evaluación de la sequía hidrológica.....	79
4.2.3.1.	Índice de sequía de los caudales fluviales (SDI)	79
4.2.4.	Análisis de la sequía hidrológica en las áreas de estudio periodo (1980-2018).....	81
4.2.4.1.	AHM	81
4.2.4.2.	AMG.	83
4.2.5.	Probabilidad de ocurrencia de sequía hidrológica	87
4.3.	Conclusiones sobre el peligro por sequía	88
Capítulo 5. Índices de vulnerabilidad y exposición (IV e IE)		90
5.1.	Construcción de los índices de vulnerabilidad y exposición.....	92
5.1.1.	Paso 1. Delimitación del alcance del análisis de vulnerabilidad y exposición	92
5.1.2.	Paso 2. Determinar las zonas de estudio	93
5.1.3.	Paso 3. Selección de indicadores y fórmulas para el cálculo de indicadores.....	93
5.1.4.	Paso 4. Agrupación y recopilación de información	100
5.1.4.1.	Multicolinealidad	103
5.1.4.1.1.	Matriz de correlación.....	104
5.1.5.	Paso 5. Normalización de los indicadores.....	106
5.1.5.1.	Método de estandarización	107
5.1.5.2.	Método de re escalamiento	108
5.1.5.3.	Método de indicadores cíclicos	108
5.1.6.	Paso 6. Determinación de los pesos de los indicadores.....	109
5.1.6.1.	Método de regresión	109
5.1.6.2.	Método propuesto por Iyengar & Sudarshan	110
5.1.7.	Paso 7. Cálculo de los índices de vulnerabilidad y exposición.....	110
5.1.8.	Paso 8. Ajustes de los índices de vulnerabilidad y exposición a una distribución probabilística y clasificación de los mismos	111
5.1.8.1.	Prueba de Shapiro-Wilk.....	111
5.1.8.2.	Distribution normal	112
5.1.8.3.	Categorización de la vulnerabilidad y exposición	113
5.1.8.4.	Análisis de los resultados de los métodos de normalización y ponderación (Paso 5 y 6) y elección del mejor método.....	113
5.1.9.	Paso 9. Índice de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM.....	115
5.1.9.1.	Índice de vulnerabilidad (IA) del AMG y AHM	115
5.1.9.2.	Índice de exposición (IE) del AMG y AHM	118
5.2.	Conclusiones sobre la vulnerabilidad y la exposición	121
Capítulo 6. Cálculo del índice de riesgo por sequía (IRS).....		123
6.1.	Método de agregación geométrica	123
6.2.	Ajuste del índice de riesgo a una distribución probabilística y su clasificación ...	123

6.3. Evaluación del riesgo por sequía en las áreas de estudio (AHM y AMG) periodo 2008-2018	124
Capítulo 7. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones.....	128
a) Discusión relativa a la metodología.....	128
b) Discusión de resultados	131
c) Conclusiones y recomendaciones	134
Referencias.....	136
Anexos.....	168
<i>Anexo 1.- Trabajos relacionados con el riesgo y vulnerabilidad ante el cambio climático y la sequía.</i>	<i>169</i>
<i>Anexo 2.- Comportamiento de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM.</i>	<i>186</i>
<i>Anexo 3.- Resultados del coeficiente de correlación de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM.....</i>	<i>191</i>
<i>Anexo 4.- Normalización por el método de estandarización de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM.....</i>	<i>194</i>
<i>Anexo 5- Normalización por el método de reescalamiento de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM.....</i>	<i>196</i>
<i>Anexo 6- Normalización por el método cíclico de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM</i>	<i>198</i>
<i>Anexo 7.-Determinación de los pesos y cálculo de la vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM.</i>	<i>200</i>
<i>Anexo 8. Prueba de Shapiro-Wilk en los seis métodos evaluados</i>	<i>213</i>
<i>Anexo 9.- Resultados del grado de vulnerabilidad y exposición de cada uno de los métodos evaluados del AMG y AHM.....</i>	<i>216</i>
9.1. Resultados del grado de vulnerabilidad del AMG	216
9.2. Resultados del grado de exposición del AMG	218
9.3. Resultados del grado de vulnerabilidad del AHM	220
9.4. Resultados del grado de exposición del AHM	222
<i>Anexo 10.- Resultados de los métodos evaluados</i>	<i>225</i>
10.1. Resultados de la vulnerabilidad del AMG	225
10.2. Resultados de la exposición del AMG	226
10.3. Resultados de la vulnerabilidad del AHM.....	228
10.4. Resultados de la exposición del AHM.....	229
<i>Anexo 11.- Análisis para la elección del mejor método.....</i>	<i>231</i>

11.1. Análisis de la variación de vulnerabilidad socioeconómica.....	231
11.2. Análisis de la variación de vulnerabilidad de gestión institucional.....	234
11.3. Análisis de la variación de vulnerabilidad ambiental.....	238
11.4. Análisis de la variación de exposición socioeconómica.....	239
11.5. Análisis de la variación de exposición de gestion institucional	240
11.6. Análisis de la variación de exposición ambiental.....	241
Anexo 12.- Análisis FODA aplicada a metodologías de riesgo de sequía.	242

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Retos a los que se enfrentan los OOAPAS ante la sequía.	5
Tabla 2. Efectos de la sequía hidrológica en municipios y ciudades de México periodo 2011-2017. 6	6
Tabla 3. Diferencias entre el modelo tradicional y el modelo emergente de gestión del agua urbana.	9
Tabla 4. Metodologías sobre riesgo por sequía y su enfoque.....	11
Tabla 5. Características de los índices de sequía comúnmente utilizados.....	23
Tabla 6. Dimensiones fundamentales que describen la situación de la exposición.	29
Tabla 7. Modelos matemáticos más usuales para calcular la exposición.	30
Tabla 8. Definiciones de vulnerabilidad según los enfoques del IPCC y UNISDR.	33
Tabla 9. Componentes de la vulnerabilidad según los enfoques del IPCC y la UNISDR.....	34
Tabla 10. Características fundamentales que describen una situación de vulnerabilidad.	35
Tabla 11. Métodos para calcular la vulnerabilidad.	35
Tabla 12. Modelos matemáticos más usuales para calcular la vulnerabilidad.....	37
Tabla 13. Modelos matemáticos más usuales para calcular el riesgo.	39
Tabla 14. Presas que abastecen al AHM	43
Tabla 15. Estaciones meteorológicas seleccionadas en Nuevo León.....	49
Tabla 16. Estaciones meteorológicas seleccionadas en Jalisco y Michoacán.	50
Tabla 17. Valores del SPI.....	57
Tabla 18. Categorías de la intensidad de la sequía para el SPI.....	57
Tabla 19. Asociación de los rangos del SPI con la magnitud de la gravedad de la sequía y sus impactos asociados en el Monitor de sequía de E.U.A.	57
Tabla 20. Clasificación de sequías en la cuenca del Río San Juan 1 según el SPI	59
Tabla 21. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río San Juan 1. 60	60
Tabla 22. Clasificación de sequías en la cuenca del Río San Juan 2 según el SPI	61
Tabla 23. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río San Juan 1. 61	61
Tabla 24. Clasificación de sequías en la cuenca del Río San Juan 3 según el SPI	62
Tabla 25. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río San Juan 3. 62	62
Tabla 26. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Pablillo 2 según el SPI.....	63
Tabla 27. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río San Juan 3. 63	63
Tabla 28. Valores característicos de la sequía (moderada, severa y extrema) en el AHM.....	64
Tabla 29. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Lerma 6 según el SPI.....	66
Tabla 30. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Lerma 6....	66
Tabla 31. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Duero según el SPI	67
Tabla 32. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Duero.	67

Tabla 33. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Zula según el SPI.....	68
Tabla 34. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Zula.....	68
Tabla 35. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Lerma 7 según el SPI.....	69
Tabla 36. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Lerma 7....	69
Tabla 37. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Santiago 1 según el SPI.....	72
Tabla 38. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Santiago 1.	72
Tabla 39. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Santiago 2 según el SPI.....	73
Tabla 40. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Santiago 2.	74
Tabla 41. Valores característicos de la sequía (moderada, severa y extrema) en el AMG.....	75
Tabla 42. Estaciones hidrométricas seleccionadas en Nuevo León.	76
Tabla 43. Estaciones hidrométricas seleccionadas en Jalisco.....	77
Tabla 44. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos distribuciones de probabilidad para datos de flujo anual (Oct.-Sep.) en el estado de Nuevo León.	79
Tabla 45. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos distribuciones de probabilidad para datos de flujo anual (Oct.-Sep.) en el estado de Jalisco.....	79
Tabla 46. Definición de estados de sequía hidrológica con SDI	80
Tabla 47. Probabilidad de ocurrencia de la sequía hidrológica en escala de tiempo de 12 meses del SDI (Oct.-Sep.) en el AHM.....	87
Tabla 48. Probabilidad de ocurrencia de la sequía hidrológica en escala de tiempo de 12 meses del SDI (octubre-septiembre) en el AMG.....	88
Tabla 49. Dimensiones fundamentales que describen una situación de vulnerabilidad.....	93
Tabla 50. Dimensiones fundamentales que describen la situación de la exposición ante la sequía .	93
Tabla 51. Impacto de la sequía en el sector socioeconómico	94
Tabla 52. Impacto de la sequía en la gestión urbana del agua.	96
Tabla 53. Impacto de la sequía en el sector ambiental	98
Tabla 54. Fórmulas de los indicadores para el cálculo de índice de vulnerabilidad y exposición ante la sequía.....	99
Tabla 55. Agrupación de indicadores para el cálculo del índice de vulnerabilidad ante la sequía. .	101
Tabla 56. Agrupación de indicadores para el cálculo del índice de exposición ante la sequía.....	101
Tabla 57. Indicadores para calcular el índice de vulnerabilidad del AMG	102
Tabla 58. Indicadores para calcular el índice de vulnerabilidad del AHM	102
Tabla 59. Indicadores para calcular el índice de exposición del AMG	103
Tabla 60. Indicadores para calcular el índice de exposición del AHM.....	103
Tabla 61. Interpretación de los resultados del coeficiente de correlación.....	105
Tabla 62. Relaciones funcionales del valor del indicador con respecto a la vulnerabilidad	106
Tabla 63. Grado de vulnerabilidad y exposición	113
Tabla 64. Porcentaje de coincidencias de los resultados de vulnerabilidad	114
Tabla 65. Porcentaje de coincidencias de los resultados de exposición.....	115
Tabla 66. Grado de vulnerabilidad del AMG	118
Tabla 67. Grado de vulnerabilidad del AHM	118
Tabla 68. Grado de exposición del AMG.....	121
Tabla 69. Grado de exposición del AHM.....	121
Tabla 70. Grado de riesgo por sequía.....	124
Tabla 71.- Trabajos relacionados con el riesgo y vulnerabilidad ante el cambio climático y la sequía.	169
Tabla 72.- Coeficiente de correlación de los indicadores socioeconómicos para el cálculo de la vulnerabilidad del AMG.....	191

Tabla 73.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de la vulnerabilidad del AMG.....	191
Tabla 74.- Coeficiente de correlación de los indicadores ambientales para el cálculo de la vulnerabilidad del AMG.....	191
Tabla 75.- Coeficiente de correlación de los indicadores socioeconómicos para el cálculo de la vulnerabilidad del AHM.....	192
Tabla 76.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de la vulnerabilidad del AHM.....	192
Tabla 77.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de la vulnerabilidad del AHM.....	192
Tabla 78.- Coeficiente de correlación de los indicadores socioeconómicos para el cálculo de exposición del AMG.....	192
Tabla 79.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de exposición del AMG.....	192
Tabla 80.- Coeficiente de correlación de los indicadores socioeconómicos para el cálculo de exposición del AHM.....	193
Tabla 81.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de exposición del AHM.....	193
Tabla 82. Normalización por el método de estandarización de los indicadores de vulnerabilidad del AMG.....	194
Tabla 83. Normalización por el método de estandarización de los indicadores de exposición del AMG.....	194
Tabla 84. Normalización por el método de estandarización de los indicadores de vulnerabilidad del AHM.....	195
Tabla 85. Normalización por el método de estandarización de los indicadores de exposición del AHM.....	195
Tabla 86. Normalización por el método de re escalamiento de los indicadores de vulnerabilidad del AMG.....	196
Tabla 87. Normalización por el método de re escalamiento de los indicadores de exposición del AMG.....	196
Tabla 88. Normalización por el método de re escalamiento de los indicadores de vulnerabilidad del AHM.....	197
Tabla 89. Normalización por el método de re escalamiento de los indicadores de exposición del AHM.....	197
Tabla 90. Normalización por el método de indicadores cíclicos de los indicadores de vulnerabilidad del AMG.....	198
Tabla 91. Normalización por el método de indicadores cíclicos de los indicadores de exposición del AMG.....	198
Tabla 92. Normalización por el método de indicadores cíclicos de los indicadores de vulnerabilidad del AHM.....	199
Tabla 93. Normalización por el método de indicadores cíclicos de los indicadores de exposición del AHM.....	199
Tabla 94.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación....	213
Tabla 95.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación....	213

Tabla 96.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	213
Tabla 97.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	213
Tabla 98.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación..	213
Tabla 99.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	213
Tabla 100.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	213
Tabla 101.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	213
Tabla 102.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.....	214
Tabla 103.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.....	214
Tabla 104.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	214
Tabla 105.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	214
Tabla 106.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación..	214
Tabla 107.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación..	214
Tabla 108.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	214
Tabla 109.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del del índice de exposición del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	214
Tabla 110.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación..	215
Tabla 111.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	215
Tabla 112.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	215
Tabla 113.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	215
Tabla 114.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.....	215

Tabla 115.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	215
Tabla 116.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	215
Tabla 117.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	215
Tabla 118.- Escala de vulnerabilidad Socioeconómica del AMG	216
Tabla 119.- Escala de vulnerabilidad Gestión institucional (GI) del AMG	216
Tabla 120.- Escala de vulnerabilidad Ambiental del AMG	217
Tabla 121.- Escala de vulnerabilidad General del AMG	218
Tabla 122.- Escala de Exposición Socioeconómica del AMG	218
Tabla 123.- Escala de Exposición Gestión institucional del AMG.....	219
Tabla 124.- Escala de Exposición Ambiental del AMG	219
Tabla 125.- Escala de Exposición General del AMG	220
Tabla 126.- Escala de vulnerabilidad socioeconómica del AHM.....	220
Tabla 127.- Escala de vulnerabilidad de gestión institucional del AHM	221
Tabla 128.- Escala de vulnerabilidad ambiental del AHM	221
Tabla 129.- Escala de vulnerabilidad general del AHM	222
Tabla 130.- Escala de Exposición socioeconómica del AHM.....	222
Tabla 131.- Escala de Exposición de gestión institucional del AHM	223
Tabla 132.- Escala de Exposición ambiental del AHM	223
Tabla 133.- Escala de Exposición General del AHM	224
Tabla 134.-Concentrado de los resultados del grado de vulnerabilidad del AMG	225
Tabla 135.-Concentrado de los resultados del grado de exposición del AMG.....	226
Tabla 136.-Concentrado del grado de vulnerabilidad que componen la vulnerabilidad del AHM..	228
Tabla 137.-Concentrado del grado de exposición del AHM	230
Tabla 138.- Análisis de la variación de los indicadores de vulnerabilidad SE del AMG y AHM ...	232
Tabla 139.- Análisis de la variación de los indicadores de vulnerabilidad GI del AMG y AHM ...	235
Tabla 140.- Análisis de la variación de los indicadores de vulnerabilidad A del AMG y AHM	238
Tabla 141.- Análisis de la variación de los indicadores de exposición GI del AMG y AHM.....	240
Tabla 142.- Metodologías publicadas para evaluar el riesgo de sequía donde está involucrada el área urbana de manera directa o indirectamente.	243
Tabla 143.- Descripción de los pasos para la construcción del índice de vulnerabilidad ante cambio climático de las metodologías publicadas en los sectores hídrico y agrícola, que se han presentado en México a lo largo del presente siglo.	245
Tabla 144.- Matriz FODA de las metodologías a evaluar pasos 1,2,3 y 4.	249
Tabla 145.- Balance estratégico.....	250

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Actores Corresponsables en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en México.	8
Figura 2. (a) Interacción del riesgo con la amenaza y la vulnerabilidad; (b) Interacción del riesgo con la amenaza (peligro), la vulnerabilidad y la exposición. Fuente: Adaptada de Wood (2011)e IPCC (2014).	18
Figura 3. Secuencia de evolución de los diversos tipos de sequía.	21

Figura 4. Parámetros básicos para caracterizar la sequía desde las perspectivas meteorológica e hidrológica.....	22
Figura 5. Diagrama metodológico para evaluar la vulnerabilidad ante la sequía.	32
Figura 6. Componentes de la vulnerabilidad según los enfoques del IPCC (a) y la UNISDR (b)....	34
Figura 7. Municipios que integran el AHM.	43
Figura 8. Fuentes de abastecimiento superficiales del AHM	44
Figura 9. Municipios que integran el AMG.	44
Figura 10. Fuentes de abastecimiento superficiales del AMG	45
Figura 11. Metodología para evaluar el riesgo por sequía en las AHM y AMG	47
Figura 12. Metodología para evaluar la sequía meteorológica e hidrológica en las AHM y AMG.	48
Figura 13. Estaciones meteorológicas seleccionadas en el AHM.....	49
Figura 14. Estaciones meteorológicas seleccionada en el AMG	50
Figura 15. Diagrama de flujo de la operación Climatol, mostrando sus procesos iterativos anidados.	52
Figura 16. Comportamiento histórico de la precipitación total anual del AHM (1980-2018).....	53
Figura 17. Comportamiento histórico de la precipitación total anual del AMG (1980-2018).....	55
Figura 18. Comportamiento histórico de la precipitación total anual del estado de Michoacán (1980-2018).	56
Figura 19. Distribución porcentual de los meses por tipo de sequía en Nuevo León.	59
Figura 20.- Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río San Juan 1	61
Figura 21. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río San Juan 2.....	62
Figura 22. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río San Juan 3.....	63
Figura 23. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Pablillo 2.....	64
Figura 24. Comportamiento histórico del SPI para el AHM.....	65
Figura 25. Distribución porcentual de los meses por tipo de sequía en Jalisco.	65
Figura 26. Distribución porcentual de los meses por tipo de sequía en Michoacán.	65
Figura 27. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Lerma 6	66
Figura 28. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Duero.....	67
Figura 29. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Zula	69
Figura 30. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Lerma 7	72
Figura 31. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Santiago 1	73
Figura 32. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Santiago 2	74
Figura 33. Comportamiento histórico del SPI para el AMG.....	75
Figura 34. Estaciones hidrométricas AHM	76
Figura 35. Estaciones hidrométricas AMG	76
Figura 36. SDI de la estación hidrométrica La Boca (1981-2018)	81
Figura 37. SDI de la estación hidrométrica El Cuchillo (1981-2018).....	81
Figura 38. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río San Juan 1 (1981-2018).....	82
Figura 39. SDI de la estación hidrométrica Cerro Prieto (1981-2018)	82
Figura 40. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Pablillo 2 (1981-2018).....	82
Figura 41. SDI del AHM (1981-2018).....	83
Figura 42. Comparación del SDI con el SPI en el AHM (1981-2018)	83
Figura 43. SDI de la estación hidrométrica Camécuaro (1981-2018).....	83
Figura 44. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Duero (1981-2018)	84
Figura 45. SDI de la estación hidrométrica Yurecuaro II (1981-2018)	84
Figura 46. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Lerma 7 (1981-2018).....	85
Figura 47. SDI de la estación hidrométrica Calderón (1981-2018).....	85

Figura 48. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Santiago 1 (1981-2018)	85
Figura 49. SDI de la estación hidrométrica Zula (1981-2018)	86
Figura 50. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Zula (1981-2018).....	86
Figura 51. SDI del AMG (1981-2018).....	86
Figura 52. Comparación del SDI con el SPI en el AMG (1981-2018)	87
Figura 53. Componentes de la vulnerabilidad según el IPCC (2014).....	90
Figura 54. Metodología para la construcción de los índices de vulnerabilidad y exposición ante la sequía.	92
Figura 56. Porcentaje del índice de VSE del AMG y AHM	115
Figura 57. Porcentaje del índice de VGI del AMG y AHM.....	116
Figura 58. Porcentaje del índice de VA del AMG y AHM	117
Figura 59. Porcentaje del índice de VG del AMG y AHM	117
Figura 60. Porcentaje del índice de ESE del AMG y AHM.....	119
Figura 61. Porcentaje del índice de EGI del AMG y AHM	119
Figura 62. Porcentaje del índice de EA del AMG y AHM.....	120
Figura 63. Porcentaje del índice de EG del AMG y AHM.....	120
Figura 64. Índice de riesgo por sequía (%) del AHM y AMG (promedio del período 2008-2018).124	
Figura 65. Índice de riesgo por sequía general (IRS G) del AHM y AMG (2008-2018).....	125
Figura 66. Índice de riesgo por sequía socioeconómica del AHM y AMG (2008-2018)	126
Figura 67. Índice de riesgo por sequía de gestión institucional del AHM y AMG (2008-2018)....	126
Figura 68. Índice de riesgo por sequía ambiental del AHM y AMG (2008-2018).....	127
Figura 69. Análisis FODA aplicada a metodologías de riesgo por sequía	128
Figura 70. Análisis FODA del trabajo de Well & Birkman, 2015.....	129
Figura 71. Análisis FODA del trabajo de Neri & Magaña, 2016	129
Figura 72. Análisis FODA del trabajo de Sena et al., 2017	130
Figura 73. Análisis FODA del trabajo de Ortega-Gaucin et al., 2018b	130
Figura 74. Análisis FODA del trabajo de Ahmadi et al., 2019.....	130
Figura 75. Población económicamente activa desocupada (PEAD) (%).	186
Figura 76. Población en condiciones de pobreza (%)	186
Figura 77. Ingreso per cápita anual (Miles de pesos corrientes/año) (PIB per cápita).....	186
Figura 78. Relación tarifa costo.....	186
Figura 79. Consumo (l/h/d)	187
Figura 80. Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado (%).....	187
Figura 81. Eficiencia física (%)	187
Figura 82. Eficiencia comercial (%)	187
Figura 83. Micro y macro medición (%).....	188
Figura 84. Calidad del agua superficial DBO5 (mg/l)	188
Figura 85. Calidad de agua subterránea SDT (mg/l).....	188
Figura 86. Volumen tratado (%).....	188
Figura 87. Criterio de clasificación del DBO.	189
Figura 88. Criterio de clasificación del STD.....	189
Figura 89. Densidad de población (hab/km ²)	189
Figura 90. Volumen de agua producido (hm ³).....	189
Figura 91. Horas con servicio continuo (%).....	190
Figura 92. -Grado de presión del recurso hídrico (%).....	190
Figura 93.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación...200	

Figura 94.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación	201
Figura 95.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	201
Figura 96.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	202
Figura 97.-Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación .	202
Figura 98.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	203
Figura 99.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	203
Figura 100.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	204
Figura 101.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.....	204
Figura 102.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	205
Figura 103.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	205
Figura 104.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	206
Figura 105.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación...	206
Figura 106.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación	207
Figura 107.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	207
Figura 108.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	208
Figura 109.-Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación .	208
Figura 110.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	209
Figura 111.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	209
Figura 112.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	210
Figura 113.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.....	210
Figura 114.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	211

Figura 115.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	211
Figura 116.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	212
Figura 117.- Resultados del porcentaje de índice de VSE, VGI, VA y VG del AMG.	226
Figura 118.- Resultados del porcentaje de índice de ESE, EGI, EA y EG del AMG.	227
Figura 119.- Resultados del porcentaje de índice de VSE, VGI, VA y VG del AHM.	229
Figura 120.- Resultados del porcentaje de índice de ESE, EGI, EA y EG del AHM.	230
Figura 121.-Variación de los indicadores que componen la vulnerabilidad SE del AMG y AHM (2008-2018).....	231
Figura 122.-Variación de los indicadores que componen la vulnerabilidad GI del AMG y AHM (2008-2018).....	234
Figura 123.-Variación de los indicadores que componen la vulnerabilidad A del AMG y AHM (2008-2018).....	238
Figura 124.-Variación de los indicadores que componen la exposición SE del AMG y AHM (2008-2018).....	239
Figura 125.-Variación de los indicadores que componen la exposición GI del AMG y AHM (2008-2018).....	240
Figura 126.-Variación de los indicadores que componen la exposición A del AMG y AHM (2008-2018).....	241
Figura 127.-Diagrama de las metodologías para analizar con la estructura FODA.....	242
Figura 128. Análisis del trabajo de Well & Birkman, 2015	251
Figura 129. Análisis del trabajo de Neri & Magaña, 2016.....	251
Figura 130. Análisis del trabajo de Sena et al., 2017	251
Figura 131. Análisis del trabajo de Ortega-Gaucin et al.,218b.....	251
Figura 132. Análisis del trabajo de Ahmadalipour et al., 2019	252

Resumen

En los últimos años, las sequías se han intensificado en cuanto a su frecuencia y severidad en muchas partes del mundo debido al cambio climático. Las áreas urbanas en general son altamente vulnerables al riesgo por sequía debido a la combinación del aumento de población, condiciones socioeconómicas, ambientales, sus fuentes de abastecimiento y la gestión de los servicios de agua potable que prestan los organismos operadores de agua (OOAPAS). La atención al fenómeno de las sequías ha sido de manera reactiva, tal es el caso de la sequía generalizada que México está viviendo actualmente, donde las acciones que se implementan son para aliviar las crisis provocadas y no están orientadas a una gestión del riesgo. La evaluación del riesgo por sequía supone así el cambio de paradigma de pasar de un estado reactivo a uno de gestión. En años recientes se han incrementado las evaluaciones de riesgo por sequía, sin embargo, a pesar de este incremento, ha habido relativamente poca investigación centrada en el riesgo urbano por sequía. El objetivo de este trabajo de tesis doctoral es proponer una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad, exposición y riesgo por sequía en áreas metropolitanas y sus respectivos OOAPAS. Para la evaluación del riesgo se adopta el enfoque contextual, que define el riesgo en función de la amenaza, exposición y vulnerabilidad. Para el cálculo de la amenaza se utilizó el Índice de Sequía de los caudales fluviales (SDI-12), y para calcular los índices de vulnerabilidad y exposición se utilizaron indicadores socioeconómicos, ambientales y de gestión institucional. Esta metodología se aplicó en dos OOAPAS muy importantes en México: el organismo operador Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM), quien le presta el servicio público municipal de agua y drenaje al área hidropolitana de Monterrey (AHM), y el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Guadalajara (SIAPA), quien le presta el servicio público municipal de agua y drenaje al área metropolitana de Guadalajara (AMG). La metodología propuesta se aplicó en estas dos áreas de estudio debido a que son dos de los núcleos económicos más importantes del país, pues se encuentran entre las diez áreas más pobladas y están presentando problemas en el abastecimiento del agua debido a la escasez y la sequía. El periodo de estudio fue de 2008-2018. Los resultados mostraron que debido a que en las áreas metropolitanas bajo estudio el suministro de agua proviene más del 50% de fuentes superficiales, las hacen muy sensibles a las sequías hidrológicas, aunque la probabilidad de ocurrencia es mayor en las sequías moderadas con respecto a las sequías severas. La tendencia de la vulnerabilidad general del AMG y AHM va a la baja en el periodo de estudio, sin embargo, al evaluar el tipo de vulnerabilidad por separado se observa que el resultado de la vulnerabilidad de gestión institucional en ambas áreas va en aumento. Con respecto al resultado de la exposición tiende a ir en aumento en ambas áreas de estudio. Los resultados del riesgo por sequía muestran que la tendencia es ir en aumento en ambas áreas metropolitanas. De acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo doctoral, se demostró que la metodología propuesta es factible y útil en la evaluación del riesgo por sequía en las dos áreas de estudio, y puede ser aplicada en otras zonas urbanas del país.

Palabras claves: Sequía meteorológica e hidrológica, vulnerabilidad, exposición, riesgo, capacidad de adaptación, Monterrey, Guadalajara, OOAPAS.

Capítulo 1. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

El cambio climático es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (generalmente decenios o períodos más largos) (IPCC, 2014). El cambio climático incide sobre los patrones de temperatura y precipitación del planeta, así como en la frecuencia y severidad de eventos extremos como huracanes y sequías (González et al., 2003). Los fenómenos hidrometeorológicos extremos dañan los bienes y la integridad física de las personas, en una cadena compleja de impactos que afectan prácticamente a todas las dimensiones del desarrollo humano. La sequía es una de las causas fundamentales de desastres a escala mundial, durante los últimos 30 años se ha registrado un aumento en la frecuencia e intensidad de este fenómeno. La sequía se origina de la deficiencia en la precipitación sobre un período extendido de tiempo, que puede entenderse como una propiedad normal y recurrente del clima, cuyo impacto proviene de la interrelación entre el evento natural y la demanda en el suministro de agua (Landa, Magaña & Neri, 2008).

Las causas de la sequía no se conocen con precisión, pero se admite que en general se debe a alteraciones de los patrones de circulación atmosférica, que a su vez los ocasiona el calentamiento desigual de la corteza terrestre y de las masas de agua, manifestado en fenómenos como El Niño/ Oscilación del Sur (ENOS) (Acosta Godínez, 1988:15; Philander, 1990:54); también la quema de combustibles fósiles, la deforestación, el cambio de uso del suelo y la actividad antropogénica en general contribuyen a la modificación de la atmósfera, y con ello de los patrones de precipitación (Velasco et al., 2005).

El Niño/ Oscilación del Sur (ENOS): Los episodios Cálido/El Niño y Frío/La Niña forman parte de un ciclo conocido como El Niño Oscilación del Sur (ENOS o ENSO, por sus siglas en inglés). El Niño y La Niña son los ejemplos más evidentes de la variabilidad climática global siendo parte fundamental de un vasto y complejo sistema de fluctuaciones climáticas, con un intervalo medio de duración de cuatro años y un rango de 2 a 7 años (Trenberth, 1997). En el norte de México, el ENSO en su fase cálida (El Niño) se asocia a condiciones de alta precipitación en el invierno; mientras que el ENSO en su fase fría (La Niña) tiende a favorecer la presencia de inviernos más secos, propiciando fuertes sequías (Magaña et al., 2003; Caso et al., 2007). En la zona centro y norte de México, en verano con el fenómeno del Niño aparece la sequía y disminuyen el número de huracanes en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México (Magaña, et. al.1998). La influencia de La Niña sobre la variabilidad de la precipitación parece casi opuesta a lo observado durante El Niño, aunque es importante señalar, los patrones en las anomalías no siempre son exactamente inversos, no siempre se producen incrementos o disminuciones significativas en la precipitación (Magaña et al., 1999).

La sequía no es lo mismo que la escasez de agua, La escasez de agua hace referencia a procesos sociales, se le concibe como una construcción social, como una situación en que el agua es insuficiente para la realización de actividades humanas, resultante del encajamiento

o correspondencia entre diversas acciones. La sequía y escasez de agua no remiten a un mismo tipo de proceso, pero pueden confluir; un periodo prolongado de sequía puede intervenir en el desarrollo de una situación de escasez, porque implica la disminución de agua disponible en un territorio; no obstante, la escasez no resulta de condiciones climatológicas, sino de los modos en que se usa y distribuye el agua en un contexto determinado (Padilla, 2012).

Las sequías pueden colapsar e inutilizar la operatividad de los gobiernos y su infraestructura, son difíciles de detectar cuando están iniciando por el hecho de que los gobiernos y la sociedad confían en que sus necesidades de agua serán satisfechas por las reservas existentes en las presas (paradigma de la abundancia), por lo que no preocupa (en primera instancia) que las lluvias se retrasen o se interrumpan. Un episodio de sequía puede estar presente en una población y la sociedad no la percibiría si se cuenta con el agua suficiente en sus embalses para abastecer el consumo habitual de la población hasta el regreso de las lluvias (Esparza, 2014). Sin embargo, se está presentando una desertificación cada vez mayor del planeta, causada por la sobreexplotación de la tierra y una utilización inapropiada de sus recursos. Esto deriva en un estado de sequía prolongada en el tiempo y en el espacio geográfico. Todo ello conlleva un proceso creciente de degradación de los suelos cuya calidad se ve resentida, perdiendo capacidades de brindar a los seres vivos los beneficios fundamentales para la vida (ACNUR, 2019).

Velasco et al. (2005), comentan que los efectos de la sequía tienen manifestaciones y repercusiones sociales; la gravedad del fenómeno se aprecia tanto en consecuencias mínimas fácilmente superables, como en casos extremos, grandes hambrunas y muerte masiva por desnutrición y sed; pérdida de empleos y poder adquisitivo, carestía de productos y servicios, migración del campo a las ciudades, abandono y deterioro del campo y aumento de la pobreza son entre otras, las consecuencias comunes de la sequía, cuyos efectos son más devastadores que otros fenómenos naturales, y la recuperación es lenta, larga y costosa.

Se espera que los impactos de la sequía aumenten en los próximos años debido a la naturaleza no estacionaria del cambio climático y la variabilidad del clima. La vulnerabilidad a la sequía y la evaluación de riesgos son partes esenciales del fenómeno de la sequía; sin embargo, la falta de una evaluación integrada adecuada del riesgo por sequía podría generar mayores impactos socioeconómicos (Dabanli, 2018). Se ha demostrado que la exposición ante la sequía aumenta la pobreza (Carter et al., 2007; Dercon, 2004). El impacto del riesgo de desastre en la pobreza se produce de forma visible (las pérdidas cuando se produce un desastre), así como a través de lo menos obvio: los hogares expuestos al riesgo meteorológico reducen la inversión en activos productivos y al seleccionar actividades de bajo riesgo y bajo rendimiento (Cole et al., 2013; Elbers et al., 2007). Este vínculo de la exposición a la pobreza ante los peligros naturales puede crear un bucle de retroalimentación, en el que los hogares pobres no tienen más remedio que establecerse en zonas de riesgo y, por lo tanto, se enfrentan a mayores desafíos para escapar de la pobreza (Winsemius et al., 2018).

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2010), los impactos de las sequías dependen de la vulnerabilidad y de la habilidad de las comunidades para enfrentar el fenómeno, lo que a su vez está influido por las condiciones socioeconómicas, productivas y de calidad de los recursos de las poblaciones.

México es un país vulnerable a los efectos de las sequías, primero por el hecho de que gran parte de su territorio es árido o semiárido, por lo que percibe poca cantidad de lluvias; segundo, porque la mayor parte de su población está concentrada en las zonas donde menor cantidad de agua superficial existe; tercero, porque las grandes obras hidráulicas construidas a lo largo del siglo XX crearon una sensación de abundancia que hoy en día ha sido sobrepasada por el dispendio, y cuarto, debido a la sobreexplotación, el desperdicio y la contaminación, el agua disponible para atender las necesidades de la población en condiciones normales se reduce significativamente, situación que tiende a agravarse a extremos críticos cuando por efecto de una sequía se interrumpe el ciclo normal de lluvias (Esparza, 2014).

Según la Comisión Nacional del Agua (Conagua, 2014a) en las últimas dos décadas, muchos estados del país han experimentado episodios de sequía con impactos severos, de manera particular en 2011 cuando se registró la peor sequía desde 1941. La falta de lluvia provocó que la sequía se extendiera a más de la mitad del territorio nacional: 6% se clasificó como fuerte o excepcional; 15% como extrema; severa, 20% y moderada, 13%, o sea un total de 54% del territorio nacional. Los estados más afectados por la sequía, denominada “excepcional”, fueron la península de Baja California, Chihuahua, Coahuila, Sonora y Nuevo León en el norte del país; en tanto que San Luis Potosí, Guanajuato, Tamaulipas, Distrito Federal, Estado de México, Veracruz, Yucatán, Puebla y Tlaxcala resintieron los efectos de la sequía extrema (Torres-Lima, 2015).

Actualmente México está viviendo una de las sequías más generalizadas e intensas en décadas (Patel, 2021). Desde 2019 gran parte de México registró condiciones anormalmente secas y sequía de moderada a severa para la región Norte y Occidente (González-Márquez, 2021). Los meses húmedos de 2020 también recibieron precipitaciones escasas, en parte debido al reciente evento de La Niña. El agua inusualmente fría en el Océano Pacífico del este inhibe la formación de nubes de lluvia y produce menos precipitaciones sobre México y el sur de los Estados Unidos (Patel, 2021). Debido a esto la sequía en el 2020 se extendió a 80% de la República Mexicana, generando condiciones de sequía moderada, severa a extrema (González-Márquez, 2021). Durante los meses que van del 2021, y como consecuencia de la sequía que se extiende en el territorio nacional, se han desarrollado problemas como niveles mínimos en las presas para el abastecimiento de agua en las regiones centro y noroeste del país, desabasto del líquido en varias ciudades y zonas metropolitanas, así como incendios a lo largo del territorio nacional (Breña-Naranjo, 2021). La Subdirección General Técnica de la Conagua reportó que, hasta el 22 de marzo del 2021, sólo uno de los 210 principales embalses del país está al 100% de su llenado; 43, entre 75 y 100%; 57, entre 50 y 75% y 15 tienen menos del 50%. Al respecto, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) informó que, en lo que va del año, se ha registrado 25% menos lluvia que lo habitual para el mismo periodo en años anteriores (Rodríguez, 2021). Al 15 de abril de 2021, casi el 85 por ciento del país enfrenta condiciones de sequía (Patel, 2021). De los 2,463 municipios del país, 1,319 se encuentran en sequía de moderada a excepcional (Conagua, 2021). Los estados más afectados son Coahuila, Durango, Guanajuato, Chihuahua, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Nuevo León, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas (Miranda & Guerrero, 2021).

En contraste con la problemática de la sequía que se está viviendo en el 2021, el año 2010 se catalogó como el año más húmedo de la historia, ese año fue el segundo año más lluvioso de los pasados 72 años y superó el promedio nacional en 23 % (Enciso, 2010). En 2010 impactaron directamente en México seis ciclones tropicales, de los cuales al menos tres (Alex, Karly y Matthew) ocasionaron severas afectaciones en el país (Cenapred, 2012). Las condiciones extremas de lluvias provocaron que el número de municipios que enfrentaron desastres naturales creciera casi cuatro veces, ya que en el 2009 fueron 138 y en 2010 sumaron 586 (Enciso, 2010).

Debido a la actual creciente demanda de agua en México, el número de acuíferos sobreexplotados se ha incrementó considerablemente en las últimas cuatro décadas: en 1975 había 32 de ellos, para 1981 la cifra se había elevado a 36 y en 2015 ya sumaban 105 (es decir, 16% de los 653 acuíferos registrados en el país). Algunos de los acuíferos sobreexplotados presentan, además, condiciones de salinización por intrusión marina o aguas subterráneas salobres. Con respecto a la calidad del agua, las actividades humanas pueden modificar la composición química de muchos cuerpos de agua, debido a la descarga de aguas residuales sin tratamiento que provienen de diversas fuentes, las cuales alteran su equilibrio dinámico, además puede provocar la degradación o desaparición de los servicios ambientales de los cuerpos de agua. En algunos casos, además de nutrientes, las aguas pueden contaminarse con compuestos químicos tóxicos que empeoran su condición, afectan la vida silvestre e impiden su uso para consumo humano (Barba, 2002; Gómez et al., 2013 citado en Semarnat, 2015) La calidad del agua es una medida de las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido (Peters et al., 2009 citado en Semarnat, 2015) que resulta fundamental conocer para poder aprovechar adecuadamente y de forma segura el líquido. Para medirla se definen estándares específicos en función de los usos que pretende dársele (p. ej. agua potable, para el uso agrícola o industrial; UNDP et al., 2000 citado en Semarnat, 2015).

Además, muchos estados del país están al borde de padecer estrés hídrico. De acuerdo con la Conagua cuando se concesiona y asigna a los usos consuntivos el 40% o más del agua renovable anual se considera que el país, región, estado o zona padece estrés hídrico y se ejerce un grado de presión alto sobre el recurso. También se considera que existe estrés hídrico si se dispone de 1,700 m³/habitante/año o menos de agua renovable. Nuevo León se encuentra entre las ocho entidades en padecer estrés hídrico con 856 m³/hab/año de agua renovable per cápita, Jalisco está al límite de padecer estrés hídrico con 1,999 m³/hab/año de agua renovable per cápita al año (Cedillo, 2017).

El problema del impacto de la sequía en el consumo de agua de las ciudades mexicanas, se puede resumir en que las ciudades no han dejado de crecer cuando menos desde 1940 y constantemente han requerido nuevas fuentes de agua y nueva infraestructura hidráulica, como presas, pozos, acueductos, tanques de almacenamiento y redes de distribución, entre otras. Estas ciudades también se enfrentan desde la década de 1990 reducciones recurrentes en el agua disponible, en la que se conjugan sequía, mala gestión y crecimiento urbano. Además las ciudades buscan aumentar el abasto de agua con nueva infraestructura cada vez más cara y de fuentes cada vez más lejanas sin modificar la gestión ni los patrones de consumo de agua, aunado a esto, existe un factor de incertidumbre introducido por el fenómeno del cambio climático, que de acuerdo con los modelos actualmente disponibles induciría una reducción de la precipitación en el país y un aumento en la temperatura a lo

largo del siglo, lo que repercutiría en una disminución en la cantidad de agua disponible y un incremento en la demanda. A pesar de que la mayoría de las ciudades mexicanas han estado expuestas a la sequía en los últimos años, no hay una conciencia clara entre los habitantes de las ciudades ni entre los directivos de Organismos Operadores de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOAPAS) del impacto de este fenómeno en las ciudades o que éstas tengan que prevenir sus efectos (Pineda-Pablos et al., 2016).

Los retos a los que se enfrentan los OOAPAS ante la sequía se muestran en la Tabla 1 y en la Tabla 2 se muestra los efectos de las sequías en las ciudades de México del periodo del 2011 al 2017.

Tabla 1. Retos a los que se enfrentan los OOAPAS ante la sequía.

Concepto	Descripción
1. Reducción de la recarga de acuíferos	El descenso de las precipitaciones y el incremento de la evaporación debido a las altas temperaturas, disminuirán los suministros de agua superficial y la recarga de acuíferos lo que aumentará el riesgo de intrusión salina.
	Implicaciones para OOPAS: Aumento de los costos de tratamiento y extracción (al aumentar la profundidad de bombeo) de agua.
2. Disminución de niveles en lagos y embalses	El descenso de las precipitaciones y el incremento de la evaporación debido a las altas temperaturas, disminuirán los niveles en lagos y embalses disminuyendo la disponibilidad en fuentes superficiales.
	Implicaciones para OOPAS: Dificultad para satisfacer las demandas de agua, especialmente en meses de verano, disminución de los flujos de diseño mínimos requeridos por la infraestructura y aumento de los costos de tratamiento por concentración de contaminantes en el influente.
3.- Cambios en la escorrentía	El aumento de la temperatura y el cambio en los patrones de precipitación alterarán la escorrentía estacional. Estos cambios podrían poner a prueba la capacidad de los embalses para mantener los caudales de escurrimiento, lo que podría causar escasez en el verano debido a los largos periodos de temporadas cálidas y secas y comprometer las metas del ecosistema. Del mismo modo una precipitación anual menor dará lugar a la disminución del flujo en diversos lugares, lo que puede ocasionar la concentración de contaminantes.
	Implicaciones para OOPAS: Disminución en niveles de disponibilidad y aumento de los costos de tratamiento por deterioro de la calidad del agua.

Fuente: EPA (2010) citado en Camacho (2012).

Tabla 2. Efectos de la sequía hidrológica en municipios y ciudades de México periodo 2011-2017.

Año	Fecha	Estado	Municipio/Ciudad	Efectos
2011	Julio	Nuevo León	Varios municipios	Unos 30 mil afectados por la sequía recibieron diversos apoyos del gobierno del estado, a fin de satisfacer sus necesidades de agua para consumo humano. (Notimex, 2011).
2011-2012	Todo el año	Nuevo León	La sequía más severa de los últimos 50 años	17 mil familias(alrededor de 60 mil personas) padecieron por la escasez y falta de agua para consumo humano, por lo que tuvieron que ser abastecidos del vital líquido mediante pipas (Ortega-Gaucin, 2013)
2015	Junio	Sinaloa	El Fuerte, Choix, Badiraguato, Cosalá, Culiacán, San Ignacio y El Rosario.	80 comunidades sin abastecimiento de agua potable (Bustamante, 2015).
2015	Septiembre	Sonora	Varios municipios	A la fecha se tiene un acumulado de 299 personas afectadas por las altas temperaturas, de las cuales 30 sufrieron golpe de calor, 258 se deshidrataron y 11 tuvieron insolación (Notimex, 2015).
2016	Octubre	Chihuahua	Santa Rita	50 familias menonitas emigraron de la ciudad para mudarse a Argentina debido a la sequía (El Universal, 2016).
2017	Marzo	Yucatán	Tekax	Falta de agua potable afecta a 30 familias, quienes no reciben “ni una gota” en las tomas domiciliarias y se ven en apuros para conseguir el líquido. En ocasiones tienen que comprar agua a particulares, por la cual pagan de 200 a 250 pesos por viaje de cinco tambos. Otros se ven obligados a acarrear en triciclos los garrafones de agua (Diario de Yucatán, 2017).
2017	Abril	Oaxaca	Juchitán, Jalapa del Marqués, Unión Hidalgo, Tehuantepec, Mixtequilla y Salina Cruz.	Padecen escasez de agua potable desde hace varios meses debido a la sequía (Manzano, 2017).
2017	Abril	Tabasco	Centro	La deshidratación de la tierra por sequía, el dragado y el temblor ocurrido hace cinco días, fueron las causas principales que provocaron el hundimiento de un talud de tierra de 50 metros de largo por 20 metros de ancho, y a su vez, 11 viviendas quedaron completamente destruidas (Ólan, 2017).
2017	Junio	Michoacán	Seis municipios	La Huacana y Churumuco, presentaron desabasto de agua en sus diferentes localidades, “al grado que no tenían agua ni para el aseo personal”. Timbiriche y Cumuato se registró hasta 100 por ciento de desabasto de líquido, El Ejido de Guadalupe Oropeo con 75 por ciento y Capirito con 50 por ciento (MiMorelia, 2017).
2017	Junio	Sinaloa	Ahome	En la localidad El Aguajito hay 33 casas (190 habitantes) sufrieron desabasto de agua, debido a que buscaron conseguir agua de donde pudieron, señalaron que hace poco enfermaron

Año	Fecha	Estado	Municipio/Ciudad	Efectos
				del estómago la mayoría de los habitantes (Ortega, 2017).
2017	Junio	Baja California	Mexicali	Tres muertos por golpe de calor (Aréchiga, 2017).
2017	Junio	Zacatecas	Zacatecas	Cerca de 45 mil casos de enfermedades diarreicas por ola de calor (Elizondo, 2017).
2017	Julio	Sonora	Hermosillo	Seis muertes secundarias a la exposición a altas temperaturas en la entidad, cuatro por golpe de calor y dos por deshidratación severa (Notimex, 2017).
2017	Agosto	Ciudad de México	Azcapotzalco	El suelo de Azcapotzalco es arcilloso y limoso, el cual en temporada de lluvias se expande y en época de sequía se contrae, lo que provoca hundimientos y fracturas, un peligro para las grandes construcciones y para las viviendas aledañas (Roa, 2017).
2017	Octubre	Guerrero	Acapulco	Se registra ola de calor en plena temporada de lluvias (Flores, 2017).
2017	abril	Jalisco		Sufre sequía atípica la mitad de Jalisco (Meléndez, 2017)
2017	diciembre	Jalisco	AMG	Ayuntamiento de Guadalajara suspende el riego de parques y jardines ante la sequía (CIm24, 2017)
2017	mayo	Jalisco	AMG	San Cristóbal ha estado hasta en 42 grados. (Pérez, 2017)
2017	abril	Jalisco	Todos los municipios	Continúa onda de calor en Jalisco, Se esperan temperaturas superiores a los 40 grados y clima seco en el estado (NTX, 2017)
2017	JUNIO	Nuevo León	Todos sus municipios	Azota calor de hasta 40 grados a Nuevo León (Garza, 2017).

Fuente: Elaboración propia

Los aspectos tecnológicos ingenieriles (estructurales) constituyen la fase práctica para mitigar los daños de la sequía. Sin embargo, esta no es la parte más importante. Con frecuencia, las repercusiones de la sequía se deben más a la gestión, uso y manejo del agua, es decir, a la administración del recurso, que es la parte no estructural del problema. Por esto, las consecuencias del fenómeno no son desastres naturales, sino simplemente desastres inducidos por diversos factores antropogénicos, entre ellos las deficiencias en información, organización institucional y social y las estrategias adecuadas y oportunas para afrontar los embates. Tener una percepción apropiada del fenómeno es quizá el primer paso, para lograr que la gestión del agua en épocas de escasez permita afrontar la sequía con más éxito, con base en una asignación apropiada del agua existente y del déficit (Velasco et al., 2005).

La gestión del agua pública ha sufrido varios cambios en las últimas décadas (Aboites, 1988; Durán & Torres, 2006; Pineda & Salazar, 2008; Sandoval, 2008). Al término de la primera década del presente siglo se constata que no se logra la pretendida rentabilidad de las empresas públicas del agua (Arrojo, 2006; Pineda & Salazar, 2008; Sandoval, 2008). Al respecto existen varias hipótesis, pero las más socorridas apuntan al desorden imperante en cuanto a planeación, medición del servicio, patrón de usuarios, control de fuentes de agua, y

principalmente, al manejo populista de la tarifa del agua. Son varios los autores que las señalan como resultado lógico de un modelo de gestión de agua basado en la oferta (Torres y Peña, 2005; Duran & Torres, 2006; Barkin & Klooster, 2006; Flores, 2014).

El modelo de gestión de agua basado en la oferta se ha orientado básicamente en llevar a cabo transferencias de agua entre las cuencas de las regiones con mayor disponibilidad de agua a las regiones con baja disponibilidad y alta demanda. La gestión de las aguas nacionales por parte del ejecutivo federal o de la Conagua ha permitido llevar el agua a las ciudades por medio de trasvases, los cuales ya son obsoletos (Esparza, 2014) y no permiten a los habitantes de las ciudades ver la magnitud del problema. Los trasvases se suelen ofrecer como una solución rápida para satisfacer la creciente demanda de agua en lugar de explorar alternativas como la reducción efectiva de ésta, el reciclado de aguas naturales o la recuperación de fuentes locales del recurso (Pitcock et al., 2009). Pineda (2018), comenta que este modelo ha fracasado y debe de cambiarse a la brevedad posible.

En la Figura 1 se hace patente la ausencia de uno de los órdenes de gobierno entre los actores. Los gobiernos de las entidades federativas son indispensables en un marco sustentable, y hasta ahora su papel va desde la indiferencia hasta la intromisión desplazando a los municipios de sus responsabilidades, por lo que es necesario que la ley les asigne facultades y responsabilidades que consoliden el marco legal para conseguir la sostenibilidad de los servicios públicos en la materia (Ricaño, 2018).



Figura 1. Actores Corresponsables en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en México.

Fuente: Ricaño (2018)

Con respecto a un cambio de modelo en la gestión del agua urbana, la organización estadounidense Rocky Mountain Institute que se dedica a la investigación en el campo de la eficiencia energética, se refiere al paradigma emergente como una "vía suave" para la infraestructura de agua urbana. La terminología se inspira en el camino suave de la energía previsto por Amory Lovins en 1977 (Lovins, 1977). El camino suave se caracteriza por tecnologías de uso final altamente eficientes y por el uso generalizado de recursos de energía renovable a pequeña escala (energía fotovoltaica, energía eólica, biogás, celdas de combustible de hidrógeno, etc.) en contraste con la proliferación continua de combustibles fósiles grandes y centralizados y plantas de energía nuclear, y la dependencia continua de los

combustibles fósiles como fuerza motriz (Pihkhma, 1999). En la Tabla 3 se muestra las diferencias del modelo basado en el modelo tradicional y el modelo emergente.

Tabla 3. Diferencias entre el modelo tradicional y el modelo emergente de gestión del agua urbana.

Modelo tradicional	Modelo emergente
Las aguas residuales son un problema. Debe eliminarse después del tratamiento mínimo requerido para reducir sus propiedades nocivas.	Las aguas residuales son un recurso. Debe capturarse y procesarse de manera eficaz, y utilizarse en tierras de cultivo y en la parte urbana.
Las aguas pluviales son un problema. Sacar las aguas pluviales de las zonas urbanas lo más rápido posible.	Las aguas pluviales son un recurso. Recolectar el agua de lluvia como suministro de agua e infiltrarla o retenerla para mantener los acuíferos urbanos, las vías fluviales y la vegetación.
Construya según la demanda. Es necesario desarrollar más capacidad a medida que aumenta la demanda.	Gestionar la demanda. Las oportunidades de gestión de la demanda son reales y están aumentando. Aprovechar todas las opciones rentables antes de aumentar la capacidad de la infraestructura.
La demanda es una cuestión de cantidad. La cantidad de agua requerida o producida por los usuarios finales del agua es el único parámetro relevante en las opciones de infraestructura. Tratar toda el agua del lado de la oferta para que sea potable y recolectar todas las aguas residuales para su tratamiento en un solo sistema.	La demanda tiene múltiples facetas. Las opciones de infraestructura deben cumplir con las múltiples características del agua requeridas o producidas por los diferentes usuarios finales: cantidad, calidad (biológica, química, física), nivel de confiabilidad, etc.
El agua se utiliza una sola vez y se tira. El agua sigue un camino de un solo sentido desde la fuente del suministro, hacia una sola ocasión de uso y después al tratamiento y expulsión al medio ambiente.	Reutilización y recuperación. El agua se puede utilizar varias veces, distribuyéndola en cascada desde las necesidades de mayor a menor calidad (por ejemplo, utilizando aguas grises domésticas para el riego o para la descarga de excusados) y mediante el tratamiento de recuperación para devolverlo a la infraestructura de suministro.
Infraestructura gris. La infraestructura debe estar hecha de hormigón, metal y plástico.	Infraestructura verde. Además de las tuberías y las plantas de tratamiento, la infraestructura debe incluir las capacidades naturales del suelo y la vegetación para absorber y tratar el agua.
Más grande / centralizado es mejor. Los sistemas más grandes, especialmente las plantas de tratamiento, conllevan economías a escala.	Pequeño / descentralizado es posible, a menudo deseable. Los sistemas a pequeña escala son efectivos y pueden ser económicos, especialmente cuando se consideran las deseconomías de escala en las redes convencionales de distribución / recolección.
Limite la complejidad: Empleo de soluciones estándar. Un pequeño número de tecnologías, bien conocido por los profesionales del agua urbana, define la gama de opciones de infraestructura de respuesta.	Permitir diversas soluciones. Se requieren una diversidad de soluciones capaces de ajustarse en entornos urbanos cada vez más complejos y con recursos limitados, mediante nuevas tecnologías y estrategias de gestión.
Integración por accidente. Los sistemas de suministro de agua, aguas pluviales y aguas residuales deben ser administrados por la misma agencia como una cuestión histórica a nivel local. Sin embargo, físicamente los sistemas deben estar separados.	Integración física e institucional por diseño. Pueden y deben establecerse vínculos importantes entre las infraestructuras físicas para el suministro de agua, las aguas pluviales y de aguas residuales. Los beneficios de la integración requieren una gestión altamente coordinada.

Modelo tradicional	Modelo emergente
Colaboración es igual a relaciones públicas. Acercarse a otras agencias y al público cuando se requiere la aprobación de soluciones preseleccionadas	Colaboración es igual a compromiso. Reclute a otras agencias y al público en la búsqueda de soluciones eficaces y de múltiples beneficios.

Fuente: Adaptado de Pihkma (1999).

Se puede observar entonces que la sequía no se puede tomar como un fenómeno aislado en las ciudades, la disminución de lluvias durante periodos prolongados (sequía meteorológica) impacta en la oferta natural del agua para satisfacer la demanda en los diferentes usos. El modelo de gestión en las ciudades enfocado en la oferta, la falta de una buena gobernabilidad del agua, el crecimiento de la población, la contaminación y el desperdicio agravan el problema de escasez y favorecen a un mayor riesgo por sequía hidrológica. Esta situación traerá en un futuro mayores conflictos sociales y de salud si no se toman las medidas necesarias. Los OOAPAS que son los encargados de gestionar y suministrar el agua a la población, ante la escasez del agua tienen que realizar un uso racional y eficiente del recurso.

No obstante, a pesar de la importancia que han tenido las sequías en la historia de México y de los impactos negativos que siguen causando en la actualidad, la atención a este fenómeno en las últimas décadas se ha basado en un enfoque reactivo, donde lo primordial ha sido el alivio de las crisis provocadas por la sequía y no la gestión del riesgo, por lo que la población y los diversos sectores socioeconómicos de ciertas áreas del país (sobre todo en el norte y centro), siguen siendo altamente vulnerables ante los embates del fenómeno (Ortega-Gaucin, 2014).

Las evaluaciones de vulnerabilidad, exposición y riesgo por sequía suponen así el primer paso para identificar las causas que generan los impactos y facilitar el cambio de paradigma para la puesta en práctica de las estrategias de mitigación (Knutson et al., 1998).

1.2. Antecedentes

Se han realizado diversos estudios que proponen cómo medir el riesgo por sequía (Por ejemplo: Shahid & Behrawan, 2008; BID, 2015; Welle & Birkmann, 2015; Blauhut et al., 2015; Kim et al., 2015; Carrão et al., 2016; Blauhut et al., 2016; Neri & Magaña, 2016; Fan et al., 2017; Sena et al., 2017; Asare-Kyei et al., 2017; Chen et al., 2017; Dabanli, 2018; Vogt et al., 2018; Nasrollahi et al., 2018; Ortega-Gaucin et al., 2018b; Hagenlocher et al., 2019; Prabnakorn et al., 2019; Ahmadalipour et al., 2019; Alamgir et al., 2019; Zhang et al., 2019; Dai et al., 2020; Blauhut, 2020; Nauditt et al., 2020; Zhong et al., 2020; Khoshnazar et al., 2021 y Ortega-Gaucin et al., 2021). Además, se consultó el trabajo realizado por Blauhut (2020), donde hace una revisión de 82 artículos a nivel internacional relacionados con el riesgo por sequía. El total de artículos revisados fueron 108 del periodo 2001-2021 donde se observa que el 67% son trabajos relacionados con la agricultura, el 25% con múltiples amenazas, el 2% relacionado con sequia hidrológica y agricultura y el 6% restante con temas relacionados a la silvicultura, energía eléctrica, estrés déficit hídrico y salud (Tabla 4).

Tabla 4. Metodologías sobre riesgo por sequía y su enfoque

Núm.	Referencia	Enfoque
1	Luetkemeier and Liehr (2018)	General
2	Lopresti et al. (2015)	Agricultura: trigo
3	Dayal et al. (2018)	General
4	Kamruzzaman et al. (2016)	Agricultura
5	Shahid and Behrawan (2008)	General
6	Asare-Kyei et al. (2017)	General: peligros naturales múltiples (inundaciones y sequías)
7	Sena et al. (2017)	Salud
8	Heinemann et al. (2019)	Agricultura: arroz
9	Hadarits et al. (2018)	Agricultura: viticultura
10	Han et al. (2015)	Agricultura
11	Xu et al. (2012)	Agricultura: cultivo específico (3 principales por prefectura)
12	Pei et al. (2017)	Agricultura
13	Pei et al. (2017)	Agricultura
14	Sun et al. (2017)	Agricultura: maíz
15	Zhang et al. (2011)	Agricultura
16	Niu et al. (2019)	Agricultura
17	Chen et al. (2017)	Agricultura
18	Wang et al. (2016)	Agricultura: maíz de primavera
19	Deng et al. (2018)	Agricultura
20	Zeng et al. (2019)	Agricultura
21	Jia et al. (2016)	Agricultura: maíz
22	Li et al. (2017)	Agricultura: maíz
23	Fan et al. (2017)	General
24	Ruda et al. (2017)	General
25	Valverde-Arias et al. (2017)	Agricultura: arroz
26	Eze et al. (2020)	Agricultura: de secano
27	Gedif et al. (2014)	General
28	Siebert et al. (2019)	Energía hidroeléctrica: central eléctrica de pasada
29	Blauhut et al. (2017)	Riesgo de sequía hidrológica: cantidad y calidad del agua
30	Amoako et al. (2012)	General
31	Chopra (2006)	Agricultura
32	Raja et al. (2014)	Agricultura: arroz, General
33	Yaduvanshi et al. (2015)	Agricultura: arroz, General
34	Shofiyati et al. (2011)	Agricultura
35	Nasrollahi et al. (2018)	General
36	Ronco et al. (2017)	Agricultura: Agricultura de regadío
37	Kipterer and Mundia (2011)	General
38	Tarchiani and Bacci (2016)	Agricultura: mijo perla
39	Bunea (2019)	General
40	Jordaan (2012)	General
41	Sa-Nguansilp et al. (2017)	Agricultura
42	Monkolsawat et al. (2001)	General
43	Wipulanusat et al. (2009)	General: peligros naturales múltiples (inundaciones y sequías)
44	Tingsanchali and Piriya Wong (2018)	Agricultura: de regadío
45	Piriya Wong (2018)	Agricultura: trigo
46	Skakun et al. (2016)	Agricultura: invierno
47	Salmoral et al. (2019)	Agricultura: Agricultura de regadío
48	Tomasek et al. (2017)	Agricultura
49	Wu and Wilhite (2004)	Agricultura: maíz y soja de secano

Núm.	Referencia	Enfoque
50	Buurman et al. (2020)	General
51	Naumann et al. (2019)	General
52	Stone and Potgieter (2008)	Agricultura: sorgo y pastos de secano
53	Alamgir et al. (2019)	Agricultura: diez cultivos principales
54	Jackson (2001)	General
55	Boucher et al. (2018)	Silvicultura: producción de madera
56	Chen et al. (2019)	Agricultura: maíz
57	Hao et al. (2011)	Agricultura: trigo, arroz, maíz, mijo, cebada de las tierras altas, papa, hortalizas, hierbas y otros
58	He et al. (2013)	Agricultura: trigo, arroz, maíz
59	Lei et al. (2011)	Agricultura: arroz
60	Liu et al. (2016)	Sequía de vegetación
61	Yu et al. (2018)	Agricultura: arroz, maíz y trigo.
62	Yue et al. (2018)	Agricultura: trigo
63	Trnka et al. (2011)	Agricultura: pastizales
64	Ahopelto et al. (2019)	Estrés / déficit hídrico
65	Muukkonen et al. (2014)	Silvicultura
66	Quijano et al. (2014)	Agricultura: maíz de secano,
67	Potopová et al. (2020)	Agricultura: maíz, girasol, uva
68	Kim et al. (2013)	General
69	Shiau and Hsiao (2012)	Estrés / déficit hídrico
70	Dabanli (2018)	General: sociedad
71	Frischen et al. (2020)	Agricultura
72	Ahmadalipour et al. (2019)	General
73	Blauhut et al. (2015a)	Multisectorial: Agricultura, energía e industria, suministro público de agua, calidad del agua
74	Blauhut et al. (2016)	Multisectorial: 15 categorías de impacto *
75	Genovese et al. (2007)	Agricultura: trigo duro
76	Schwarz et al. (2020)	Tierras agrícolas, pastizales, matorrales Agua subterránea General, multisectorial: Mortalidad, Pérdidas financieras, Agricultura
77	Villholth et al. (2013)	Tierras agrícolas, pastizales, matorrales Agua subterránea General, multisectorial: Mortalidad, Pérdidas financieras, Agricultura
78	Carrão et al. (2016)	Tierras agrícolas, pastizales, matorrales Agua subterránea General, multisectorial: Mortalidad, Pérdidas financieras, Agricultura
79	Dilley et al. (2005)	Tierras agrícolas, pastizales, matorrales Agua subterránea General, multisectorial: Mortalidad, Pérdidas financieras, Agricultura
80	Eriyagama et al. (2009)	Tierras agrícolas, pastizales, matorrales Agua subterránea General, multisectorial: Mortalidad, Pérdidas financieras, Agricultura
81	Guo et al. (2016)	Agricultura: arroz, maíz, trigo, cebada, sorgo, soja Agricultura: de secano y de regadío
82	Li et al. (2009)	Agricultura: arroz, maíz, trigo, cebada, sorgo, soja Agricultura: de secano y de regadío
83	Meza et al. (2019)	Agricultura: arroz, maíz, trigo, cebada, sorgo, soja Agricultura: de secano y de regadío
84	Yin et al. (2014)	Agricultura: arroz, maíz, trigo, cebada, sorgo, soja Agricultura: de secano y de regadío
85	BID (2015)	Múltiples amenazas
86	Welle & Birkmann (2015)	Múltiples amenazas

Núm.	Referencia	Enfoque
87	Blauhut et al. (2015)	Agricultura
88	Kim et al. (2015)	Agricultura
89	Blauhut et al. (2016)	Agricultura
90	Neri & Magaña (2016)	Hidrología y Meteorología
91	Fan et al. (2017)	Agricultura
92	Asare-Kyei et al. (2017)	Múltiples amenazas
93	Chen et al. (2017)	Agricultura
94	Dabanli (2018)	Agricultura
95	Vogt et al. (2018)	Agricultura
96	Nasrollahi et al. (2018)	Agricultura
97	Hagenlocher et al. (2019)	Agricultura
98	Prabnakorn et al. (2019)	Agricultura
99	Ahmadalipour et al. (2019)	Múltiples amenazas
100	Alamgir et al. (2019)	Agricultura
101	Dai et al. (2020)	Agricultura
102	Zhong et al. (2020)	Agricultura
103	Khoshnazar et al. (2021)	Agricultura
104	Ortega-Gaucin et al. (2018b)	General
105	Nauditt et al. (2020)	Agricultura
106	Shahid & Behrawan (2008)	Agricultura
107	Zhang et al. (2019)	Agricultura
108	Ortega-Gaucin et al. (2021)	Agricultura

Fuente: Elaboración propia y adaptado de Blahut (2020)

A pesar del número creciente de estos estudios, ha habido relativamente poca investigación centrada en la vulnerabilidad urbana al cambio climático (Rafael et al., 2015). Y específicamente del riesgo urbano de sequía. Así por ejemplo algunos autores solo evalúan la vulnerabilidad que es un componente del riesgo ante el cambio climático o sequías en áreas urbanas, por ejemplo: Magaña (2012), elabora una guía que contiene recomendaciones que permiten al usuario evaluar la vulnerabilidad ante cambio climático. Camacho (2012), presenta una propuesta metodológica para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOAPAS). Valencia et al. (2014), presentan una metodología para el análisis de vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de agua en Popayán y Cajibío, Colombia. Conagua (2015a, y 2015c), elabora un documento que tiene como propósito contribuir a minimizar los impactos sociales, económicos y ambientales de eventuales situaciones de sequía en el marco territorial del Área Metropolitana. Malakar & Mishra (2016), desarrollan índices que indican la vulnerabilidad al cambio climático / peligros ambientales para las ciudades de la India ubicadas en diferentes zonas bioclimáticas. Bouroncle et al. (2016), en su documento proponen indicadores para la adaptación al cambio climático en diferentes regiones y ciudades de Colombia. Pineda-Pablos et al. (2016), revisa el impacto de la sequía en los municipios urbanos de México y propone un modelo para el análisis del impacto de la sequía en el que la gestión del agua es el elemento crítico. Meriem et al. (2017), proponen indicadores clave y umbrales relacionados para analizar la capacidad de transporte de agua en la ciudad de Argel en Argelia. Mussetta et al. (2017), evidencian las dificultades metodológicas y teóricas en el uso de indicadores sociales para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático. Hernández et al. (2017), analizan la vulnerabilidad hídrica al cambio climático en La Paz, Baja California Sur, México. Paneque et al. (2018), desarrollaron un geovisor web con el objetivo de construir algunos indicadores socio-institucionales que

mejoren los índices para la evaluación y el análisis de vulnerabilidad al riesgo por sequía en la cuenca piloto del Guadalete-Barbete; y por último Ortega-Gaucin et al. (2018a), presentan una metodología para calcular índices de vulnerabilidad ante la sequía en los Organismos de Cuenca en México.

En cuanto a los estudios de riesgo Sena et al. (2017), investigan los factores que contribuyen a los riesgos para la salud de la sequía en Brasil. Welle & Birkmann (2015), proporcionan un enfoque para evaluar el riesgo y la vulnerabilidad a los peligros naturales en la escala de país y permite la comparación de los países a escala mundial. Ahmadalipour et al. (2019), evalúan el riesgo por sequía a nivel nacional en África, e investigan los impactos del cambio climático, el crecimiento de la población y las vulnerabilidades socioeconómicas sobre el riesgo por sequía. Neri & Magaña (2016), proponen una metodología para estimar la vulnerabilidad y el riesgo por sequía, considerando los factores físicos, económicos y sociales que hacen que las regiones de México sean propensas a sufrir sequías hidrológicas y agrícolas. Ortega-Gaucin et al. (2018b), proponen una metodología para determinar índices municipales de peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en México, y finalmente, Ortega-Gaucin et al. (2021) desarrollan una metodología para evaluar los componentes del riesgo por sequía agrícola en los estados de la República Mexicana.

A partir de los antecedentes antes descritos y los que se mencionan a lo largo del presente documento se puede observar que existe un vacío en los estudios de riesgo por sequía urbana, para cubrir esta área de vacío mencionada en esta tesis se definieron objetivos generales y específicos, los cuales se detallan en el siguiente punto.

1.3. Objetivos e hipótesis

- a) *Objetivo general: Desarrollar una metodología para determinar la vulnerabilidad, exposición y riesgo por sequía en los OOAPAS de México, usando indicadores socioeconómicos, ambientales y de gestión institucional:* En este trabajo doctoral se propone una metodología para la evaluación de la vulnerabilidad, exposición y riesgo por sequía en áreas metropolitanas y sus organismos operadores. Para la evaluación del riesgo se adopta el enfoque contextual, que define el riesgo en función de la amenaza, exposición y vulnerabilidad. Para el cálculo de la amenaza se utilizó el índice de sequía de caudales (SDI)-12 y para calcular los índices de vulnerabilidad y exposición se utilizaron indicadores socioeconómicos, ambientales y de gestión institucional. Esta metodología se aplicó en el organismo operador Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) quien le presta el servicio público municipal de agua y drenaje al área hidropolitana de Monterrey (AHM) y Sistema Intermunicipal de los servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Guadalajara (SIAPA) quien le presta el servicio público municipal de agua y drenaje al área metropolitana de Guadalajara (AMG). La metodología propuesta se aplicó en estas dos áreas de estudio debido a que son dos de los núcleos económicos más importantes del país, se encuentran entre las diez áreas más pobladas y están presentando problemas en el abastecimiento del agua debido a la escasez y la sequía. El periodo de estudio fue de 2008-2018.

b) *Objetivos particulares:*

- *Analizar las metodologías existentes para evaluar la vulnerabilidad la exposición y el riesgo ante la sequía en diferentes contextos nacionales e internacionales e identificar las semejanzas o diferencias existentes entre estas metodologías.* La mayoría de las metodologías se originan a partir de las definiciones de la adaptación al cambio climático (CCA) y de la reducción del riesgo de desastres (RRD). Se elaboró un marco conceptual y metodológico del riesgo por sequía y sus componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad. En este marco teórico se describen las metodologías existentes y sus semejanzas y diferencias.
- *Determinar los indicadores para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo ante la sequía aplicados a estudio de caso de OOAPAS representativos de México: SADM y SIAPA.* En el marco teórico se describen los índices para el cálculo de la amenaza y el riesgo. Para la selección de indicadores de vulnerabilidad y exposición se consultaron 24 artículos relacionados con el cambio climático y sequías a nivel nacional e internacional del periodo 2003-2019.
- *Realizar la caracterización de la sequía desde las perspectivas meteorológica e hidrológica en las AHM y AMG.*
- *Determinar el grado de vulnerabilidad exposición y riesgo ante la sequía en dos OOAPAS representativos de México: SADM y SIAPA.*

La hipótesis propuesta es que es factible diseñar y aplicar una metodología para determinar índices de vulnerabilidad y riesgo ante la sequía en los OOAPAS de México, mediante la conjugación de distintos tipos de indicadores climatológicos, socioeconómicos, ambientales y de gestión institucional.

1.4. Organización de la tesis

Para alcanzar los objetivos planteados en este proyecto doctoral se desarrollaron 7 capítulos:

- **Capítulo 1. Introducción:** Este primer capítulo plantea la problemática, justificación de la investigación y se presentan los objetivos de la tesis doctoral y la hipótesis.
- **Capítulo 2. Marco conceptual y metodológico del riesgo por sequía y sus componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad:** En este capítulo se presenta una revisión de las herramientas conceptuales y metodológicas básicas para analizar el riesgo por sequía en un sistema determinado. Se describen los componentes fundamentales del riesgo, concebido principalmente como una función de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad.
- **Capítulo 3. Metodología:** En este capítulo se describen las áreas de estudio (AHM y AMG) y sus OOAPAS (SADM y SIAPA) además se describe de manera general la metodología empleada para evaluar el riesgo por sequía en estas áreas. Mediante la

fórmula propuesta por la UNDRO (1979) que posteriormente es retomada por el IPCC (2014), el cálculo de índice de riesgo por sequía (Capítulo 6) se calculó a partir del índice de amenaza o peligro de sequía (Capítulo 4), el índice de vulnerabilidad ante la sequía y el índice de exposición ante la sequía (Capítulo 5).

- **Capítulo 4. Índice de amenaza o peligro por sequía (IA):** En este capítulo se evalúa el primer componente del riesgo por sequía (amenaza). Como primer punto se evaluó la sequía meteorológica, la evaluación de este tipo de sequía se realizó porque da inicio a la primera fase de la misma. Posteriormente se analizó la sequía hidrológica y se calculó su probabilidad de ocurrencia. El análisis se realizó dentro de las cuencas donde se encuentran las fuentes de abastecimiento del AHM y AMG. El periodo de análisis fue de 1980-2018. Para calcular la sequía meteorológica se seleccionaron las estaciones meteorológicas que cumplieron con los criterios propuestos y para la evaluación se utilizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), el cálculo del SPI-12 se realizó mediante el sistema de cómputo SPIGenerator.exe y por último se caracterizó la sequía. Para evaluar la sequía hidrológica, se seleccionaron las estaciones hidrométricas que cumplieron con el criterio propuesto, posteriormente los datos originales de caudal diario se agregaron a volúmenes mensuales, después estos volúmenes se agruparon de acuerdo al año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años entre 1980-2018, posteriormente se normalizaron los datos utilizando las distribuciones de probabilidad Log-normal y Gamma y la mejor fue seleccionada en base a la estadística de prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) a un nivel de significancia del 5%, después se calculó el Índice de sequía de los caudales fluviales (SDI) utilizando el software DrinC, se caracterizó la sequía y por último se calculó su probabilidad de ocurrencia.
- **Capítulo 5. Índices de vulnerabilidad y exposición (IV y IE):** En este capítulo se evalúan los dos componentes restantes del riesgo por sequía (vulnerabilidad y exposición). El concepto de vulnerabilidad y exposición que se aplican en este proyecto es el propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2014). En este capítulo se proponen una serie de pasos y se desarrollan para calcular los índices de vulnerabilidad y exposición ante la sequía en el AHM y AMG y sus OOAPAS usando indicadores socioeconómicos y ambientales a nivel AH y AM e indicadores de gestión institucional a nivel Organismo Operador. Además, debido a que no existe un método único para realizar la normalización y la ponderación, se evaluaron los indicadores bajo tres métodos de normalización y dos métodos de ponderación, para posteriormente compararlos entre sí, y en base a un análisis propuesto se eligió el mejor método que se ajusta a la problemática real.
- **Capítulo 6. Cálculo del índice de riesgo por sequía (IRS):** En este capítulo se calcula el IRS en el AHM y AMG. Para calcular el IRS, se utilizó el método de agregación geométrica, con la fórmula propuesta por Khoshnazar et al. (2021). Posteriormente el IRS se ajustó a la prueba ampliada de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de los datos y por último se clasificó en cinco niveles (Muy baja, baja, moderada, alta y muy alta).

- **Capítulo 7. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones:** En este capítulo se hace una relación y un análisis crítico de los resultados de este estudio y estudios previos, así como con la problemática de sequía que México está viviendo, en específico en el AHM y AMG. Además, se resumen las principales conclusiones, se da respuesta a la hipótesis planteada, se realiza una discusión de algunos autores que abordan el tema del riesgo por sequía donde está involucrada el área urbana de manera directa o indirectamente mediante el análisis FODA, se describen las limitaciones y fortalezas de este estudio doctoral y se ofrecen algunas recomendaciones para futuras investigaciones.

Capítulo 2. Marco conceptual y metodológico del riesgo por sequía y sus componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad

En décadas recientes, los desastres provocados por fenómenos naturales han aumentado a nivel mundial como resultado principalmente del incremento en la vulnerabilidad de la población, y sólo en parte por cambios en las características del peligro mismo (IPCC, 2012). La mayor exposición de la población a fenómenos hidrometeorológicos y climáticos extremos, ha resultado en mayor número de desastres. Por ello, el impacto de los desastres en las actividades humanas ha sido un tema tratado en los últimos años en un amplio número de publicaciones, las cuales han sido desarrolladas desde diversas disciplinas que han conceptualizado las componentes del riesgo en formas diferentes, aunque en la mayoría de los casos de una manera similar (por ejemplo: UNDRO, 1979; Cardona, 1985 y 2001; Schneiderbauer *et al.*, 2004; Davis, 2004; Jordaan, 2006; y Burg, 2008). En términos generales, la mayoría de las propuestas conceptuales coinciden en señalar que el riesgo ante los desastres puede reducirse si se entiende como el resultado de relacionar la amenaza o peligro, es decir, la probabilidad de ocurrencia de un evento específico, y la vulnerabilidad de los elementos expuestos, o factor interno de selectividad de la severidad de los efectos sobre dichos elementos (Figura 2a). Algunos trabajos relacionados con esta concepción del riesgo son, por ejemplo, los realizados por Yen (1971), Cardona (1985 y 1993), Blaikie *et al.* (1994), Wisner *et al.* (2003), y Tsakiris (2007). Esta concepción del riesgo ha sufrido algunos cambios ya que, por ejemplo, en el quinto informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), se determinó que los riesgos del cambio climático provienen del solapamiento entre la vulnerabilidad (falta de preparación), la exposición (personas o bienes en situación de riesgo), y los peligros (que desencadenan fenómenos o tendencias climáticas), como se muestra en la Figura 2b.

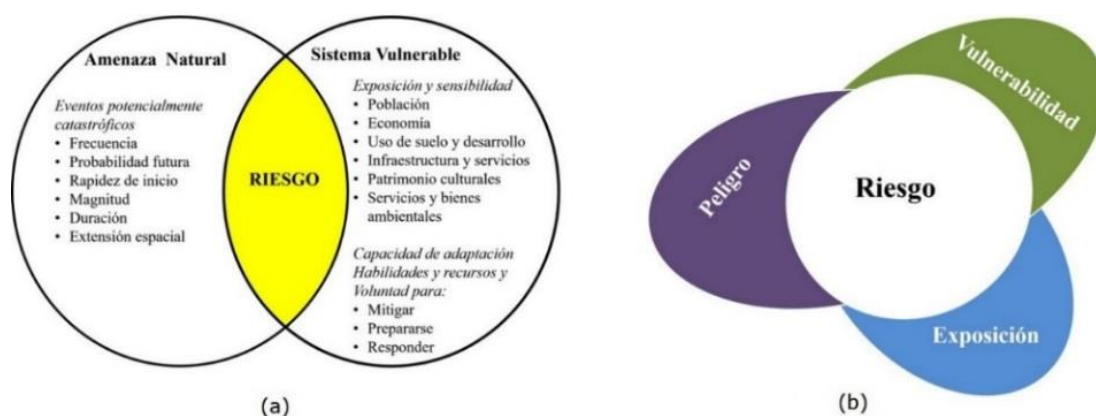


Figura 2. (a) Interacción del riesgo con la amenaza y la vulnerabilidad; (b) Interacción del riesgo con la amenaza (peligro), la vulnerabilidad y la exposición. Fuente: Adaptada de Wood (2011) e IPCC (2014). Fuente: Elaboración propia

Cada uno de los componentes mencionados puede ser objeto de medidas selectivas que contribuyan a reducir los riesgos (Ortega-Gaucin *et al.*, 2016). Existen algunos trabajos que describen conceptual y metodológicamente la interacción de los componentes del riesgo (sin centrarse en el análisis de una amenaza o peligro específico), como son los realizados por

Cardona (1993), Blaikie *et al.* (1994), Hoddinott *et al.* (2003), BID (2003), Schneiderbauer *et al.* (2004), Jordaan *et al.* (2006), Tsakiris (2007), Birkmann (2007) y Welle *et al.* (2015), entre otros. Sin embargo, hablando específicamente del riesgo por sequía, encontramos que la revisión de modelos matemáticos para calcularlo es limitada, pues generalmente las investigaciones se centran en el análisis de sólo un componente del riesgo, ya sea la amenaza o la vulnerabilidad, sin abordar teórica ni metodológicamente la interacción entre ambas variables. Algunos de estos trabajos son los realizados por Gibbs *et al.* (1967), Bergaoui *et al.* (2001), Bhuiyan (2004), Boken (2005), Narasimhan *et al.* (2005), Velasco *et al.* (2005), Chandrasekar *et al.* (2009) y Tsakiris *et al.* (2013). En este contexto, el presente capítulo tiene como objetivo hacer una revisión y describir conceptual y metodológicamente las maneras más usuales para evaluar la amenaza, la exposición, la vulnerabilidad y el riesgo por sequía. Así, la aportación del trabajo consiste en proporcionar, de manera concisa, un panorama amplio que sirva de base para la evaluación del riesgo ante este peligro natural. En los siguientes apartados se describen a detalle cada uno de los componentes del riesgo: se inicia por la amenaza, donde se presentan los principales conceptos relacionados con el fenómeno de la sequía, como son los tipos de sequía identificados en la literatura y los métodos más comunes para caracterizar y evaluar la severidad del fenómeno; posteriormente se analiza el tema de la exposición, en el cual se describe el concepto, sus dimensiones fundamentales y los indicadores utilizados para medirla; luego se detalla la vulnerabilidad, incluyendo las definiciones más usuales, sus componentes, características y métodos para calcularla; después se puntualizan las diferentes definiciones de riesgo y los modelos matemáticos que se utilizan para determinarlo de manera cuantitativa; y finalmente se presentan algunas consideraciones sobre los conceptos analizados y las conclusiones derivadas de la investigación.

2.1. Amenaza o peligro hidrometeorológico

La amenaza o peligro hidrometeorológico es un proceso o fenómeno de origen atmosférico, hidrológico u oceanográfico que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (UNISDR, 2009). Por lo general, la amenaza se estima con información meteorológica o climática histórica y se representa por la probabilidad de que ocurra un fenómeno meteorológico o climático particular (por ejemplo, ciclón tropical, lluvia torrencial, sequía, etc.). En este caso, el peligro que nos interesa es el fenómeno de la sequía entendida en su sentido más amplio, es decir, aquella disminución severa y prolongada de la lluvia que es capaz de provocar graves desequilibrios hidrológicos y afectar las actividades humanas y los ecosistemas (OMM, 2006). Así, el peligro por sequía se refiere a la probabilidad de que ocurra un evento de sequía en un espacio y tiempo determinados con suficiente intensidad como para producir daños. Los valores del peligro varían de una región a otra y dependen de las características específicas del fenómeno estudiado (Magaña, 2013). En los siguientes apartados se describen las definiciones y tipos de sequía, sus parámetros y los principales métodos para determinar sus características (duración, magnitud, severidad, extensión espacial, etc.).

2.1.1. Definición y tipos de sequía

La sequía se inicia en su mayoría por precipitación deficiente y es considerada como un fenómeno natural relacionado con la variabilidad climática en una región (Tsakiris *et al.*, 2013). Hay muchas definiciones de sequía, algunas de las cuales están adaptadas para sectores específicos de la economía, regiones climáticas y condiciones que afectan a un área en específico (Wilhite & Glantz, 1985; Correia *et al.*, 1991; Tate & Gustard, 2000), pero ninguna es universalmente aceptada, debido a que se trata de un fenómeno relativo cuyas características varían de un lugar a otro. Hace treinta y seis años, Wilhite & Glantz (1985) detectaron más de 150 definiciones de sequía publicadas en la literatura, y las clasificaron en cuatro grupos según la disciplina científica desde la que es analizado el fenómeno y sus impactos: sequía meteorológica, sequía agrícola, sequía hidrológica y sequía socioeconómica. Actualmente, esta clasificación sigue vigente y es ampliamente utilizada en artículos científicos especializados en el tema (por ejemplo, Bootsma *et al.*, 1996; Barakat *et al.*, 1998; Wilhite, 2000; Valiente, 2001; Bergaoui *et al.*, 2001; Boken, 2005; y Mishra *et al.*, 2010). Los primeros tres enfoques o tipos de sequía (meteorológica, agrícola e hidrológica) tratan formas de medir la sequía como un fenómeno físico; el último enfoque (sequía socioeconómica) aborda la sequía en términos de oferta y demanda, rastreando los efectos del déficit de agua a medida que se propaga a través de los sistemas socioeconómicos. La sequía meteorológica se define generalmente en función del grado de disminución de la lluvia en comparación con alguna cantidad "normal" o promedio y la duración del período seco. La sequía agrícola vincula varias características de la sequía meteorológica (o hidrológica) con los impactos agrícolas, centrándose en la escasez de precipitaciones, las diferencias entre la evapotranspiración real y potencial, y los déficits hídricos del suelo. La sequía hidrológica se asocia con los efectos de los períodos de precipitación deficitarios en el suministro de agua superficial o subterránea. La sequía socioeconómica difiere de los tipos de sequía antes mencionados porque su ocurrencia depende de los procesos de oferta y demanda de agua en un tiempo y espacio determinados. En la Figura 3 se muestra la secuencia de evolución de los diversos tipos de sequía descritos.

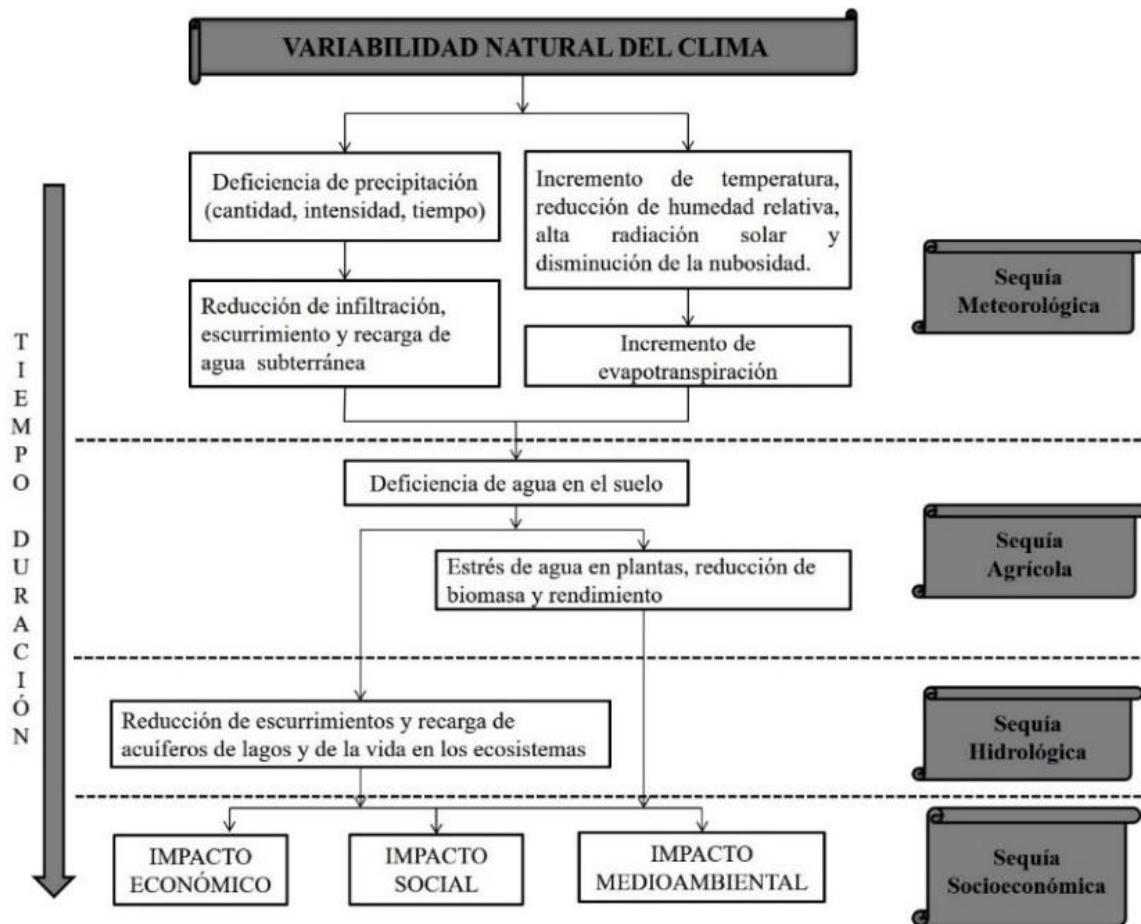


Figura 3. Secuencia de evolución de los diversos tipos de sequía.
Fuente: Modificada de NDMC (1995).

2.1.2. Parámetros de la sequía

Las definiciones operativas de los diversos tipos de sequía necesitan ser trasladadas a un formato numérico (parámetros) para poder precisar las características de los eventos secos (Valiente, 2001). Desde los puntos de vista meteorológico e hidrológico, los parámetros básicos de la sequía son (Burton *et al.*, 1978; Dracup *et al.*, 1980): la magnitud, que es el déficit medio de precipitación o caudal durante el periodo de duración del evento seco; la severidad, que es el déficit acumulado de caudal o precipitación para la duración del período seco; la duración, que es el tiempo (número total de días, meses o años consecutivos) durante el cual la precipitación o el caudal totales registrados son inferiores a la precipitación o el caudal medio de ese mismo período. Los parámetros anteriores están en función, entre otros factores, del llamado nivel de truncamiento (X_0), referencia a partir de la cual los valores menores representan una deficiencia y probablemente una sequía, medida en términos de la cantidad de lluvia o escurrimiento (Velasco *et al.*, 2005), como se muestra en la Figura 4.

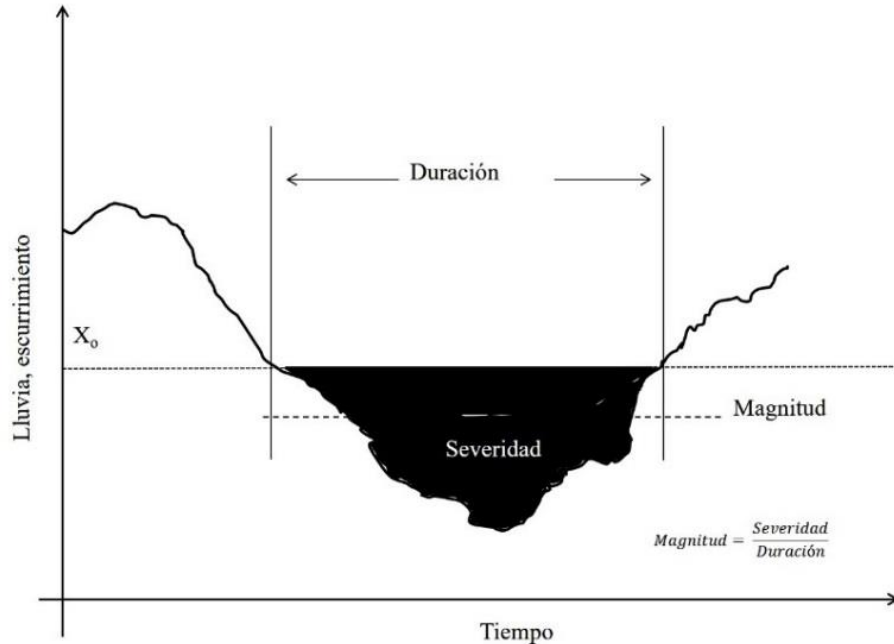


Figura 4. Parámetros básicos para caracterizar la sequía desde las perspectivas meteorológica e hidrológica.
Fuente: Adaptada de Velasco et al. (2005).

Cuando se analiza la sequía desde los puntos de vista agrícola y socioeconómico, es difícil determinar sus características sólo a partir de los parámetros descritos anteriormente. Por lo anterior, para cada tipo de sequía han sido creados y utilizados una gran diversidad de métodos y modelos de evaluación basados en índices e indicadores, tal como se describe en el siguiente apartado.

2.1.3. Métodos de evaluación de la sequía

Actualmente existe una amplia variedad de indicadores e índices para caracterizar la sequía principalmente desde las perspectivas meteorológica, agrícola e hidrológica, cada uno de los cuales tiene ventajas y desventajas que limitan o favorecen su aplicación en un ámbito determinado (Byun y Wilhite, 1999; Heim, 2002; Hayes *et al.*, 2007). Los *indicadores* son variables o parámetros utilizados para describir las condiciones de las sequías, por ejemplo: precipitación, temperatura, caudales fluviales, niveles de las aguas subterráneas y de los embalses, humedad del suelo, etc., y los *índices* suelen ser representaciones numéricas informatizadas de la gravedad de las sequías, determinadas mediante datos climáticos o hidrometeorológicos, entre los que se incluyen los indicadores mencionados, y tienen por objeto analizar el estado cualitativo de las sequías en el entorno en un período de tiempo determinado. De la misma forma que no hay una definición única de sequía, no existe ningún índice o indicador que pueda atribuirse y ser aplicado a todos los tipos de sequía, regímenes climáticos y sectores afectados por las sequías (OMM & GWP, 2016).

Desde el punto de vista meteorológico, los indicadores de la sequía están asociados con variables climatológicas como precipitación, temperatura y evapotranspiración (Wilhite, 2005). Algunos de los índices más comunes para caracterizar la sequía meteorológica

incluyen los Deciles; el Índice de Anomalía Pluviométrica (RAI); el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI); el Índice de Sequía Efectiva (EDI); y el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI). Desde la perspectiva agrícola, los indicadores de la sequía consideran datos de humedad del suelo para detectar situaciones de sequía en los cultivos y se enfocan en las anomalías de los valores de humedad del suelo con respecto a la estación y ubicación (Wanders *et al.*, 2010), por ejemplo, el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI); el Índice de Anomalía de la Humedad del Suelo (SMA); el Índice del Déficit de Evapotranspiración (ETDI); y el Índice del Déficit de Humedad del Suelo (SMDI). Asimismo, existen diversos índices basados en información satelital (teledetección) que identifican el estado de salud de la vegetación y son útiles para identificar y caracterizar la sequía en la agricultura; algunos de estos índices incluyen el Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI); y el Índice de Salud de la Vegetación (VHI). Por último, desde el punto de vista hidrológico, los indicadores de sequía se refieren a variables del sistema hídrico tales como los niveles de las aguas subterráneas, los caudales de los ríos, y el almacenamiento de los embalses, principalmente (Wanders *et al.*, 2010). Algunos índices derivados de estos indicadores incluyen el Índice de Sequía Hidrológica de Palmer (PHDI); el Índice de Abastecimiento de las Aguas Superficiales (SWSI); el Índice Normalizado del Nivel de Agua (SWI); el Índice Normalizado de los Caudales Fluviales (SSFI); el Índice de Sequía de los Caudales Fluviales (SDI); y el Índice Normalizado del Suministro de Embalses (SRSI). En la Tabla 5 se presentan los orígenes, aplicaciones, ventajas y desventajas de cada uno de los índices antes mencionados. Para una descripción más detallada de cada uno de ellos y recomendaciones específicas sobre su uso, se sugiere revisar el Manual de Indicadores e Índices de Sequía (OMM y GWP, 2016). En dicho manual se menciona, por ejemplo, que en 2009 la OMM recomendó a los países que utilizaran el SPI como principal índice para vigilar y dar seguimiento a las condiciones de sequía meteorológica.

Tabla 5. Características de los índices de sequía comúnmente utilizados.

Tipo de sequía	Índice	Variables de entrada*	Origen y aplicaciones	Ventajas	Desventajas
Meteorológica	Deciles	P	Creado por Gibbs y Maher (1967) en la Oficina de Meteorología de Australia. Se puede utilizar donde se tenga el período íntegro de registros de precipitación de un lugar (de preferencia más de 30 años), a partir del cual se clasifica la frecuencia y distribución de la lluvia.	Puesto que analiza una sola variable, es un método flexible y útil en situaciones de humedad y sequía.	No se tienen en cuenta los efectos de la temperatura ni de otras variables durante el desarrollo de la sequía.
	RAI	P	Desarrollado por Van Roy (1965). Utiliza valores normalizados de la precipitación sobre la base del historial de la estación de un lugar particular. La comparación con el	Se puede analizar en escalas mensuales, estacionales y anuales.	Requiere datos completos en serie, y las variaciones interanuales deben ser pequeñas en comparación con las variaciones temporales.

Tipo de sequía	Índice	VARIABLES de entrada*	Origen y aplicaciones	Ventajas	Desventajas
			periodo actual sirve para analizar el producto desde el punto de vista histórico.		
	SPI	P	Creado por McKee et al. (1993) en la Universidad del Estado de Colorado (Estados Unidos). Es un índice estandarizado que se puede aplicar en todos los regímenes climáticos y para distintas escalas temporales.	Sólo requiere datos mensuales de precipitación, y se puede calcular a distintas escalas temporales, de tal manera que es factible vigilar los efectos de la sequía meteorológica en la agricultura y la hidrología.	No tiene en cuenta el componente de la temperatura, que es de importancia para el balance hídrico general y el uso de agua en una región. Este inconveniente puede dificultar la comparación de episodios con valores del SPI similares pero distintas condiciones térmicas.
	EDI	P	Desarrollado por Byun y Wilhite (1996) en el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía de Estados Unidos. Sirve para detectar el inicio y final de períodos de déficit hídrico. Se puede calcular en cualquier lugar del mundo en que se disponga de registros diarios de precipitación.	Es aplicable a todos los regímenes climáticos, y los productos son comparables porque están normalizados.	El uso de datos diarios de precipitación puede dificultar la utilización del índice en contextos operativos, puesto que quizá no sea posible actualizar a diario los datos de entrada.
	SPEI	P, T	Creado por Serrano et al. (2010) en el Instituto Pirenaico de Ecología (España). Utiliza como base el SPI, pero tiene en cuenta el efecto de la temperatura en las sequías. Se aplica en cualquier parte del mundo donde se tengan registros de series completas de datos mensuales de precipitación y temperatura.	Dado que utiliza datos de temperatura, es idóneo para observar el efecto del cambio climático en los productos de los modelos de acuerdo con distintos supuestos futuros.	Es necesario disponer de datos mensuales suficientes de precipitación y temperatura. Al tratarse de un índice mensual, es posible que no se detecten inmediatamente las situaciones de sequía que se desarrollan con rapidez.
Agrícola	PDSI	P, T, CAD	Desarrollado por Palmer (1960) en la Oficina Meteorológica de Estados Unidos, para evaluar las sequías que afectan a la agricultura en las regiones productoras de cultivos de ese país. Ha sido aplicado y es muy popular en distintas partes del	Es bastante fiable para detectar sequías gracias a la utilización de datos del suelo y de una metodología del balance hídrico total.	La necesidad de disponer de datos completos en serie puede causar problemas. Tiene una escala temporal de nueve meses, aproximadamente, lo que deriva en un desfase al detectar condiciones de sequía sobre la base del

Tipo de sequía	Índice	VARIABLES de entrada*	Origen y aplicaciones	Ventajas	Desventajas
			mundo, pues durante muchos años fue el único índice operativo de sequía.		componente de humedad del suelo en los cálculos.
	SMA	P, T, CAD	Creado por Bergman et al. (1988) en el Servicio Meteorológico Nacional de EEUU, como método para evaluar las condiciones mundiales de sequía. Se puede usar donde se tengan datos semanales o mensuales de temperatura y precipitación, así como valores de la capacidad de retención de humedad del suelo.	Al tener en cuenta los efectos de la temperatura y la precipitación en la humedad del suelo, comprende los aspectos principales del balance hídrico.	Resulta difícil de calcular debido a la necesidad de datos para distintas capas del suelo. Las estimaciones de la evapotranspiración potencial pueden variar en forma considerable en función de la región.
	ETDI	Mod	Creado por Narasimhan y Srinivasan (2005) en la Estación Agrícola Experimental de Texas (Estados Unidos). Es un producto semanal útil para determinar el estrés hídrico de los cultivos. Aplicable donde se tengan datos modelados obtenidos de un modelo hidrológico mediante el modelo SWAT.	Analiza tanto la evapotranspiración real como potencial y permite detectar períodos húmedos y secos.	La variabilidad espacial del índice aumenta en los meses de verano durante el período de mayor evapotranspiración y de precipitación muy variable.
	SMDI	Mod	Creado por Narasimhan y Srinivasan (2005) en la Estación Agrícola Experimental de Texas. Es un producto semanal de la humedad del suelo calculado a distintas profundidades. Aplicable donde se tengan datos modelados obtenidos de un modelo hidrológico mediante el modelo SWAT.	Tiene en cuenta el perfil completo del suelo y distintas profundidades, por lo que se puede adaptar a diversos tipos de cultivo.	La información necesaria para calcular el índice se basa en el producto del modelo SWAT (Instrumento de evaluación del suelo y el agua). Hay problemas de autocorrelación cuando se utilizan todas las profundidades.
	NDVI	Sat	Desarrollado por Tarpley et al. (1984) y Kogan (1985) en la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de Estados Unidos. Utiliza datos obtenidos del satélite	Innovador, dado que utiliza datos satelitales para vigilar la salud de la vegetación en relación con los episodios de sequía. Resolución muy alta y	El procesamiento de datos es esencial para el índice, fase para la que es necesario contar con un sistema sólido. El historial de los datos satelitales no es muy amplio.

Tipo de sequía	Índice	VARIABLES de entrada*	Origen y aplicaciones	Ventajas	Desventajas
			AVHRR de la NOAA. Aplicable para vigilar las sequías agrícolas en todo el mundo.	excelente cobertura espacial.	
	VHI	Sat	Creado por Kogan (1995) en la NOAA. Es un derivado del índice NDVI que utiliza datos del satélite AVHRR. Se usa para detectar y vigilar las sequías que afectan la agricultura en todo el mundo.	Tiene cobertura en todo el mundo y alta resolución.	El período de registro de los datos satelitales es corto.
Hidrológica	PHDI	P, T, CAD	Parte del conjunto de índices creados por Palmer (1965) en la Oficina Meteorológica de Estados Unidos. Se basa en el PDSI original y modificado para tener en cuenta la sequía de larga duración que influirá en las componentes hidrológicas.	Su método de balance hídrico permite analizar el sistema hídrico en su integridad.	En los cálculos no se tiene en cuenta el influjo humano, como las decisiones de gestión y el riego.
	SWSI	P, CF, EM, MN	Creado por Shafer y Dezman (1982) para solucionar directamente varias de las limitaciones detectadas en el PDSI. Incorpora datos de abastecimiento de agua (fusión de la nieve, escorrentía, embalses) y se calcula para una cuenca.	Al tener en cuenta todos los recursos hídricos de una cuenca, proporciona un buen indicio de la salud hidrológica general de una cuenca o región concreta.	Al cambiar las fuentes de datos se tiene que recalcular el índice completo, lo que dificulta la elaboración de una serie cronológica homogénea. Puesto que los cálculos pueden variar entre cuencas, es complicado comparar cuencas o regiones homogéneas.
	SWI	AS	Creado por Bhuiyan (2004) en el Instituto de Tecnología de India como instrumento para evaluar los déficits de recarga del agua subterránea. Se utiliza donde se tengan datos de los niveles de los pozos.	Analiza el efecto de la sequía en el agua subterránea, que es un componente esencial del abastecimiento de agua para usos agrícolas y municipales.	Dado que no toma en cuenta las aguas superficiales, es posible que la interpolación entre puntos (datos de los pozos de agua subterránea) no sea representativa de la región o el régimen climático.
	SSFI	CF	Creado originalmente por Modarres (2007). Utiliza valores mensuales de los caudales fluviales y los métodos de normalización asociados al SPI. Se puede aplicar	Examina el efecto de la sequía en los caudales fluviales, componente esencial para el abastecimiento de agua a los embalses y los distintos usos.	Sólo representa los caudales fluviales en el contexto del seguimiento de sequías, sin que se analicen otros factores.

Tipo de sequía	Índice	VARIABLES de entrada*	Origen y aplicaciones	Ventajas	Desventajas
			donde se tengan registros diarios o mensuales de los caudales fluviales.		
	SDI	CF	Desarrollado por Nalbantis y Tsakiris (2008) en Grecia, con base en la metodología y los cálculos del SPI. Permite analizar los períodos húmedos y secos, de manera similar al SPI, pero a partir de datos mensuales de caudales fluviales. Se requiere contar con una serie histórica de caudales y del limnómetro.	Permite analizar el efecto de la sequía en los caudales fluviales a distintas escalas temporales.	No toma en cuenta las decisiones de gestión de las aguas superficiales, y los períodos sin caudal pueden distorsionar los resultados.
	SRSI	CF, EM	Creado por Gusyev et al. (2015) en Japón como método sistemático para analizar los datos de los embalses en condiciones de sequía. Se utiliza donde se tengan registros mensuales de caudales que ingresan a los embalses y volúmenes medios de almacenamiento.	Tiene en cuenta el total del caudal afluente y almacenamiento asociados a cualquier sistema de embalses en concreto, y ofrece información útil a los responsables del abastecimiento de agua y proveedores de riego.	No tiene en cuenta los cambios ocasionados por la gestión del embalse ni las pérdidas causadas por evaporación.

*Leyenda de las variables: AS = Aguas subterráneas; CAD = Contenido de agua disponible; CF = caudales fluviales; EM = Embalse; MN = Manto de nieve; Mod = Modelado; P = Precipitación; Sat = Información satelital; T = Temperatura.

Fuente: Elaboración propia a partir de OMM y GWP (2016).

En años recientes, debido a la gran relevancia y contribución que han tenido los métodos basados en inteligencia artificial en la modelización y predicción de los procesos hidrológicos y climáticos (Ardabili et al., 2019), las técnicas de aprendizaje automático (mejor conocidas como *learning machine*) han sido utilizadas en combinación con algunos de los índices de sequía descritos arriba para la evaluación, monitoreo y pronóstico de la sequía. Por ejemplo, Rhee & Im (2017), desarrollaron un modelo de pronóstico de sequía de alta resolución en Corea del Sur usando la técnica de los árboles extremadamente aleatorios y los índices SPI y SPEI; por su parte Deo & Sahin (2015), aplicaron el algoritmo del aprendizaje automático extremo para la predicción del índice EDI en Australia; Park et al. (2015), utilizaron tres enfoques de aprendizaje automático (bosque aleatorio, árboles de regresión potenciados y cubista), en conjunto con los índices SPI y NDVI, para realizar la evaluación y seguimiento de la sequía meteorológica y agrícola en Estados Unidos; Feng et al. (2019), adoptaron tres métodos avanzados de aprendizaje automático (bosque aleatorio con corrección de sesgo, máquina de vectores de soporte y redes neuronales) en combinación con el índice SPEI para mejorar las predicciones de la sequía agrícola en el sureste de Australia; y Zhang et al. (2019), utilizaron el método de redes neuronales artificiales y el índice SPEI para predecir sequías

meteorológicas en la provincia de Shaanxi, China; entre muchas otras investigaciones. Sin embargo, es importante mencionar que, a pesar de la gran utilidad de los índices de sequía para realizar el monitoreo, evaluación y pronóstico del fenómeno (desde las perspectivas meteorológica, agrícola e hidrológica), ninguno de ellos es válido para evaluar el impacto socioeconómico de las sequías. La evaluación de este impacto es considerada por algunos expertos como un problema no resuelto y, hasta cierto punto, como una misión imposible (Marcos, 2001). Esto es debido principalmente a que el fenómeno de la sequía provoca una compleja e intrincada red de efectos económicos, sociales y ambientales, que se acumulan de manera gradual y que pueden permanecer incluso años después de la terminación del evento (Ortega-Gaucin, 2012a); además, la información generada en torno al fenómeno generalmente es poca y dispersa, lo cual obstaculiza la realización de cálculos exactos, confiables y oportunos de sus efectos y de la gravedad de los mismos y, en última instancia, impide o limita en gran manera la formulación de planes de contingencia por la mayoría de los gobiernos de los países afectados (Wilhite, 2000). Entonces, por la naturaleza misma del fenómeno, no existe una respuesta única y definitiva a la pregunta ¿Cuál es el impacto socioeconómico de una sequía? Los impactos totales y sectoriales dependerán de la duración y extensión territorial del fenómeno; de la cuantía de la reducción en la disponibilidad de agua (Ortega-Gaucin, 2012b); así como de las condiciones económicas tanto estructurales como coyunturales, incluyendo de la etapa de desarrollo y los precios de los cultivos afectados (Pereira, 2007); entre otras variables. Los impactos de la insuficiencia del agua se traducen en menor producción e ingreso, ya que los volúmenes disponibles durante el período de sequía no alcanzan para satisfacer la demanda de agua en condiciones normales. Así, la evaluación de la sequía en términos económicos se hace principalmente con base en conceptos como: productividad, ingreso, eficiencia, desempleo, etc. (Sisto *et al.*, 2012). Para el sector agropecuario, los análisis económicos en términos de superficies cosechadas y siniestradas, volumen de la producción, valor de la producción, cabezas de ganado perdidas, etc., proporcionan indicadores de impacto de la sequía y reflejan, quizá mejor que en los otros sectores, que el déficit hídrico tiene severos efectos negativos en un ámbito totalmente dependiente del recurso (Velasco, 2002; Ortega-Gaucin, 2012a y 2012b).

Sin embargo, para gestionar el riesgo por sequía de manera efectiva, es importante comprender los posibles impactos, aunque sea en términos relativos, e identificar quién estará en riesgo y por qué. Por ello, evaluar el peligro, la exposición, la vulnerabilidad y el riesgo implica en cierto sentido la predicción de la gravedad y el alcance de la amenaza, así como sus posibles efectos en la economía y la sociedad, a la vez que permite a los tomadores de decisiones diseñar medidas para prevenir y mitigar los impactos (Ortega-Gaucin & Velasco, 2015). De ahí la importancia de hacer análisis y evaluaciones de estas variables.

2.2. Exposición a la sequía

El IPCC (2014) define la exposición como la presencia de personas, propiedades, medios de vida y sistemas que están sujetos a daños y pérdidas potenciales debido al peligro. En los últimos años, la mayor exposición de la población a fenómenos meteorológicos extremos, ha resultado en mayor número de desastres. La exposición es un factor que genera vulnerabilidad, de tal forma que si no hay exposición a un fenómeno específico no existe riesgo (Magaña, 2013). En el contexto de una sequía meteorológica y agrícola, por ejemplo, la exposición incluye a los cultivos de temporal, así como a los agricultores y ganaderos que

trabajan en este sector, quienes están expuestos a perder su fuente de trabajo, alimentación e ingreso económico (Ortega-Gaucin et al., 2018a); en el caso de una sequía hidrológica, incluye a todos los usuarios de aguas superficiales y subterráneas, como son los distritos y unidades de riego, las hidroeléctricas, los usuarios públicos urbanos e industriales, y todas las personas del medio rural que carecen de agua suficiente para desarrollar sus actividades cotidianas.

2.2.1. Características que influyen en la evaluación de la exposición

De acuerdo con el estudio realizado por el Banco Interamericano de Desarrollo (Cardona, 2005), los indicadores que cumplen mejor la función de medir la exposición y/o susceptibilidad física ante cualquier tipo de desastre son los que reflejan población susceptible, activos, inversiones, producción, medios de sustento, patrimonios esenciales y actividades humanas; también pueden considerarse como indicadores de este tipo los que reflejan tasas de crecimiento y densidad poblacional. Según Füssel (2005), en las evaluaciones de exposición relacionadas con el clima se deben tomar en cuenta las características o factores del sistema expuesto, el tipo y número de factores de estrés y sus causas principales, sus efectos en el sistema y el horizonte temporal de la evaluación, tal como se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Dimensiones fundamentales que describen la situación de la exposición.

Dimensión o Característica	Pregunta	Opciones posibles
Sistema	¿Quién o que está expuesto?	Una comunidad, una región geográfica, un sector económico, un sistema natural.
Peligro (o amenazas o factores de estrés)	¿Expuesto a qué?	El cambio climático antropogénico, variabilidad natural del clima, la composición atmosférica, otros factores no climáticos.
Las consecuencias (o efectos o atributos valorados o variables de interés)	¿Qué es lo que está en riesgo?	Viabilidad de los ecosistemas, la seguridad alimentaria, la salud humana, los bienes económicos, otros bienes y servicios valorados.
Escala temporal y espacial	¿Qué horizonte de tiempo?	Meses, años, décadas, siglos.
	¿Qué región?	Estado, municipio, cuenca, región hidrológica, país, continente.

Fuente: Elaboración propia a partir de Füssel (2005).

Se ha demostrado que la exposición a la sequía aumenta la pobreza (Carter et al., 2007; Dercon, 2004). El impacto del riesgo de desastre en la pobreza se produce de forma visible (las pérdidas cuando se produce un desastre), así como a través de lo menos obvio: los hogares expuestos al riesgo meteorológico reducen la inversión en activos productivos y al seleccionar actividades de bajo riesgo y bajo rendimiento (Cole et al., 2013; Elbers et al., 2007). Este vínculo de la exposición a la pobreza ante los peligros naturales puede crear un bucle de retroalimentación, en el que los hogares pobres no tienen más remedio que

establecerse en zonas de riesgo y, por lo tanto, se enfrentan a mayores desafíos para escapar de la pobreza (Winsemius et al., 2018).

2.2.2. Métodos para calcular la exposición

Para evaluar la exposición a la sequía, los métodos basados en indicadores socioeconómicos y ambientales son los más ampliamente utilizados; estos indicadores generalmente se combinan entre sí para generar índices compuestos que son representativos de los diferentes grados de exposición (Hagenlocher, 2019). Este enfoque metodológico contribuye a una mejor comprensión de la multidimensionalidad de esta variable, lo cual es especialmente útil para los procesos de toma de decisiones encaminadas a la gestión del riesgo.

2.2.3. Modelos matemáticos

Algunos trabajos consideran la exposición como una componente de la vulnerabilidad (p. ej. Burg, 2008; Ortega-Gaucin et al., 2018a y 2018b; Fontaine y Steinemann, 2009), los cuales se basan en la definición de vulnerabilidad del IPCC (2001). Sin embargo, en otras investigaciones se contempla la exposición a la sequía de manera independiente a la vulnerabilidad, como una componente del riesgo (Carrao et al., 2016; Frischen et al., 2020), con base en el concepto de riesgo del IPCC (2014). Pero independientemente del marco conceptual adoptado, se han propuesto diversos modelos matemáticos para calcular la exposición, por ejemplo: Peduzzi et al. (2009) presentan un modelo de factores que influyen en los niveles de pérdidas humanas por peligros naturales a escala mundial, para el período 1980-2000, cuyo objetivo es monitorear la evolución del riesgo. La combinación de la frecuencia promedio anual de peligros y las poblaciones expuestas proporciona la exposición física; Welle y Birkmann (2015) proporcionan un nuevo enfoque para evaluar el riesgo frente a los peligros naturales a escala de país; Carrao et al. (2016) proponen un modelo no compensatorio de la exposición a la sequía para estimar las pérdidas potenciales de diferentes tipos de desastres por sequía; Winsemius et al. (2018) investigan la exposición global de las personas pobres frente a las inundaciones y sequías en 52 países; Ahmadalipour et al. (2019) evalúan el riesgo por sequía a nivel nacional en África. En la Tabla 7 se presentan los modelos matemáticos que utilizan los autores mencionados para calcular la exposición.

Tabla 7. Modelos matemáticos más usuales para calcular la exposición.

Autor	Fórmula	Descripción
Peduzzi et al. (2009)	$PhExp = \sum_i^n F Pop_i$	Dónde: <i>PhExp</i> = Exposición física promedio anual para la unidad espacial (población expuesta/año); <i>F</i> = Frecuencia anual de un evento de magnitud dada (evento/año); <i>Pop_i</i> = Población total que vive en la unidad espacial para cada evento “ <i>i</i> ” (población expuesta/evento); <i>n</i> = Número de eventos considerados.
	$PhExp = \sum \frac{Pop_i}{Y_n}$	Dónde: <i>PhExp</i> = Exposición física media anual para la unidad espacial (población expuesta/año); <i>Pop_i</i> = Población que vive en el

Autor	Fórmula	Descripción
Welle y Birkmann (2015)	$Exp = \frac{A + B + C + (0.5 * D + E)}{N}$	área afectada para cada evento “i” (población expuesta/evento); Y_n = período de tiempo (año). Dónde: Exp = Exposición; A = Personas expuestas a terremotos; B = Personas expuestas a tormentas; C = Personas expuestas a inundaciones; D = Personas expuestas a sequías; E = Personas expuestas al aumento del nivel del mar; N = Número de población.
Carrao et al. (2016)	$de_i = \overline{OR}_i / \overline{OR}'_i$	Donde: de_i = Exposición a la sequía; \overline{OR}_i es la distancia multivariante entre el origen y los valores reales de los indicadores observados para la región i ; y \overline{OR}'_i es la distancia entre el origen y los valores regionales proyectados en la frontera de máxima exposición.
Winsemius et al. (2018)	$I_p = \frac{f_p}{f} - 1,$	Dónde: I_p es el sesgo de exposición a la pobreza (PEB), f_p y f son la fracción de personas expuestas a inundaciones / sequías en el país, respectivamente.
Ahmadalipour et al. (2019)	$Exp = \frac{Exposición_{fut;p}}{Exposición_{hist}}$	Dónde: Exp = Exposición; $hist$ y fut indican períodos históricos y futuros; y p escenarios de población (baja, media y alta).

Fuente: Elaboración propia.

Para que un índice de exposición a la sequía sea de fácil uso y procesamiento, su formulación debe estar basada en un número menor de indicadores, que reflejen aspectos relevantes y orientadores del tipo de acción que se debe llevar a cabo por los tomadores de decisiones. Este conjunto de indicadores por sí solos, y particularmente desagregados en el nivel local, podrían facilitar la identificación y la orientación de las acciones que se deben promover, fortalecer o priorizar para lograr un mayor nivel de seguridad frente al peligro. Así, de todos los indicadores posibles, se debe seleccionar un número reducido de ellos con base en la disponibilidad de datos, en el juicio personal o en investigación previa (Ortega-Gaucin et al., 2018b).

2.3. Vulnerabilidad ante la sequía

Las evaluaciones de vulnerabilidad ante la sequía son el primer paso en la identificación de las causas subyacentes que generan los impactos de las mismas (González *et al.*, 2016). La vulnerabilidad ante una sequía es compleja, por lo que es necesario comprenderla para así poder diseñar estrategias de preparación y mitigación, al igual que políticas y programas de ayuda (Patrick, 2003). A continuación se describen los conceptos y los aspectos metodológicos más utilizados para hacer una evaluación de vulnerabilidad ante la sequía (Figura 5).

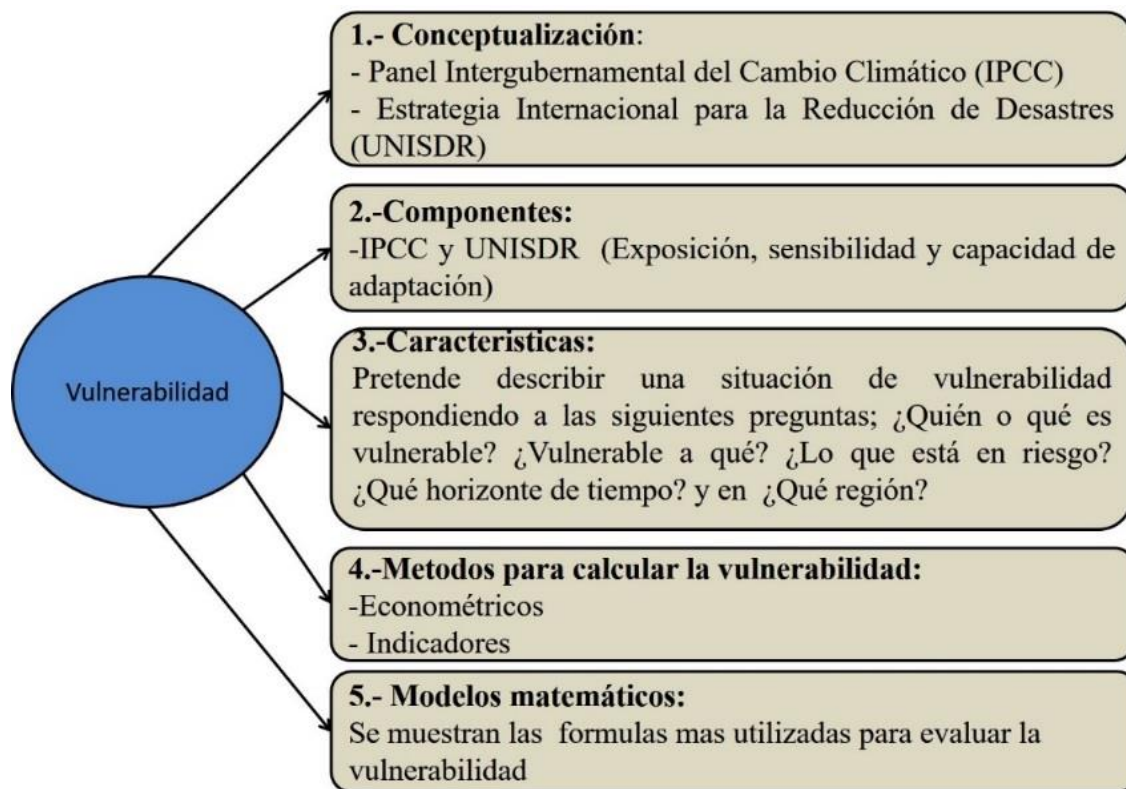


Figura 5. Diagrama metodológico para evaluar la vulnerabilidad ante la sequía.
Fuente: Elaboración propia.

2.3.1. Conceptualización de vulnerabilidad

Los conceptos y definiciones de vulnerabilidad han sido analizados por autores como Timmerman (1981), Kates (1985), Chambers (1989), Downing (1991), Anderson (1994), Blaikie *et al.* (1994), Bohle *et al.* (1994), Downing y Bakker (2000), y Birkmann (2007), entre otros. Con base en los conceptos esgrimidos por estos autores se puede afirmar que, de manera general, la vulnerabilidad es una condición de fragilidad o debilidad de un individuo o sistema ante algún tipo de amenaza (sea ésta de origen físico como las sequías, terremotos, inundaciones, o de tipo antropogénico como los accidentes, devaluaciones, crisis económicas, etc.); tiene un carácter multifacético y multidimensional; es dinámica tanto espacial como temporalmente; y está siempre vinculada a un peligro específico. En este caso, el peligro que nos interesa es el fenómeno de la sequía. Con respecto a ello, González *et al.* (2016) comentan que la mayoría de las definiciones de vulnerabilidad aplicadas a la sequía y a otros fenómenos climáticos se originan a partir de las definiciones del IPCC (2001 y 2014) y de la Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (UNISDR, 2009), las cuales se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Definiciones de vulnerabilidad según los enfoques del IPCC y UNISDR.

Concepto	Origen del concepto		
	IPCC		UNISDR (2009)
	IPCC (2001)	IPCC (2014)	
Definición de vulnerabilidad	Nivel al que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluidos la variabilidad climática y los fenómenos extremos.	Propensión o predisposición a ser afectado negativamente.	Las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.
Objetivo	Considera la evaluación de la vulnerabilidad como el resultado esperado del análisis.	Pone énfasis en cómo reducir y gestionar los riesgos del cambio climático.	Tiene por objeto poner de relieve los medios para la reducción del riesgo de desastres. Considera a la vulnerabilidad como un paso dentro del proceso de evaluación del riesgo.

Fuente: Elaboración propia a partir de IPCC (2001, 2014), González *et al.* (2015) y Brooks (2003).

Con base en los conceptos anteriores, la vulnerabilidad ante la sequía puede ser entendida como el grado en que un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos, daños o perjuicios causados por este fenómeno natural. De esta manera, la vulnerabilidad está vinculada a los impactos potenciales ocasionados por los episodios de sequía, y ha sido utilizada para evaluar la susceptibilidad de los sistemas socioeconómicos y ambientales ante esta amenaza. Algunos ejemplos donde se aplica la definición del IPCC (2001) son los trabajos elaborados por Chandrasekar *et al.* (2009), Deems (2010), Flörke *et al.* (2011), Antwi-Agyei *et al.* (2012), y De Stefano *et al.* (2015). Asimismo, la definición del IPCC (2014) es utilizada por Bouroncle *et al.* (2016), Guo *et al.* (2019), Meza *et al.* (2020), y Frischen *et al.* (2020). Finalmente, con respecto a la definición de la UNISDR (2009), algunos ejemplos de su uso se encuentran en los trabajos elaborados por Iglesias *et al.* (2007), Adepetu y Berthe (2007), Cheng y Tao (2010), Zarafshani *et al.* (2012), Naumann *et al.* (2013), y Safavi *et al.* (2014).

2.3.2. Componentes de la vulnerabilidad

Originalmente, el IPCC (2001) propuso el concepto de vulnerabilidad como una función de la exposición de un sistema a la variación climática, de su sensibilidad, y de su capacidad de adaptación. Sin embargo, en su quinto informe de evaluación, el IPCC (2014) modificó la concepción de estos términos, dejando a la vulnerabilidad solamente en función de la sensibilidad y la capacidad de adaptación de un sistema (Figura 6a). El componente de exposición pasó a formar parte del concepto de riesgo, tal como se describirá más adelante. Por su parte, la UNISDR (2009) afirma que las componentes de la vulnerabilidad son la exposición y la capacidad de adaptación (Figura 6b). En la Tabla 9 se describen cada uno de los componentes mencionados en función del origen del concepto.

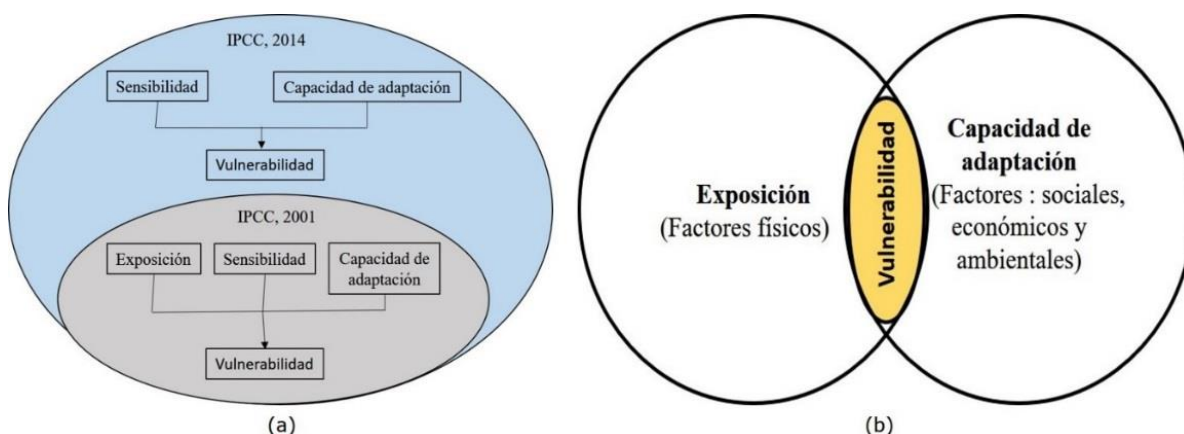


Figura 6. Componentes de la vulnerabilidad según los enfoques del IPCC (a) y la UNISDR (b).
Fuente: Elaboración propia a partir de IPCC (2001, 2014) y UNISDR (2009).

Tabla 9. Componentes de la vulnerabilidad según los enfoques del IPCC y la UNISDR.

Origen del concepto	Componentes		
	Exposición	Sensibilidad	Capacidad de adaptación
IPCC (2001)	Grado en que un sistema está expuesto a variaciones climáticas importantes.	Es el grado por el que está afectado un sistema, en sentido perjudicial o en sentido beneficioso, por razón de estímulos relacionados con el clima.	Es la habilidad de un sistema de ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad del clima y sus extremos) para moderar daños posibles, aprovecharse de oportunidades o enfrentarse a las consecuencias.
IPCC (2014)	La presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente.	Es el grado en que un sistema se ve afectada, ya sea adversa o beneficiosa, por estímulos de cambio climático.	Es el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos.
UNISDR (2009)	Se refiere a la población, las propiedades, los sistemas u otros elementos presentes en las zonas donde existen amenazas y, por consiguiente, están expuestos a experimentar pérdidas potenciales. Las medidas del grado de exposición pueden incluir la cantidad de personas o los tipos de bienes en una zona.		Habilidad de la población, las organizaciones y los sistemas, mediante el uso de los recursos y las destrezas disponibles, de enfrentar y gestionar condiciones adversas, situaciones de emergencia o desastres.

Fuente: Elaboración propia a partir de IPCC (2001, 2014) y UNISDR (2009).

De los enfoques conceptuales anteriores, el más aceptado y utilizado por la comunidad científica en los últimos años es el propuesto por el IPCC (2014), el cual define la vulnerabilidad en función de la sensibilidad y la capacidad de adaptación de los sistemas analizados, tal como se puede observar en la creciente cantidad de investigaciones que lo utilizan (p. ej. Bouroncle et al., 2016; Guo et al., 2019; Frischen et al., 2020; Meza et al., 2020; entre otras).

2.3.3. Características que influyen en la evaluación de la vulnerabilidad

De acuerdo con Füssel (2005), en las evaluaciones de vulnerabilidad relacionadas con el clima se deben tomar en cuenta las características o factores del sistema vulnerable, el tipo y número de factores de estrés y sus causas principales, sus efectos en el sistema y el horizonte temporal de la evaluación, tal como se indica en la Tabla 10.

Tabla 10. Características fundamentales que describen una situación de vulnerabilidad.

Característica	Pregunta	Opciones posibles
Sistema	¿Quién o qué es vulnerable?	Una comunidad, una región geográfica, un sector económico, un sistema natural.
Peligro (o amenazas o factores de estrés)	¿Vulnerable a qué?	El cambio climático antropogénico, variabilidad natural del clima, la composición atmosférica, otros factores no climáticos.
Las consecuencias (o efectos o atributos valorados o variables de interés)	¿Lo que está en riesgo?	Viabilidad de los ecosistemas, la seguridad alimentaria, la salud humana, los bienes económicos, otros bienes y servicios valorados.
Escala:	Tiempo: ¿Qué horizonte de tiempo?	Años, décadas, siglos.
	Espacial: ¿Qué región?	Estado, municipio, cuenca, región hidrológica, país, continente.

Fuente: Adaptada de Füssel (2004).

2.3.4. Métodos para calcular la vulnerabilidad

Los métodos más utilizados en la literatura relativa al cambio climático son el método econométrico y los métodos basados en indicadores (Tabla 11). El método econométrico, tiene sus raíces en la literatura de la pobreza y el desarrollo, hace uso de los datos de encuestas socioeconómicas a nivel de hogares para analizar el nivel de vulnerabilidad de los diferentes grupos sociales (Hoddinott y Quisumbing, 2003). Los métodos basados en indicadores se fundamentan en la selección de algunas variables de todo el conjunto de indicadores potenciales para después combinarlas sistemáticamente con la finalidad de evaluar los niveles de vulnerabilidad (Cutter *et al.*, 2003; Kaly y Pratt, 2000).

Tabla 11. Métodos para calcular la vulnerabilidad.

Concepto	Método econométrico	Métodos basados en indicadores
Descripción	El método se divide en tres categorías: la vulnerabilidad como la pobreza esperada (VEP), la vulnerabilidad de utilidad baja esperada (VEU), y la vulnerabilidad como la exposición al riesgo no	Se basan en seleccionar algunos indicadores de todo el conjunto de indicadores potenciales y luego combinarlos sistemáticamente para

Concepto	Método econométrico	Métodos basados en indicadores
	asegurado (VER) (Hoddinott y Quisumbing, 2003). Con estas categorías se construye una medida de la pérdida de bienestar atribuido a desastres (Deressa <i>et al.</i> , 2008).	determinar los niveles de vulnerabilidad (Deressa <i>et al.</i> , 2008).
Ventajas	El método es fácil de estimar, con el cálculo de VEP se puede identificar los hogares en riesgo que no son pobres, el cálculo del VEU proporciona una desagregación entre la vulnerabilidad a la pobreza y la vulnerabilidad al riesgo no asegurado y finalmente el cálculo del VER puede indicar si son las covariables o los choques idiosincrásicos la causa principal de las pérdidas de bienestar (Hoddinott y Quisumbing, 2003).	Este método es valioso para monitorear tendencias y explorar marcos conceptuales (Deressa <i>et al.</i> , 2008). Integra y resume diferentes dimensiones de un tema, son fáciles de interpretar y facilita la evaluación de la eficacia de las políticas y la rendición de cuentas por parte de los representantes del gobierno (Schuschny <i>et al.</i> , 2009).
Desventajas	Si las estimaciones se realizan utilizando una única sección transversal, se debe suponer que la variabilidad transversal captura la variabilidad temporal (Hoddinott y Quisumbing, 2003) además es difícil explicar el tipo de riesgo de un individuo, dado que los individuos están mal informados acerca de ellos (Kanbur, 1987) y a falta de conjuntos de datos, las estimaciones de los impactos, a menudo son parciales y, por lo tanto, no son indicadores concluyentes (Deressa <i>et al.</i> , 2008).	Conducen a una falta de correspondencia entre la definición conceptual de vulnerabilidad y las métricas (Deressa <i>et al.</i> , 2008).

Fuente: Elaboración propia.

De manera similar a la exposición a la sequía, los métodos basados en indicadores socioeconómicos y ambientales son los que se utilizan más comúnmente para evaluar la vulnerabilidad; estos indicadores se combinan entre sí para generar índices compuestos que son representativos de los diferentes grados de vulnerabilidad (Hagenlocher, 2019). Este enfoque permite comprender mejor las diferentes facetas de esta variable, y orientar las acciones dirigidas a su reducción mediante la implementación de medidas de preventivas y de mitigación de la sequía.

2.3.5. Modelos matemáticos

Dado que la vulnerabilidad se manifiesta en lugares y momentos específicos (Adger, 2006), existen diversos modelos matemáticos para calcularla. En este caso se observan algunas similitudes que tienen los modelos que en esta sección se presentan, por ejemplo: los modelos de Webb y Harinaraya (1999), y del IPCC (2001, 2014), reconocen a la capacidad de adaptación como parte importante en mitigar el impacto de la amenaza; en el caso de Fontaine y Steinemann (2009) modificaron el modelo del IPCC (2001), donde la exposición y la sensibilidad se suman y el resultado se divide entre la capacidad de adaptación; Luers *et al.* (2003) mide la vulnerabilidad en función del estado de las variables de interés en relación con un umbral de daño, la sensibilidad de las variables a los factores estresantes, la magnitud y frecuencia de los factores estresantes a los que está expuesto el sistema; Me-bar y Valdez (2005) ven a la vulnerabilidad como el nivel del umbral para un desastre; Burg (2008) concibe a la vulnerabilidad como la probabilidad de una disminución aguda o déficit crónico de acceso a los alimentos o el consumo por debajo de un valor crítico; y Ortega-Gaucin *et al.* (2018a y 2018b) desarrollan un índice de vulnerabilidad global a la sequía que incluye la

vulnerabilidad económica, social y ambiental de los sistemas analizados. En la Tabla 12 se presentan los modelos matemáticos más comunes para calcular la vulnerabilidad.

Tabla 12. Modelos matemáticos más usuales para calcular la vulnerabilidad.

Autor	Descripción	Formula
Webb y Harinaraya (1999)	Utilizaron la fórmula para estudiar la relación entre la vulnerabilidad y desnutrición.	$V = H - CA$ Dónde: H = Peligro o amenaza, CA = Capacidad de adaptación
IPCC (2001)	Proporciona una definición operativa de la vulnerabilidad.	$V = CA - (S + E)$ Dónde: CA = Capacidad de adaptación, S = Sensibilidad, E =exposición
Luers <i>et al.</i> (2003)	Examina la vulnerabilidad de los sistemas socio-ecológicos.	$V = \frac{SE}{ERA \times POE}$ Dónde: V =Vulnerabilidad, SE = Sensibilidad al estrés, ERA = Estado relativo al umbral, POE =Probabilidad de ocurrencia de estrés
Me-bar y Valdez (2005)	Proporcionaron un modelo que fue utilizado por Zarafshani <i>et al.</i> (2012) para evaluar la vulnerabilidad de los productores de trigo a la sequía.	$V_i = \frac{1}{C_i} \sum_{j=1}^{k_i} (P_j * W_j)$ Dónde: P en esta fórmula es un valor de parámetro, W es un peso asignado a cada parámetro. C se deriva de $C_i = 1/2 (W_{max} k_i)$ a la suma de todos los pesos, donde W_{max} es el valor máximo de la escala de peso.
Burg (2008)	Propone el índice de vulnerabilidad crónica (CVI) para medir los niveles de vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria.	$V = E + I$ Dónde: E = Exposición al riesgo, I = Incapacidad para hacer frente
Fontaine y Steinemann (2009)	Desarrollaron un modelo conceptual modificando el modelo propuesto por el IPCC (2001) para evaluar la vulnerabilidad ante la sequía.	$V = \frac{E + S}{CA}$ Dónde: E = Exposición, S =Sensibilidad, CA =Capacidad de adaptación
IPCC (2014)	Modifica la definición operativa de la vulnerabilidad que se realizó en el 2001.	$V = S - CA$ Dónde: S =Sensibilidad, CA =Capacidad de adaptación
Ortega-Gaucin <i>et al.</i> (2018a y 2018b)	Proponen un índice de vulnerabilidad global ante la sequía que incluye la vulnerabilidad económica, social y ambiental.	$IVG = \frac{IVE}{3} + \frac{IVS}{3} + \frac{IVA}{3}$ Dónde: IVG = Índice de vulnerabilidad global ante la sequía; IVE = Índice de vulnerabilidad económica; IVS = Índice de vulnerabilidad social; e IVA = Índice de vulnerabilidad ambiental. El IVG se calcula asumiendo un peso P_i de 1/3 para cada una de sus componentes.

Fuente: Elaboración propia.

De los modelos matemáticos anteriores, el que ha sido más aceptado y usado por la comunidad académica internacional es el propuesto por el IPCC (2014), el cual modifica la definición operativa de la vulnerabilidad que realizó este mismo organismo en 2001, expresándola en función de la sensibilidad y la capacidad de adaptación (dejando fuera la componente de exposición, que pasó a formar parte del concepto de riesgo).

Así, a partir de la combinación de los análisis de exposición, vulnerabilidad y amenaza de un sistema específico, es posible determinar el nivel de riesgo de ese sistema ante la sequía, con base en los conceptos de riesgo que se describen a continuación.

2.4. Riesgo

El concepto de riesgo, asociado con la idea de porvenir sin certeza, ha estado presente desde siempre en las sociedades humanas (Cardona, 2001). En este apartado se describen las diferentes definiciones de riesgo y los modelos matemáticos para calcularlo.

2.4.1. Definiciones de riesgo

La extinta Organización de las Naciones Unidas para el Socorro en Desastres (UNDRO, 1979) contempla dos definiciones de riesgo que se consideran la base de los conceptos actuales; la primera es el riesgo específico y la segunda es el riesgo total: a) *Riesgo específico (Specific risk-Rs)*: Grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad; b) *Riesgo total (Total risk - Rt)*: Número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un evento desastroso, es decir el producto del riesgo específico (R_s) y los elementos bajo riesgo (E). Por su parte, la UNISDR (2009) define el riesgo como las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro. Por último, el IPCC (2014) define el riesgo como potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro. El término riesgo se utiliza principalmente en referencia a los riesgos de impactos del cambio climático.

2.4.2. Modelos matemáticos para calcular el riesgo

Existen diferentes marcos y ecuaciones para evaluar el riesgo, en este apartado se explican algunos modelos, por ejemplo: Yen (1971) calcula el riesgo como la probabilidad de un evento adverso; la UNDRO (1979) determina el riesgo en función de la exposición, la amenaza y la vulnerabilidad; Cardona (1985) y Schneiderbauer *et al.* (2004) tomaron el modelo propuesto por la UNDRO (1979) y lo modificaron, en el primer caso eliminando la variable de exposición y en el segundo caso anexando el aspecto temporal; Cardona (2001) hace una evaluación holística del riesgo, tomando en cuenta la fragilidad socioeconómica y la falta de resiliencia del contexto; Davis (2004) en su modelo incorpora la capacidad de adaptación, ya que el desarrollo de capacidades puede desempeñar un papel fundamental para minimizar la escala de los desastres; Jordaan (2006) propone un modelo para evaluar el riesgo por sequía agrícola considerando las características del peligro (probabilidad, severidad e intensidad) y tres tipos de vulnerabilidad (económica, social y ambiental); y Ortega-Gaucin *et al.* (2018b) desarrollaron una metodología para determinar índices municipales de peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía, evaluando el peligro a partir de los registros históricos de

sequía del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y considerando cuatro tipos de vulnerabilidad (económica, social, ambiental y global). En la Tabla 13 se presentan las fórmulas de los modelos matemáticos referidos.

Tabla 13. Modelos matemáticos más usuales para calcular el riesgo.

Autor	Formula	Descripción
Yen (1971)	$R = 1 - P(X \leq x)^n$	Dónde: $P(X \leq x)$ es la probabilidad acumulada y n el número de años, suponiendo estacionariedad e independencia de los acontecimientos extremos.
UNDRO (1979)	$R_t = E \times RS = E \times (A \times V)$	Dónde: R_t = Es el riesgo total, E =Exposición, RS =Riesgo específico, A =Amenaza, V =Vulnerabilidad
Cardona (1985)	$R_{ie} = f(A_i, V_e)$	Dónde: R_{ie} = Riesgo, A_i = Amenaza, V_e = Vulnerabilidad
Schneiderbauer et al. (2004)	$R_{ahd} = H_{ahd} \times E_{ad} \times V_{ahd}$	Dónde: R_{ahd} =Riesgo, E =Exposición, V = Vulnerabilidad, " h "= tipo de peligro y " a "= región geográfica afectada por el peligro " h ", " d "= un día determinado dentro del período de tiempo durante el cual se produce el desastre.
Cardona (2001)	$R_T = R_F(1 + F)$	Dónde: R_T es el riesgo total, R_F es el riesgo físico y F es un coeficiente de agravamiento –o de impacto– que depende de la fragilidad socio-económica FS , y de la falta de resiliencia del contexto FR .
Davis (2004)	$R = \frac{V \times H}{CA}$	Dónde: R =Riesgo, V =Vulnerabilidad, H =Peligro o amenaza, CA =Capacidad de adaptación
Jordaan (2006)	$R = (H/C_H) \times \left[\frac{\sum(V_{econ} V_{env} V_{soc})}{\sum(C_{econ} C_{env} C_{soc})} \right]$	Dónde: $H = f(H_p H_s)$, con: H_p = Probabilidad de sequía con una cierta magnitud (severidad) que se produzca, H_s = Severidad de la sequía H , $H_s = f(H_i H_d)$, H_i = Intensidad de la Sequía y H_d = Duración de la Sequía H , $C_H = 1$, V_{econ} =Vulnerabilidad económica, V_{env} =Vulnerabilidad ambiental, V_{soc} =Vulnerabilidad social, C_{econ} = Capacidad para tratar con vulnerabilidad económica, C_{env} =Capacidad para tratar con la vulnerabilidad ambiental y C_{soc} = Capacidad para tratar con la vulnerabilidad social.
Burg (2008)	$Riesgo(R) = V + H$	Dónde: V =Vulnerabilidad y H =Peligro o amenaza
Ortega-Gaucin et al. (2018b)	$IR = P \times IVG$	Dónde: IR es el índice de riesgo por sequía; P es la probabilidad de ocurrencia de sequía (peligro por sequía); e IVG es el índice de vulnerabilidad global ante la sequía (descrito en el cuadro 8).

Fuente: Elaboración propia.

En términos generales, lo que se puede deducir de los modelos matemáticos descritos anteriormente, es que todos ellos utilizan las variables de peligro o amenaza y vulnerabilidad como componentes esenciales del riesgo por sequía, incluyendo en algunos casos la exposición como variable independiente. En los últimos años, la fórmula matemática más comúnmente aceptada y utilizada es la que considera el riesgo como un producto del peligro (representado por la probabilidad de ocurrencia de sequía con cierto grado de severidad), la exposición y la vulnerabilidad (evaluadas mediante indicadores socioeconómicos y

ambientales), tal como se puede observar en los trabajos de Carrao et al. (2016), Frischen et al. (2020) y Meza et al. (2020), entre otros. Esto está en consonancia con el concepto de riesgo propuesto por el IPCC (2014), que ha sido el más aceptado y difundido en la comunidad científica actual.

2.5. Consideraciones sobre el marco conceptual y metodológico

Como se ha visto en este trabajo, hoy día existe una amplia gama de enfoques, métodos y herramientas para determinar las componentes del riesgo por sequía. Aquí se han resumido los resultados de una amplia revisión de literatura que ha sido generada en distintas partes del mundo. El hecho de revisar y recopilar los distintos métodos de forma sistemática puede servir para adaptar y mejorar la eficacia de las evaluaciones realizadas. Aunque existe una gran diversidad de enfoques y opciones metodológicas, lo cierto es que no hay métodos que sean universalmente aplicables para hacer estas evaluaciones, ya que el fenómeno de la sequía depende de muchos factores contextuales y sus efectos son distintos en cada caso.

De acuerdo con la Convención de las Naciones Unidas para el Combate de la Desertificación (UNCCD), la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Asociación Mundial para el Agua (GWP), y la Organización Meteorológica Mundial (WMO), para mejorar las evaluaciones de la vulnerabilidad y el riesgo ante la sequía, los tomadores de decisiones y los responsables de formular políticas públicas pueden tomar en cuenta los siguientes aspectos (UNCCD/FAO/GWP/WMO, 2019):

- Adoptar un enfoque proactivo para realizar las evaluaciones antes de que se presenten las crisis por sequía.
- Reconocer que la sequía es a menudo un fenómeno recurrente que interactúa con otras amenazas y puede verse exacerbado por los patrones de gestión de recursos hídricos y terrestres.
- Utilizar los métodos de evaluación disponibles para fomentar enfoques inclusivos, intersectoriales y de múltiples escalas para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo a nivel comunitario y de cuenca.
- Aprender a base de prueba/error, y revisar según las experiencias de otros, qué métodos son los más adecuados para fomentar la participación en las evaluaciones de vulnerabilidad de diferentes grupos sociales.
- Analizar dónde y cómo se deben recopilar, analizar y proteger los datos dispersos.
- Documentar los éxitos y fracasos de las evaluaciones, incluidos los casos en que los impactos de la sequía fueron más o menos graves de lo previsto en las condiciones climáticas prevalecientes.
- Aprender de las experiencias de los demás participando en un intercambio internacional coordinado de conocimientos y abogar por el uso de estos procesos, incluida la revisión, validación, documentación y difusión.

Anticipar los resultados de un evento que aún no ha sucedido puede resultar difícil, pero en muchas regiones afectadas por la sequía ya se conocen muy bien sus efectos. En estas áreas, las estimaciones de vulnerabilidad y riesgo son procesos informales y continuos que forman

parte de la cultura popular. La integración y coordinación de estas estimaciones informales con procesos colectivos de evaluaciones formales y bien documentadas que involucren a organizaciones de la sociedad civil, gobiernos locales, federales y otras instituciones, pueden crear un entendimiento compartido más amplio, además de que ofrecen una base más prometedora para compartir y gestionar el riesgo a todos los niveles.

La reducción del riesgo por sequía y sus impactos directos e indirectos asociados se ha convertido en una prioridad mundial, como lo muestra el número cada vez mayor de enfoques, métodos y herramientas de evaluación que se han publicado en las últimas décadas. Los esfuerzos por reducir los impactos de la sequía deben basarse en una comprensión sólida y una caracterización fiable del fenómeno que conduzca a evaluaciones precisas para la toma de decisiones y la implementación de políticas públicas orientadas a ese objetivo. Sin embargo, aunque se han realizado grandes avances en los últimos años en términos de desarrollar mejores métodos y herramientas para caracterizar los componentes individuales del riesgo, aún queda mucho por hacer en ese sentido. La revisión realizada en este trabajo ha mostrado que existe una gran diversidad de conceptos y métodos para este propósito, ninguno de los cuales es aplicable a todas las circunstancias ya que cada contexto específico requiere determinar cuál es el más apropiado en función del enfoque adoptado, la información disponible y el objetivo de la evaluación. Con la información que se proporciona en este artículo, los investigadores o evaluadores disponen de un panorama general que, en un momento dado, les puede servir de base para hacer un examen cuidadoso de cada uno de estos puntos y elegir el marco teórico y el método que mejor se ajuste al contexto de su estudio o, en su defecto, para desarrollar o adaptar su propia propuesta conceptual y metodológica.

Pero es importante resaltar que, independientemente de los conceptos o modelos matemáticos que se adopten para evaluar el riesgo por sequía y sus componentes, la atención de los efectos causados por el fenómeno debe basarse en un enfoque proactivo de gestión del riesgo, es decir, en la planeación y diseño de estrategias (medidas estructurales y no estructurales sobre una base continua) que se pondrán en marcha con antelación a la ocurrencia de una sequía para prevenir y mitigar el nivel de exposición al riesgo y, por lo tanto, la vulnerabilidad a los impactos.

Capítulo 3. Metodología

3.1. Áreas de estudio

La unidad básica espacial de estudio que se describe en esta metodología es el Área Metropolitana (AM) o Zona Metropolitana (ZM). El Consejo Nacional de Población (Conapo, 2015a) la define como el conjunto de dos o más municipios donde se localiza una ciudad de 100 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan los límites del municipio, incorporando dentro de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica. También se incluyen aquellos municipios que por sus características particulares son relevantes para la planeación y política urbana de las zonas o áreas metropolitanas en cuestión. Adicionalmente, se contempla en la definición a los municipios con una ciudad de más de 500 mil habitantes; los que cuentan con ciudades de 200 mil o más habitantes ubicados en la franja fronteriza norte, sur y en la zona costera; y aquellos donde se asienten capitales estatales, estos últimos cuando no están incluidos en una zona o área metropolitana.

3.1.1. Área Hidropolitana de Monterrey (AHM)

El área metropolitana de Monterrey comprende trece municipios, no obstante, para efectos de la prestación del servicio público domiciliario de agua potable, la condición metropolitana de Monterrey -esto es, el área “hidropolitana”- incluye sólo nueve municipios: Apodaca, General Escobedo, Guadalupe, Juárez, Monterrey, San Nicolás de los Garza, San Pedro Garza García, Santa Catarina y el Parque Ciudad Industrial Mitras, ubicado en el municipio de García, Nuevo León. La región hidropolitana se trata de un conjunto de relaciones geopolíticas y de poder, moldeadas históricamente por un ideal de desarrollo y modernización que ubica a las ciudades como espacios prioritarios en la satisfacción de necesidades básicas, es decir, servicios de agua potable, saneamiento y energía eléctrica (Perló & González, 2005). Por otro lado, ese conjunto de relaciones de poder político tiene manifestaciones concretas en la producción del espacio urbano (Raffestin 1993). Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) presta los servicios de agua potable, drenaje sanitario y saneamiento al área hidropolitana de Monterrey (Conagua, 2015c). La Figura 7 muestra los municipios del AHM.

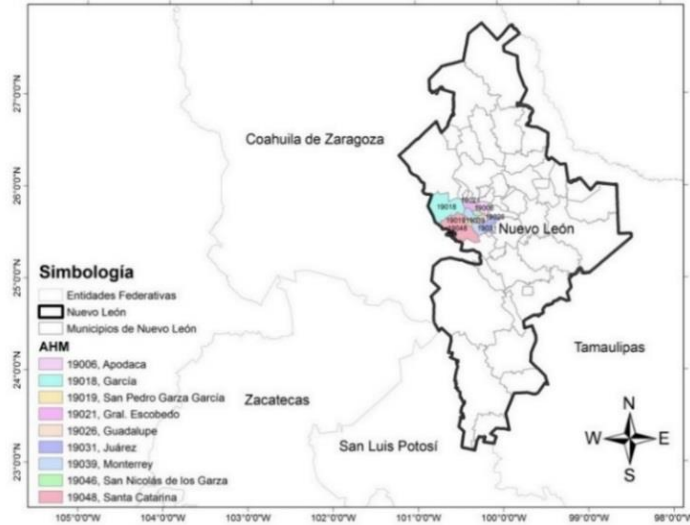


Figura 7. Municipios que integran el AHM.
Fuente: Elaboración propia.

El abastecimiento de agua potable al AHM proviene actualmente de fuentes tanto superficiales como subterráneas. La importancia del tipo de fuente se ha ido cambiando al paso del tiempo, puesto que antes de 1965 las fuentes subterráneas suministraban la totalidad del agua utilizada. A la fecha, y desde la entrada en operación de la presa El Cuchillo, el suministro proviene aproximadamente en un 60% de fuentes superficiales y el 40% restante de subterráneas. Esto no quiere decir que en la actualidad se demanda menos agua de fuentes subterráneas que antes, sino que ésta es menor desde la entrada en operación de las tres presas de las que se alimenta el sistema manejado por SADM (FAMM, 2018).

La presa Rodrigo Gómez “La Boca” se construyó en la cabecera del Río San Juan en el municipio de Santiago NL. Cuenta con una superficie aproximada de 455 hectáreas. y un volumen de almacenamiento de 40 millones de metros cúbicos (Mm³) (Torres & Barajas, 2013). La presa Cerro Prieto se construyó sobre el Río Pablillo o Linares, con un acueducto de 133 km que llega hasta el municipio de Juárez, en la jurisdicción de San Roque a 15 km al noroeste de Linares (Semarnat, 2011). La presa de almacenamiento El Cuchillo se ubica dentro de la región hidrológica No. 24 Bravo-Conchos, en el municipio de China, N.L. y retiene los escurrimientos del río San Juan. (Ortega-Gaucin, 2012a) (Tabla 14 y Figura 8).

Tabla 14. Presas que abastecen al AHM

Nombre de la presa		Municipio	Corriente aprovechada	Cuenca hidrológica	Capacidades (millones de metros cúbicos)		
Oficial	Común				Total referida al NAMO	Umbral de la obra de toma	Útil referida al NAMO
El Cuchillo-Solidaridad	El Cuchillo	China	Río San Juan	Río San Juan 1	1,123.14	100.10	1023.04
Rodrigo Gómez	La Boca	Santiago	Río San Juan	Río San Juan 1	41.00	0.84	40.16
José López Portillo	Cerro Prieto	Linares	Río Pablillo	Río Pablillo 2	300.00	25.00	275.00

Fuente: Elaboración propia a partir de Segob (2011 y 2017).

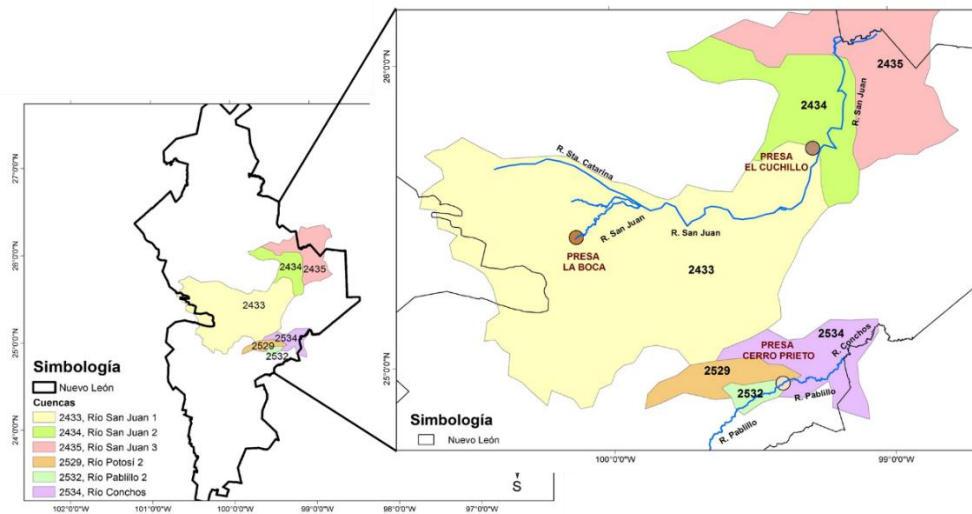


Figura 8. Fuentes de abastecimiento superficiales del AHM
Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Área Metropolitana de Guadalajara (AMG)

El AMG está integrada por cuatro municipios: Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan (Conagua, 2015a). Como se muestra en la Figura 9. El Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) presta los servicios de agua potable, drenaje sanitario y saneamiento con un padrón de 1´186,089 tomas (SIAPA, 2017).

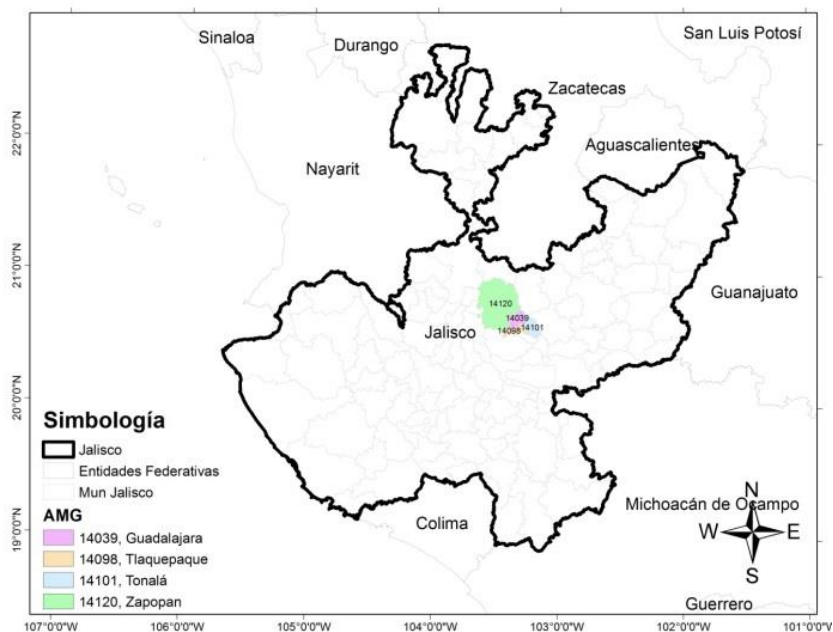


Figura 9. Municipios que integran el AMG.
Fuente: Elaboración propia.

El origen del suministro para el uso público-urbano, por subregión de planeación, resulta: de agua para la AMG es el Lago de Chapala del que se extraen un promedio de 170 hm³ anuales. Otra fuente que alimenta de agua a la AMG es el conjunto de 183 sistemas de pozos profundos, actualmente controlados por el Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA), aunque solamente 101 operan satisfactoriamente en el Valle de Tesistán, Toluquilla y dentro de la propia AMG. La capacidad de extracción es de 2.9 m³/s (volumen anual de 90.8 hm³). Adicionalmente operan varios pozos de carácter privado de los que el SIAPA no tiene ningún control y que se estima aportan un caudal de 1 m³/s y algunos pozos de los Ayuntamientos de Tlaquepaque y Tonalá con un volumen anual producido de 1 m³/s. La tercera fuente de abastecimiento de agua a la AMG es el sistema Presa Calderón, concebida en el denominado Sistema La Zurda-Calderón que en promedio aporta 25 hm³ (Conagua, 2009a).

El Lago de Chapala es abastecido principalmente por los ríos Lerma, Duero y Zula, y los arroyos y ríos de Jiquilpan, Sahuayo y de la Pasión. Tiene una superficie media histórica de 110,000 Ha., aunque en el año 2000 se registró una superficie de 80,000 Ha., y un volumen de agua variable dependiendo de los usos tanto de sus fuentes de abastecimiento, como del agua del propio lago, y de las condiciones climatológicas (Segob, 2015). En la parte noroeste del Lago de Chapala, cerca de la población de Ocotlán, nace el Río Santiago, el que después de recorrer 460 km a través de los estados de Jalisco y Nayarit, desemboca en el Océano Pacífico, cerca de la población de San Blas, en el Estado de Nayarit (Conagua, 2000). La presa Ing. E. Chávez (Calderón) se construyó como parte inicial del Sistema Regional la Zurda-Calderón. La primera etapa sólo hace uso de las aguas del río Calderón, así como de los escurrimientos al mismo (Torres-Rodríguez, 2013) (Figura 10).

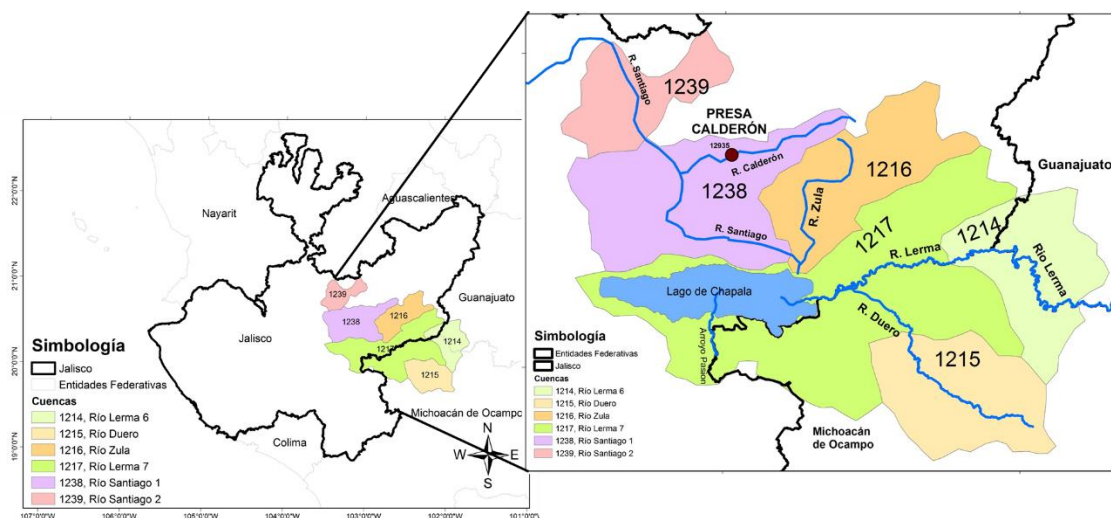


Figura 10. Fuentes de abastecimiento superficiales del AMG
Fuente: Elaboración propia

3.2. Evaluación del riesgo por sequía

Se han desarrollado muchos conceptos para evaluar el riesgo por sequía (Carrão et al., 2016; Stahl et al., 2016; Vogt et al., 2018; Naumann et al., 2019; Meza et al., 2019), variando en su definición e interpretación de los términos “riesgo”, “amenaza”, “vulnerabilidad” y

“exposición” (González-Tánago et al., 2015). No obstante, aunque varía en terminología, existe un amplio acuerdo en que el riesgo no puede entenderse mirando solo las anomalías climáticas o solo los factores de vulnerabilidad socioeconómica (UN-ISDR, 2009; Bachmair et al., 2017). Comprender el riesgo requiere una evaluación más holística de las diferentes condiciones que conducen a desastres por sequía (Nauditt et al., 2020).

El riesgo se define como la consecuencia anticipada del evento adverso, más específicamente en el área científica a los peligros naturales, el riesgo puede definirse como una amenaza real o existente para un sistema (vida, salud, propiedad, infraestructura, economía y medio ambiente) dada su exposición y vulnerabilidad existentes (Tsakiris, 2007). De acuerdo a la UNDRO (1979) la evaluación del riesgo puede llevarse a cabo mediante la siguiente formulación general:

$$Riesgo = Amenaza * Exposición * Vulnerabilidad \quad (1)$$

La medida de riesgo generalmente se expresa en un solo número que combina varios factores. Por lo tanto, dicho índice de riesgo debería proporcionar la evaluación más precisa y transparente de un evento (MacKenzie et al., 2014).

Khoshnazar et al. (2021), comentan que el cálculo tradicional del índice de riesgo a la sequía ($DRI = DHI \times DVI$) presenta una desventaja. Lo explican con el siguiente ejemplo: Sea $DHI = 0.6$ y $DVI = 0.6$, lo que sugiere alto riesgo y alta vulnerabilidad, entonces, $DRI = 0.6 \times 0.6 = 0.36$. Tal valor de DRI indica una condición de bajo riesgo, que no suena razonable. Para superar esta limitación, se han propuesto diferentes metodologías de integración de los componentes del riesgo. Estas metodologías incluyen análisis de componentes principales (PCA), métodos de ponderación y métodos de agregación (MacKenzie et al., 2014, Nardo et al., 2005). Khoshnazar et al. (2021) en su metodología para calcular el riesgo utilizaron el método de agregación geométrica.

De acuerdo a lo anterior descrito, la ecuación 1 se modifica a:

$$IRS = IA * IV * IE \quad (2)$$

Donde: IRS = Índice de riesgo por sequía, IA = Índice de amenaza, IV = índice de vulnerabilidad y IE = Índice de exposición.

En los siguientes capítulos se desarrolla un marco de evaluación de los componentes del riesgo por sequía para las áreas de estudio (AHM y AMG). El análisis de la amenaza tiene en cuenta la gravedad de la sequía hidrológica y su probabilidad de que ocurra en los últimos 38 años (1980-2018). La exposición y la vulnerabilidad se calcularon a partir de indicadores socioeconómicos, de gestión institucional y ambiental en el periodo 2008-2018. La metodología propuesta se muestra en la Figura 11.

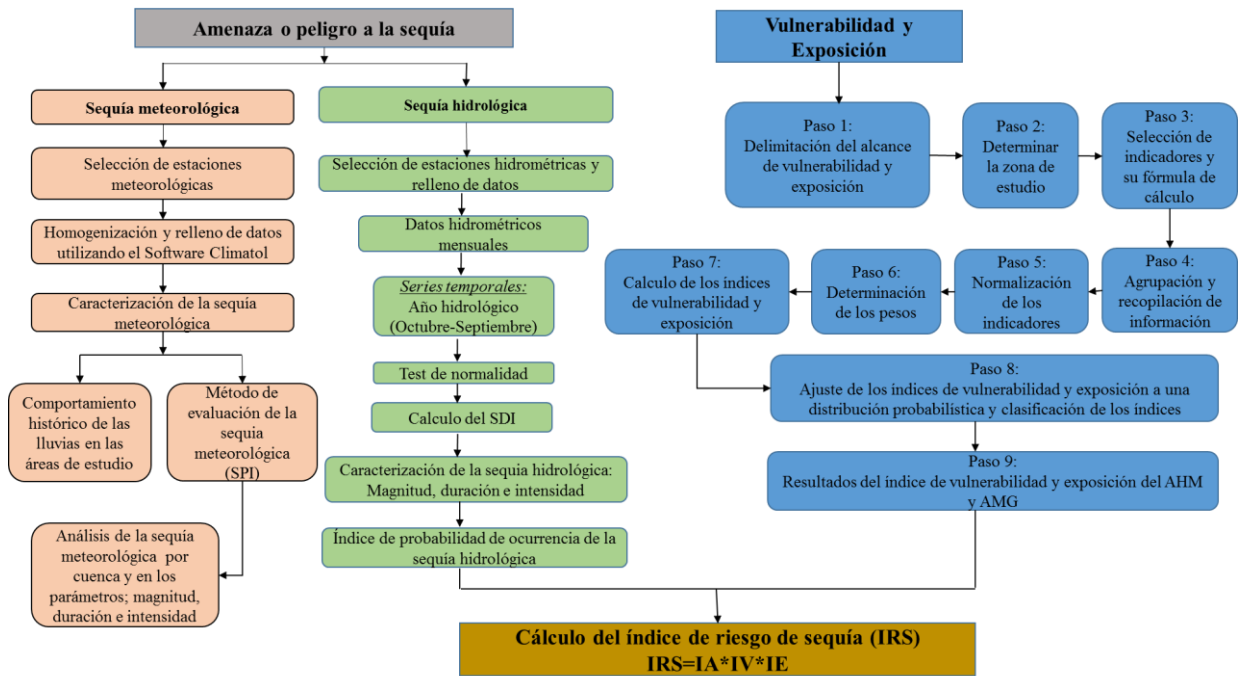


Figura 11. Metodología para evaluar el riesgo por sequía en las AHM y AMG
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. Índice de amenaza o peligro por sequía (IA)

En el primer punto de este tema se evaluó la sequía meteorológica en sus parámetros de magnitud, duración e intensidad, en los casos de estudio (AHM y AMG). La evaluación de este tipo de sequía se realizó porque da inicio a la primera fase de la misma. El análisis se realizó agrupando las estaciones meteorológicas de acuerdo a su ubicación geográfica por cuenca.

En el segundo punto de este tema se analizó la sequía hidrológica en los casos de estudio. En primer lugar, los datos originales de caudal diario se agregaron a volúmenes mensuales, posteriormente estos volúmenes se agruparon de acuerdo al año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años entre 1980-2018, después se normalizaron los datos utilizando las distribuciones de probabilidad Log-normal y Gamma y la mejor fue seleccionada en base a la estadística de prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) a un nivel de significancia del 5%, después se calculó el SDI utilizando el software DrinC, se caracterizó la sequía y por último se calculó su probabilidad de ocurrencia. La Figura 12 muestra la metodología que se utilizó para calcular la sequía meteorológica e hidrológica.

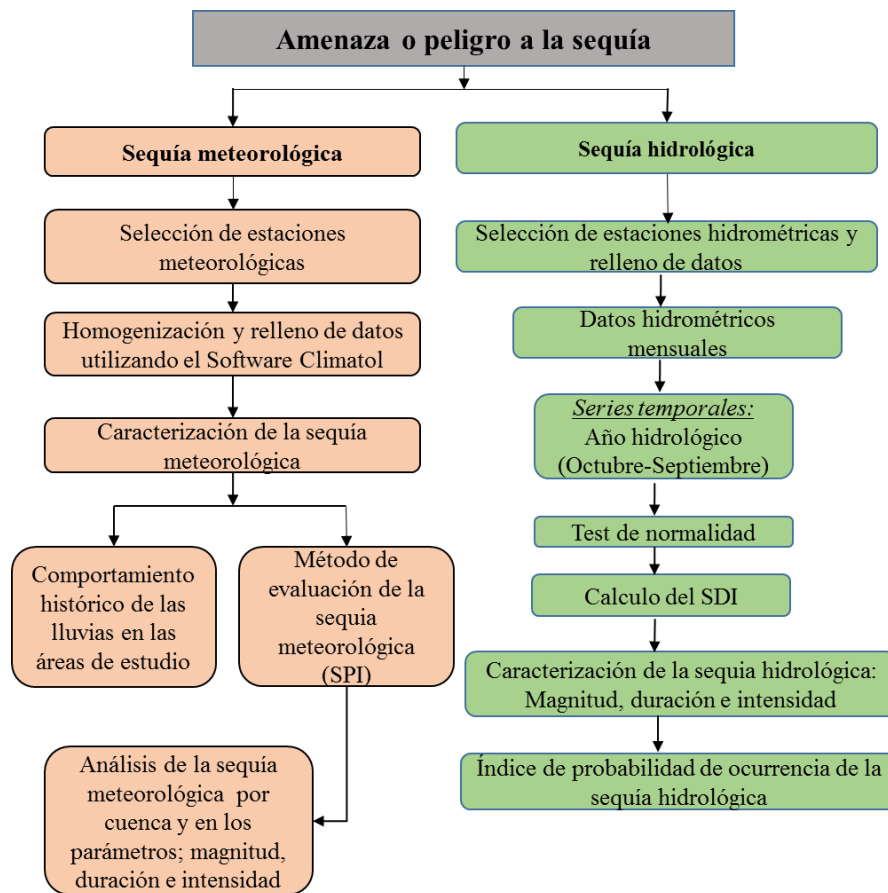


Figura 12. Metodología para evaluar la sequía meteorológica e hidrológica en las AHM y AMG

Fuente: Elaboración propia.

4.1. Análisis y Caracterización de la sequía meteorológica, estudio de caso (AHM y AMG)

4.1.1. Selección de estaciones meteorológicas en las áreas de estudio

A partir de la base de datos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) proporcionada por Conagua, se seleccionaron las estaciones climatológicas que cumplieron con los siguientes criterios: a) ubicación geográfica (dentro de las cuencas donde se encuentran las fuentes de abastecimiento); y b) con al menos el 80% de datos registrados durante el periodo 1980-2018.

En el AHM y de acuerdo a los criterios mencionados se seleccionaron 17 estaciones meteorológicas (Figura 13 y Tabla 15).

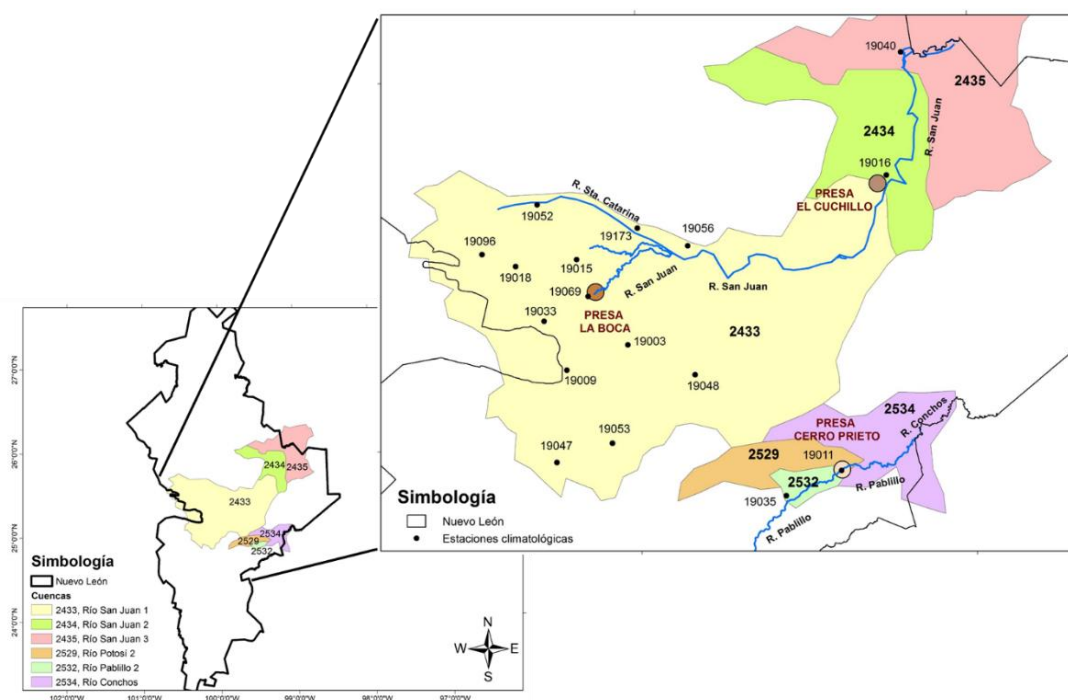


Figura 13. Estaciones meteorológicas seleccionadas en el AHM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Estaciones meteorológicas seleccionadas en Nuevo León.

Núm.	Clave de la estación	Nombre de la estación	Clave de la cuenca	Municipio	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	Altitud
1	19003	Allende	2433	Allende	25 17 1	100 1 13	454
2	19009	Casillas	2433	Rayones	25 11 47	100 12 51	1,279
3	19011	Cerro Prieto	2532	Linares	24 56 17	99 23 7	261
4	19015	El Cerrito	2433	Santiago	25 30 36	100 11 36	510
5	19016	El Cuchillo	2434	China	25 43 5	99 15 21	145
6	19018	El Pajonal	2433	Santa Catarina	25 29 23	100 23 20	2,576
7	19033	Laguna De Sanch	2433	Santiago	25 20 46	100 16 48	1,879
8	19035	Camacho	2532	Linares	24 52 19	99 34 44	350
9	19040	Los Aldamas	2435	Los Aldamas	26 3 52	99 11 48	103
10	19047	Mimbres	2433	Galeana	24 58 26	100 15 31	2,331

Núm.	Clave de la estación	Nombre de la estación	Clave de la cuenca	Municipio	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	Altitud
11	19048	Montemorelos	2433	Montemorelos	25 10 55	99 49 56	421
12	19052	Monterrey (Obs)	2433	San Nicolás De Los Garza	25 44 1	100 18 17	515
13	19053	Rayones	2433	Rayones	25 1 15	100 4 38	848
14	19056	San Juan	2433	Cadereyta Jiménez	25 32 36	99 50 25	260
15	19069	La Boca	2433	Santiago	25 25 46	100 7 44	460
16	19096	La Huastequita	2433	Santa Catarina	25 38 19	100 27 18	720
17	19173	Palmitos (Ge)	2433	Cadereyta Jiménez	25 25 2	99 59 50	368

Fuente: Elaboración propia con información de SMN.

En el AMG y de acuerdo a los criterios mencionados se seleccionaron 23 estaciones meteorológicas (Figura 14 y Tabla 16).

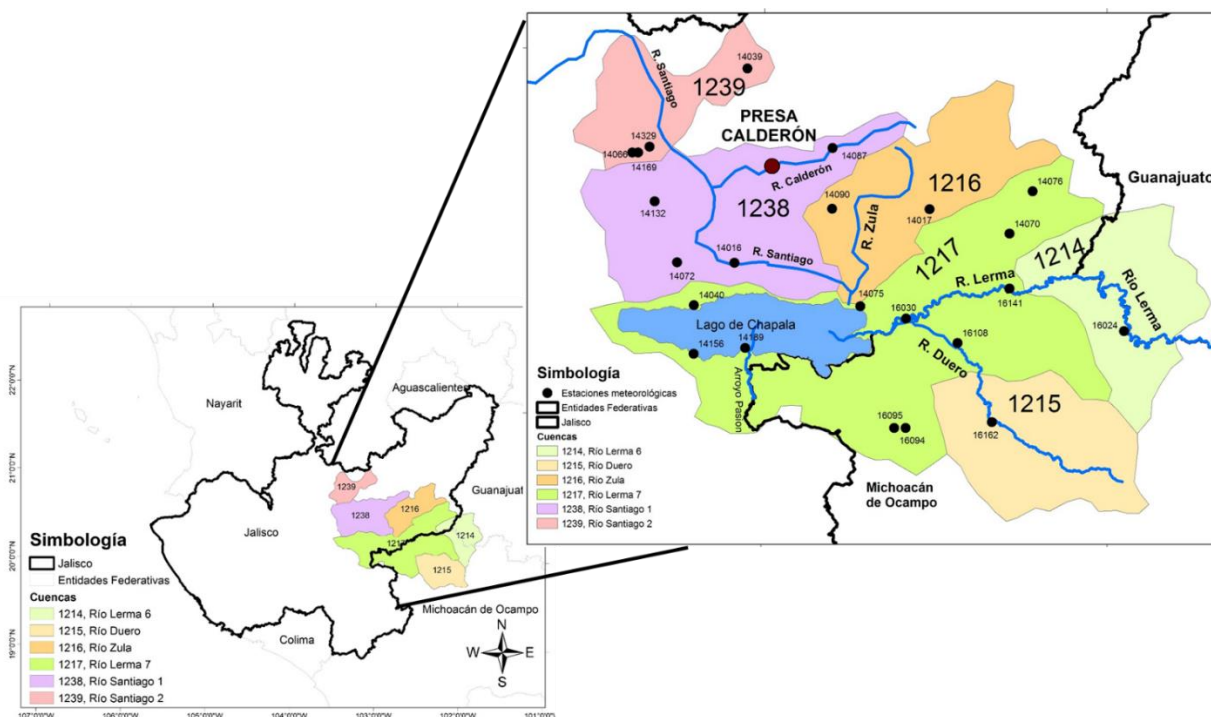


Figura 14. Estaciones meteorológicas seleccionada en el AMG

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Estaciones meteorológicas seleccionadas en Jalisco y Michoacán.

Núm.	Clave de la estación	Nombre de la estación	Clave de la cuenca	Estado	Municipio	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	Altitud
1	14016	Atequiza	1238	Jalisco	Ixtlahuacán De Los Membrillos	20 23 43	103 8 8	1,520
2	14017	Atotonilco El Alto	1216	Jalisco	Atotonilco El Alto	20 33 0	102 30 30	1,600
3	14039	Cuquío	1239	Jalisco	Cuquío	20 55 40	103 1 24	1,790
4	14040	Chapala	1217	Jalisco	Chapala	20 17 24	103 11 21	1,530

Núm.	Clave de la estación	Nombre de la estación	Clave de la cuenca	Estado	Municipio	Latitud (GMS)	Longitud (GMS)	Altitud
5	14066	Guadalajara (Dge)	1239	Jalisco	Guadalajara	20 40 35	103 20 46	1,550
6	14070	Huáscato	1217	Jalisco	Degollado	20 28 50	102 14 56	1,619
7	14072	Huerta Vieja	1238	Jalisco	Ixtlahuacán De Los Membrillos	20 25 33	103 14 32	1,550
8	14075	Jamay	1217	Jalisco	Jamay	20 17 24	102 42 34	1,530
9	14076	Jesús María	1217	Jalisco	Jesús María	20 36 29	102 12 55	2,129
10	14087	La Red	1238	Jalisco	Tepatitlán De Morelos	20 43 31	102 48 46	1,774
11	14090	La Yerbabuena	1216	Jalisco	Tototlan	20 34 54	102 44 44	1,588
12	14132	Tlaquepaque	1238	Jalisco	San Pedro Tlaquepaque	20 38 18	103 18 38	1,540
13	14156	Tuxcueca	1217	Jalisco	Tuxcueca	20 9 13	103 11 4	1,530
14	14169	Zapopan	1239	Jalisco	Zapopan	20 43 13	103 23 31	1,560
15	14189	Tizapán El Alto (Dge)	1217	Jalisco	Tizapán El Alto	20 9 30	103 2 36	1,550
16	14329	La Experiencia	1239	Jalisco	Guadalajara	20 40 13	103 17 9	1,550
17	16024	Corrales	1214	Michoacán	Penjamillo	20 12 26	101 51 42	1,730
18	16030	Cuimato	1217	Michoacán	Bríselas	20 15 28	102 35 22	1,520
19	16094	Presa Guaracha	1217	Michoacán	Villamar	19 57 38	102 35 4	1,580
20	16095	Presa Jaripo	1217	Michoacán	Villamar	19 57 30	102 36 0	1,587
21	16108	San Cristóbal	1217	Michoacán	Ixtlán	20 11 18	102 26 0	1,530
22	16141	Yurecuaro	1217	Michoacán	Yurecuaro	20 20 15	102 16 59	1,543
23	16162	Orandino	1215	Michoacán	Jacona	19 58 0	102 19 30	1,580

Fuente: Elaboración propia con información de SMN.

4.1.2. Homogenización y relleno de datos utilizando el software Climatol

La serie de observaciones meteorológicas es de vital importancia para el estudio de la variabilidad climática. Sin embargo, estas series están frecuentemente contaminadas por eventos ajenos a esa variabilidad: errores en las observaciones o en su transmisión, y cambios en el instrumental utilizado, en la ubicación de la estación o en su entorno. Estas alteraciones de la serie, denominadas inhomogeneidades, enmascaran los cambios reales del clima y pueden inducir a error en las conclusiones derivadas del estudio. La homogeneización permite eliminar o reducir al máximo estas alteraciones no deseadas (Guijarro, 2018). Para realizar la homogeneización de los datos se utilizó el paquete R Climatol.

Este paquete está disponible en <https://CRAN.R-project.org/package=climatol> y contiene funciones de control de calidad, homogeneización y relleno de los datos faltantes en un

conjunto de series de cualquier variable climática. Este software Solo necesita dos archivos de entrada, uno con lista de coordenadas, códigos y nombres de las estaciones, y otro con todos los datos, en orden cronológico y desde la primera estación hasta la última. Como no aparecen referencias temporales en el archivo de datos, todos los datos deben estar presentes, durante todo el período de estudio, con los datos faltantes representados con NA o con otro código distintivo. Además, para evitar complicaciones, el período de estudio debe comenzar en enero del primer año (en el día 1 cuando se trata de datos diarios) y finalizar en diciembre del último año (en el día 31 cuando se procesan datos diarios). Aunque la metodología de la aplicación de este software es muy simple, su operación se complica a través de una serie de procesos iterativos anidados (Guijarro, 2018). Ver Figura 15.

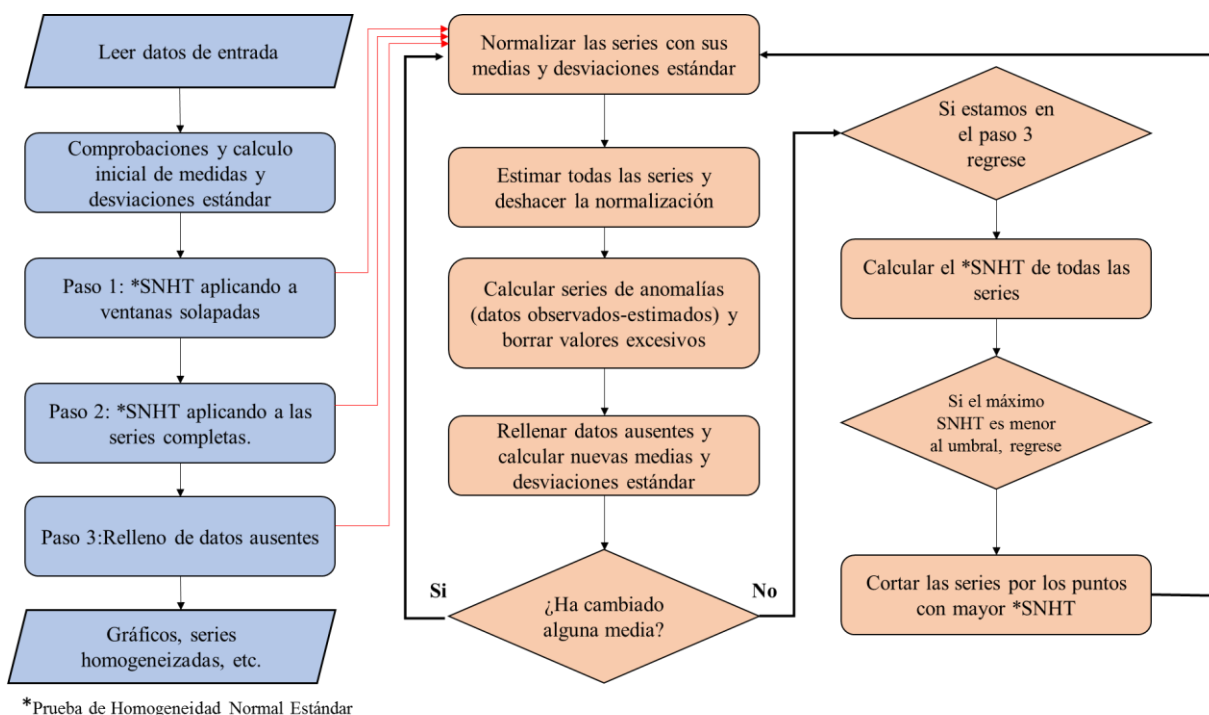


Figura 15. Diagrama de flujo de la operación Climatol, mostrando sus procesos iterativos anidados.
Fuente: Guijarro (2018).

Una vez realizada la homogeneización de datos mensuales se realizó un análisis del comportamiento histórico de las lluvias en las regiones de estudio.

4.1.3. Comportamiento histórico de las lluvias

4.1.3.1. AHM

El AHM se encuentra en una zona semiárida (BSh), según la clasificación climática de Köppen, y por ende se enfrenta a una baja disponibilidad natural de recursos hídricos. De hecho el clima local de del área metropolitana marca una transición entre el trópico subhúmedo y el desierto, con precipitaciones pluviales mucho más significativas hacia el este y sureste de la región en comparación con el muy seco oeste. Además de relativamente escasas, las lluvias en el AHM y zonas aledañas presentan un alto grado de variabilidad inter-

anual, se observa lluvias inferior al promedio (622 mm) y ocasionalmente se han presentado lluvias relativamente abundantes, incluso superiores a los 1000 mm (Aguilar-Barajas et al., 2015).

En el periodo de 1980-2018 en la época de lluvias (mayo-octubre), se registró el 77.34 % de la precipitación total anual y en la época seca (noviembre- abril), se registró el 22.66% de la precipitación total anual. Se observa que en este periodo ocurrieron 11 años con lluvias por debajo de la media (28.1%), el año más seco en este periodo fue el 2011 con un déficit de precipitación de 25.28% con respecto a la media. El año más lluvioso fue el 2010 con 1,331.34 mm (Figura 16).

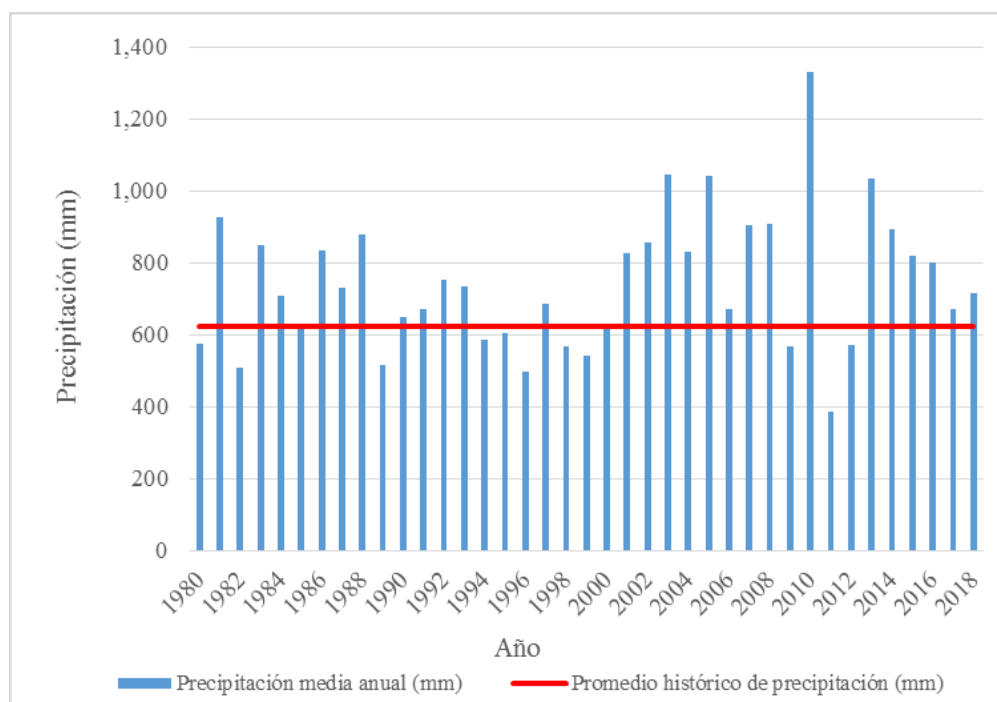


Figura 16. Comportamiento histórico de la precipitación total anual del AHM (1980-2018).
Fuente: Elaboración propia con la información del SMN.

La alta concentración del crecimiento demográfico y económico en la metrópoli la ha vuelto muy vulnerable a la presencia de sequías, a tal grado que la historia de Monterrey desde su fundación ha alternado periodos de escasez crítica con grandes avenidas por el cauce del río Santa Catarina (Aguilar-Barajas et al., 2015).

Tal es el caso del paso del huracán Alex por Nuevo León en julio de 2010, el cual fue catalogado como uno de los peores desastres en la historia del Estado. La destrucción que dejó, fue comparada con la del huracán Gilberto en septiembre de 1988 y de las torrenciales lluvias ocurridas en 1909, que provocaron el desbordamiento del río Santa Catarina que atraviesa el Área Metropolitana de Monterrey. Las más de 60 horas de intensas lluvias de la tormenta tropical Alex afectaron las actividades cotidianas de la población, serios daños a la infraestructura urbana y vial y en miles de viviendas, además de situaciones amenazantes

para la salud, las telecomunicaciones, energía y agua, también hubo una parálisis de la actividad educativa y productiva (Secretaría de Desarrollo Social, 2010).

Con respecto a la presencia de sequías severas, el último evento de sequía registrado en Nuevo León (2011-2012) se ha considerado como el más severo de los últimos 50 años. Tan sólo en 2011 se perdieron más de 40 mil hectáreas de cultivos de temporal, maíz, trigo, frijol y sorgo, principalmente, y ante la falta de lluvias se dejaron de sembrar alrededor de 50 mil hectáreas de maíz y frijol (Ortega-Gaucin, 2013).

A lo largo la sequía del 2011-2012, las extracciones de agua desde las presas para el suministro al AHM superaron por mucho las magras captaciones, lo que se tradujo en un paulatino descenso en el volumen almacenado. La presa El Cuchillo ha resultado claramente más sensible y vulnerable que las demás presas ante la variabilidad climática. Históricamente, esta presa ha mantenido en promedio en un 65.5 % de su capacidad a los Niveles de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO), ha llegado a un máximo histórico en su almacenamiento de 155% y ha registrado un mínimo histórico en su almacenamiento de tan solo 12.5 %. La presa Cerro Prieto ha mantenido en promedio en un 70 % de su capacidad a los Niveles de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO), ha llegado a un máximo histórico en su almacenamiento de 122% ha registrado un mínimo histórico en su almacenamiento de tan solo 19%. La presa la Boca ha mantenido en promedio en un 79 % de su capacidad a los Niveles de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO), ha llegado a un máximo histórico en su almacenamiento de 113% ha registrado un mínimo histórico en su almacenamiento de tan solo 34% (Aguilar-Barajas et al., 2015).

4.1.3.2. AMG

El clima en el estado de Jalisco va de cálido subhúmedo a semiseco templado, destacando el semicálido subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual en el estado es de 865 mm, superior en 12% a la media nacional que es de 772 mm (Conagua, 2009a).

En el periodo de 1980-2018 en la época de lluvias (junio-octubre), se registró el 90.44 % de la precipitación total anual y en la época seca (noviembre- mayo), se registró el 9.56% de la precipitación total anual. Se observa que en este periodo ocurrieron 20 años con lluvias por debajo de la media (51.3%), el año más seco en este periodo fue el 2011 con un déficit de precipitación de 45.6% con respecto a la media. El año más lluvioso fue en 1992 con 1,122.68 mm (Figura 17).

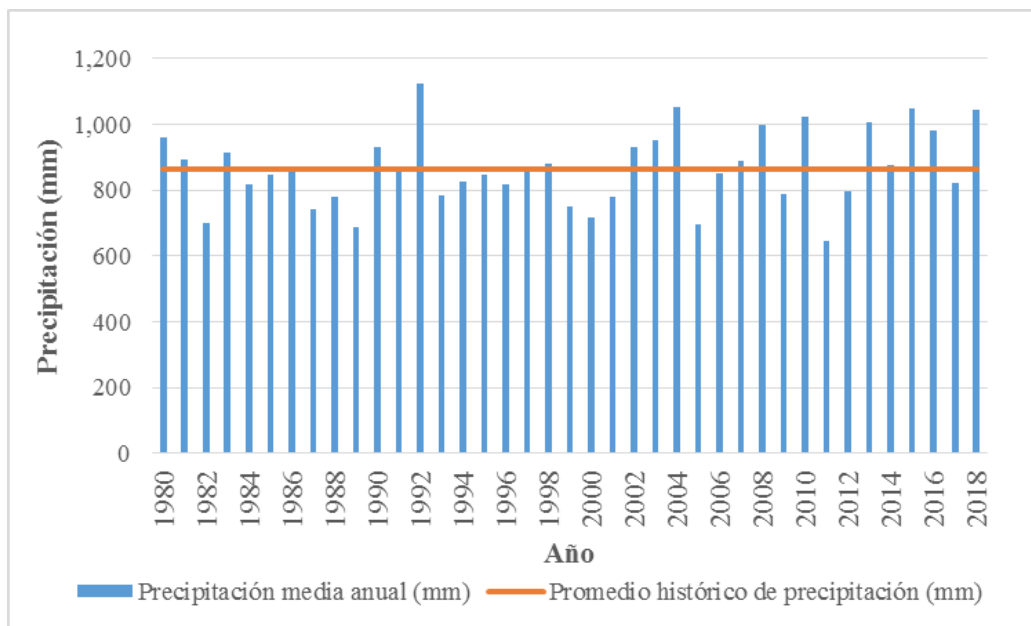


Figura 17. Comportamiento histórico de la precipitación total anual del AMG (1980-2018).
Fuente: Elaboración propia con la información del SMN.

En Jalisco los ciclones tropicales afectan su territorio una vez cada cinco años, en promedio. En octubre de 1992 llegó a Puerto Vallarta Jalisco el huracán Virgil con categoría 11 (Conagua, 2009a).

En el año 2011 se registró la peor sequía desde 1941 y casi todo el territorio nacional padeció en algún grado este fenómeno meteorológico. Los estados más afectados por la sequía fueron Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Durango, Guanajuato, Jalisco, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora y Zacatecas. Ahí se invirtió un monto cercano a 1 000 millones de pesos de recursos del programa Fondo para la Atención de Emergencias (FONDEN) que permitió atender a alrededor de 240 municipios (Conagua, 2014a).

En el caso particular de la Cuenca Lerma-Chapala, integrada por los estados de México, Querétaro, Guanajuato, Michoacán y Jalisco, los volúmenes de agua superficial que se utilizaron para el ciclo noviembre 2011-octubre 2012 fueron de 2,710 millones de metros cúbicos, cifra menor a la que se otorgó de noviembre 2010-octubre 2011, cuando se distribuyeron 3,742 millones de metros cúbicos (El Informador, 2011).

Debido a que el estudio abarca parte del estado de Michoacán, se realizó también el comportamiento histórico de las lluvias dentro de este estado.

En las cuencas de la zona norte del estado, correspondiente a la zona hidrológica Lerma-Chapala, predominan el clima templado subhúmedo y semiárido subhúmedo. En esta zona hidrológica, la precipitación media varía desde los 600 hasta los 1,200 mm/año (Conagua, 2009b).

En el periodo de 1980-2018 en la época de lluvias (junio-octubre), se registró el 87.91 % de la precipitación total anual y en la época seca (noviembre- mayo), se registró el 12.09% de la precipitación total anual. Se observa que en este periodo ocurrieron 19 años con lluvias por debajo de la media (48.3%), el año más seco en este periodo fue el 2011 con un déficit de precipitación de 27.3% con respecto a la media. El año más lluvioso fue en 2004 con 994.56 mm (Figura 18).

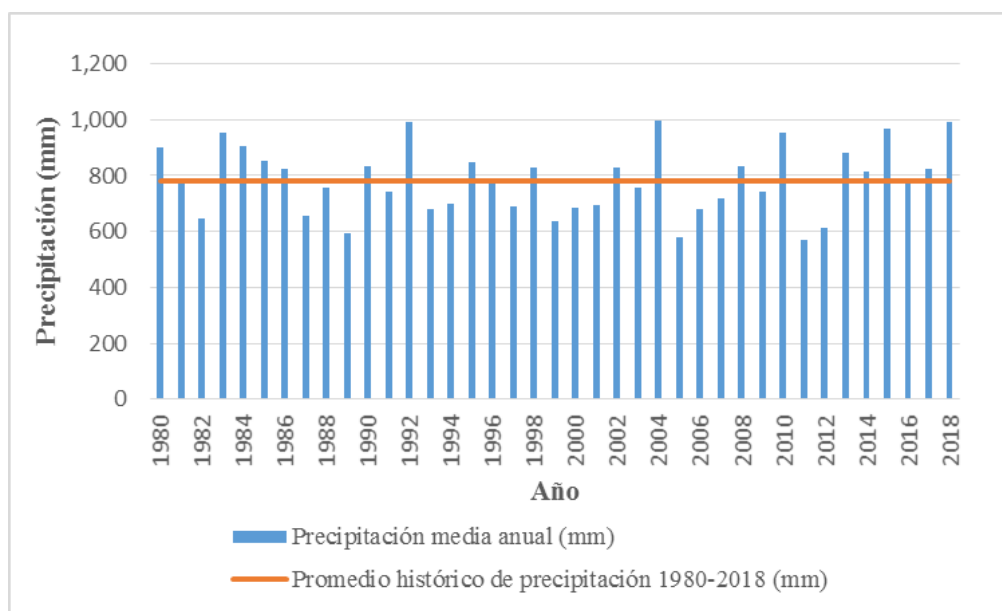


Figura 18. Comportamiento histórico de la precipitación total anual del estado de Michoacán (1980-2018).
Fuente: Elaboración propia con la información del SMN.

En Michoacán se han presentado sequías, granizadas y heladas, huracanes e inundaciones, provocando afectaciones en la población y la economía, en mayor o menor grado (Conagua, 2009b).

En 2004 en Michoacán se presentaron lluvias atípicas registradas del 5 al 8 de septiembre, afectando especialmente al municipio de Zamora de Hidalgo, por lo cual se emitió una declaratoria de emergencia (Segob, 2004).

4.1.4. Métodos de evaluación de la sequía meteorológica

La mayoría de los métodos para evaluar la sequía meteorológica tienen la finalidad de determinar la ocurrencia de eventos anormales de la precipitación en una región y en un periodo de tiempo (Chang & Kleopla, 1991; Komuscu, 1999; Guttman, 1998). Uno de los índices más utilizados para caracterizar la sequía es Índice de Precipitación Estandarizado (Standardized Precipitation Index, SPI), que considera la lluvia como variable única para determinar si en una región y en un periodo hay déficit o exceso de precipitación respecto a las condiciones normales (Hayes et al., 1999; Komuscu, 1999; Tadesse et al., 2004).

4.1.4.1. Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El SPI fue desarrollado por McKee et al. (1993). El cálculo del SPI para cualquier localidad se basa en el registro de precipitaciones a largo plazo para un período deseado. Dicho registro a largo plazo se ajusta a una distribución de probabilidades y a continuación se transforma en una distribución normal de modo que el SPI medio para la localidad y el período deseado sea cero (Edwards & McKee, 1997). Los valores positivos de SPI indican que la precipitación es mayor que la mediana, y los valores negativos, que es menor (OMM, 2012).

Para definir las distintas intensidades de la sequía según los distintos valores de SPI, McKee et al. (1993) utilizaron el sistema de clasificación que se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17. Valores del SPI

Valor SPI	Intensidad
2.0 y mas	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Normal o aproximadamente normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Severamente seco
-2.00 y menos	Extremadamente seco

Fuente: McKee et al. (1993).

El análisis de la interpretación de los valores del SPI, considera cuatro categorías de intensidad del evento de la sequía (Tabla 18).

Tabla 18. Categorías de la intensidad de la sequía para el SPI

SPI	Categoría
0 a -0.99	Sequía leve
-1.00 a -1.49	Sequía moderada
-1.5 a -1.99	Sequía severa
< -2.0	Sequía extrema

Fuente: McKee et al. (1993).

la clasificación de la intensidad del evento de sequía en el Global Drought Monitor (GDM) considera cinco clasificaciones (Svoboda et al., 2002), como se muestra en la Tabla 19.

Tabla 19. Asociación de los rangos del SPI con la magnitud de la gravedad de la sequía y sus impactos asociados en el Monitor de sequía de E.U.A.

Categoría	Condición de la sequía	Rango del SPI	Impactos asociados
D0	Anormalmente seco	-0.5 a -0.7	Retrasa la actividad agrícola y el crecimiento de cultivos y pastizales, también hay riesgo de incendios superior al promedio. Al final de la sequía hay un déficit de agua persistente y los cultivos no están completamente recuperados.

Categoría	Condición de la sequía	Rango del SPI	Impactos asociados
D1	Sequía moderada	-0.8 a -1.2	Se presentan daños a cultivos y pastizales, existe un alto riesgo de incendios. Se desarrolla escases de agua ya que los niveles de caudales, embalses y pozos son bajos.
D2	Sequía severa	-1.3 a -1.5	Probables pérdidas de cultivos y pastizales, el riesgo de incendios es muy alto. Se incrementa la escasez de agua; restricciones de agua impuestas.
D3	Sequía extrema	-1.6 a -1.9	Se incrementan las pérdidas de cultivos / pastizales, el riesgo de incendios es extremo y hay una mayor restricción y escasez generalizada del agua.
D4	Sequía excepcional	< -2.0	Pérdidas excepcionales y generalizadas de cultivos / pastizales. Riesgo de incendio excepcionalmente peligroso. Escasez de agua en arroyos, embalses y pozos que crean emergencia hídrica.

Fuente: Adaptado de Svoboda et al. (2002).

En este trabajo el cálculo del SPI se realizó mediante el sistema de cómputo SPIGenerator.exe y el link para descargar el programa es <https://drought.unl.edu/droughtmonitoring/SPI/SPIProgram.aspx>. Para realizar los cálculos se emplearon series históricas de precipitación mensual acumulada del periodo 1980-2018 y la escala de tiempo fue de 12 meses, ya que de acuerdo con la OMM (2012), estas escalas temporales generalmente se vinculan con cauces fluviales, niveles de los reservorios e incluso niveles de las aguas subterráneas. El análisis se realizó agrupando las estaciones meteorológicas de acuerdo a su ubicación geográfica por cuenca. Se determinó la magnitud, duración e intensidad de los eventos de sequía ocurridos en cada una de estas cuencas. Para definir los tipos de sequía se tomó la calificación del SPI, también se hace un análisis los valores del SPI que fueron menores o igual a -0.5 que es donde se considera el inicio de un evento de sequía de acuerdo al Global Drought Monitor (GDM).

4.1.5. Análisis de la sequía meteorológica en las áreas de estudio periodo (1980-2018)

4.1.5.1. AHM

Agrupando las series históricas mensuales del SPI de las 17 estaciones meteorológicas se observa que el porcentaje de meses con sequía fue del 49% de un total de 468 meses con registro. Los tipos de sequía más frecuente son las sequías ligeras, con el 68% de los eventos registrados (Figura 19).

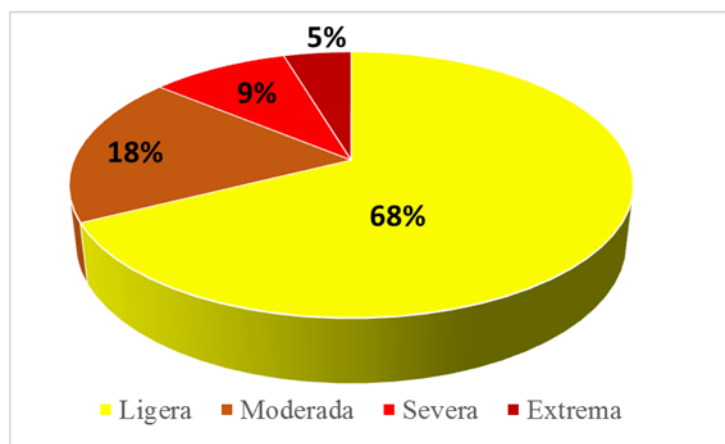


Figura 19. Distribución porcentual de los meses por tipo de sequía en Nuevo León.
Fuente: Elaboración propia.

En la cuenca del Río San Juan 1 se analizaron las series históricas mensuales del SPI de 13 estaciones meteorológicas (Tabla 20) y se observa que de los meses con sequía, el 9% corresponde a la sequía severa y el 5% a la sequía extrema.

Tabla 20. Clasificación de sequías en la cuenca del Río San Juan 1 según el SPI

Estación	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía				
				Ligera	Moderada	Severa	Extrema	
		No.	%					
19003	468	232	49.6	150	51	28	3	
19009		195	41.7	113	40	24	18	
19015		244	52.1	178	34	21	11	
19018		232	49.6	154	42	32	4	
19033		231	49.4	166	39	15	11	
19047		230	49.1	151	42	24	13	
19048		224	47.9	152	40	19	13	
19052		205	43.8	160	18	8	19	
19053		230	49.1	153	46	19	12	
19056		234	50.0	156	48	20	10	
19069		245	52.4	174	47	21	3	
19096		238	50.9	171	38	18	11	
19173		240	51.3	165	48	16	11	
Promedio		229	49.0	157	41	20	11	

Fuente: Elaboración propia

El análisis también mostro que entre el 26 y el 34% del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5. En este periodo también se registraron 14 eventos de sequía entre severa y extrema, los años más significativos se muestran en la Tabla 21 y en la Figura 20 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 21. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río San Juan 1.

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima Categoría (Extrema)	Promedio de duración de la sequía en la cuenca
1982-1983	San Juan	19056	Ago. 82-Jun. 83 (11 meses)	Sep.-Dic. 82 (3 meses)	6 meses
1986	Laguna de Sanch	19033	Abr.-Ago. (5 meses)	May.-Jun. (2 meses)	2 meses
1989-1990	Monterrey (Obs)	19052	Sep. 89-Ago. 90 (12 meses)	Sep. 89-Ago. 90 (12 meses)	11 meses
1995-1996	Casillas	19009	Oct. 95-Jul. 96 (10 meses)	Dic.95-Jun. 96 (7 meses)	10 meses
	Laguna de Sanch	19033	Abr. 95-Jul. 96 (16 meses)	Nov. 95-Jul. 96 (9 meses)	
	San Juan	19056	Ene.-Jul. 95 (7 meses)	May.-Jul. (3 meses)	
1998	El Cerrito	19015	Mar.-Jul. 98 (5 meses)	Abr.-Jun. (3 meses)	4 meses
	Palmitos	19173	Abr.-Jul. 98 (4 meses)	May.-Jun. (2 meses)	
1999-2000	Allende	19003	Oct. 99-Jul. 2000 (10 meses)	nov-99	7 meses
	Mimbres	19047	Nov. 99-Jul. 2000 (9 meses)	Feb.-Abr. 2000 (3 meses)	
	Montemorelos	19048	May.-Sep. 2000 (5 meses)	Jun.-Sep. (4 meses)	
2006	La Huastequita	19096	Jul.-Ago. (2 meses)	Ago.	2 meses
2009-2010	Mimbres	19047	Ago. 09-Abr. 10 (9 meses)	Ago.-Dic. (5 meses)	7 meses
	La Boca	19069	Oct. 09-Feb. 10 (5 meses)		
	La huastequita	19096	Sep. 09-May. 10 (9 meses)	Oct. 09-Mar. 10 (6 meses)	
2011-2012	El Cerrito	19015	Sep.11-Jul. 12 (11 meses)	Sep. 11-Mar. 12 (7 meses)	8 meses
	Monterrey (Obs)	19052	Sep. 11-Ago. 12 (12 meses)	Sep. 11-Feb. 12 (7 meses)	
	San Juan	19056	Sep. 11-Ene. (5 meses)	Sep.	
	La Boca	19069	Sep. 11-Jul. 12 (11 meses)	Sep.	
	Palmitos	19173	Sep. 11-Abr.12 (8 meses)	Sep. 11-Mar. 12 (7 meses)	
2016	El Cerrito	19015	Jun.		2 meses
	La Boca	19069	May.-Jun. (2 meses)		

Fuente: Elaboración propia

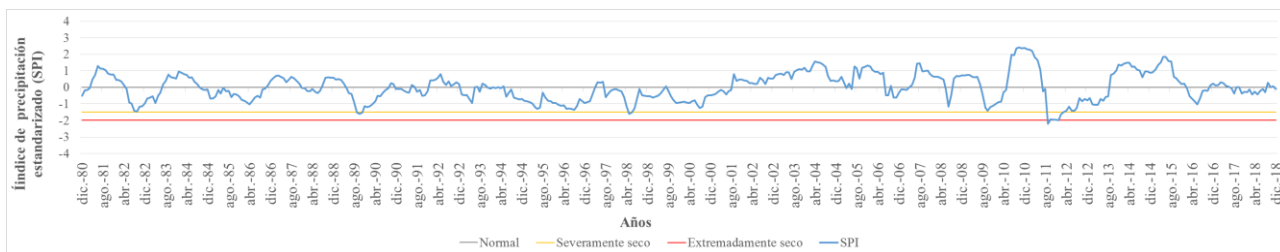


Figura 20.- Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río San Juan 1

Fuente: Elaboración propia

En la cuenca del Río San Juan 2 se analizaron las series históricas mensuales del SPI de la estación meteorológica El Cuchillo y se observa que de los meses con sequía, el 61 % corresponde a sequía ligera, el 21% a sequía moderada, el 12% corresponde a la sequía severa y el 6% a la sequía extrema (Tabla 22). El análisis también mostro que el 29% del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5. En este periodo también se registraron 6 eventos de sequía entre severa y extrema, los cuales se muestran en la Tabla 23, y en la Figura 21 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 22. Clasificación de sequías en la cuenca del Río San Juan 2 según el SPI

Estación	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
				Ligera	Moderada	Severa	Extrema
		No.	%				
19016	468	223	48	136	47	26	14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río San Juan 1.

Año	Estación	Clave	Duración (Severa y extrema)	Máxima categoría (Extrema)
1989	El cuchillo	19016	Oct.-Nov (2meses)	
1990-1991			Dic. 90-May 91 (5 meses)	Abr.
1996-1997			Jun. 96-Mar. 97 (10 meses)	Jun.-Oct.96 (5 meses)
1999-2000			Nov. 99-Jul. 2000 (9 meses)	May. 2000
2009			Sep.-Oct. (2 meses)	
2011-2012			Jul.11-Mar. 12 (9 meses)	Jul. 11-Ene. 12 (7 meses)

Fuente: Elaboración propia

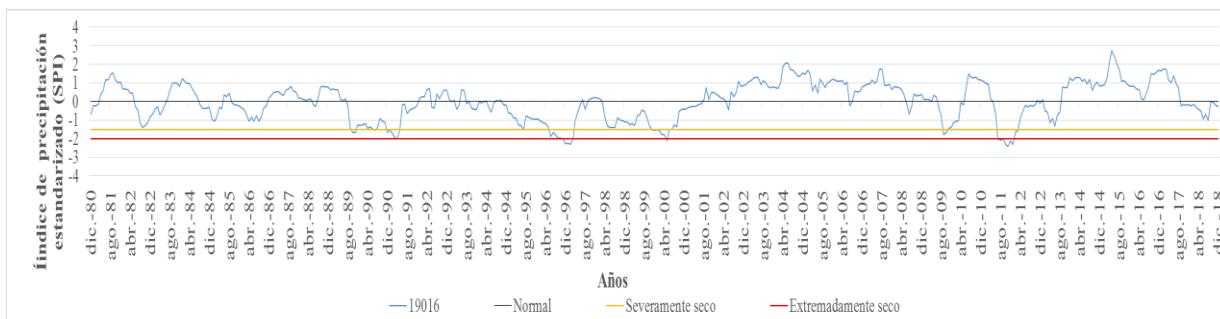


Figura 21. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río San Juan 2
Fuente: Elaboración propia

En la cuenca del Río San Juan 3 se analizaron las series históricas mensuales del SPI de la estación meteorológica Los Aldamas y se observa que de los meses con sequía, el 67 % corresponde a sequía ligera, el 20% a sequía moderada, el 13% corresponde a la sequía severa y el 1% a la sequía extrema (Tabla 24). El análisis también mostro que el 30 % del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o iguales a -0.5. En este periodo también se registraron 7 eventos de sequía entre severa y extrema, los cuales se muestran en la Tabla 25 y en la Figura 22 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 24. Clasificación de sequías en la cuenca del Río San Juan 3 según el SPI

Estación	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
		No.	%	Ligera	Moderada	Severa	Extrema
19040	468	239	51	159	47	30	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 25. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río San Juan 3.

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima categoría (Extrema)
1982	Los Aldamas	19040	Ago.-Nov. (4 meses)	
1989-1990			Sep. 89-Jul. 90 (11 meses)	Oct.-Nov. 89 (2 meses)
1995			En.-Abr. (4 meses)	
1996-1997			Ago.96-Feb.97 (7 meses)	
1998			May.-Jun. (2 meses)	May.
2000			Ago.	
2011-2012			Sep. 11-Ene 12 (5 meses)	

Fuente: Elaboración propia

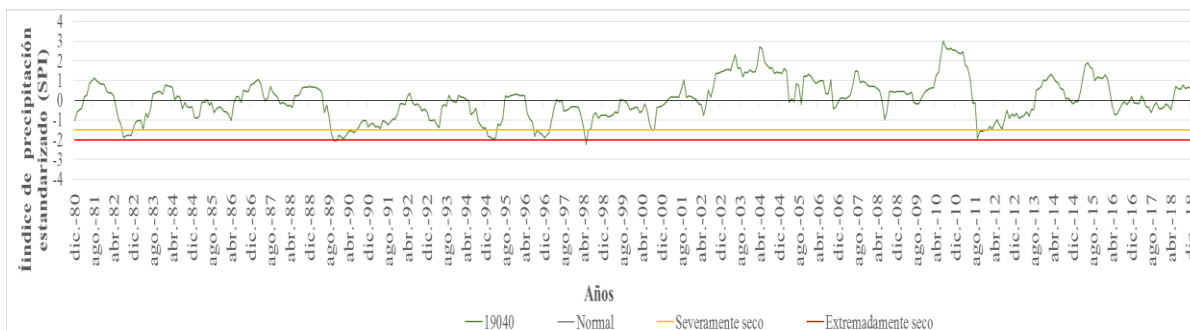


Figura 22. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río San Juan 3
Fuente: Elaboración propia

En la cuenca del Río Pablillo 2 se analizaron las series históricas mensuales del SPI de dos estaciones meteorológicas; Camacho y Cerro prieto, se observa que de los meses con sequía, el 65 % corresponde a sequía ligera, el 19% a sequía moderada, el 10% corresponde a la sequía severa y el 5% a la sequía extrema (Tabla 26). El análisis también mostro que entre el 27 y el 31% del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5. En este periodo también se registraron 9 eventos de sequía entre severa y extrema, los cuales se muestran en la Tabla 27, y en la Figura 23 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 26. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Pablillo 2 según el SPI

Estación	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
		No.	%	Ligera	Moderada	Severa	Extrema
19011	468	230	49	151	50	19	10
19035		217	46	140	37	26	14
Promedio		224	48	146	44	23	12

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río San Juan 3.

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima categoría (extrema)	Promedio de duración de la sequía en la cuenca.
1980	Camacho	19035	Dic.		1
1982	Cerro Prieto	19011	Ago.-Nov. (4 meses)		3
	Camacho	19035	Ago.		
1983	Camacho	19035	Ago.		1
1989	Camacho	19035	Sep.-Nov (3 meses)	Sep.-Nov. (3 meses)	3
1990-1991	Camacho	19035	Dic.90-Mar. 91 (4 meses)		4
1996-1997	Camacho	19035	Ago. 96-Mar 97 (8 meses)	Ago.- Sep. 96 (2 meses) y Nov. 96-Feb. 97 (4 meses)	8
1998-1999	Cerro Prieto	19011	Abr.-Sep. 98 (6 meses)	May.-Ago. (4 meses)	10
	Camacho	19035	Abr. 98-May 99	May.-Ago. 98	

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima categoría (extrema)	Promedio de duración de la sequía en la cuenca.
			(14 meses)	(4 meses) y Mar. 1999	
2000	Camacho	19035	Jul.-Sep. (3 meses)		3
2011-2012	Cerro Prieto	19011	Julio 11-abril 12 (10 meses)	Sep. 11-Ene. 12 (5 meses) y Mar. 12	8
	Camacho	19035	Septiembre 11 -enero 12 (5 meses)		

Fuente: Elaboración propia

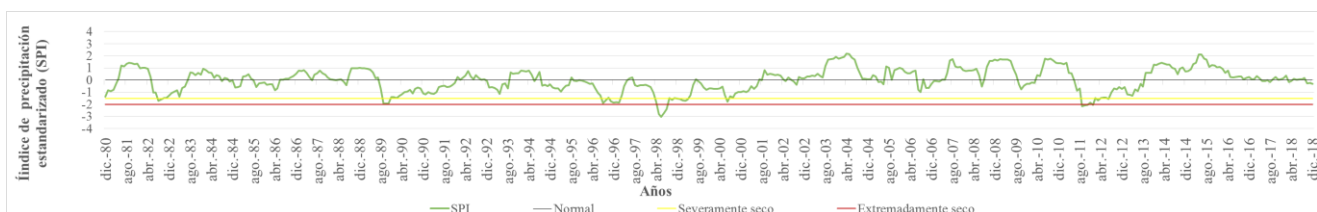


Figura 23. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Pablillo 2

Fuente: Elaboración propia

Entre los años de registro con sequía meteorológica, se observan tres episodios de sequía de larga duración. El primero fue entre 1989 y 1990 con una duración de 12 meses (Septiembre 89-Agosto 90), después fue entre 1996 y 1997 con una duración de 11 meses (Mayo 96-Marzo 97) y por último fue entre el 2011 y 2012 con una duración de 11 meses (Sep 2011-julio 2012). En la Tabla 28 se muestran los tipos de sequía por año y su duración y en la Figura 24 se muestra el comportamiento histórico del SPI en el AHM.

Tabla 28. Valores característicos de la sequía (moderada, severa y extrema) en el AHM.

Año	Periodo /total meses	Duración/tipo de sequía		
		Moderada	Severa	Extrema
1982	Ago. -Dic. (5 meses)	Oct.-Dic. (3 meses)	Ago. -Sep. (2 meses)	
1989-1990	Sep. 89- Ago. 90 (12 meses)	Dic. 89, Ene. -Ago. 90 (9 meses)	Sep. -Nov. (3 meses)	
1991	4	Feb.-May. (4 meses)		
1995	5	Mar.-Jul. (5 meses)		
1996-1997	May. 96-Mar. 97 (11 meses)	May.-Jul., Oct. 96, Mar. 97 (5 meses)	Ago. -Sep. 96 (2 meses), Nov 96.-Feb 96 (4 meses)	
1998	Abr.-Ago. (5 meses)	Abr., Ago. (2 meses)	May.-Jul. (3 meses)	
1999	3	Feb. -Abr. (3 meses)		
2000	4	Jun. -Sep. (4 meses)		
2011-2012	Sep. 11- Jul. 12 (11 meses)	Abr.-Jul. (4 meses)	Oct. 11. Dic.11-Mar. 12 (5 meses)	Sep., Nov. (2 meses)

Fuente: Elaboración propia

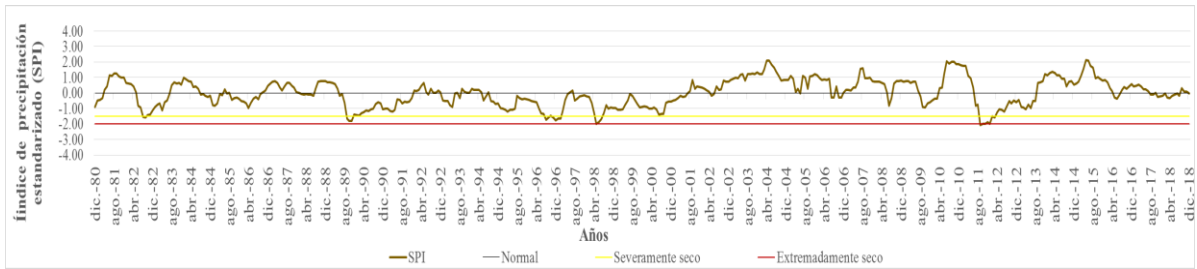


Figura 24. Comportamiento histórico del SPI para el AHM
Fuente: Elaboración propia

4.1.5.2. AMG

Agrupando las series históricas mensuales del SPI de las 16 estaciones meteorológicas se observa que el porcentaje de meses con sequía fue el 48% de un total de 468 meses con registro. Los tipos de sequía más frecuente son las sequías ligeras, con el 67% de los eventos registrados (Figura 25).

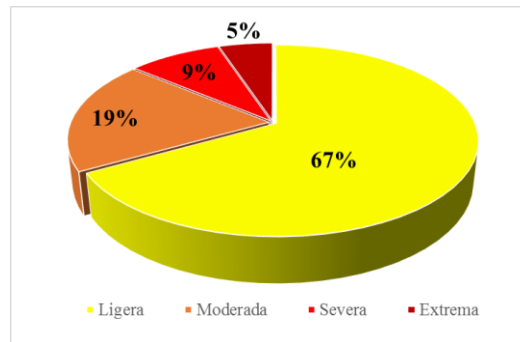


Figura 25. Distribución porcentual de los meses por tipo de sequía en Jalisco.
Fuente: Elaboración propia.

Agrupando las series históricas mensuales del SPI de las 7 estaciones meteorológicas se observa que el número de meses con sequía es el 47% de un total de 468 meses con registro. Los tipos de sequía más frecuente son las sequías ligeras, con el 65% de los eventos registrados (Figura 26).

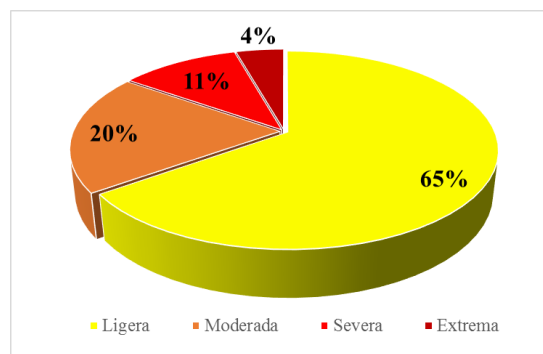


Figura 26. Distribución porcentual de los meses por tipo de sequía en Michoacán.
Fuente: Elaboración propia.

En la cuenca Río Lerma 6 se analizaron las series históricas mensuales del SPI de la estación meteorológica Corrales (Tabla 29). Se observa que de los meses con sequía, el 15% corresponde a la sequía severa y el 1% a la sequía extrema.

Tabla 29. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Lerma 6 según el SPI

Estación	Estado	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
			No.	%	Ligera	Moderada	Severa	Extrema

Fuente: Elaboración propia

El análisis también mostro que el 32% del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5. En este periodo también se registraron 10 eventos de sequía entre severa y extrema, los años más significativos se muestran en la Tabla 30, y en la Figura 27 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 30. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Lerma 6

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima categoría (extrema)
1982-1983	Corrales (A. Los Corrales)	16024	Sep. 82- May. 83 (9 meses)	Oct.82
1994-1995			Jul. 94-Abr. 95 (10 meses)	Ago.-Sep. 94 (2 meses)
1996			Nov. 96-Feb. 97 (4 meses)	
1998			Mar.-Jun. (4 meses)	
2000			Ago.	
2002			Ago.	
2005			Nov.-Dic. (2 meses)	
2006			Mar.	
2011-2012			Sep. 11-Ene. 12 (5 meses)	

Fuente: Elaboración propia



Figura 27. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Lerma 6

Fuente: Elaboración propia

En la cuenca Río Duero se analizaron las series históricas mensuales del SPI de la estación meteorológica Orandino, Jacona (Tabla 31). Se observa que de los meses con sequía, el 7% corresponde a la sequía severa y el 7% a la sequía extrema.

Tabla 31. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Duero según el SPI

Estación	Estado	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
			No.	%	Ligera	Moderada	Severa	Extrema
16162	Michoacán	468	209	45	129	52	14	14

Fuente: Elaboración propia

El análisis también mostro que el 34% del periodo analizado (1980-2018), los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5. En este periodo también se registraron 7 eventos de sequía entre severa y extrema, los años más significativos se muestran en la Tabla 32, y en la Figura 28 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 32. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Duero.

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima categoría (extrema)
1982-1983	Orandino, Jacona	16162	Jul. 82- Jun. 83 (12 meses)	Oct. 82 (1 mes) y Feb.-Junio 83 (5 meses)
1987			Abr.-May (2 meses)	
1989-1990			Sep. 89-May. 90 (9 meses)	Sep. 89-Abr. 90 (8 meses)
2009			Ago.	
2012			Jul.	
2013			Ago.	

Fuente: Elaboración propia

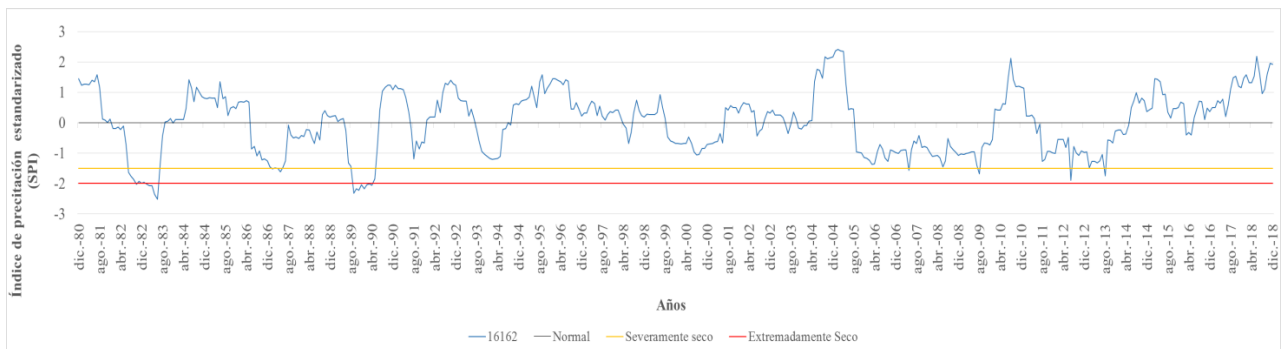


Figura 28. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Duero

Fuente: Elaboración propia

En la cuenca Río Zula se analizaron las series históricas mensuales del SPI de dos estaciones meteorológica (Tabla 33) y se observa que de los meses con sequía, el 9% corresponde a la sequía severa y el 5 % a la sequía extrema.

Tabla 33. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Zula según el SPI

Estación	Estado	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
			No.	%	Ligera	Moderada	Severa	Extrema
14017	Jalisco	468	233	50	156	48	24	5
14090	Michoacán		228	49	161	33	17	17
Promedio			231	49	159	41	21	11

Fuente: Elaboración propia

El análisis también mostro que entre el 30 y el 31 % del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5. En este periodo también se registraron 8 eventos de sequía entre severa y extrema, los cuales se muestran en la Tabla 34, y en la Figura 29 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 34. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Zula.

Año	Estación	Clave	Duración	Máxima categoría (Extrema)	Promedio de duración de la sequía en la cuenca
1982-1983	Atotonilco, Atotonilco	14017	Sep. 82-May. 83 (9 meses)		7
	La Yerbabuena, Tototlan	14090	Jul.-Oct. 82 (4 meses)		
1987-1988	Atotonilco, Atotonilco	14017	Oct. 87-Jun. 88 (9 meses)	Ene.-Abr. 88 (4 meses)	6
	La Yerbabuena, Tototlan	14090	Ene.-Feb.88 (2 meses)		
1989	La Yerbabuena, Tototlan	14090	Oct.		1
1993-1994	La Yerbabuena, Tototlan	14090	Oct. 93-Jul. 94 (10 meses)	Nov. 93-May. 94 (7 meses) y Jul. 94	10
1997	Atotonilco, Atotonilco	14017	Ene.-Oct. (10 meses)		10
1998	Atotonilco, Atotonilco	14017	Marz.-Jun. (4 meses)	Jun.	3
	La Yerbabuena, Tototlan	14090	Jun.		
2000-2001	La Yerbabuena, Tototlan	14090	Ago. 00- Jun. 01 (11 meses)	Ago. 00-Abr. 01 (9 meses)	11
2011-2012	Atotonilco, Atotonilco	14017	Sep.		3
	La Yerbabuena, Tototlan	14090	Sep. 11-Ener. 12 (5 meses)		

Fuente: Elaboración propia

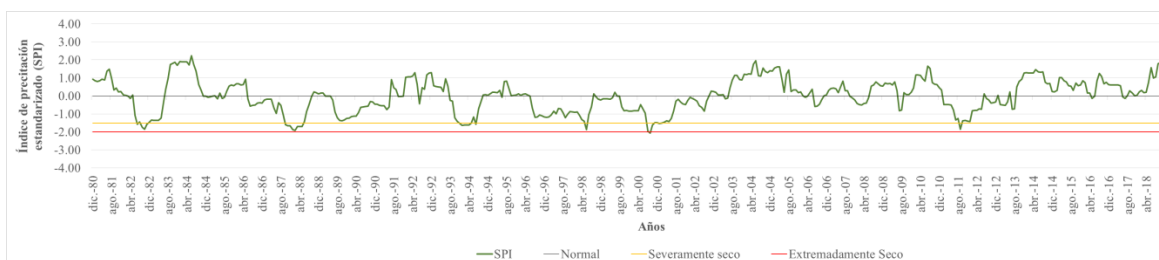


Figura 29. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Zula
Fuente: Elaboración propia

En la cuenca Río Lerma 7 se analizaron las series históricas mensuales del SPI de 11 estaciones meteorológica (Tabla 35) y se observa que de los meses con sequía, el 10 % corresponde a la sequía severa y el 5 % a la sequía extrema.

Tabla 35. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Lerma 7 según el SPI

Estación	Estado	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
			No.	%	Ligera	Moderada	Severa	Extrema
14040	Jalisco	468	213	46	148	31	14	20
14070	Jalisco		241	51	167	53	18	3
14075	Jalisco		212	45	121	52	28	11
14076	Jalisco		235	50	162	47	13	13
14156	Jalisco		212	45	132	38	30	12
14189	Jalisco		224	48	146	41	24	13
16030	Michoacán		218	47	164	22	16	16
16094	Michoacán		225	48	155	37	21	12
16095	Michoacán		209	45	118	62	17	12
16108	Michoacán		214	46	126	44	37	7
16141	Michoacán		246	53	168	45	29	4
Promedio			223	48	146	43	22	11

Fuente: Elaboración propia

El análisis también mostro que entre el 25 y el 33 % del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5. En este periodo también se registraron 13 eventos de sequía entre severa y extrema, los años más significativos se muestran en la Tabla 36, y en la Figura 30 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 36. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Lerma 7.

Año	Estación	Clave	Duración	Máxima categoría	Promedio de duración de la sequía en la cuenca (severa y extrema)
1982-1983	Chapala, Chapala	14040	Sep. 82-Jun. 83 (10 meses)	Sep.82-May. 83 (9 meses)	8
	Jamay, Jamay	14075	Jul. 82-Jun. 83 (12 meses)	Sep.-Nov. 82 (3 meses) y Mar.-May. 83 (3 meses)	

Año	Estación	Clave	Duración	Máxima categoría	Promedio de duración de la sequía en la cuenca (severa y extrema)
	Tuxcueca, Tuxcueca	14156	Jun. -Nov 82 (6 meses)	Jul.-Oct.(4 meses)	
	Tizapán, Tizapán (Dge)	14189	Jun. 82-May. 83 (12 meses)	Jul. 82 y Sep.-Nov. 82 (3 meses)	
	San Cristóbal, Ixtlán	16108	Jul. 82		
1987-1988	Jesús María,	14076	Oct. 87-Jul. 88 (10 meses)	Oct. 87-Feb. 88 (5 meses)	3
	Tuxcueca, Tuxcueca	14156	Jul.88		
	Presa Jaripo, Villamar	16095	Jul.- Ago.88 (2 meses)		
1989-1990	Jamay, Jamay	14075	Jun. 89-Abr. 90 (11 meses)	Jul.89 y Sep.-Nov (2 meses)	4
	Tuxcueca, Tuxcueca	14156	Ago.-Sep. 89 (2 meses)		
	Cumuato, Brisen as D Matam	16030	Jul.-Sep. 89 (3 meses)		
	San Cristóbal, Ixtlán	16108	Ago. 89-Ene. 90 (6 meses)		
	Yurecuaro, Yurecuaro	16141	Jul.-Ago. 89		
1993-1994	Chapala, Chapala	14040	Jul. 94		3
	Yurecuaro, Yurecuaro	16141	Nov. 93-Jul. 94 (9 meses)		
1995-1996	Tizapán, Tizapán (Dge)	14189	Oct. 95-Jun. 96 (9 meses)		
1996-1997	Huáscato, Degollado	14070	Dic. 96-Feb. 97 (3 meses)		1
1998	Chapala, Chapala	14040	Jun.		
	Jamay, Jamay	14075	Ago.		
	Tuxcueca, Tuxcueca	14156	Abr.-May. (2 meses)		
	Cumuato, Brisen as D Matam	16030	Jun.	Jun.	
	San Cristóbal, Ixtlán	16108	Dic. 97-Jul. 98 (8 meses)	Abr-Jun.98 (3 meses)	
	Yurecuaro, Yurecuaro	16141	May.-Ago. (4 meses)	Jul. -Ago. (2 meses)	
1999-2000	Chapala, Chapala	14040	Ago.-Sep. 00		
	Jamay, Jamay	14075	Ago.-Sep. 00		
	San Cristóbal, Ixtlán	16108	Sep. 99-Jul. 00 (11 meses)	Feb.00	
	Yurecuaro, Yurecuaro	16141	Oct. 99-Abr. 00 (7 meses)		

Año	Estación	Clave	Duración	Máxima categoría	Promedio de duración de la sequía en la cuenca (severa y extrema)
2001- 2002	Tuxcueca,Tuxcu eca	14156	Jul. 00-Abr. 01 (10 meses)		
	Chapala, Chapala	14040	May.-Jun.		
	Jamay, Jamay	14075	May.-Jun.		
	Cumuato,Brisen as D Matam	16030	Jun. 01-May. 02 (12 meses)	Jul. 01-May. 02 (11 meses)	
	San Cristóbal, Ixtlán	16108	Oct. 01-May. 02 (8 meses)		
2005-2006	Chapala, Chapala	14040	Ago. 05-Jul. 06 (12 meses)	Sep.05-Jul. 06 (11 meses)	
	Jamay, Jamay	14075	Feb.-May. 06 (4 meses)		
	Tuxcueca,Tuxcu eca	14156	Ago. 05-Jul. 06 (12 meses)	Nov. 05-May. 06 (7 meses)	
	Tizapán, Tizapán (Dge)	14189	Nov. 05-May. 06 (7 meses)	Feb.-Abr. 06 (3 meses)	
	Cumuato,Brisen as D Matam	16030	Feb.-Sep. 06 (8 meses)	Jul.-Ago. 06 (2 meses)	
	San Cristóbal, Ixtlán	16108	Jul-Sep. 06 (3 meses)	Ago. 06	
	Yurecuaro, Yurecuaro	16141	Jul.-Ago. 06 (2 meses)		
2011-2012	Chapala, Chapala	14040	Sep. 11		
	Jamay, Jamay	14075	Ago. 11-Ene 12 (6 meses)	Sep. 11	
	Tuxcueca,Tuxcu eca	14156	Sep.11-Ene. 12 (5 meses)	Sep.11	
	Tizapán, Tizapán (Dge)	14189	Jul. 11-Ene. 12 (7 meses)	Sep. 11-Ene. 12 (5 meses)	
	Cumuato,Brisen as D Matam	16030	Ago. 11-Ene. 12 (6 meses)	Ago.-Sep. 11 (2 meses)	
	San Cristóbal, Ixtlán	16108	Ago. 11-Ene. 12 (6 meses)	Sep.11	
	Yurecuaro, Yurecuaro	16141	Sep. 11-May. 12 (9 meses)	Oct.-Dic. 11 (3 meses) y Ene. 12	
2013	Chapala, Chapala	14040	Feb.-Abr. (3 meses)		
	Cumuato,Brisen as D Matam	16030	Mar.-Abr. (2 meses)		
2018	Chapala, Chapala	14040	Ago.		

Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Lerma 7

Fuente: Elaboración propia

En la cuenca Río Santiago 1 se analizaron las series históricas mensuales del SPI de cuatro estaciones meteorológica (Tabla 37) y se observa que de los meses con sequía, el 9% corresponde a la sequía severa y el 6% a la sequía extrema.

Tabla 37. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Santiago 1 según el SPI

Estación	Estado	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
			No.	%	Ligera	Moderada	Severa	Extrema
14016	Jalisco	468	228	49	152	47	16	13
14072	Jalisco		235	50	162	46	20	7
14087	Jalisco		203	43	126	40	22	15
14132	Jalisco		233	50	169	25	20	19
Promedio			225	48	152	40	20	14

Fuente: Elaboración propia

El análisis también mostro que entre el 28 y el 34% del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5. En este periodo también se registraron 12 eventos de sequía entre severa y extrema, los años más significativos se muestran en la Tabla 38, y en la Figura 31 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 38. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Santiago 1.

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima categoría (extrema)	Promedio de duración de la sequía en la cuenca
1982	Atequiza (Chapala),	14016	Jun.-Oct. (5 meses)		3
	La Red, Tepatitlán De M.	14087	Jun.-Oct. (5 meses)	Jul.	
1988-1990	Tlaquepaque (San Pedro)	14132	Jun. 88-May. 90 (25 meses)	Jun.-Sep. 88 (4 meses) y Jun.-Nov. 89 (6 meses)	18
	La Red, Tepatitlán De M.	14087	Ago. 89-May. 90 (10 meses)	Ago.-Nov. 89 (4 meses)	
1993-1994	La Red, Tepatitlán De M.	14087	Nov. 93-Abr. 94 (6 meses)		4
1998	Huerta Vieja, Ixtlahuacán	14072	Abr.-Ago. (5 meses)	Jun.-Ago. (3 meses)	3

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima categoría (extrema)	Promedio de duración de la sequía en la cuenca
2000	La Red, Tepatitlán De M.	14087	Jul.-Oct. (4 meses)		4
2005-2006	Atequiza (Chapala),	14016	Sep. 05-May. 06 (9 meses)	Sep. 05-May. 06 (9 meses)	9
	Huerta Vieja, Ixtlahuacán	14072	Sep. 05-May. 06 (9 meses)	Feb.- May. 06 (4 meses)	
	Tlaquepaque (San Pedro)	14132	Sep. 05-May. 06 (9 meses)	Sep. 05-May. 06 (9 meses)	
2011-2012	Atequiza (Chapala),	14016	Ago. 11-Ene. 12 (6 meses)	Ago.-Sep. 11 (2 meses)	9
	La Red, Tepatitlán De M.	14087	Ago. 11-Jun 12 (11 meses)	Ago. 11-May. 12 (10 meses)	
2013	Atequiza (Chapala),	14016	Feb.- Ago. (7 meses)	Jul.-Ago. (2 meses)	7
	Huerta Vieja, Ixtlahuacán	14072	Feb.-Ago. (7 meses)		
2018	Huerta Vieja, Ixtlahuacán	14072	Ago.-Sep. (2 meses)		2

Fuente: Elaboración propia

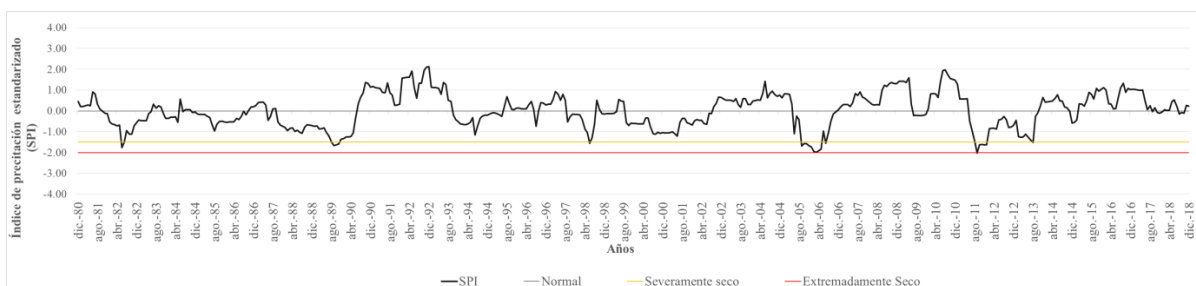


Figura 31. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Santiago 1
Fuente: Elaboración propia

En la cuenca Río Santiago 2 se analizaron las series históricas mensuales del SPI de cuatro estaciones meteorológica (Tabla 39) y se observa que de los meses con sequía, el 9% corresponde a la sequía severa y el 6% a la sequía extrema.

Tabla 39. Clasificación de sequías en la cuenca del Río Santiago 2 según el SPI

Estación	Estado	No. de meses con registro	Meses con sequía		No. de meses por tipo de sequía			
			No.	%	Ligera	Moderada	Severa	Extrema
14039	N.L.	468	226	48	149	48	20	9
14066	N.L.		215	46	145	39	15	16
14169	N.L.		246	53	163	68	13	2
14329	N.L.		229	49	156	38	25	10
Promedio			229	49	153	48	18	9

Fuente: Elaboración propia

El análisis también mostro que entre el 31 y el 35 % del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5 .En este periodo también se registraron 14 eventos de sequía entre severa y extrema, los años más significativos se muestran en Tabla 40 , y en la Figura 32 se muestra el comportamiento histórico del SPI de la cuenca.

Tabla 40. Valores característicos de la sequía (severa y extrema) de la cuenca del Río Santiago 2.

Año	Estación	Clave	Duración (severa y extrema)	Máxima categoría (extrema)	Promedio de duración de la sequía en la cuenca
1982-1983	Cuquío, Cuquío	14039	Jun. 82-May. 83 (12 meses)	Jul. 82-Feb. 83 (8 meses)	5
	Zapopan, Zapopan	14169	Jun.-Jul 82 (2 meses)	Jun.	
1989-1990	Guadalajara, Guadalajara	14066	Ago. 88-May. 90 (22 meses)	Mar. 89-May. 90 (15 meses)	18
	La Experiencia, Guad.	14329	Jul. 88-Jul. 89 (13 meses)	feb 89-jun 89	
2009- 2010	Cuquío, Cuquío	14039	Ago. 09-Ene. 10 (6 meses)	Sep. 09	4
	Guadalajara, Guadalajara	14066	Ago. 09-Ene. 10 (6 meses)		
2011-2012	Cuquío, Cuquío	14039	Feb. -May. 11 (4 meses)	Sep. 11-Ene. 12 (5 meses)	4
	La Experiencia, Guad.	14329	Sep. 11-May. 12 (9 meses)		
2017	Zapopan, Zapopan	14169	Jul.-Ago. (2 meses)		2
	La Experiencia, Guad.	14329	Jul.-Sep. (3 meses)		
2018	La Experiencia, Guad.	14329	Feb.-Abr. (3 meses)		3

Fuente: Elaboración propia

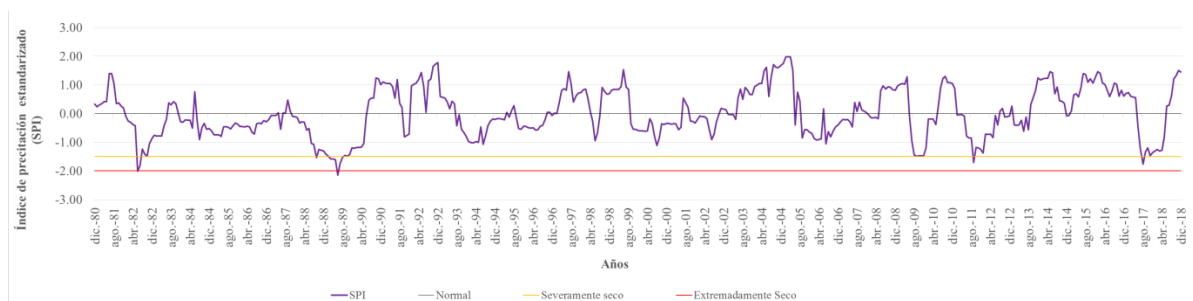


Figura 32. Comportamiento histórico del SPI para la cuenca del Río Santiago 2

Fuente: Elaboración propia

Entre los años de registro con sequía meteorológica, se observan cuatro episodios de sequía de larga duración. El primero fue entre 1982 y 1983 con una duración de 12 meses (Jun. 82-May. 83), después fue entre 1989 y 1990 con una duración de 10 meses (Jul. 89 – Abr. 90), posteriormente fue entre 2005-2006 con una duración de ocho meses (Dic.05-Jul.06) y por último fue entre el 2011 y 2012 con una duración de seis meses (Ago. 2011- Ene. 2012). En

la Tabla 41 se muestran los tipos de sequía por año y su duración y en la Figura 33 se muestra el comportamiento histórico del SPI en el AMG.

Tabla 41. Valores característicos de la sequía (moderada, severa y extrema) en el AMG.

Año	Periodo /total meses	Duración/tipo de sequía		
		Moderada	Severa	Extrema
1982- 1983	Jun. 82-May. 83 (12 meses)	Jun., Ago. , Nov. 82-May 83 (9 meses)	Jul., Sep.-Oct 82 (3 meses)	
1989-1990	Jul. 89-Abr. 90 (10 meses)	Jul.-Ago 89, Nov. 89-May. 90 (9 meses)	Sep. 89 (1 mes)	
1994	1	Jul. (1 mes)		
1998	2	Jun.-Jul. (2 meses)		
2000	2	Ago.-Sep. (2 meses)		
2005-2006	8	Dic. 05-Jul. 06 (8 meses)		
2011-2012	Ago. 11-Ene. 12 (6 meses)	Ago., Oct. 11-Ene. 12 (5 meses)	Sep. 11 (1 mes)	
2013	1	Ago. (1 mes)		

Fuente: Elaboración propia

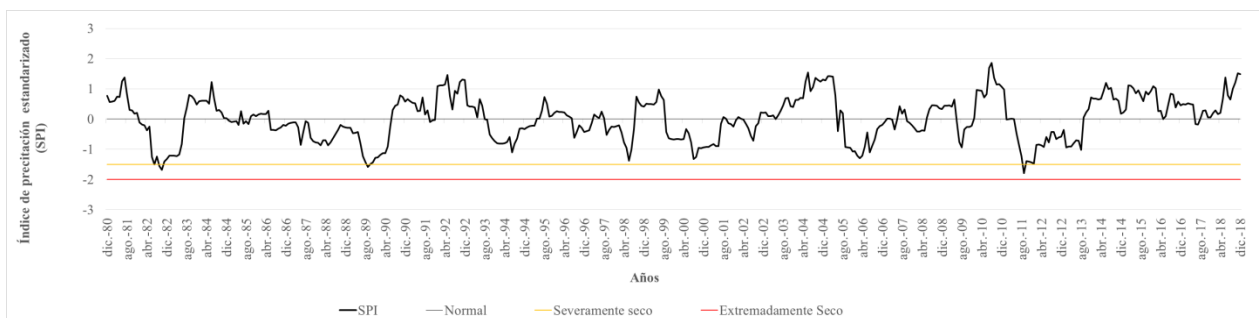


Figura 33. Comportamiento histórico del SPI para el AMG.

Fuente: Elaboración propia

4.2. Análisis y Caracterización de la sequía hidrológica, estudio de caso (AHM y AMG)

4.2.1. Selección de estaciones hidrométricas, datos hidrométricos mensuales y series temporales

La selección de estaciones hidrométricas estuvo sujeta a la disponibilidad de información de los datos hidrométricos proporcionados por la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos de la Conagua. Para completar el registro de datos faltantes, la Conagua lo completo con estaciones hidrométricas convencionales cercanas a la estación Bandas y con presas aguas arriba de las estaciones. En la Figura 34, Tabla 42, Figura 35 y Tabla 43 se muestra la ubicación y el nombre de las estaciones hidrométricas seleccionadas en Nuevo León y Jalisco.

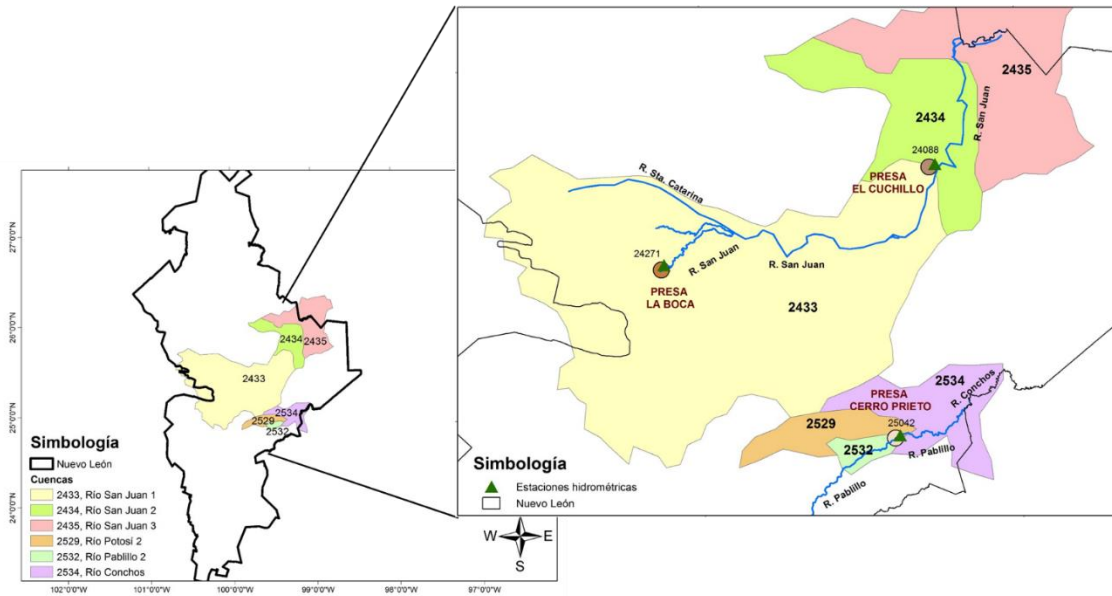


Tabla 42

Figura 34. Estaciones hidrométricas AHM
Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Estaciones hidrométricas seleccionadas en Nuevo León.

Núm.	Clave de la estación	Nombre de la estación	Corriente	Cuenca
1	24271	La Boca	Río San Juan	Río San Juan 1
2	24088	El Cuchillo	Río San Juan	Río San Juan 1
3	25042	Cerro Prieto	Río Pablillo	Río Pablillo 2

Fuente: Elaboración propia con información de Conagua

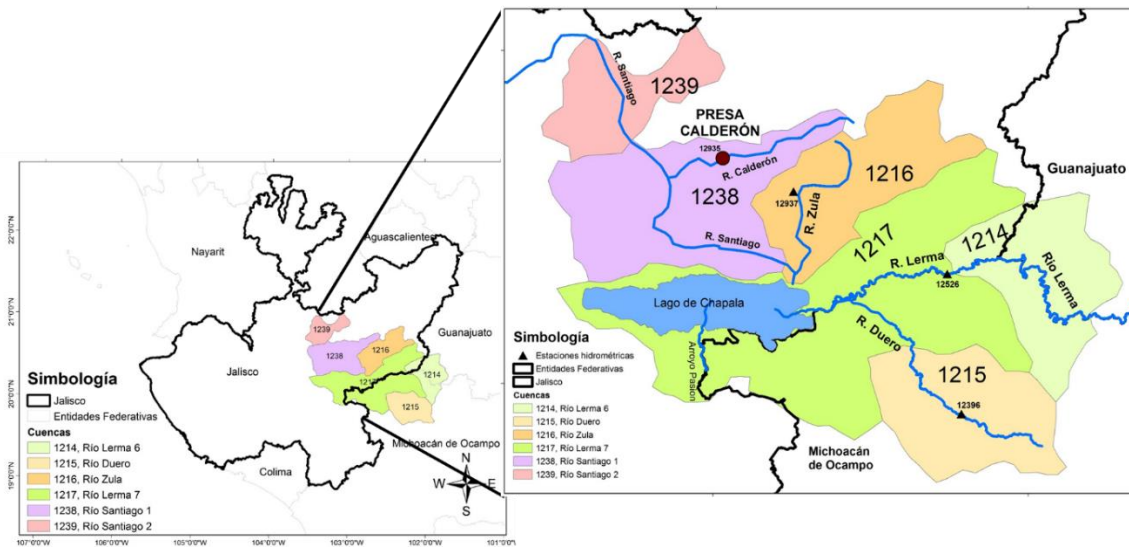


Figura 35. Estaciones hidrométricas AMG
Fuente: Elaboración propia

Tabla 43. Estaciones hidrométricas seleccionadas en Jalisco.

Núm.	Clave de la estación	Nombre de la estación	Corriente	Cuenca
1	12396	Camécuaro	Río Duero	Río Duero
2	12526	Yurecuaro II	Río Lerma	Río Lerma 7
4	12935	Calderón	Río Calderón	Río Santiago 1
3	12937	Zula	Río Zula	Río Zula

Fuente: Elaboración propia con información de Conagua

Los datos originales de caudal diario en m³/s se agregaron a volúmenes mensuales, posteriormente estos volúmenes se agruparon de acuerdo al año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses) entre 1980-2018, después se normalizaron los datos utilizando las distribuciones de probabilidad Log-normal y Gamma, posteriormente se les aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) para seleccionar la que mejor se ajusta. Las distribuciones que se aplicaron se definen en el siguiente apartado.

4.2.2. Distribuciones de probabilidad

La distribución de probabilidad de caudal para cuencas pequeñas y períodos de referencia cortos (por ejemplo, octubre-diciembre) suele estar sesgada y, por lo tanto, puede requerir normalización mediante el uso de distribuciones como las distribuciones gamma o log-normal (Batelis & Nalbantis 2014). Varios estudios han recomendado el uso de la distribución log-normal para ajustar los datos de caudal (Kroll & Vogel 2002; Zaidman et al., 2002; Yue & Wang 2004; Chen et al., 2006; McMahon et al., 2007; Nalbantis 2008; Shukla & Wood 2008; Nalbantis & Tsakiris 2009; Yang 2010). Vicente-Serrano et al. (2012) señalaron que el uso de esta distribución es inapropiado en una región con alta variabilidad en los regímenes fluviales y las características del caudal (Tabari et al., 2013).

4.2.2.1. Función de distribución logarítmica normal

Con base en la teoría conceptual de la probabilidad, la variable aleatoria positiva (por ejemplo, caudal) va seguida de la distribución logarítmica normal. Este es el caso en el que el logaritmo se distribuye normalmente (Malik et al., 2021). la función de densidad de probabilidad de la distribución logarítmica normal se da como (Bhattacharjya 2004; Mandal et al., 2015):

$$f_{LN}(x) = \frac{1}{x\sigma_{\ln(x)}\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x)-\mu_{\ln(x)}}{\sigma_{\ln(x)}}\right)^2\right], \text{ for } x, \sigma > 0 \quad -\infty < \mu < \infty \quad (3)$$

Dónde $\mu_{\ln(x)}$ = la escala y $\sigma_{\ln(x)}$ = los parámetros de forma de la distribución.

4.2.2.2. Función de distribución gamma

La distribución gamma se puede definir utilizando los parámetros de forma y escala. La función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria (por ejemplo, lluvia) (Malik et al., 2021) se da como (Bhattacharjya 2004):

$$f_G(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}}{\Gamma(\alpha)} \text{ for } x \geq 0; \alpha, \beta > 0 \quad (4)$$

Dónde $X \geq 0$ = la cantidad de flujo de la corriente; $\alpha, \beta > 0$ = parámetro de forma y escala; Γ = la función gamma.

4.2.2.3. Prueba de Kolmogorov-Smirnov

La prueba KS no es válida para variables discretas. Sin embargo, es una prueba estadística para una muestra en la prueba de dos colas, que es la diferencia máxima absoluta entre las funciones de distribución acumulativa (CDFs) empírica y teórica (Malik et al., 2021) tal que (Stephens 1974; Hassani & Silva 2015):

$$D_{cal} = \max_x |F_n(x) - F(x)| \quad (5)$$

Dónde D_{cal} = el valor calculado de la prueba K-S; n = el número de observaciones en la población X ; \max_x = el máximo del conjunto de distancias; $F_n(x)$ y $F(x)$ = Las CDFs empíricas y teóricas, respectivamente. La CDFs empírica y teórica para una variante continua X ($x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ representan las estadísticas de orden) de una muestra de tamaño n se definen como:

$$F_n(x) = P_n(X \leq x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I(X_i - x) \quad (6)$$

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (7)$$

Dónde P = la probabilidad de que X tome un valor menor o igual a x ; I = la función del indicador, y $F_n(x) = 0$, para $x < x_{(1)}$, $F_n(x) = 1$, para $x \geq x_{(n)}$. Cuando el tamaño de la muestra $n > 30$, luego el valor crítico o valor tabulado (D_{tab}) a niveles de significancia del 5% se calculan usando (Lindgren 1968 mencionado en Malik et al., 2021):

$$D_{tab} = \frac{1.358}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

Donde D_{tab} = el valor tabulado de la prueba K-S. El valor crítico (D_{tab}) a niveles de significancia del 5% es 0.22 para datos de caudal de 38 años. Basado en estos valores críticos, hipótesis nula (H_0) y alternativa (H_1) se proponen como:

- H_0 : los datos se extraen de la distribución teórica
 H_1 : los datos no se extraen de la distribución teórica

Si el valor calculado de la estadística de prueba K-S (D_{cal}) es menor que el valor tabulado (D_{tab}), entonces se acepta H_0 y se rechaza H_1 (Malik et al., 2021).

La evaluación de la prueba Kolmogorov-Smirnov para las distribuciones de probabilidad log-normal y gamma de las tres estaciones hidrométricas de Nuevo León y cuatro estaciones de Jalisco. Con un valor de significancia del 5% es 0.22 para datos de caudal de 38 años. Como

se observa en la Tabla 44 y Tabla 45 la distribución gamma se ajusta bien en el 100% de la escala de tiempo evaluada (octubre-septiembre) por lo tanto se decidió utilizarla.

Tabla 44. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos distribuciones de probabilidad para datos de flujo anual (Oct.-Sep.) en el estado de Nuevo León.

Clave estación hidrométrica	Estación hidrométrica	Distribución	Oct.-Sep. (año)
24271	La boca	Log-Normal	0.81
		Gamma	0.04
24088	El cuchillo	Log-Normal	0.69
		Gamma	0.02
24042	Cerro prieto	Log-Normal	0.71
		Gamma	0.03

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Resultados de la prueba de Kolmogorov-Smirnov de dos distribuciones de probabilidad para datos de flujo anual (Oct.-Sep.) en el estado de Jalisco.

Clave estación hidrométrica	Estación hidrométrica	Distribución	Oct.-Sep. (año)
12935	Calderón	Log-Normal	0.97
		Gamma	0.03
12936	Camécuaro	Log-Normal	0.95
		Gamma	0.08
12526	Yurecuaro	Log-Normal	0.94
		Gamma	0.03
12937	Zula	Log-Normal	0.97
		Gamma	0.02

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Métodos de evaluación de la sequía hidrológica

Existen diferentes índices para analizar la sequía hidrológica, dentro de los que destacan: el índice de sequía hidrológica de Palmer (PDSI), el índice de suministro de agua superficial (SWSI), el índice de deficiencia de escurrimiento regional (RDI), el índice de escurrimiento estandarizado (SRI) y el índice de sequía de caudales (SDI) (Hao & Aghakouchak, 2014; Hao & Singh, 2015; Hong et al., 2015; Rajsekhar et al., 2015; Ravelo et al., 2014; Tabari et al., 2013). En general, los índices para caracterizar la sequía hidrológica requieren de bastante información y de cálculos intensivos; sin embargo, el SDI es uno de los índices más sencillos y eficaces que se ha propuesto de manera reciente (Esquivel-Arriaga et al., 2014), al requerir sólo valores de caudal y su metodología; características y ventajas son análogas al índice de precipitación estandarizada (SPI) (González-López & Carvajal-Escobar, 2020).

4.2.3.1. Índice de sequía de los caudales fluviales (SDI)

Para caracterizar la sequía hidrológica, Nalbantis & Tsakiris (2009) desarrollaron el Índice de sequía de los caudales fluviales (SDI) considerando el valor del caudal mensual ($Q_{i,j}$), donde i es el año hidrológico y j es el mes dentro de ese año hidrológico. Con base en esta serie se obtiene

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j}; \quad \text{for } i = 1,2,3, \dots, \quad j = 1,2,3, \dots, 12, \quad k = 1,2,3,4 \quad (9)$$

Donde, $V_{i,k}$ es el volumen de caudal acumulado para el i -ésimo año hidrológico y el k -ésimo período de referencia. Para 3 meses del SDI el valor de $k = 1$ de manera similar $k=2$, $k=3$ y $k=4$ para 6 meses, 9 meses y 12 meses respectivamente. El SDI se define en función de los volúmenes de caudal acumulados $V_{i,k}$ para cada período de referencia k del i -ésimo año hidrológico de la siguiente manera:

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k}; \quad for: i = 1, 2, \dots \quad k = 1, 2, 3, 4 \quad (10)$$

Donde \bar{V}_k y S_k son, respectivamente, la media y la desviación estándar de los volúmenes acumulados de caudal del período de referencia k , ya que se estiman durante un período prolongado de tiempo. En esta definición, el nivel de truncamiento se establece en V_k , aunque se podrían usar otros valores (Nalbantis 2008; Nalbantis y Tsakiris 2009).

Según Nalbantis Nalbantis & Tsakiris (2009), se pueden definir diferentes tipos de sequía hidrológica utilizando los resultados obtenidos del cálculo del SDI en cada período de tiempo. Los criterios de clasificación se describen en Tabla 46. Los valores de SDI positivos reflejan condiciones húmedas, mientras que los valores negativos indican una sequía hidrológica. Con base en la SDI, se definen cinco estados de sequía hidrológica que se indican con un número entero que va de 0 (sin sequía) a 4 (sequía extrema).

Tabla 46. Definición de estados de sequía hidrológica con SDI

Estado	Descripción	Criterio	Probabilidad (%)
0	No hay sequía	SDI mayor a 0.0	50.0
1	Sequía leve	$-1.0 \leq SDI < 0.0$	34.1
2	Sequía moderada	$-1.5 \leq SDI < -1.0$	9.2
3	Sequía severa	$-2.0 \leq SDI < -1.5$	4.4
4	Sequía extrema	$SDI < -2.0$	2.3

Fuente: Nalbantis & Tsakiris (2009)

Para calcular el SDI se utilizó el software DrinC el cual se encuentra en el siguiente enlace <http://drought-software.com/>. Los datos de entrada pueden ser mensuales, anuales o estacionales y existe la opción de utilizar series de datos reales (hasta 150 años) o sintéticos (hasta 1500 años). Los datos se pueden importar directamente desde archivos de MS Excel (.xls). Para los datos mensuales, el software inspecciona automáticamente la estructura del archivo e identifica la posición de los datos dentro de la hoja de cálculo, mientras que para los datos anuales o estacionales, el usuario define las celdas desde las que debe comenzar la carga. La base de referencia principal en DrinC es el año hidrológico (octubre - septiembre) (Tigkas et al., 2015). En este software cuenta con la aplicación de dos distribuciones de probabilidad (logarítmica normal y gamma), para este trabajo y de acuerdo a los resultados de la prueba de KS, se utilizó la distribución gamma y se aplicó la clasificación de sequía hidrológica de Nalbantis & Tsakiris (2009). Por último se calculó su probabilidad de ocurrencia siguiendo la metodología propuesta por Malik et al., (2021). Además se realizó una comparación de la sequía hidrológica (SDI) con la meteorológica (SPI) por cuenca y AM.

Es importante mencionar que existe un desfase natural entre la precipitación y el escurrimiento (Conagua, 2016).

4.2.4. Análisis de la sequía hidrológica en las áreas de estudio periodo (1980-2018)

4.2.4.1. AHM

Los resultados al estimar el SDI en la estación hidrométrica 24271(La Boca) para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses), se muestran en la Figura 36 se encontró que 62 % de los meses registrados presentan sequía, de los cuales el 80% corresponden la sequía leve, 18% a la sequía moderada y 2% a sequía severa. Los meses más críticos fueron Sep.-Oct. 1987, Sep. 1990 y Sep.-Oct. 1991 los cuales registraron una sequía severa

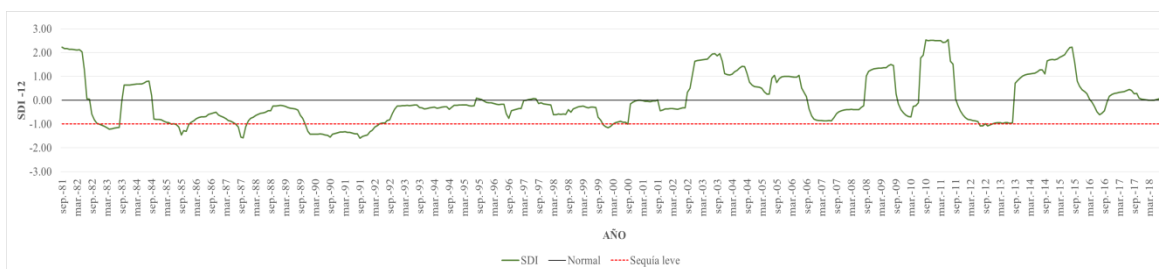


Figura 36. SDI de la estación hidrométrica La Boca (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

Los resultados al estimar el SDI en la estación hidrométrica 24088 (El Cuchillo) para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses) , se muestran en la Figura 37. Se encontró que 51% de los meses registrados presentan sequía, de los cuales el 71% corresponden la sequía leve, 24% a la sequía moderada y 5% a sequía severa. Los meses más críticos fueron Dic.94-Feb.95, Sep.-Dic.95, Jun.-Jul.99 y Jul.-Ago.03, los cuales registraron una sequía severa.

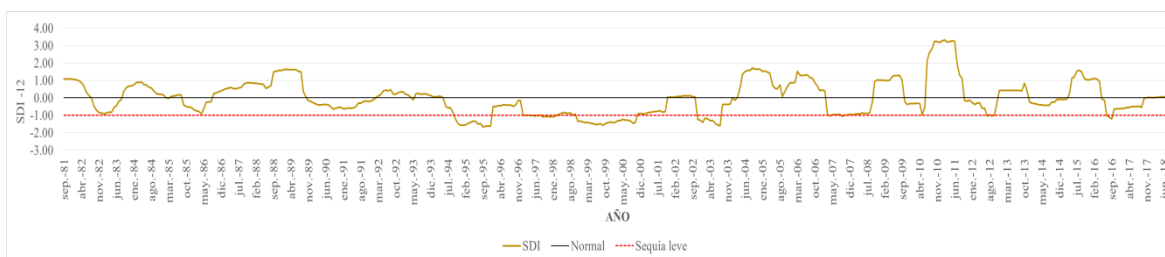


Figura 37. SDI de la estación hidrométrica El Cuchillo (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación del SDI de las estaciones hidrométricas La Boca y el Cuchillo y el SPI de la cuenca del Río San Juan 1 (Figura 38), se observa que el SDI en el periodo Ago.-Oct.12 se presentó una sequía moderada siendo que el SPI presento una de las sequias más prolongadas en el periodo Sep.11-Ago.12 con una sequía moderada y severa.

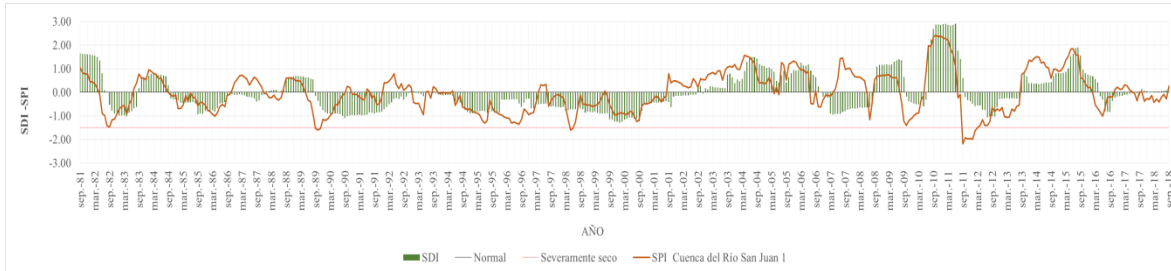


Figura 38. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río San Juan 1 (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

Los resultados al estimar el SDI en la estación hidrométrica 25042 (Cerro Prieto) para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses), se muestran en la Figura 39. Se encontró que 63% de los años registrados presentan sequía, de los cuales el 83% corresponden la sequía leve, 8% a la sequía moderada, 5% a sequía severa y 4% a la sequía extrema. Los meses más críticos fueron Sep.90-Mar.91 y Ago.-Dic.93 los cuales registraron una sequía extrema.

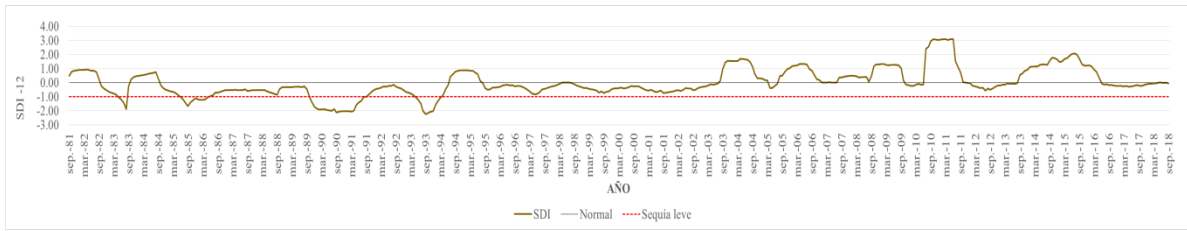


Figura 39. SDI de la estación hidrométrica Cerro Prieto (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la comparación del SDI de la estación hidrométrica Cerro Prieto y el SPI de la cuenca del Río Pablillo 2 (Figura 40), se observa que el SDI en el periodo Nov.89-Sep.91 con una duración de 23 meses se presentó una sequía moderada, severa y extrema, siendo que el SPI en los periodos Sep.89-May.90 y Dic.90-May.91 se presentó una sequía moderada y severa.

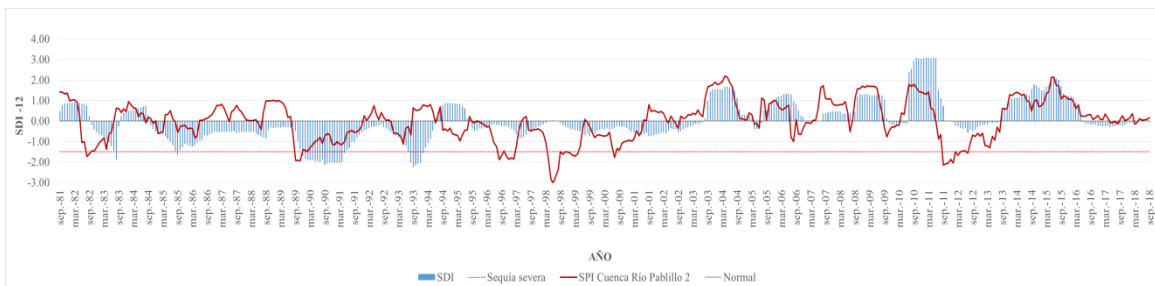


Figura 40. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Pablillo 2 (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados al estimar el SDI en AHM para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses), se muestran en la Figura 41. Se encontró que 65% de meses registrados presentan sequía, de los cuales el 92% corresponden la sequía

leve y el 8% a la sequía moderada. El periodo más crítico fue Dic.89-Jun.91 los cuales registraron una sequía moderada.

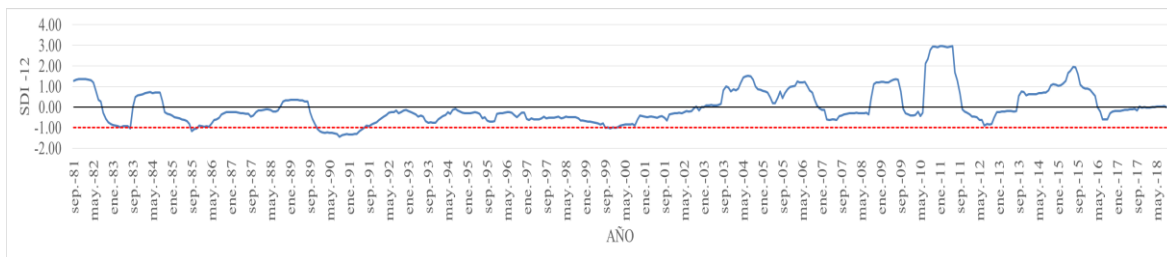


Figura 41. SDI del AHM (1981-2018)

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la comparación del SDI y el SPI (Figura 42). Se observa que el SDI en el periodo 1989-1991 (Dic.89 -Jun. 91) se presentó una sequía moderada siendo que el SPI presento una de las sequias más prolongadas en los años 1989-1990 (Sep.89-Ago.90) con una sequía moderada y severa y en 1991 (Feb.-May.) con una sequía moderada.

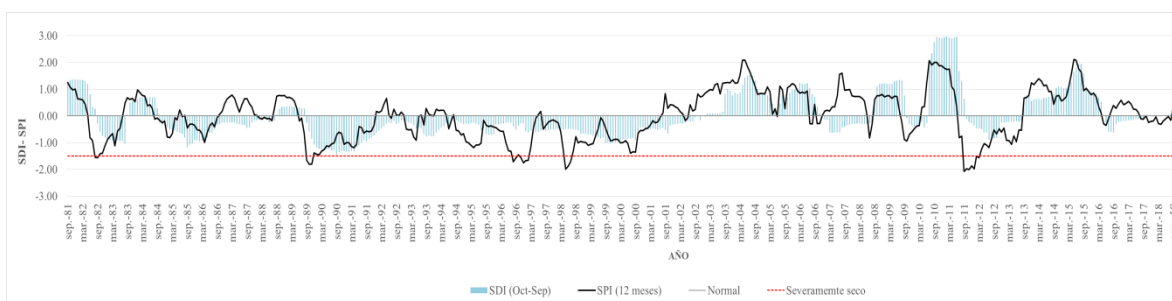


Figura 42. Comparación del SDI con el SPI en el AHM (1981-2018)

Fuente: Elaboración propia

4.2.4.2. AMG.

Los resultados al estimar el SDI en la estación hidrométrica 12396 (Camécuaro) para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses), se muestran en la Figura 43. Se encontró que 52% de meses registrados presentan sequía, de los cuales el 67% corresponden la sequía leve, 26% a la sequía moderada y 6% a la sequía severa. Los periodos más críticos fueron Sep.-Dic.83 y Mar.-Dic.13 los cuales registraron una sequía severa.

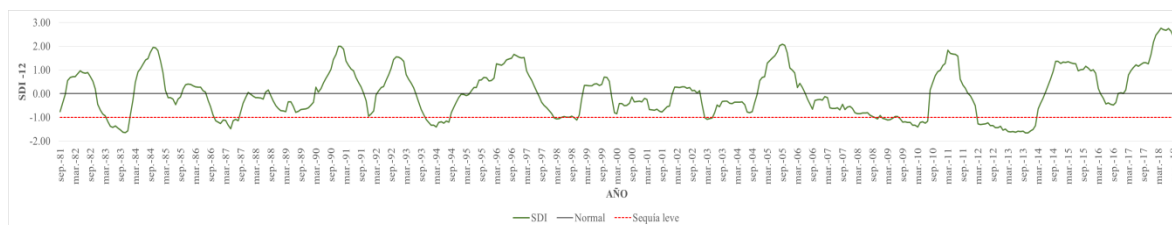


Figura 43. SDI de la estación hidrométrica Camécuaro (1981-2018)

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación del SDI y el SPI (Figura 44). Se observa que el SDI en el periodo Abr.-Dic. 83 se presentó una sequía moderada y severa, en el periodo No.86-Ago.87 se presentó una sequía moderada, en el periodo Nov.93-Ago.94 se presentó una sequía moderada y por último en el periodo Mar.-Dic.13 se presentó una sequía severa con una duración de 10 meses. Siendo que el SPI presento una sequía severa y extrema en el periodo Jul.82-Jun.83, en el periodo Nov.93-May.94 presento una sequía moderada y por último en el periodo Feb.-Ago. 13 una sequía moderada y severa.

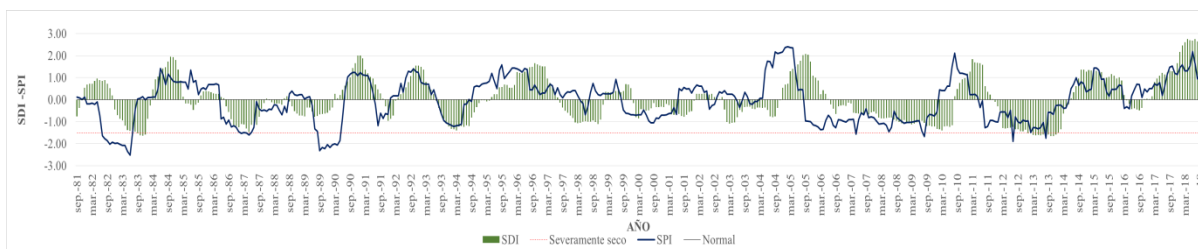


Figura 44. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Duero (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

Los resultados al estimar el SDI en la estación hidrométrica 12526 (Yurecuaro II) para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses), se muestran en la Figura 45. Se encontró que 46 % de los meses registrados presentan sequía, de los cuales el 59 % corresponden la sequía leve, 22 % a la sequía moderada, 14% a sequía severa y 4% a la sequía extrema. El periodo más crítico fue Oct.11-Jun.12 con una sequía extrema

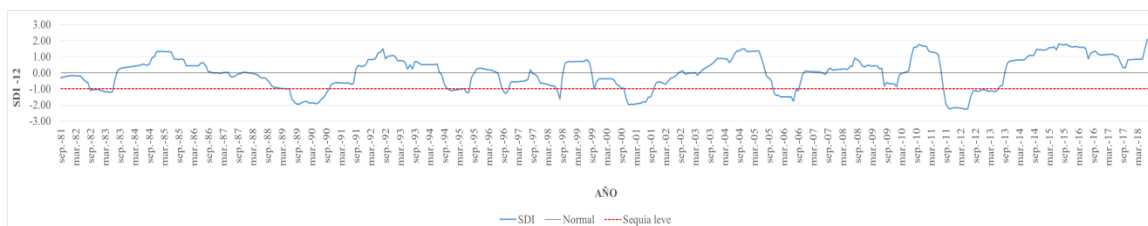


Figura 45. SDI de la estación hidrométrica Yurecuaro II (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación del SDI y el SPI (Figura 46). Se observa que el SDI en el periodo Jul.89-Oct.90 se presentó una sequía severa, en el periodo Nov.05-Sep.06 se presentó una sequía moderada y severa y por último en el periodo Sep.11-Jul.13 se presentó una sequía moderada, severa y extrema con duración de 22 meses. Siendo que el SPI en Jul.89-Feb.90 y Sep.05-Ago.06 se presentaron sequías moderadas y severas, en el periodo Jul.11-May.12 se presentó una sequía moderada, severa y extrema con una duración de 11 meses.

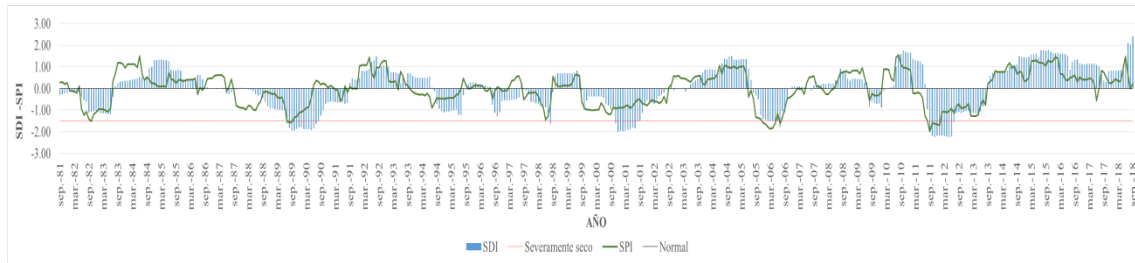


Figura 46. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Lerma 7 (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

Los resultados al estimar el SDI en la estación hidrométrica 12935 (Calderón) para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses) , se muestran en la Figura 47. Se encontró que 49% de los meses registrados presentan sequía, de los cuales el 61 % corresponden la sequía leve, 37% a la sequía moderada, 2% a la sequía severa. Los periodos más críticos fueron Mar.-Abr.01 y Jul.-Sep. 13 con una sequía severa.

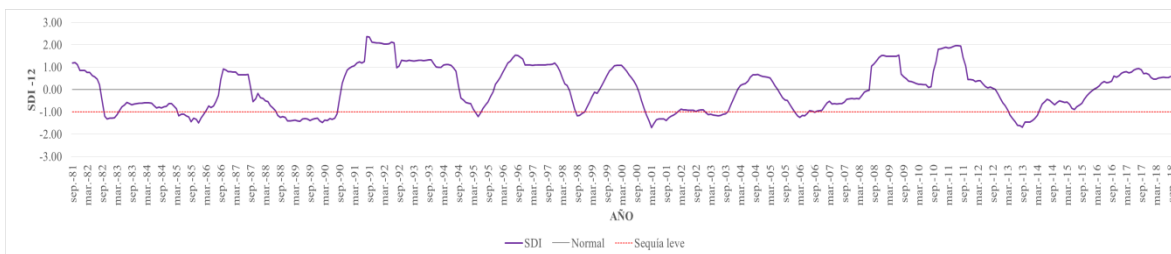


Figura 47. SDI de la estación hidrométrica Calderón (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación del SDI y el SPI (Figura 48). Se observa que el SDI en el periodo Sep.-Nov.98 se presentó una sequía moderada, en el periodo Mar.-Abr.01 se presentó una sequía severa, en el periodo Ene.-Jul. 06 se presentó una sequía moderada y en el periodo Jul.-Sep. 13 una sequía severa. Siendo que el SPI en los periodos Jul.-Ago.98 y Ago. 00-Jun.01 se presentaron sequías moderadas y en el periodo Feb.-Oct.13 se presentaron sequias moderadas y severas.

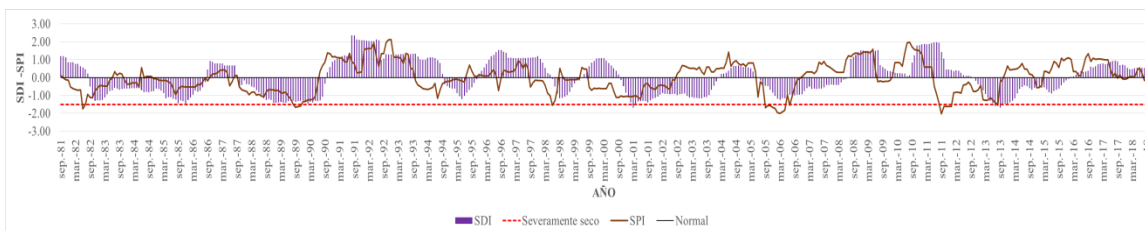


Figura 48. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Santiago 1 (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

Los resultados al estimar el SDI en la estación hidrométrica 12937 (Zula) para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses), se muestran en la Figura 49. Se encontró que 48 % de los meses registrados presentan sequía, de los cuales el 58 % corresponden la sequía leve, 27% a la sequía moderada, 13% a la sequía

severa y 2% a la sequía extrema. El periodo más crítico fue en Oct.11-Ene.12 con una sequía extrema y Abr.-Jul.90, Oct.86-May.87, Oct.00-Jun. 01, Jul.-Ago. 06 con sequías severas.

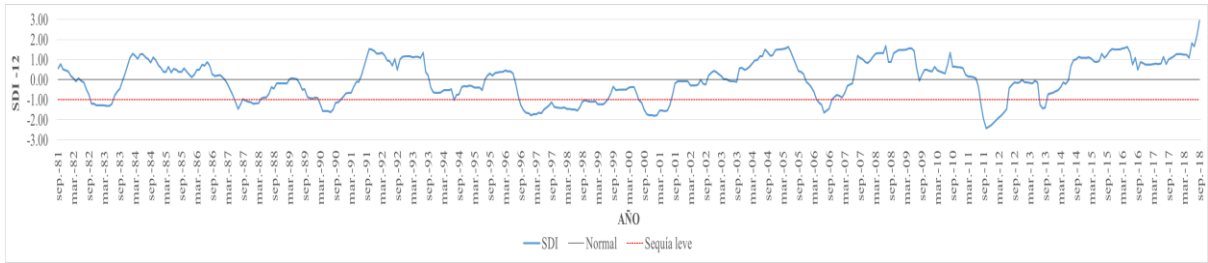


Figura 49. SDI de la estación hidrométrica Zula (1981-2018)

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación del SDI y el SPI (Figura 50). Se observa que el SDI en los periodos Oct.82-Jun.83 y Oct.87-Mar.88 se presentaron sequías moderadas, En el periodo Oct.00-Jun. 01 se presentó una sequía severa y en el periodo Ago.11-Jun.12 se presentó una sequía moderada, severa y extrema con una duración de 11 meses. Siendo que el SPI en los periodos de Jul.82-May.83, Sep.87-Jun.88 y Ago.00-Jun.01 presentaron sequías moderadas y severas y por último en el periodo Jul.11-Ene.12 se presentó una sequía moderadas.

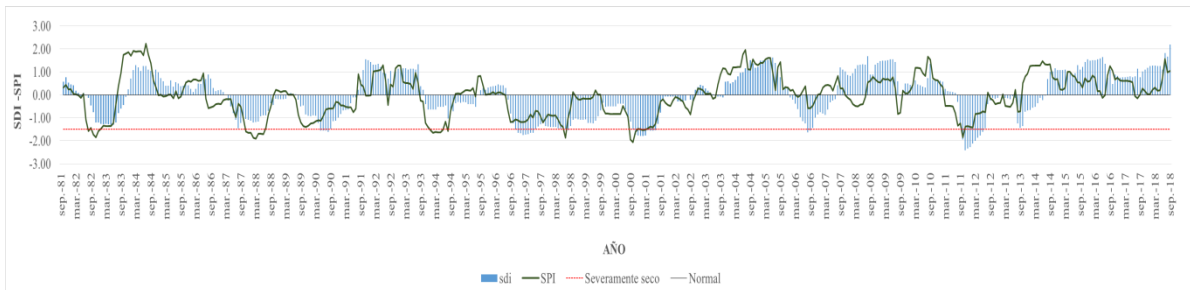


Figura 50. Comparación del SDI con el SPI de la cuenca del Río Zula (1981-2018)

Fuente: Elaboración propia

Los resultados al estimar el SDI en AHM para el año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años (456 meses), se muestran en la Figura 51. Se encontró que 51 % de los años registrados presentan sequía, de los cuales el 81% corresponden a la sequía leve y el 19% a la sequía moderada. Los periodos más críticos fueron Ago.89-Jun.90, Nov. 00- Ago.01, Nov.11-Jun.12 y Abr.-Sep. 13, los cuales registraron una sequía moderada.

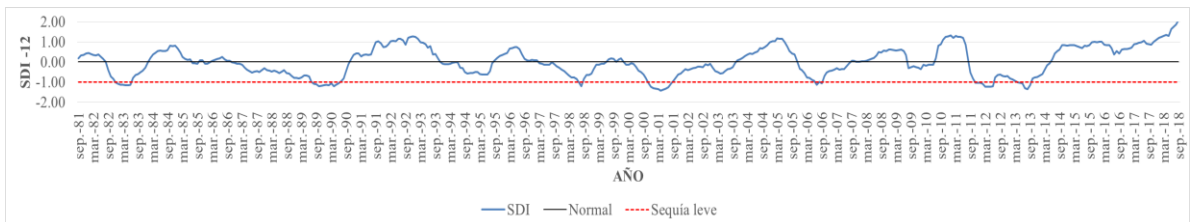


Figura 51. SDI del AMG (1981-2018)

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación del SDI y el SPI, se observa que el SDI en los periodos Ago.89-Jun.90 y Nov.11-Jun.12 se presentaron sequías moderadas con una duración de 11 y ocho meses respectivamente. Siendo que el SPI presento una de las sequias más prolongadas en los años 1989-1990 (jul.89-abr.90) con una sequía moderada y severa y una duración de 10 meses, en el periodo Ago. 11-Ene. 12 se presentó otro episodio de sequía moderada y severa con una duración de 6 meses (Figura 52).

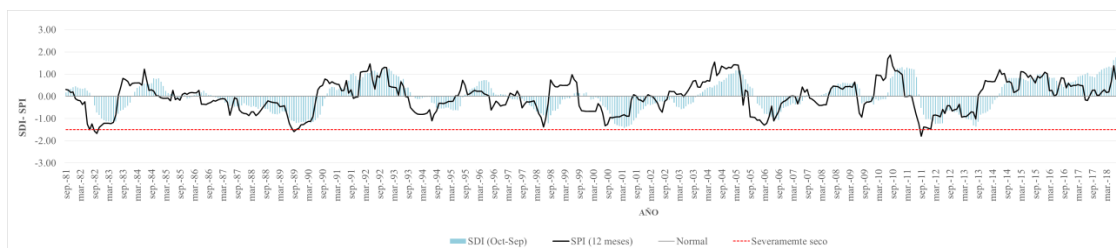


Figura 52. Comparación del SDI con el SPI en el AMG (1981-2018)
Fuente: Elaboración propia

4.2.5. Probabilidad de ocurrencia de sequía hidrológica

La probabilidad de ocurrencia de eventos de sequía (moderada, severa y extrema) en la el AHM y AMG se calculó de acuerdo a la metodología propuesta por Malik et al. (2021), en su trabajo ellos calculan la probabilidad del evento de sequía como;

$$POCSEC = \frac{\text{Meses del evento de sequía}}{\text{Total de meses de los eventos de sequía}} \quad (11)$$

Dónde: *POCSEC* es la probabilidad de ocurrencia de sequía. Los meses del evento de sequía a evaluar para este trabajo son la sequía moderada, severa y extrema y el total de meses de los eventos de sequía se refiere a la sumatoria de los eventos evaluados.

En el AHM para el periodo de estudio (1980-2018), la probabilidad de ocurrencia de sequias moderada fue mayor que las sequías severas y extremas con 0.74, 0.18 y 0.08 respectivamente. En la estación hidrométrica El Cuchillo se presentaron el mayor número de eventos de sequía hidrológica con 67 meses (moderado y severo). Ver Tabla 47.

Tabla 47. Probabilidad de ocurrencia de la sequía hidrológica en escala de tiempo de 12 meses del SDI (Oct.- Sep.) en el AHM

Clave	Estación	Descripción	Eventos de sequía		
			Moderada	Severa	Extrema
24271	La Boca	Meses del evento	52	5	0
		Meses totales	57	57	57
		Probabilidad	0.91	0.09	0.00
24088	El Cuchillo	Meses del evento	55	12	0
		Meses totales	67	67	67
		Probabilidad	0.82	0.18	0.00
25042	Cerro Prieto	Meses del evento	24	14	12
		Meses totales	50	50	50
		Probabilidad	0.48	0.28	0.24
AHM		Probabilidad	0.74	0.18	0.08

Fuente: Elaboración propia

En el AMG para el periodo de estudio (1980-2018), la probabilidad de ocurrencia de sequías moderada fue mayor que las sequías severas y extremas con 0.74, 0.22 y 0.04 respectivamente. En la estación hidrométrica Zula se presentaron el mayor número de eventos de sequía hidrológica con 93 meses (moderada, severa y extrema). Ver Tabla 48.

Tabla 48. Probabilidad de ocurrencia de la sequía hidrológica en escala de tiempo de 12 meses del SDI (octubre-septiembre) en el AMG.

Clave	Estación	Descripción	Eventos de sequía		
			Moderada	Severa	Extrema
12396	Camécuaro	Meses del evento	64	15	0
		Meses totales	79	79	79
		Probabilidad	0.81	0.19	0
12526	Yurecuaro II	Años del evento	47	29	9
		Años totales	85	85	85
		Probabilidad	0.55	0.34	0.11
12935	Calderón	Años del evento	84	5	0
		Años totales	89	89	89
		Probabilidad	0.94	0.06	0.00
12937	Zula	Años del evento	60	29	4
		Años totales	93	93	93
		Probabilidad	0.65	0.31	0.04
AMG		Probabilidad	0.74	0.22	0.04

Fuente: Elaboración propia

4.3. Conclusiones sobre el peligro por sequía

a) Sequia meteorológica

El AHM tiene dos factores principales que la hacen muy sensible a las sequías, el primer factor es el área geográfica donde se encuentra y el segundo factor es que más de la mitad de su suministro provienen de fuentes superficiales. La precipitación media anual es de 622 mm donde en el periodo (mayo-octubre) se concentró el 77% de la precipitación total. En el periodo de estudio (1980-2018) ocurrieron 11 años con lluvias por debajo de la media (28.1%). Los meses con sequía fueron 229 de un total 468, lo que representa el 49%, dentro de este porcentaje el 9% corresponde a sequía severa y el 5% a sequía extrema.

El promedio de eventos de sequía severa y extrema en las cuencas de estudio es de nueve. El análisis en la zona de estudio mostro que entre el 26 y el 34% del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5.

En el caso del AMG por el tipo de clima donde se encuentra, la mayor precipitación es en verano. El factor que la hace sensible a las sequías es que el 60% del suministro del agua proviene del lago de Chapala. La precipitación media anual en el estado es de 865 mm, donde en el periodo (junio-octubre) se concentró el 90.44 % de la precipitación total. Se observa que en el periodo de estudio (1980-2018) ocurrieron 20 años con lluvias por debajo de la media (51.3%). Los meses con sequía fueron 226 de un total de 468, lo que representa el 48%, de este porcentaje el 9% corresponde a sequía severa y el 5% a sequía extrema.

EL promedio de eventos de sequía severa y extrema en las cuencas de estudio es de 10. El análisis en la zona de estudio mostro que entre el 25 y el 35% del periodo analizado, los valores del SPI fueron menores o igual a -0.5.

Al hacer una comparación entre las dos áreas de estudio se concluye que debido a que más de la mitad del suministro provienen de fuentes superficiales las hacen muy sensibles a las sequias. En cuanto a la precipitación media se observa que aunque el AMG tiene una precipitación media mayor que el AHM, estas han estado por debajo de la media en un 51%. En cuanto al porcentaje de meses con sequía en estas dos áreas ha sido el mismo. Por lo tanto, estas dos áreas son muy sensibles a las sequías meteorológicas.

b) Sequía hidrológica

En este trabajo se calculó la sequía hidrológica en el AHM y AMG. Los datos originales de caudal diario en m³/s se agregaron a volúmenes mensuales, luego estos volúmenes se agruparon de acuerdo al año hidrológico de 12 meses (octubre-septiembre) por un periodo de 38 años con un total de 456 meses entre 1980-2018, después se normalizaron los datos utilizando las distribuciones de probabilidad Log-normal y Gamma, posteriormente se les aplico la prueba de Kolmogorov-Smirnov (KS) para seleccionar la que mejor se ajusta y el resultado mostro que la distribución gamma se ajusta bien en el 100% de la escala de tiempo evaluada. Para calcular el SDI se utilizó el software DrinC.

Los resultados del SDI en el AHM indicaron que en todas las estaciones experimentaron sequias moderadas y severas durante el periodo de estudio, los eventos de sequía severa ocurrieron principalmente en Sep.-Oct. 1987, Sep. 1990, Sep.-Oct. 1991, Dic.94-Feb.95, Sep.-Dic.95, Jun.-Jul.99 y Jul.-Ago.03. La única estación que presento una sequía extrema fue Cerro Prieto en los periodos Sep.90-Mar.91 y Ago.-Dic.93

Al realizar la comparación del SDI y el SPI del AHM se observa que el SDI en el periodo 1989-1991 (Dic.89 -Jun. 91) se presentó una sequía moderada siendo que el SPI presento una de las sequias más prolongadas en los años 1989-1990 (Sep.89-Ago.90) con una sequía moderada y severa y en 1991 (Feb.-May.) con una sequía moderada.

Los resultados del SDI en el AMG indicaron que todas las estaciones experimentaron sequias moderadas y severas durante el periodo de estudio, los eventos de sequía severa ocurrieron principalmente en Sep.-Dic.83, Oct.86-May.87, Abr.-Jul.90, Oct.00-Jun. 0, Mar.-Abr.01, Jul.-Ago. 06 y Mar.-Dic.13. Las estaciones que presentaron una sequía extrema fueron Yurecuaro II y Zula En el periodo Oct.11-Jun.12

Al realizar la comparación del SDI y el SPI en el AMG, se observa que el SDI en los periodos Ago.89-Jun.90 y Nov.11-Jun.12 se presentaron sequías moderadas. Siendo que el SPI presento una de las sequias más prolongadas en los años en jul.89-abr.90 y en el periodo Ago. 11-Ene. 12 el con sequías moderadas y severas.

En las AHM y AMG las sequias moderadas fueron mayores que las sequías severas y extremas con 0.74, 0.18, y 0.08 respectivamente para el AHM y 0.74, 0.22 y 0.04 respectivamente para el AMG.

Capítulo 5. Índices de vulnerabilidad y exposición (IV e IE)

En este punto se proponen una serie de pasos y se desarrollaron para calcular los índices de vulnerabilidad y exposición a la sequía en las áreas metropolitanas de estudio y sus OOAPAS usando indicadores socioeconómicos y ambientales a nivel AH y AM e indicadores de gestión institucional a nivel Organismo Operador que abastecen estas áreas.

El concepto de vulnerabilidad y exposición que se aplican en este proyecto es el propuesto por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2014) donde se define a la vulnerabilidad como la propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación. La fórmula usada en este estudio se presenta a continuación:

$$\text{Vulnerabilidad} = f(\text{Sensibilidad} - \text{Capacidad de adaptación}) \quad (12)$$

La sensibilidad o susceptibilidad al daño es el grado en que un sistema se ve afectada, ya sea adversa o beneficiosa, por estímulos de cambio climático (IPCC, 2001, 2014).

La capacidad de adaptación se define como el proceso de ajuste al clima real o proyectado y sus efectos. En los sistemas humanos, la capacidad de adaptación trata de moderar o evitar los daños o aprovechar las oportunidades beneficiosas. En algunos sistemas naturales, la intervención humana puede facilitar el ajuste al clima proyectado y a sus efectos (IPCC, 2014). Según el IPCC (2001) las principales características que determinan una comunidad o la capacidad de adaptación de la región incluyen la riqueza económica, la tecnología, la información y los conocimientos, infraestructura, instituciones y la equidad.

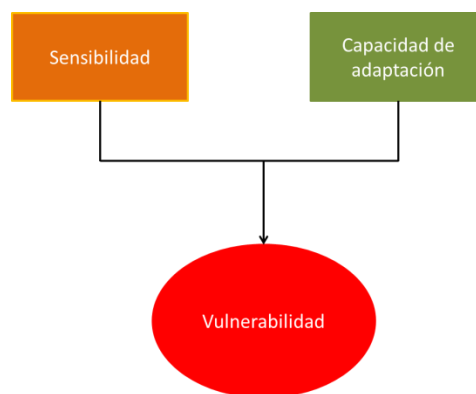


Figura 53. Componentes de la vulnerabilidad según el IPCC (2014)

Fuente: Elaboración propia

En este proyecto se consideran tres tipos básicos de vulnerabilidad: socioeconómica, de gestión institucional y ambiental, que en su conjunto dan origen a la vulnerabilidad general. Estos conceptos se definen a continuación:

Vulnerabilidad socioeconómica: La sensibilidad socioeconómica capta las características de una comunidad que influyen en su probabilidad de experimentar daños, mientras que

experimentan un episodio de sequía. La capacidad de adaptación socioeconómica es una función de dos componentes basados en activos de una comunidad como la riqueza y el capital humano que ayudan a predecir cómo los individuos pueden ser flexibles en la anticipación, la respuesta para hacer frente a, y recuperarse de los efectos de la sequía (Carrao et al., 2016).

Para definir la *vulnerabilidad de gestión institucional* se tomó como base el trabajo realizado por Buenfil (2000), que consiste en una Guía para Organismos Operadores de Agua. Esta guía analiza la estructura administrativa y financiera así como la infraestructura de los organismos operadores y los procesos tecnológicos implicados en su funcionamiento atendiendo temas especializados como el referente al balance volumétrico -cuantificación de pérdidas físicas y comerciales costos, tarifas e indicadores básicos para la gestión de los organismos operadores. Su intención es promover una gestión racional de servicio a los usuarios, satisfaciendo requisitos de cantidad, continuidad, calidad, confiabilidad y costo, dentro de un marco de desarrollo sustentable.

Partiendo de su análisis y objetivo, se formuló una definición propia para la vulnerabilidad de gestión institucional que se utiliza en este trabajo y se define de la siguiente manera:

Vulnerabilidad de gestión institucional: Cuando la estructura administrativa, financiera y la infraestructura de los organismos operadores y los procesos tecnológicos implicados en su funcionamiento, son demasiado débiles para brindar protección a la población contra los impactos de una sequía. Impidiendo así promover una gestión racional de servicio a los usuarios y no pudiendo satisfacer los requisitos de cantidad, continuidad, calidad, confiabilidad y costo.

Vulnerabilidad ambiental: Está relacionado con la susceptibilidad intrínseca del medio o los recursos naturales a sufrir daños por falta de agua, debido a que todos los seres vivos necesitan de ciertas condiciones ambientales para desarrollarse y en caso de existir deterioro de la naturaleza por la vía de la destrucción de las reservas del ambiente, los ecosistemas resultan altamente vulnerables ante amenazas como la sequía (Ortega-Gaucin et al., 2018a).

Con respecto a la exposición el IPCC (2014) la define como la presencia de personas; medios de subsistencia; especies o ecosistemas; funciones, servicios y recursos ambientales; infraestructura; o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente. Se propone la siguiente fórmula para calcular el índice de exposición general.

$$\text{Exposición General} = f(\text{IESE} + \text{IEGI} + \text{IEA}) \quad (13)$$

Dónde:

IESE= Índice de exposición socioeconómica

IEGI=Índice de exposición de gestión institucional

IEA=Índice de exposición ambiental

5.1. Construcción de los índices de vulnerabilidad y exposición

El procedimiento para la construcción de los índices de vulnerabilidad y exposición se muestra en la Figura 54.

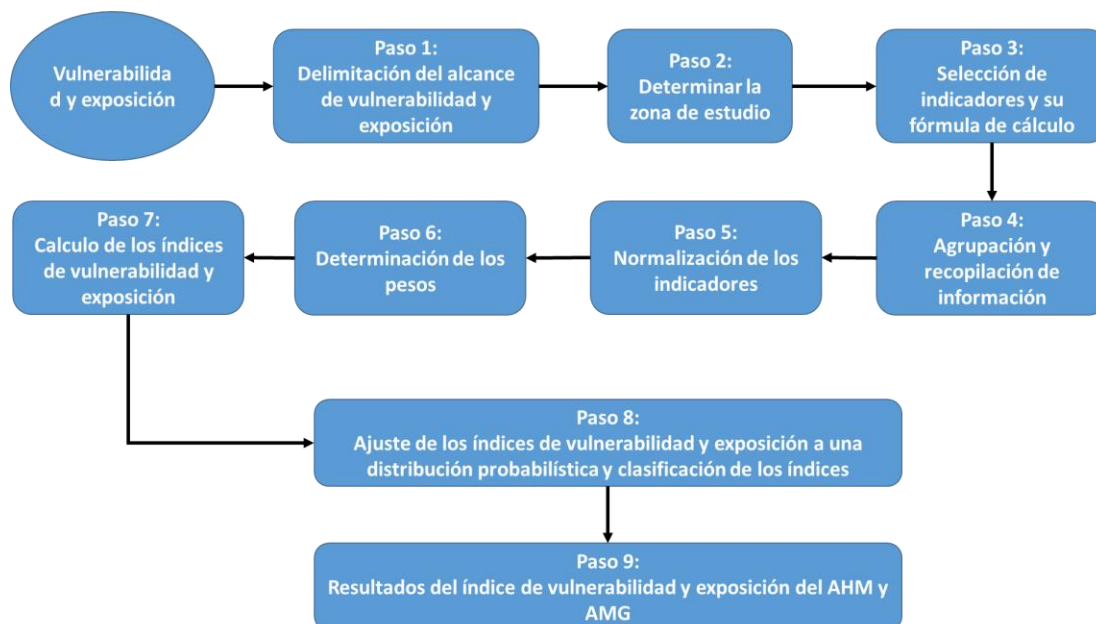


Figura 54. Metodología para la construcción de los índices de vulnerabilidad y exposición ante la sequía.
Fuente: Elaboración propia

Debido a que no existe un método único para realizar la normalización y la ponderación (Paso 5 y Paso 6), esto podría suponer que el índice de vulnerabilidad pueda variar dependiendo del método que se utilice y que el resultado puede no reflejar la vulnerabilidad y exposición real de las áreas metropolitanas de estudio. Es por eso que se evaluaron los indicadores bajo tres métodos de normalización (método de estandarización, método de re escalamiento y método de indicadores cíclicos) y bajo dos métodos de ponderación (método de regresión y el método propuesto por Iyengar & Sudarshan), para posteriormente compararlos entre sí, y en base a un análisis propuesto se eligió el mejor método que se ajusta a la problemática real (Punto 1.8.3 y 1.8.4 de este informe).

5.1.1. Paso 1. Delimitación del alcance del análisis de vulnerabilidad y exposición

Para establecer la problemática de la vulnerabilidad, Füssel (2004) propone responder a estas interrogantes, que para el caso del desarrollo de este proyecto se describen en la Tabla 49.

Tabla 49. Dimensiones fundamentales que describen una situación de vulnerabilidad

Dimensión o Característica	Pregunta	Estudio de vulnerabilidad del proyecto
Sistema	¿Quién o qué es vulnerable?	Organismos operadores de agua potable. (SADM, SIAPA)
Peligro (o amenazas o factores de estrés)	¿Vulnerable a qué?	Sequías
Las consecuencias (o efectos o atributos valorados o variables de interés)	¿Qué es lo que está en riesgo?	Falta de capacidad de los organismos operadores para abastecer de agua potable a la población
Escala temporal y espacial	¿Qué horizonte de tiempo?	Histórico: 2008-2018
	¿Qué región?	Áreas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara

Fuente: Elaboración propia a partir de Fussel (2004).

En el caso de la exposición se realizarán las mismas interrogantes que propone Füssel (2004). Ver Tabla 50.

Tabla 50. Dimensiones fundamentales que describen la situación de la exposición ante la sequía

Dimensión o Característica	Pregunta	Estudio de exposición del proyecto
Sistema	¿Quién o que está expuesto?	La población de las áreas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara
Peligro (o amenazas o factores de estrés)	¿Expuesto a qué?	Sequías
Las consecuencias (o efectos o atributos valorados o variables de interés)	¿Qué es lo que está en riesgo?	Falta de capacidad de los organismos operadores para abastecer de agua potable a la población
Escala temporal y espacial	¿Qué horizonte de tiempo?	Histórico:2008-2018
	¿Qué región?	Áreas metropolitanas de Monterrey y Guadalajara

Fuente: Elaboración propia a partir de Fussel (2004).

5.1.2. Paso 2. Determinar las zonas de estudio

En el punto 3.1 de este documento se describe el área de estudio. Para el análisis de la vulnerabilidad y exposición el área de estudio comprende el AHM, AMG y los organismos operadores SADM y SIAPA quienes les prestan los servicios de agua potable drenaje sanitario y saneamiento a estas aéreas respectivamente.

5.1.3. Paso 3. Selección de indicadores y fórmulas para el cálculo de indicadores

Para la selección de indicadores de este proyecto se consultaron 24 artículos relacionados con el cambio climático y sequías a nivel nacional e internacional del periodo 2003-2019. Se analizaron los indicadores de estos artículos (Ver Anexo 1) y de acuerdo a los siguientes criterios se seleccionaron una batería de indicadores que se utilizarán para el cálculo de índice de vulnerabilidad y exposición ante la sequía en este trabajo.

Los indicadores seleccionados se basaron en los siguientes criterios:

- a) Relación de la variable con la sequía
- b) Disponibilidad de información
- c) Que exista información histórica de los datos
- d) Avalar los indicadores con el juicio de los expertos del SADM y SIAPA

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad y exposición ante la sequía en el sector socioeconómico, se propusieron cuatro indicadores como se muestra en la Tabla 51 donde se describen estos indicadores así como el impacto de la sequía en el suministro del agua.

Tabla 51. Impacto de la sequía en el sector socioeconómico

Nombre del indicador	Definición	Impacto en el suministro de agua
Densidad de población (hab/km ²)	Relación entre un espacio determinado y el número de personas que lo habitan (INEGI)	El crecimiento poblacional y fenómenos como la urbanización y la migración han contribuido a incrementar la densidad poblacional de manera asimétrica en el territorio (Semarnat, 2016). Estos factores hacen a las mega ciudades focos de alta complejidad en la tarea de prestar los servicios urbanos básicos (Martínez et al., 2011; Kraas, 2008; Mitchell, 2006, citado en Escolero et al, 2016).
Población económicamente activa desocupada (PEAD) (%)	Son todas las personas de 15 años y más, que suministran la mano de obra disponible para la producción de bienes y/o servicios dirigidos al mercado y que buscan trabajo habiendo trabajado alguna vez, o buscan trabajo por primera vez. (INE)	Las personas que viven en la pobreza, y carecen de los ingresos y otros recursos necesarios para obtener las necesidades básicas de la vida, encuentran que es particularmente difícil enfrentar los impactos de la sequía (UNCCD, 2013).
Población en condiciones de pobreza (%)	Una persona se encuentra en situación de pobreza cuando tiene al menos una carencia social (en los seis indicadores de rezago educativo, acceso a servicios de salud, acceso a la seguridad social, calidad y espacios de la vivienda, servicios básicos en la vivienda y acceso a la alimentación) y su ingreso es insuficiente para adquirir los bienes y servicios que requiere para satisfacer sus necesidades alimentarias y no alimentarias (CONEVAL).	
Ingreso per cápita anual (Millies de pesos/año)	Relación entre el valor total de todos los bienes y servicios finales generados durante un año por la economía de una nación o entidad y el número de sus habitantes en ese año. (INEE, 2016)	El mayor efecto neto de presión sobre los recursos hídricos nacionales en México proviene de entidades con valores de desarrollo humano menores en comparación con otras entidades (Semarnat, 2016).

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la evaluación de la vulnerabilidad y exposición ante la sequía en los Organismos Operadores de Agua Potable de México (OOAPAS), se propusieron nueve indicadores de gestión, ya que de acuerdo con Pineda-Pablos & Salazar-Adams (2016) estos permiten identificar las deficiencias que incrementan la vulnerabilidad y exposición de las ciudades ante la sequía y constituyen obstáculos ante la necesidad de reducción de consumos para mitigar el impacto de la sequía. Estos indicadores se presentan en la Tabla 52 y constituyen además el ciclo urbano del agua, que se inicia con la extracción, distribución, consumo y saneamiento.

Tabla 52. Impacto de la sequía en la gestión urbana del agua.

Ciclo urbano del Agua	Indicadores	Definición	Impacto de la sequía en el suministro de agua
Extracción de agua	Volumen de agua producido superficial y subterráneo (m ³)	Volumen total de agua que se produce en un año, deben de considerarse las captaciones que no tengan medición, según estudios previos. Este volumen reportado debe ser previo a los procesos de potabilización.(Hansen y Alcocer, 2014)	La sequía se valora por el mayor o menor volumen de agua disponible en los embalses para poder atender las demandas actuales (Morales et al., 2000) El impacto de la sequía en la ciudad está mediado por la capacidad de almacenamiento de las presas, por el volumen de recarga del acuífero y la capacidad de almacenamiento total del acuífero (Pineda-Pablos & Salazar-Adams ,2016)
Distribución y consumo	<p><u>Control físico:</u></p> <p>a) Niveles de cobertura:</p> <p>Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado (%)</p>	El indicador se calculó dividiendo el número de ocupantes en viviendas particulares que no dispone de agua entubada ni drenaje ni excusado, entre el total de ocupantes en viviendas particulares, menos los ocupantes en viviendas particulares que no especificaron la disponibilidad de agua entubada y drenaje sanitario (CONAPO,2015a, 2015b)	Es un indicador que forma parte de índice de rezago social y reflejo de manera directa la vulnerabilidad a la cual está sujeta la población al no contar con un servicio básico y por ende ante la presencia del evento de sequía aumenta la susceptibilidad de daño a la salud (Ortega-Gaucin et al., 2018).
	<p>b) Control de pérdidas:</p> <p>Eficiencia física (%)</p>	Evalúa la eficiencia entre lo facturado y lo producido (Hansen y Alcocer, 2014)	Minimizar las pérdidas físicas de agua en la distribución y eficiencia de la red de distribución (Pineda-Pablos & Salazar-Adams ,2016). Es indicativa no sólo de la capacidad administrativa (en facturación y medición) de los Organismos Operadores, sino una condición crucial para el uso sostenible del agua: las pérdidas en el sistema de distribución, tanto por el mal estado de la red, como por robos y agua no contabilizada (Camacho, 2012)

Ciclo urbano del Agua	Indicadores	Definición	Impacto de la sequía en el suministro de agua
	<u>Administración comercial:</u> a) Medición de consumos Micro y macro medición (%)	Capacidad de medir el agua consumida por los usuarios, así como el conocimiento real del agua entregada (Hansen y Alcocer, 2014)	Contar con micro medición en todas las tomas tiene varias ventajas: la primera es que se sabe exactamente el consumo de cada usuario y se puede definir el cobro justo según la tarifa autorizada; la segunda es que se puede identificar con mayor facilidad las fugas en los hogares mediante picos de consumo y la tercera es que se conoce con mayor exactitud el volumen total que se está entregando para el consumo. Con respecto a la macro medición El parámetro al que se debe aspirar es el 100%, ya que al tener el control de medición, se sabe con exactitud el volumen producido que sirve para llevar a cabo el balance hidráulico, para compararlo con el consumo de energía eléctrica, y para definir de manera más certera el pago de derechos de agua (Conagua, 2011).
	b) Tarifas de agua Relación tarifa costo c) Cobro efectivo -Eficiencia comercial (%)	Representa una relación entre las tarifas de agua y el costo que tiene proporcionar esa cantidad de agua (costos de mantenimiento, operación y administración) (Camacho, 2012) Evalúa la eficiencia entre la facturación y el pago de la misma (Hansen y Alcocer, 2014)	Ya que las tarifas no necesariamente reflejan el costo que tiene para un Organismo Operador proporcionar determinado volumen de agua, dicha relación refleja el nivel de subsidio en las tarifas domésticas que ante escenarios de cambio climático podría aumentar en relación a los costos de operación e inducir a un incorrecto uso del recurso. (Camacho, 2012) La eficiencia comercial engloba todo tipo de acciones que permiten definir tarifas adecuadas, facturarlas y cobrarlas a los usuarios del servicio para garantizar la autosuficiencia financiera del organismo operador (SEAPAL, 2019)
	<u>Patrones de consumo</u> Consumo (l/h/d) Horas con servicio de agua continuo (%)	Consumo real de agua sin tomar en cuenta las pérdidas por fugas en la red y tomas domiciliarias (Hansen y Alcocer, 2014) Horas que los usuarios con servicio de agua continuo (Hansen y Alcocer, 2014)	Considerando el resultado de los futuros cambios climáticos, un incremento de la demanda de agua se traduce en mayores costos de operación sumado a la problemática de escasez de agua y crecimiento de la población (Camacho, 2012).
Saneamiento	Volumen tratado (%)*	Conocer la Cobertura de tratamiento (Hansen y Alcocer, 2014)	La sequía no tiene impacto directo en las aguas residuales tratadas, pero si puede usar como un recurso de primera mano en zonas con sequía.

Nota: *El volumen tratado afecta directamente a la vulnerabilidad ambiental

Fuente: Elaboración propia

La evaluación de la vulnerabilidad y exposición ante la sequía en el sector ambiental, se realiza por medio de cuatro indicadores, en la se describen los indicadores y el impacto de la sequía en este sector (Tabla 53).

Tabla 53. Impacto de la sequía en el sector ambiental

Nombre del indicador	Definición	Impacto en el sector ambiental
Calidad del agua superficial (DBO) (mg/l)	La calidad del agua es un atributo que mide las propiedades físicas, químicas y biológicas del líquido (Peters et al., 2009). La demanda bioquímica del oxígeno (DBO) es un indicador de contaminación de origen municipal y doméstico (Conagua, 2010)	El deterioro de las fuentes de abastecimiento de agua incide directamente en el nivel de riesgo sanitario presente y en el tipo de tratamiento requerido para su reducción; la evaluación de la calidad del agua permite tomar acciones de control y mitigación del mismo, garantizando el suministro de agua segura (Torres et al., 2009).
Calidad del agua subterránea (SDT) (mg/l)	Los sólidos disueltos totales (SDT) pueden ser orgánicos y/o inorgánicos, provenientes de diferentes actividades domésticas, comerciales e industriales (Chibinda et al., 2017)	No solo la actividad del hombre ha afectado la calidad del agua, también, la sobreexplotación de los acuíferos subterráneos y las sequías prolongadas han causado que los niveles de los mantos freáticos se vean disminuidos a niveles tales que la mineralogía del yacimiento en que está en contacto el agua cambia en sus características y se detectan niveles altos de metales en aguas que originalmente no tenían valores apreciables de estos. Plomo, arsénico, fierro, manganeso, flúor y sales disueltas se pueden encontrar en cantidades relativamente altas en acuíferos sobreexplotados en deterioro de la calidad del agua (Rocha, 2010).
Grado de presión del recurso hídrico (%)	Es un indicador porcentual de la presión a la que se encuentra sometido el recurso agua y se obtiene del cociente entre el volumen total de agua concesionada y el agua renovable (Conagua, 2017)	Se considera que si el porcentaje es mayor al 40% se ejerce un grado de presión alto o muy alto (Conagua, 2017) En los ecosistemas áridos, la excesiva presión sobre el agua y sus impactos en los sistemas naturales amenazan la sostenibilidad global en tales zonas (Martínez, 2006)
Volumen de agua tratado (%)*	Conocer la Cobertura de tratamiento (Hansen y Alcocer, 2014)	La contaminación del agua por el excesivo volumen de aguas residuales generadas y la falta de sistemas de tratamiento, han afectado el hábitat de flora y fauna de la región (Díaz-Cuenca et al., 2012).

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 54 se describen las fórmulas y las fuentes de extracción de información de los indicadores para el cálculo de índice de vulnerabilidad y exposición ante la sequía.

Tabla 54. Fórmulas de los indicadores para el cálculo de índice de vulnerabilidad y exposición ante la sequía.

Indicador	Formula	Fuente
Densidad de población (hab/km ²)	$DP = \frac{\text{No habitantes}}{\text{Área (Km}^2\text{)}}$	CONAPO y Área de los municipios dentro de AM
Población económicamente activa desocupada (PEAD) (%)	$PEAD = \frac{\text{PEA desocupada}}{\text{PEA total}} * 100$	ICU y SNIM
Población en condiciones de pobreza (%)	Multivariable	CONEVAL
Ingreso per cápita anual (miles de pesos /año)	$IPCA = \frac{\text{PIB anual}}{\text{No.Habitantes}}$	ICU y CONAPO
Volumen de agua potable producido (m ³)	El dato del volumen producido es el resultado de la macro medición en las fuentes de captación.	Datos proporcionados por SIAPA y SADM
Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado (%)	$VSAEDE = \frac{\text{NoVivSAE} + \text{NoVivSDE}}{\text{No.total viviendas}} * 100$ <i>NoVivSAE</i> : Número de viviendas sin servicio de agua entubada <i>No VivSDE</i> : Número de viviendas sin servicio de drenaje ni excusado	CONAPO
Eficiencia física (%)	$E_{FIS} = \frac{V_{AF}}{V_{APP}} * 100$ <i>VAF</i> : Vol. de agua facturado (m ³) <i>VAPP</i> : Vol. anual de agua potable producido (m ³)	Datos proporcionados por SIAPA y SADM
Micro y Macro medición (%)	$MICROMACRO = \frac{\left(\left(\frac{M_{IC}}{T_{REG}} \right) + \left(\frac{M_{AC}}{C_{APT}} \right) \right) * 100}{2}$ <i>MIC</i> :No.de micromedidores funcionando <i>TREG</i> :No.total de Tomas Registradas <i>MAC</i> : No. de macromedidores funcionando en captaciones <i>CAPT</i> : No. de captaciones	Datos proporcionados por SIAPA y SADM
Relación tarifa costo	$R_{CT} = \frac{TM}{CVP}$ CVP: Costo por Volumen Producido TM: Tarifa Media Domiciliaria	Datos proporcionados por SIAPA y SADM
Eficiencia Comercial (%)	$E_{COM} = \frac{V_{AP}}{V_{AF}} * 100$ <i>VAP</i> : Vol. de agua pagado (m ³) <i>VAF</i> : Vol. de agua facturado (m ³)	Datos proporcionados por SIAPA y SADM
Consumo (l/hab/día)	$\text{Consumo} = \frac{V_{con} * 1000}{365 * hab}$ <i>Vcon</i> : Volumen de agua consumido (m ³ /año) <i>Hab</i> : Habitantes	Datos proporcionados por SIAPA y SADM
Horas con servicio de agua continuo 24 /7(%)		Datos proporcionados por SIAPA y SADM

Indicador	Formula	Fuente
Volumen tratado (%):	$V_{TRAT} = \frac{V_{ART}}{V_{APP} * 0.70} * 100$ <p>V_{ART}: Vol. anual de agua residual tratado (m³) V_{APP}: Vol. anual de agua potable producido (m³)</p>	Datos proporcionados por SIAPA y SADM
Calidad del agua superficial (DBO) (mg/l)	$DBO = \frac{\sum DBOm_{(i)}}{NTm_{(i)}}$ <p>DBO = Promedio de la demanda Bioquímica de oxígeno, por estación para una corriente determinada. $DBOm$ = Demanda bioquímica de oxígeno muestreado NTm = Número total de muestreos. <i>(i)</i> = Estación</p>	SIAPA y SINA
Calidad del agua subterránea (SDT) (mg/l)	$SDT = (ST) - (SST)$ <p>SDT=sólidos disueltos totales ST=Sólidos totales SST=Sólidos suspendidos totales</p>	SIAPA y CONAGUA
Grado de presión sobre el recurso hídrico (%)	$\frac{VTAC}{VAR} * 100$ <p>$VTAC$=Volumen total de agua concesionada (superficial y subterránea) (hm³) VAR=Volumen de agua renovable (hm³)</p>	Conagua: Estadísticas del Agua en México (208-2018)

Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Paso 4. Agrupación y recopilación de información

Para la agrupación de los indicadores el IPCC (2014) propone que se agrupen basándose en la categoría de sus dos componentes: sensibilidad y capacidad de adaptación. Patnaik y Narayanan (2009) proponen un método en donde se agrupen de acuerdo a los tipos de vulnerabilidad que para este caso son: socioeconómicos y gestión institucional. En este proyecto se combinan estas dos propuestas y los datos obtenidos se arreglaron en forma de una matriz rectangular, con filas que representan los indicadores según sea el tipo de vulnerabilidad y columnas que representan los componentes de la vulnerabilidad (Tabla 55). La recopilación de información para el AMG y el AHM se muestran en la Tabla 57 y Tabla 58

Para el agrupamiento de indicadores de exposición los indicadores se calcularán por tipo de exposición (Tabla 56). La recopilación de información para el AMG y el AHM se muestran en la Tabla 59 y Tabla 60.

Tabla 55. Agrupación de indicadores para el cálculo del índice de vulnerabilidad ante la sequía.

Tipo de Vulnerabilidad		Componentes de la vulnerabilidad	
		Sensibilidad (S)	Capacidad de adaptación (CA)
General	Socioeconómico	- Población económicamente activa desocupada (PEAD) (%) - Población en condiciones de pobreza (%)	- Ingreso per cápita anual (Miles de pesos/año)
	Gestión	-Relación tarifa costo (unidad) -Consumo (l/h/d) -Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado (%)	-Eficiencia física (%) -Eficiencia comercial (%) -Micro y Macro medición (%)
	Ambiental	Calidad del agua superficial (DBO) (mg/l) Calidad del agua subterránea (SDT) (mg/l)	Volumen tratado (%)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56. Agrupación de indicadores para el cálculo del índice de exposición ante la sequía.

Tipo de exposición		Indicadores
General	Socioeconómica	- Población total (hab) -Densidad de población (hab/km ²)
	Gestión	- Volumen de agua producido (m ³) - Hora con servicio de agua continuo (24 horas) (%)
	Ambiental	-Grado de presión del recurso hídrico (%)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Indicadores para calcular el índice de vulnerabilidad del AMG

Año	Socioeconómica			Gestión Institucional						Ambiental		
	Población económicamente activa desocupada (PEAD) (%)	Población en condiciones de pobreza (%)	Ingreso per cápita anual (Miles de pesos corrientes/año) (PIB per cápita)	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado (%)	Consumo (l/h/d)	Relación tarifa costo	Eficiencia física (%)	Micro y macro medición (%)	Eficiencia comercial (%)	Volumen tratado (%)	Calidad del agua superficial DBO5 (mg/l)	Calidad de agua subterránea SDT (mg/l)
2008	4.38	36.7	92.59	9.00	217	1.31	62.34	76.63	69.79	1.12	6	356
2009	7.60	37	97.88	5.15	213	1.27	66.01	70.66	65.90	0.91	3	364
2010	6.64	31	103.41	3.14	213	0.86	66.23	61.98	66.98	3.34	7	314
2011	5.63	35.4	101.43	2.23	215	1.24	64.12	93.12	86.16	3.58	6	280
2012	5.94	39.8	110.92	2.20	206	0.85	72.62	81.82	82.77	11.21	5	354
2013	6.27	37.6	115.79	2.40	205	1.34	71.63	83.77	75.73	14.92	7	363
2014	5.72	35.4	122.51	2.41	211	1.60	67.63	81.90	82.52	45.09	5	360
2015	5.38	31.37	128.84	1.65	209	1.61	66.18	81.24	87.13	72.66	7	352
2016	4.50	31.8	136.27	1.50	219	1.88	66.23	81.03	86.43	65.18	5	400
2017	3.72	30.1	145.03	0.89	206	1.30	67.69	88.27	89.31	67.29	7	397
2018	2.94	28.4	153.05	0.76	207	1.33	66.91	91.74	89.29	67.50	5	376

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58. Indicadores para calcular el índice de vulnerabilidad del AHM

Año	Socioeconómica			Gestión institucional						Ambiental		
	Población económicamente activa desocupada (PEAD) (%)	Población en condiciones de pobreza (%)	Ingreso per cápita anual (Miles de pesos corrientes/año) (PIB per cápita)	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado (%)	Consumo (l/h/d)	Relación tarifa costo	Eficiencia física (%)	Micro y macro medición (%)	Eficiencia comercial (%)	Volumen tratado (%)	Calidad del agua superficial DBO5 (mg/l)	Calidad de agua subterránea SDT (mg/l)
2008	4.32	21.40	185.17	1.09	145.33	0.69	73.52	99.50	95.13	99.5	11	1572
2009	7.95	20.25	225.86	1.04	141.78	0.73	71.87	99.55	94.62	99.55	5	1564
2010	7.43	19.09	239.62	1.02	132.92	0.70	71.97	99.60	99.40	99.6	6	1579
2011	6.98	21.15	228.30	0.98	136.46	0.77	71.18	99.65	97.24	99.65	5	1549
2012	5.75	23.20	260.35	0.65	134.69	0.74	69.01	99.70	94.37	99.7	5	1610
2013	5.59	21.80	272.37	0.61	127.60	0.60	68.9	99.75	94.52	99.75	5	1487
2014	5.96	20.40	294.77	0.76	123.17	0.77	69.72	99.80	96.65	99.8	5	1497
2015	5.23	15.73	311.80	0.76	126.72	0.84	70.28	99.85	95.39	99.85	4	1447
2016	4.20	14.20	328.22	0.75	123.17	1.01	69.42	99.90	96.76	99.9	5	1460
2017	3.90	14.35	349.54	0.62	121.40	1.12	70.8	99.95	96.05	99.95	4	1408
2018	3.61	14.50	368.92	0.61	119.63	1.03	69.75	100.00	95.32	100	4	1185

Fuente: Elaboración propia

Tabla 59. Indicadores para calcular el índice de exposición del AMG

Año	Socioeconómica		Gestión		Ambiental
	1.- Población total (millones hab/año)	2.- Densidad de población (hab/km ²)	3.- Volumen de agua producido (hm ³)	4.- Horas con servicio de agua continuo 24 horas (%)	5.-Grado de presión del recurso hídrico (%)
2008	3.84	15,660	296	100.00	23.91
2009	3.88	15,777	293	100.00	24.46
2010	3.92	15,890	297	100.00	25.00
2011	3.96	15,997	302	99.53	26.15
2012	3.99	16,099	292	100.00	27.23
2013	4.03	16,197	300	100.00	28.01
2014	4.06	16,291	313	98.65	28.68
2015	4.09	16,380	315	100.00	29.82
2016	4.13	16,465	323	99.86	31.85
2017	4.16	16,546	314	100.00	31.61
2018	4.18	16,623	315	100.00	31.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla 60. Indicadores para calcular el índice de exposición del AHM

Año	Socioeconómica		Gestión		Ambiental
	1.- Población total (Millones hab/año)	2.- Densidad de población (hab/km ²)	3.- Volumen de agua producido (hm ³)	4.- Horas con servicio continuo (24 horas) (%)	5.-Grado de presión del recurso hídrico (%)
2008	3.75	19,606	350	99.5	48.30
2009	3.80	19,784	359	99.55	48.83
2010	3.85	19,959	359	99.6	49.37
2011	3.90	20,129	377	99.65	48.62
2012	3.95	20,297	384	99.7	47.85
2013	4.00	20,461	379	99.75	46.60
2014	4.05	20,622	395	99.8	46.65
2015	4.10	20,781	410	99.85	48.22
2016	4.14	20,937	425	99.9	48.28
2017	4.19	21,091	440	99.95	47.99
2018	4.23	21,243	446	100	47.04

Fuente: Elaboración propia

Una vez que se recopiló la información de los indicadores se realizó un análisis del comportamiento de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM del periodo 2008-2018 y se compararon entre ellos (Anexo 2). Además, con la finalidad de que no exista dependencia lineal entre las variables, se aplicó la prueba de correlación para detectar multicolinealidad.

5.1.4.1. Multicolinealidad

El término multicolinealidad se atribuye a Ragnar Frisch (1934). En estricto sentido, la multicolinealidad se refiere a la existencia de más de una relación lineal exacta, y colinealidad, a la existencia de una sola relación lineal. Pero esta distinción pocas veces se mantiene en la práctica, y se hace entonces referencia a multicolinealidad en ambos casos. Originalmente, designaba una relación lineal “perfecta” o exacta entre algunas o todas las

variables explicativas de un modelo de regresión. Para la regresión con k variables que incluye las variables explicativas X_1, X_2, \dots, X_k (donde $X_1=1$ para todas las observaciones de forma que den cabida al término del intercepto), se dice que existe una relación lineal exacta si se satisface la siguiente condición (Gujarati, 2010).

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k = 0 \quad (14)$$

Donde $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$, son constantes tales que no todas son simultáneamente iguales a cero. Si la multicolinealidad es perfecta en el sentido de los coeficientes de regresión de las variables X son indeterminados, y sus errores estándar, infinitos.

Hoy en día, sin embargo, el término multicolinealidad incluye el caso de multicolinealidad perfecta, como lo indica la formula anterior y también el caso en el cual hay X variables intercorrelacionadas pero no en forma perfecta, de la siguiente manera:

$$\lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_k X_k + v_i = 0 \quad (15)$$

Donde v_i es un término de error estocástico. Si la multicolinealidad es menos que perfecta los coeficientes de regresión, aunque sean determinados, poseen grandes errores estándar (en relación con los coeficientes mismos), lo cual significa que los coeficientes no pueden ser estimados con gran precisión o exactitud (Gujarati, 2010)

La técnica más común que se usa para detectar la presencia de multicolinealidad es el análisis de la matriz de correlación (Astorga, 2014).

5.1.4.1.1. Matriz de correlación

La correlación es el método de análisis adecuado cuando se precisa conocer la posible relación entre dos variables de este tipo. Así, el grado de asociación entre dos variables numéricas puede cuantificarse mediante el cálculo de un coeficiente de correlación. La medida más habitualmente utilizada para el estudio de la correlación es el coeficiente de correlación lineal de Pearson. El coeficiente de Pearson mide el grado de asociación lineal entre dos variables cualesquiera, y puede calcularse dividiendo la covarianza de ambas entre el producto de las desviaciones típicas de las dos variables. Para un conjunto de datos, el valor r de este coeficiente puede tomar cualquier valor entre -1 y $+1$. El valor de r será positivo si existe una relación directa entre ambas variables, esto es, si las dos aumentan al mismo tiempo. Será negativo si la relación es inversa, es decir, cuando una variable disminuye a medida que la otra aumenta. Un valor de $+1$ ó -1 indicará una relación lineal perfecta entre ambas variables, mientras que un valor 0 indicará que no existe relación lineal entre ellas (Pértegas & Pita, 2001). El coeficiente de determinación (R^2) es simplemente el cuadrado del coeficiente de correlación de Pearson, lo cual es sólo cierto para la regresión lineal simple. Si existen varios resultados para una única variable, es decir, para una X existe una Y, Z, \dots el coeficiente de determinación resulta del cuadrado del coeficiente de determinación múltiple. En ambos casos el R^2 adquiere valores entre 0 y 1 . Su principal propósito es predecir futuros resultados o probar una hipótesis. El coeficiente determina la

calidad del modelo para replicar los resultados, y la proporción de variación de los resultados que puede explicarse por el modelo (Steal & Torrie, 1960; Colin et al., 1997).

Tabla 61. Interpretación de los resultados del coeficiente de correlación

Coeficiente de correlación	Interpretación
-1.00	Correlación negativa perfecta
-0.90	Correlación negativa muy fuerte
-0.75	Correlación negativa considerable
-0.50	Correlación negativa media
-0.10	Correlación negativa débil
0.00	No existe correlación alguna entre las variables
+ 0.10	Correlación positiva débil
+ 0.50	Correlación positiva media
+ 0.75	Correlación positiva considerable
+ 0.90	Correlación positiva muy fuerte
+ 1.00	Correlación positiva perfecta

Fuente: Elaboración propia a partir de Hernández & Fernández (1998).

Para obtener el coeficiente de correlación se puede utilizar el software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), la desventaja de este software es que tiene una versión gratuita de solo 14 días. También se puede utilizar el programa Excel.

La evaluación del coeficiente de correlación se realizó por tipo de vulnerabilidad y exposición (Socioeconómica, Gestión y Ambiental), por lo tanto solo se tomara en cuenta la relación de variables por cada uno de estos tipos de manera independiente. En este trabajo solo se desestimarán las variables que tengan una correlación de ± 0.90 y de ± 1.00 y la condición para eliminar la variable será que la correlación muy fuerte positiva o negativa o la correlación positiva o negativa perfecta exista tanto en el AMG como en el AHM.

Las tablas de los resultados del coeficiente de correlación de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM se encuentran en el Anexo 3. Los resultados de coeficiente de correlación de los indicadores de vulnerabilidad del AMG muestran que no existe una correlación muy fuerte o perfecta entre los indicadores socioeconómicos, de gestión y ambientales.

Los resultados de coeficiente de correlación de los indicadores de vulnerabilidad del AHM muestran que no existe una correlación muy fuerte o perfecta entre los indicadores socioeconómicos y ambientales. En el caso de los indicadores de gestión, se observa que existe correlación negativa muy fuerte entre la variable micro y macro medición y el consumo con -0.950 . Esto se podría interpretar de la siguiente manera: El coeficiente de determinación evidencia que en el AHM la micro y macro medición influye en un 90.25% en el consumo ya que en lugares donde no existe micro medición por ejemplo el precio real por metro cubico podría ser inferior al precio que se paga con micro medición originando que la población consuma más agua sin ninguna restricción. En el AHM se observa que el consumo ha ido disminuyendo. En el caso del AMG el coeficiente de determinación evidencia que la micro y macromedición influyen en un 10.24 % en el consumo, esto podría deberse a que aunque

la micro y macromedición ha ido en aumento el consumo se ha mantenido en promedio en 2011(l/h/d) es por esto que no presenta una correlación significativa entre estas variables.

Con respecto a los resultados de coeficiente de correlación de los indicadores de exposición. En la exposición socioeconómica para el AMG y AHM se observa que la variable población total tiene una correlación positiva perfecta con la variable densidad de población con 1.00. Esto se debe a que la densidad poblacional aumenta si aumenta el número de personas en el territorio en que habitan.

Con respecto a las variables que componen la exposición de gestión institucional, en el AMG no existe una correlación muy fuerte o perfecta. El coeficiente de determinación evidencia que las horas con servicio continuo influyen en un 5.76% en el volumen de agua producido. Esto se debe a que según los datos proporcionados por el SIAPA aunque las horas con servicio continuo disminuyan el volumen de agua potable producido no se ve alterado. En el caso del AHM se observa que existe una correlación positiva muy fuerte entre las horas con servicio continuo y el volumen de agua producido con 0.98, el volumen de agua potable producido ha ido en aumento en el periodo 2008-2011.

De acuerdo al anterior análisis del coeficiente de correlación de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM se optó por eliminar la variable población total ya que es la única variable que tiene una correlación positiva perfecta en los dos casos de estudio.

5.1.5. Paso 5. Normalización de los indicadores

El siguiente paso consiste en normalizar los datos antes de cualquier agregación de estos, ya que los indicadores en un conjunto de datos a menudo tienen diferentes unidades de medición. Existen varios métodos de normalización (Freudenberg, 2003; Jacobs et al., 2004).

Los objetivos de las técnicas de normalización son (Bas, 2014):

- Ajustar los datos para que no tengan diferentes unidades de medida
- Ajustar los datos para que no tengan diferentes rangos de variación
- Ajustar los datos en el caso en que sigan una distribución asimétrica o ante la presencia de datos atípicos

Antes de aplicar la normalización se deben identificar los dos tipos de relaciones funcionales, relación directa (↑) o inversa (↓) del valor indicador con la vulnerabilidad como se muestra en la Tabla 62.

Tabla 62. Relaciones funcionales del valor del indicador con respecto a la vulnerabilidad

Elementos	Factor	Relación con respecto a la vulnerabilidad
Sensibilidad	Población económicamente activa desocupada (PEAD) (%)	↑
	Población en condiciones de pobreza (%)	↑
	Viviendas sin agua entubada (%)	↑

Elementos	Factor	Relación con respecto a la vulnerabilidad
	Viviendas sin drenaje ni excusado (%)	↑
	Consumo (l/h/d)	↑
	Relación tarifa costo	↑
	Calidad del agua superficial DBO5 (mg/l)	↑
	Calidad de agua subterránea SDT (mg/l)	↑
Capacidad de adaptación	Ingreso per cápita anual (Miles de pesos corrientes/año) (PIB per cápita)	↓
	Eficiencia física (%)	↓
	Eficiencia comercial (%)	↓
	Micro medición (%)	↓
	Macro medición (%)	↓
	Volumen tratado (%)	↓

Fuente: Elaboración propia

La selección de un método adecuado no es trivial y merece una atención especial a los ajustes de escala eventuales (Ebert & Welsh, 2004) o la transformación o los indicadores altamente sesgados. El método de normalización debe tener en cuenta las propiedades de los datos, así como los objetivos del indicador compuesto (Nardo et al., 2005).

Para saber cuántos métodos de normalización y ponderación existen en la literatura, se consultaron los trabajos de Freudenberg (2003) Jacobs et al. (2004), Nardo et al. (2005), Schuschny, et al. (2009), DAFP (2012), Bas (2014) y Actis et al., (2017). Los métodos más utilizados de normalización son ocho, de los cuales se seleccionaron tres por considerarlos los más apropiados. Estos métodos se aplicarán debido a que no existe un método único para normalizar, por tal motivo como objetivo particular de esta metodología, es contribuir con el estudio, aplicación y comportamiento de los métodos de normalización más utilizados. Los cuales se describen a continuación:

5.1.5.1. Método de estandarización

Ésta es una de las técnicas de estandarización más difundidas, hasta el punto de comprenderse casi como “la” estandarización. En particular, es uno de los métodos más utilizados en estudios de bienestar social (Diener, 1995; Estes, 2003; Distaso, 2007) y se calcula como el cociente de la diferencia entre el valor del indicador X y la media μ dividida por la desviación estándar. Esto lo convierte en una escala común con media de cero y desviación estándar de uno, lo que posee el significado de factor de escala (Actis et. al 2017) La fórmula es la siguiente:

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - x_{qc=\bar{c}}^t}{\sigma_{qc=\bar{c}}^t} \quad (16)$$

Dónde:

x_{qc}^t es la puntuación del indicador simple q para la unidad de análisis c en el momento de tiempo t para $q=1, \dots, Q$ y $c=1, \dots, M$, donde Q es el número de indicadores simple y M el

número de análisis/observaciones

$x_{qc=\bar{c}}^t$ Representa la media del indicador q para todas las unidades de análisis en el momento t y $\sigma_{qc=\bar{c}}^t$ la desviación típica del indicador q para todas las unidades de análisis en el momento t.

En el Anexo 4 se muestra la normalización por este método, de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

5.1.5.2. Método de re escalamiento

Esta técnica fue definida por Drewnowski & Scott (1966) y es una de las más utilizadas en la construcción de numerosos índices sintéticos sociales y económicos (Morris, 1979; Zárata Martín, 1988; PNUD, 1990-2011; Velázquez & Gómez Lende, 2005; Velázquez, 2008). El cálculo se diferencia de los anteriores dado que utiliza los valores máximos (Xmax) y mínimos (Xmin) de los indicadores y el rango en lugar de la media y/o desviación estándar. Estos valores pueden ser empíricos, históricos o bien ideales, dependiendo del objetivo de la medición. (Actis et. al 2017) Para una correlación positiva (\uparrow) la fórmula es la siguiente:

$$X_{ij} = \frac{X_i - \text{Min}X_j}{\text{Max}X_j - \text{Min}X_j} \quad (17)$$

Donde; X_{ij} es el valor normalizado del indicador (j) con respecto al año (i), X_i es el valor real del indicador con respecto al año (i), y $\text{Min}X_j$ y $\text{Max}X_j$ son los valores mínimo y máximo, respectivamente, del indicador (j) entre todos los años.

En el caso de que exista una relación inversa entre el indicador y el constructo teórico, por ejemplo, la tasa de analfabetismo y el bienestar, el cálculo será el siguiente, que incluye un cambio direccional (Actis et al., 2017), para una correlación negativa (\downarrow) la fórmula es la siguiente

$$X_{ij} = \frac{\text{Max}X_j - X_i}{\text{Max}X_j - \text{Min}X_j} \quad (18)$$

Donde; X_{ij} es el valor normalizado del indicador (j) con respecto al año (i), X_i es el valor real del indicador con respecto al año (i), y $\text{Min}X_j$ y $\text{Max}X_j$ son los valores mínimo y máximo, respectivamente, del indicador (j) entre todos los años. Un dato normalizado (x) es considerado atípico, cuando la puntuación X_{ij} es mayor a 1 o con datos negativos.

En el Anexo 5 se muestra la normalización por este método, de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

5.1.5.3. Método de indicadores cíclicos

Métodos para los indicadores cíclicos. Los resultados de las encuestas de tendencia empresarial generalmente se combinan en indicadores compuestos para reducir el riesgo de señales falsas y para predecir mejor los ciclos en las actividades económicas (Nilsson, 2000).

Ver, por ejemplo, los indicadores principales compuestos de la OCDE y los indicadores de sentimiento económico de la UE (CE, 2004). Este método da implícitamente menos peso a las series más irregulares en el movimiento cíclico del indicador compuesto, a menos que se realice un suavizado *ad hoc* previo (Nardo, et al. 2005),

$$I_{qc}^t = \frac{x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)}{E_t(|x_{qc}^t - E_t(x_{qc}^t)|)} \quad (19)$$

Dónde:

x_{qc}^t es la puntuación del indicador simple q para la unidad de análisis c en el momento de tiempo t para $q=1, \dots, Q$ y $c=1, \dots, M$, donde Q es el número de indicadores simple y M el número de análisis/observaciones.

$E_t(x_{qc}^t)$ Indica la media de los valores x_{qc}^t a lo largo de cierto periodo de tiempo t .

En el Anexo 6 se muestra la normalización por este método, de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

5.1.6. Paso 6. Determinación de los pesos de los indicadores

La ponderación consiste en que a cada indicador simple se le asigna un peso que se suele interpretar como una medida de la importancia relativa del indicador en la construcción del índice compuesto. De esta forma, los pesos expresan la relevancia de los indicadores en el contexto del fenómeno que se quiere medir (Saltelli et al., 2008). Las técnicas de ponderación se dividen en tres bloques según los diferentes métodos utilizados: i) método de ponderación equitativa; ii) métodos de ponderación basados en modelos estadísticos y iii) métodos de ponderación basados en modelos participativos (Bas, 2014). Para determinar los pesos de los indicadores propuestos en este trabajo se utilizarán dos métodos: (método de regresión y el método propuesto por Iyengar & Sudarshan). Al igual que los métodos de normalización, no existe un método único para determinar los pesos, por tal motivo se pretende aplicar estos métodos y compararlos.

5.1.6.1. Método de regresión

Los modelos de regresión lineal pueden proporcionar información valiosa sobre el vínculo existente entre un conjunto de variables independientes $I1c, I2c, \dots, IQc$ y una variable dependiente Yc . Se trata de un procedimiento que, aunque es adecuado para un número elevado de variables de diferentes tipos, implica la suposición de que los indicadores simples tienen un comportamiento lineal en relación con el objetivo planteado y que deben ser independientes entre sí (Bas, 2014).

En el método de regresión lineal múltiple, existe un conjunto de variables independientes y una variable dependiente, y se podrá emplear la variación de las variables independientes para pronosticar la variable dependiente. Una línea recta será el modelo gráfico más sencillo para relacionar una variable dependiente con una o varias variables independientes. Este método consiste en encontrar la ecuación de la recta que mejor se ajuste al conjunto de puntos de datos XY, es decir, calcula la suma de las distancias al cuadrado entre los puntos reales y los puntos definidos por la recta estimada a partir de las variables introducidas en el modelo,

de forma que la mejor estimación será la que minimice estas distancias. A esta línea se le conoce como la línea de regresión (CENACE, 2017).

La fórmula del modelo de regresión lineal múltiple es el siguiente:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + \dots + B_nX_n + \epsilon \quad (20)$$

Donde; Y es la variable dependiente, X_1, X_2, \dots, X_n son las variables independientes, B_0, B_1, \dots, B_n son los parámetros del modelo, n es el número de datos y ϵ es la perturbación aleatoria.

5.1.6.2. Método propuesto por Iyengar & Sudarshan

Iyengar & Sudarshan (1982) desarrollaron un método para generar un índice compuesto para clasificar distritos en términos de su desempeño económico. Con este método se asigna a cada indicador un peso ponderado sobre todos los indicadores que se evalúan a través del estadístico de la varianza mediante la siguiente expresión:

$$P_i = \frac{1}{(\sigma_i)(\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i})} \quad (21)$$

Dónde: P_i es el peso ponderado del indicador i ; σ_i es la desviación estándar del conjunto de valores del indicador i ; y n es el número de indicadores seleccionados.

Este método de ponderación garantiza que grandes variaciones de uno o más indicadores, no dominen la contribución del resto de los indicadores.

5.1.7. Paso 7. Cálculo de los índices de vulnerabilidad y exposición

Por lo que respecta a la regla de agregación, no se disponen de criterios objetivos que permitan elegir el método más apropiado (Kang, 2002). Los estudios realizados en este campo, comparan de forma empírica los distintos métodos de agregación y determinan las condiciones bajo las cuales el uso de cada uno de ellos resulta más adecuado (Ebert & Welsch, 2004). La agregación aditiva ponderada (AAP) La AAP, también conocido como el método de la suma ponderada, (Blancas et al., 2011). Se trata del método de agregación lineal más utilizado en la construcción de un IC (Bandura & Martin, 2006; Nardo et al., 2005). La fórmula es la siguiente:

$$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qc} \quad (22)$$

Dónde:

w_q es el peso del indicador y I_{qc} el valor normalizado

En el Anexo 7 se muestran los resultados del paso seis y paso siete del AMG y AHM.

5.1.8. Paso 8. Ajustes de los índices de vulnerabilidad y exposición a una distribución probabilística y clasificación de los mismos

Las pruebas de bondad de ajuste se utilizan para contrastar si los datos de la muestra pueden considerarse que proceden de una determinada distribución o modelo de probabilidad. Las pruebas de bondad de ajuste permiten verificar que tipo de distribución siguen nuestros datos y, por tanto, que pruebas (paramétricas o no) podemos llevar a cabo en el contraste estadístico (Romero-Saldaña, 2016). La distribución probabilística servirá para evitar una clasificación arbitraria de los resultados de los índices sintéticos donde los límites entre una categoría y otra no están del todo definidos (Ortega-Gaucin et. al., 2018a)

Las principales pruebas bondad de ajuste para contrastar la normalidad de los datos son las siguientes (Romero-Saldaña, 2016):

- Prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S): Se emplea para variables cuantitativas continuas y cuando el tamaño de la muestra es mayor de 50.
- Test de Lilliefors (prueba de corrección para Kolmogorov): La prueba K-S para una muestra no es muy útil en la práctica, ya que en la gran mayoría de las veces desconocemos cual es la media y desviación estándar de la población, y por tanto, se deben estimar para la distribución teórica de comparación. Para solventar este problema Lilliefors tabuló el estadístico de Kolmogorov-Smirnov para el caso más habitual en el que desconocemos la media y la varianza poblacional y se estiman a través de los datos muestrales.
- Prueba de gráficos: Histograma, Q-Q Plots: El uso de gráficos presenta varias ventajas, como por ejemplo, la sencillez de interpretación o la facilidad para obtener el diagrama a través de los propios paquetes estadísticos. Sin embargo, el principal inconveniente es la subjetividad de la interpretación visual, ya que al contrario de las pruebas de significación estadística, las pruebas gráficas no incluyen ningún valor de “p”.
- Prueba de Shapiro-Wilks: Cuando el tamaño muestral es igual o inferior a 50. Para este trabajo se utilizó la prueba ampliada de Shapiro- Wilk.

5.1.8.1. Prueba de Shapiro-Wilk

La prueba de Shapiro & Wilk (1965) se restringió originalmente para un tamaño de muestra menor de 50. Esta prueba fue la primera prueba que pudo detectar desviaciones de la normalidad debido a la asimetría o la curtosis, o ambas (Althouse et al., 1998). Se ha convertido en la prueba preferida debido a sus buenas propiedades de potencia (Mendes y Pala, 2003). Dada una muestra aleatoria ordenada, $y_1 < y_2 < \dots < y_n$, el estadístico de prueba original de Shapiro-Wilk (Shapiro, 1965 mencionado en Razali & Wah, 2011) se define como

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (23)$$

Donde y_i es la estadística de orden i , \bar{y} es la media de la muestra, $a_1 = (a_1, \dots, a_n) = \frac{m^T V^{-1}}{(m^T V^{-1} V^{-1} m)^{1/2}} m = (m_1, \dots, m_n)^T$ son los valores esperados de las estadísticas de orden de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas muestreadas de la distribución normal estándar y V es la matriz de covarianza de esas estadísticas de orden.

El valor de W se encuentra entre cero y uno. Los valores pequeños de W conducen al rechazo de la normalidad, mientras que un valor de uno indica la normalidad de los datos. La prueba SW fue modificada por Royston (1982a) para ampliar la restricción del tamaño de la muestra a 2000 y luego se proporcionó el algoritmo AS181 (1982b, 1982c). Más tarde, Royston (1992) observó que la aproximación de Shapiro-Wilk (1965) para los pesos utilizados en los algoritmos fueron inadecuados para $n > 50$, luego dio una aproximación mejorada a los pesos y proporcionó el algoritmo AS R94 (Royston, 1995) que puede usarse para cualquier n en el rango $3 \leq n \leq 5000$ (Razali & Wah, 2011).

Para realizar la prueba ampliada de Shapiro Wilk se utilizó el software real-statics, este software es gratuito y se puede consultar en <http://www.real-statistics.com/>. Los resultados arrojaron que la distribución que siguen los índices de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM es una distribución normal estándar (Anexo 8).

5.1.8.2. Distribution normal

La distribución normal fue desarrollada en 1733 por el matemático francés Abraham De Moivre (1667-1754) la curva que genero las variables aleatorias De Moivre la llamo curva exponencial con forma de campana, esta fue demostrada en 1809 por el científico alemán Karl Friedrich Gauss (1777-1855) como resultado la curva con forma de campana fue denominada campana o curva Gaussiana (Prieto, 2015). La función matemática de la función de densidad de probabilidad normal (Anderson et al., 2011) es la siguiente:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad \text{para } -\infty < x < \infty \quad (24)$$

Donde:

μ = media o valor esperado de la variable aleatoria x

σ^2 = varianza de la variable aleatoria x

σ = desviación estándar de la variable aleatoria x

$\pi = 3.14159$

$e = 2.71828$

Se dice que una variable aleatoria que tiene una distribución normal con una media de 0 y una desviación estándar de 1 tiene una distribución normal estándar. A través de la distribución normal estándar se facilita el cálculo de probabilidades para cualquier

distribución normal, con solo conocer su media y su desviación estándar encontramos el valor que se denomina Z (Anderson et al., 2011).

La fórmula empleada para convertir cualquier variable aleatoria normal x con una media μ y una desviación estándar σ a la distribución normal estándar es la siguiente:

$$Z = \frac{x-\mu}{\sigma} \quad (25)$$

5.1.8.3. Categorización de la vulnerabilidad y exposición

Una vez que se obtiene la función de distribución, se propone categorizar la vulnerabilidad en cinco niveles en rango de percentiles, cada rango de percentil obedece al 20%, tal como se muestra en la Tabla 63.

Tabla 63. Grado de vulnerabilidad y exposición

Grado de vulnerabilidad y exposición	Valor del percentil
Muy baja	$0 < I_{vi} \leq 20$
Baja	$20 < I_{vi} \leq 40$
Moderada	$40 < I_{vi} \leq 60$
Alta	$60 < I_{vi} \leq 80$
Muy alta	$80 < I_{vi} \leq 100$

Fuente: Iyengar & Sudarshan (1982)

5.1.8.4. Análisis de los resultados de los métodos de normalización y ponderación (Paso 5 y 6) y elección del mejor método

La vulnerabilidad y exposición se evaluaron mediante tres métodos de normalización y dos métodos de ponderación (Paso 5 y Paso 6), lo que dio como resultado seis métodos diferentes (Anexo 9):

- Método 1 (utilizando la normalización de estandarización con el método de regresión como ponderación)
- Método 2 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de regresión como ponderación)
- Método 3 (utilizando la normalización estandarización con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)
- Método 4 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)
- Método 5 (utilizando la normalización cíclico con el método de regresión como ponderación)
- Método 6 (utilizando la normalización cíclico con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Para elegir el mejor método que se ajuste a la problemática real, se analizó el comportamiento de cada indicador con respecto al año anterior en periodo 2008-2018 de los indicadores que componen la vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM. El comportamiento de los

indicadores está basado de acuerdo a si aumenta o disminuye la vulnerabilidad y exposición con respecto al año anterior, como se muestra en la Tabla 62. La vulnerabilidad general se evaluó de acuerdo a la congruencia de los grados de vulnerabilidad de cada tipo. Los resultados de este análisis son la base para elegir el mejor método. El análisis completo de este punto se encuentra en el Anexo 10 y Anexo 11.

Al realizar el análisis de vulnerabilidad y exposición con los métodos de normalización y ponderación seleccionados (Paso 5 y Paso 6), se observa en todos los casos no importa que método de normalización se utilice, la diferencia radica en el método de ponderación.

El resultado mostro que los métodos más consistentes son los métodos que se les aplico el método de ponderación de Iyengar & Sudarshan. Aunque los tres métodos de normalización al aplicarles en método Iyengar & Sudarshan tuvieron en la mayoría de los casos resultados iguales, hubo diferencias en el método cíclico que al evaluarlas no se ajustaron a los resultados, por tal motivo se rechaza el método cíclico. Para efectos de este trabajo se elegido el método de re escalamiento ya que es robusto y uno de los más utilizados.

De acuerdo al análisis de la elección del mejor método, se observa que los métodos que mejor se ajustan, son los métodos tres, cuatro y seis (Tabla 64 y Tabla 65). En la comparación de estos tres métodos, se observa que el método seis en la exposición de gestión institucional del AHM, tuvo algunas diferencias con respecto al método tres y cuatro y estas diferencias no se ajustaron a los resultados, por tal motivo se rechaza el método seis. Para efectos de este trabajo se aplicó el método cuatro.

Tabla 64. Porcentaje de coincidencias de los resultados de vulnerabilidad

Tipo de vulnerabilidad	Métodos 1 y 5		Métodos 3, 4 y 6	
	AMG	AHM	AMG	AHM
SE	73	64	91	91
GI	36	73	100	100
A	73	82	64	100
GI	28	9	100	100
Promedio	52.50	57.00	88.75	97.75

Fuente: Elaboración propia

Nota:

Método 1 (utilizando la normalización de estandarización con el método de regresión como ponderación)

Método 2 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de regresión como ponderación)

Método 3 (utilizando la normalización estandarización con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 4 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 5 (utilizando la normalización cíclico con el método de regresión como ponderación)

Método 6 (utilizando la normalización cíclico con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Tabla 65. Porcentaje de coincidencias de los resultados de exposición

Tipo de exposición	Métodos 1, 2 y 5		Métodos 3, 4 y 6	
	AMG	AHM	AMG	AHM
SE	100	100	100	100
GI	100	91	91	100
A	100	10	100	100
GI	91	64	91	73
Promedio	97.75	66.25	95.50	93.25

Fuente: Elaboración propia

Nota:

Método 1 (utilizando la normalización de estandarización con el método de regresión como ponderación)

Método 2 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de regresión como ponderación)

Método 3 (utilizando la normalización estandarización con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 4 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 5 (utilizando la normalización cíclico con el método de regresión como ponderación)

Método 6 (utilizando la normalización cíclico con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

5.1.9. Paso 9. Índice de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

5.1.9.1. Índice de vulnerabilidad (IA) del AMG y AHM

La vulnerabilidad socioeconómica del AMG muestra que en el 2008 la vulnerabilidad era alta en el 2009 aumento a muy alta, en el año 2010 y 2011 fue alta, en el 2012 fue muy alta y finalmente en el periodo 2013-2018 muestra que tuvo un comportamiento descendente, esto se debió a la disminución de la población económicamente activa desocupada y la población en condiciones de pobreza, y debido también a que el ingreso per cápita anual ha ido en aumento (Figura 55 y Tabla 66).

La vulnerabilidad socioeconómica del AHM muestra que en el periodo 2009-2011 la vulnerabilidad se alterna entre alta y muy alta, esto se debió a que la población económicamente desocupada aumento considerablemente en el 2009, la población en condiciones de pobreza aumento en los años 2011-2012 y el ingreso per cápita disminuyo en el 2011. Posteriormente en el periodo 2013-2018 la vulnerabilidad fue disminuyendo año con año (Figura 55 y Tabla 67).

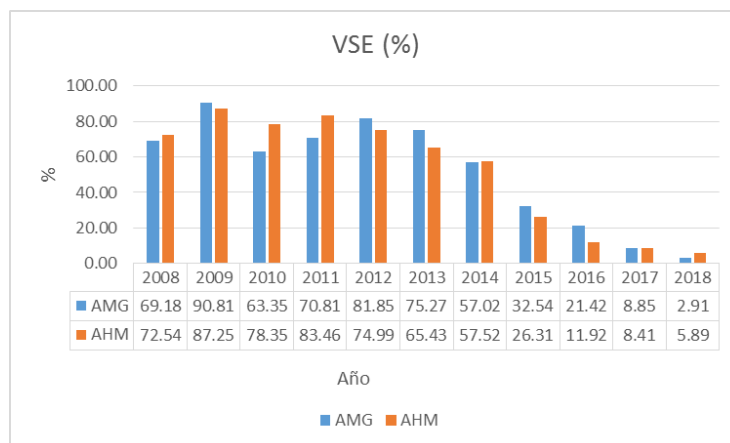


Figura 55. Porcentaje del índice de VSE del AMG y AHM

Fuente: Elaboración propia

La vulnerabilidad de gestión institucional del SIAPA ha tenido un comportamiento cambiante, esto se debió a la eficiencia física que aumento en el 2012 y 2013 y disminuyo en el año 2014 para después aumentar en el periodo 2015-2018, el promedio de eficiencia física es del 67%, también se debió la micro medición que aunque el promedio es de 87% ha tenido una disminución en el periodo 2013-2018 (Figura 56 y Tabla 66).

La vulnerabilidad de gestión institucional del SADM muestra que en el año 2008 y 2009 la vulnerabilidad fue muy alta, esto se debió principalmente a que la eficiencia física y comercial disminuyeron, posteriormente en el 2010 se fue al extremos con muy baja, la razón fue porque el consumo disminuyo y las eficiencias física y comercial aumentaron, sin embargo en los años 2011 y 2012 la vulnerabilidad se fue al extremo de alta y muy alta, debido a que las eficiencias física y comercial disminuyeron y el consumo aumento en el 2011. Y por último, en el periodo 2013-2018 la vulnerabilidad de nuevo se fue al extremo con baja en el 2013, esto fue porque en su mayoría los indicadores de sensibilidad disminuyeron y los de capacidad de adaptación aumentaron, exceptuando la eficiencia física la cual disminuyo pero no tuvo gran impacto ya que el incremento del año anterior fue mayor que la disminución. En los siguientes años la vulnerabilidad disminuyo hasta llegar a muy baja en el 2017 y 2018 (Figura 56 y Tabla 67).

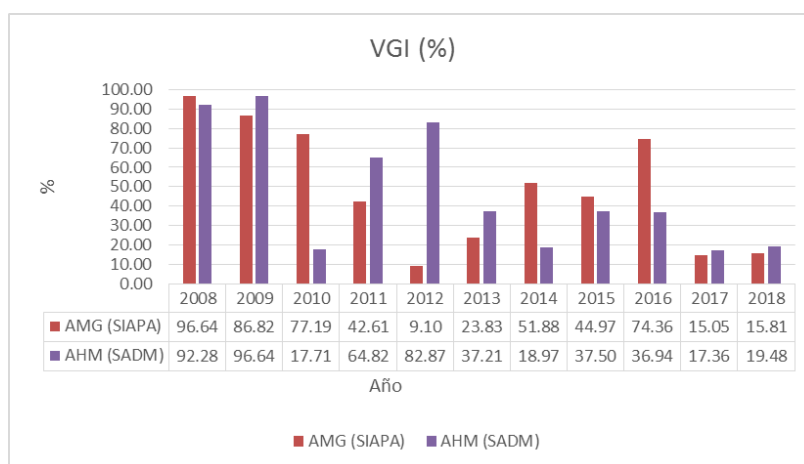


Figura 56. Porcentaje del índice de VGI del AMG y AHM
Fuente: Elaboración propia

La vulnerabilidad ambiental del AMG ha tenido un comportamiento muy extremo de un año a otro este comportamiento se debe a la calidad del agua superficial (DBO) y subterránea (SDT) y al volumen tratado. La calidad del agua superficial en general es aceptable, esto significa que tiene indicios de contaminación. La calidad del agua subterránea es dulce sin embargo se puede observar cómo se incrementaron los SDT de manera considerable en año 2012, este incremento pudo deberse a la sequía del 2011 que se presentó en México. Con respecto al volumen tratado subió a partir del año 2011, con un promedio del periodo 2011 al 2018 de 68% (Figura 57 y Tabla 66).

La vulnerabilidad ambiental del AHM muestra que en periodo 2008-2018, tuvo un comportamiento descendente en los siguientes años, siendo muy alta en el 2008 y muy baja en el 2018 esto se debe a que el SADM tiene el 100% de volumen tratado y también a la

disminución de los SDT aunque su calidad sigue siendo ligeramente salobre (Figura 57 y Tabla 67).

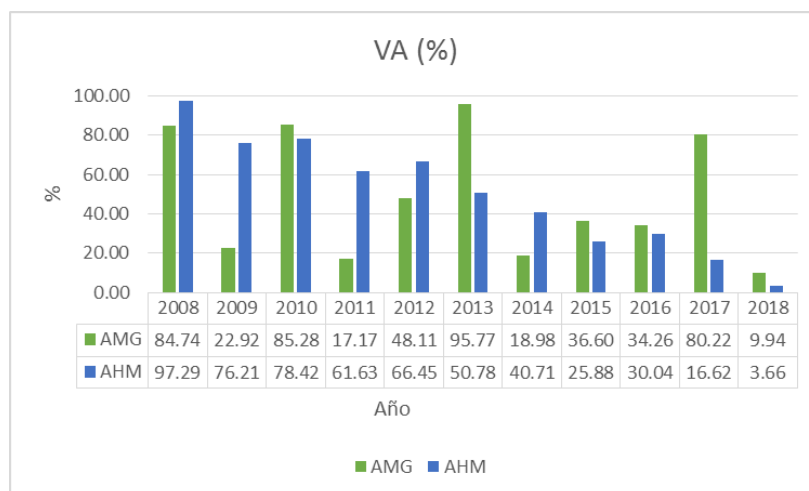


Figura 57. Porcentaje del índice de VA del AMG y AHM
Fuente: Elaboración propia

La vulnerabilidad general del AMG muestra que en el periodo 2008-2010 la vulnerabilidad fue de muy alta y alta, posteriormente en el periodo 2011-2013 la vulnerabilidad descendió en el 2011, pero volvió a subir en los dos siguientes años, a partir del periodo 2014-2018 la vulnerabilidad fue baja y muy baja en el último año. Se observa que el mayor peso lo tiene la vulnerabilidad ambiental, posteriormente la vulnerabilidad de gestión institucional y por último la vulnerabilidad socioeconómica (Figura 58 y Tabla 66).

La vulnerabilidad general del AHM muestra que en el periodo 2008-2018 la vulnerabilidad va desde muy alta a muy baja. Aunque la vulnerabilidad sea muy baja, se debe de atender a la vulnerabilidad de gestión institucional, posteriormente a la ambiental y por último a la socioeconómica (Figura 58 y Tabla 67).

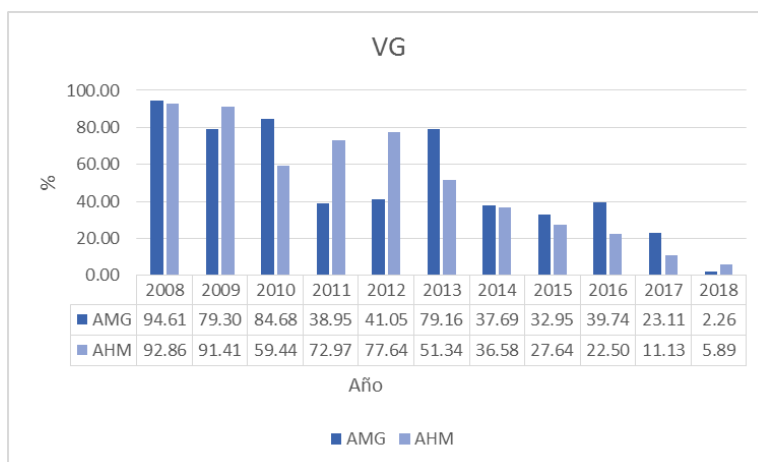


Figura 58. Porcentaje del índice de VG del AMG y AHM
Fuente: Elaboración propia

Tabla 66. Grado de vulnerabilidad del AMG

AÑO	VSE	VGI	VA	VG
2008	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2009	Muy alta	Muy alta	Baja	Alta
2010	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta
2011	Alta	Media	Muy baja	Baja
2012	Muy alta	Muy baja	Media	Media
2013	Alta	Baja	Muy alta	Alta
2014	Media	Media	Muy baja	Baja
2015	Baja	Media	Baja	Baja
2016	Baja	Alta	Baja	Baja
2017	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Baja
2018	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Elaboración propia

Tabla 67. Grado de vulnerabilidad del AHM

AÑO	VSE	VGI	VA	VG
2008	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2009	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2010	Alta	Muy baja	Alta	Media
2011	Muy alta	Alta	Alta	Alta
2012	Alta	Muy alta	Alta	Alta
2013	Alta	Baja	Media	Media
2014	Media	Muy baja	Media	Baja
2015	Baja	Baja	Baja	Baja
2016	Muy baja	Baja	Baja	Baja
2017	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2018	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Elaboración propia

5.1.9.2. Índice de exposición (IE) del AMG y AHM

La exposición socioeconómica del AMG y del AHM en el periodo 2008-2018 muestra que la exposición va desde muy baja hasta muy alta esto se debió a que la densidad de población ha seguido aumentando (Figura 59).

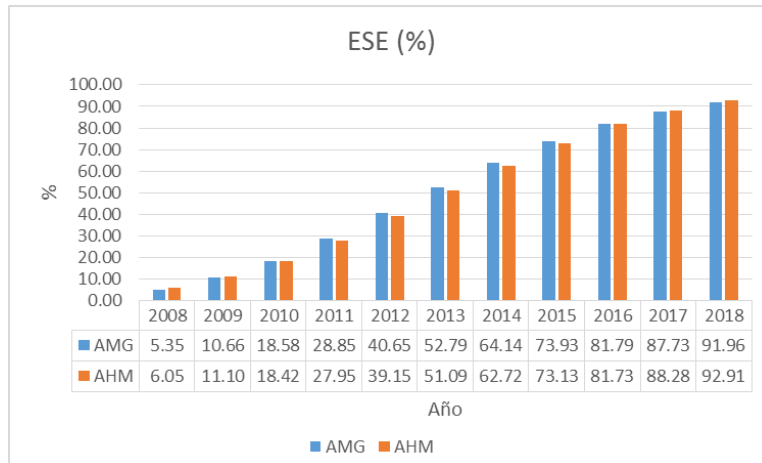


Figura 59. Porcentaje del índice de ESE del AMG y AHM
Fuente: Elaboración propia

La exposición de gestión institucional del SIAPA en el periodo 2008-2012 muestra que la exposición fue baja. Posteriormente en el 2013 la exposición aumento y en el 2014 disminuyo. Por último, en el periodo 2015-2018 la exposición paso al extremo con una exposición muy alta. El mayor peso de importancia lo tiene el indicador horas con servicio continuo 24/7 ya que en un evento de sequía podría disminuir el abastecimiento regular a la población (Figura 60)

La exposición de gestión institucional del SADM en el periodo 2008-2018 muestra que la exposición va desde muy baja hasta muy alta. Esto se debe al volumen de agua potable producido (Figura 60)

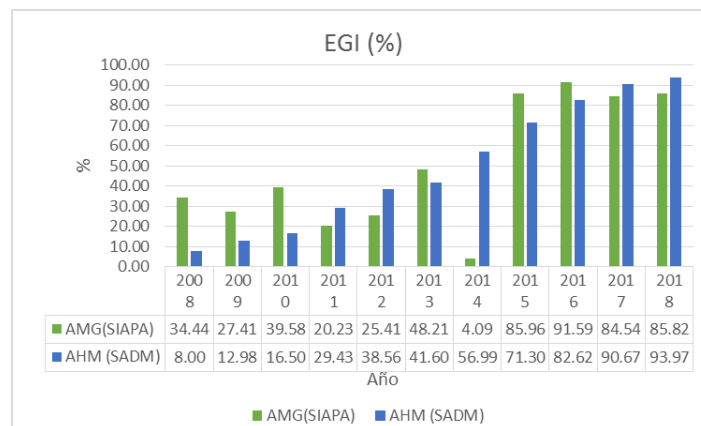


Figura 60. Porcentaje del índice de EGI del AMG y AHM
Fuente: Elaboración propia

La exposición ambiental de Jalisco muestra que en el periodo 2008-2018 la exposición va desde muy baja hasta muy alta esto se debe a que el grado de presión del recurso hídrico ha aumentado en el estado (Figura 61).

La exposición ambiental en el estado de NL en el periodo 2008-2010 muestra que la exposición es alta y muy alta debido a que en esos años se incrementó el grado de presión del recurso hídrico, el cual disminuyó en el periodo 2011-2013, y del periodo 2014 al 2016 aumento, por último en el 2017 y 2018 disminuyó, sin embargo si la tendencia continua, la presión del recurso hídrico volverá a aumentar (Figura 61).

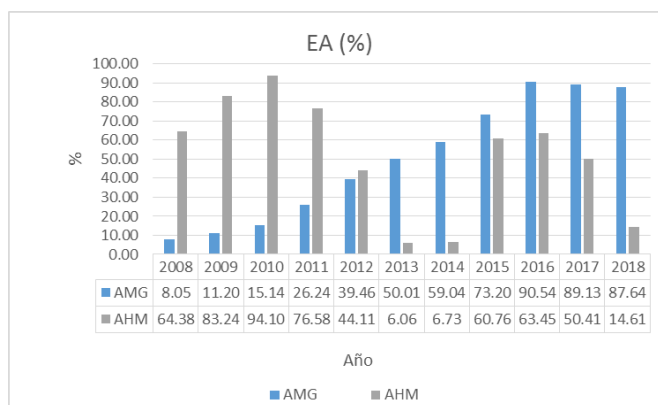


Figura 61. Porcentaje del índice de EA del AMG y AHM
Fuente: Elaboración propia

La exposición general del AMG en el periodo 2008-2012 muestra que la exposición fue muy baja y baja, posteriormente en el 2013 subió a media, pero en el 2014 bajo y por último en el periodo 2015-2018 la exposición fue alta. Se observa que el mayor peso se encuentra en la exposición de gestión institucional esto se debe a que lo que está más expuesto en épocas de sequía es el servicio de agua potable, posteriormente la exposición socioeconómica y por último la exposición ambiental (Figura 62)

La exposición general del AHM muestra que la prioridad de atención debe estar en la exposición ambiental, ya que si la presión del recurso hídrico es mayor a 40%, se considera que se ejerce una fuerte presión sobre el recurso, el promedio del estado de NL es de 48%, posteriormente la segunda prioridad es la exposición de gestión institucional y por último la socioeconómica (Figura 62).

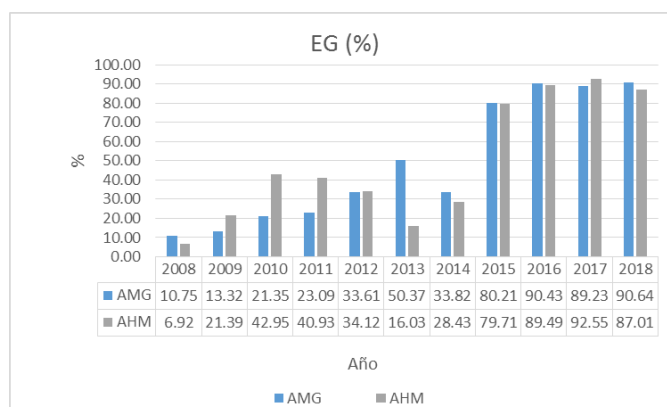


Figura 62. Porcentaje del índice de EG del AMG y AHM
Fuente: Elaboración propia

Tabla 68. Grado de exposición del AMG

AÑO	ESE	EGI	EA	EG
2008	Muy baja	Baja	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Baja	Muy baja	Muy baja
2010	Muy baja	Baja	Muy baja	Baja
2011	Baja	Baja	Baja	Baja
2012	Media	Baja	Baja	Baja
2013	Media	Media	Media	Media
2014	Alta	Muy baja	Media	Baja
2015	Alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Grado de exposición del AHM

AÑO	ESE	EGI	EA	EG
2008	Muy baja	Muy baja	Alta	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Baja
2010	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Media
2011	Baja	Baja	Alta	Media
2012	Baja	Baja	Media	Baja
2013	Media	Media	Muy baja	Muy baja
2014	Alta	Media	Muy baja	Baja
2015	Alta	Alta	Alta	Alta
2016	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Media	Muy alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta

Fuente: Elaboración propia

5.2. Conclusiones sobre la vulnerabilidad y la exposición

Al realizar el análisis de vulnerabilidad y exposición con los métodos de normalización y ponderación seleccionados (Paso 5 y Paso 6), se observa en todos los casos no importa que método de normalización se utilice, la diferencia radica en el método de ponderación.

El resultado mostro que los métodos más consistentes son los métodos que se les aplico el método de ponderación de Iyengar & Sudarshan. Aunque los tres métodos de normalización al aplicarles en método Iyengar & Sudarshan tuvieron en la mayoría de los casos resultados iguales, hubo diferencias en el método cíclico que al evaluarlas no se ajustaron a los resultados, por tal motivo se rechaza el método cíclico. Para efectos de este trabajo se elegido el método de normalización de re escalamiento ya que es robusto y uno de los más utilizados.

Los resultados de la vulnerabilidad socioeconómica del AMG y AHM muestran que la tendencia va a la baja en condiciones normales (sin pandemia), debió a la disminución de la población económicamente activa desocupada y la población en condiciones de pobreza, y debido también a que el ingreso per cápita anual ha ido en aumento. A partir de la pandemia del Covid-19 se incrementará la población económicamente activa desocupada, la población en condiciones de pobreza y disminuirá el ingreso per cápita.

El resultado de la vulnerabilidad de gestión institucional en el AMG ha tenido un comportamiento cambiante así que su tendencia es ir en aumento, se recomienda trabajar en aumentar el porcentaje de micro y macro medición y eficiencia física.

Con respecto a los resultados de vulnerabilidad de gestión institucional en el AHM, aunque la vulnerabilidad en los dos últimos años sea muy baja, se puede observar que el comportamiento de la eficiencia física tiene un comportamiento de sube y baja. Por tal motivo se recomienda incrementar los niveles de eficiencia física del SADM.

El resultado de la vulnerabilidad ambiental en el AMG ha tenido un comportamiento muy extremo en el periodo 2008-2018. La prioridad debiera ser aumentar el volumen tratado.

El resultado de vulnerabilidad ambiental en el AHM tiene una tendencia la baja, en este sentido con las acciones que realiza el SADM de tratar el 100% del volumen tratado y venderlo a las empresas, minimiza el deterioro de la naturaleza.

La tendencia de la vulnerabilidad general del AMG y AHM va a la baja en el periodo 2008-2018. En el AMG se pone mayor énfasis en mejorar la vulnerabilidad ambiental. En el caso del AHM la oportunidad de mejora sería en la vulnerabilidad de gestión institucional en específico en la eficiencia física.

Con respecto a la exposición del AMG y AHM frente a la sequía, los resultados mostraron que el incremento de la densidad de población las hace muy expuestas ante este fenómeno, además al concentrarse la población en estas áreas metropolitanas y ante el incremento de la población, el volumen de agua producido tiende a ir en aumento. El grado de presión del recurso hídrico también ha ido en aumento. La tendencia de la exposición general de las áreas de estudio va en aumento.

Capítulo 6. Cálculo del índice de riesgo por sequía (IRS)

Para calcular el índice de riesgo por sequía (IRS), se utilizó el método de agregación geométrica, con la fórmula propuesta por Khoshnazar et al. (2021). Posteriormente el IRS se ajustó a la prueba ampliada de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de los datos y por último se clasificó en cinco niveles (Muy baja, baja, moderada, alta y muy alta). La evaluación del riesgo por sequía en las áreas de estudio se realizó primero analizando el índice de riesgo por sequía promedio el objetivo de este análisis es mostrar el riesgo por sequía por su ocurrencia de eventos, posteriormente el índice de riesgo por sequía general (ecuación 2), después el riesgo por sequía socioeconómico (ecuación 2 tomando solo el índice de vulnerabilidad y exposición socioeconómica), enseguida el riesgo por sequía de gestión institucional (ecuación 2 tomando solo el índice de vulnerabilidad y exposición de gestión institucional) y por último el riesgo por sequía ambiental (ecuación 2 tomando solo el índice de vulnerabilidad y exposición ambiental).

6.1. Método de agregación geométrica

El método de agregación geométrica facilita la interpretación de los resultados y el análisis de la ordenación final de las unidades analizadas, admite un menor grado de compensación entre los indicadores (Blancas et al., 2011). La fórmula es la siguiente (Bas, 2014):

$$IC_c = \prod_{q=1}^Q (I_{qc})^{w_q} \quad (26)$$

Dónde: IC_c =Agregación geométrica, w_q es el peso del indicador y I_{qc} el valor normalizado de la unidad de análisis con respecto al indicador q , para $q = 1, \dots, Q$

Khoshnazar et al. (2021) modificaron la ecuación 3 para calcular el índice de riesgo como:

$$IRS = \left(\prod_1^n I_i \right)^{\frac{1}{n}} = \sqrt[n]{I_1 I_2 \dots I_n} \quad (27)$$

Dónde: IRS es el Índice de riesgo por sequía, I_i es el i th el componente (índice) que contribuye al índice de riesgo, y n es el número total de componentes.

6.2. Ajuste del índice de riesgo a una distribución probabilística y su clasificación

Como lo documentan Mbah y Paothong (2014) y Razali y Wah (2011), existen más de 40 pruebas de normalidad. Tal vez la primera de estas fue la propuesta por Pearson (1894) y desde entonces se encuentran en la literatura diferentes test que intentan aproximarse al problema de identificar si una muestra proviene de una distribución normal o no mediante diferentes vías (Alonso & Montenegro, 2015). Entre las pruebas de normalidad, la prueba de

Kolmogorov-Smirnov (KS), la prueba de Shapiro-Wilk, la prueba de Anderson-Darling y la prueba de Cramer-von Mises se utilizan ampliamente en la práctica y se implementan en muchas aplicaciones estadísticas (SAS Guide, 2004).

En este trabajo se utilizó la prueba ampliada de Shapiro Wilk, la cual se describe en el paso ocho de la metodología para el cálculo del índice de vulnerabilidad y exposición. Para realizar la prueba ampliada de Shapiro Wilk se utilizó el software Real-Statistics, este software es gratuito y se puede consultar en <http://www.real-statistics.com/>

Los resultados arrojaron que la distribución que sigue el IRS es una distribución normal estándar.

Una vez que se obtiene la función de distribución, se propone categorizar el riesgo en cinco niveles en rango de percentiles, cada rango de percentil obedece al 20%, de manera similar a los índices de exposición y vulnerabilidad calculados previamente.

Tabla 70. Grado de riesgo por sequía.

Grado de riesgo	Valor del percentil
Muy bajo	$0 < I_{Ri} \leq 20$
Bajo	$20 < I_{Ri} \leq 40$
Moderado	$40 < I_{Ri} \leq 60$
Alto	$60 < I_{Ri} \leq 80$
Muy alto	$80 < I_{Ri} \leq 100$

Fuente: Iyengar & Sudarshan (1982)

6.3. Evaluación del riesgo por sequía en las áreas de estudio (AHM y AMG) periodo 2008-2018

En la Figura 63 se muestra el porcentaje del riesgo por sequía por la ocurrencia de eventos que se han presentado en AHM y AMG, donde se puede observar que en estas áreas el riesgo por sequía moderada es mayor con respecto a la severa y la extrema. El riesgo por sequía severa es mayor en el AMG que en el AHM.

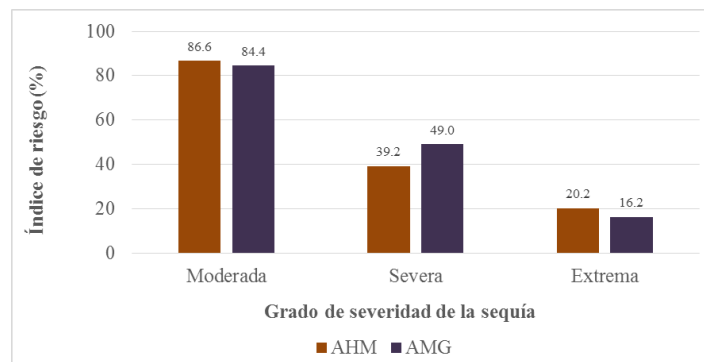


Figura 63. Índice de riesgo por sequía (%) del AHM y AMG (promedio del período 2008-2018)

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del riesgo por sequía general muestran que la tendencia del AHM y AMG es ir a la alza. Pese a que la tendencia de la vulnerabilidad general del AMG y AHM vaya a la baja en el periodo 2008-2018, la tendencia de la exposición general es ir a la alza ya que la población ha ido en aumento y esta se concentra en estas áreas metropolitanas, por lo tanto demanda más agua y existe un mayor estrés hídrico. En el caso del AHM se observa como ha tenido un comportamiento de sube y baja, en el periodo 2008- 2009 paso de muy baja a alta y en el periodo 2017-2018 paso de alta a baja esto se explica debido al comportamiento del riesgo por sequía socioeconómico en esos periodos, también se observa un comportamiento extremo en los periodos 2012-2013 y 2014-2015 esto se debió al comportamiento del riesgo por sequía ambiental. En el caso del AMG los comportamientos extremos se observan en el periodo 2012-2014 esto se debió a que el riesgo por sequía socioeconómica, de gestión institucional y ambiental aumentaron del 2012 al 2013, en el periodo 2013-2014 el riesgo por sequía socioeconómico y de gestión institucional disminuyeron y el riesgo por sequía ambiental se mantuvo igual. Con respecto al periodo 2014-2015 paso de baja a muy alta, este comportamiento se debió al riesgo por sequía de gestión institucional y por último en el periodo 2017-2018 paso de muy alta a media esto se debió al comportamiento del riesgo por sequía socioeconómica (Figura 64).

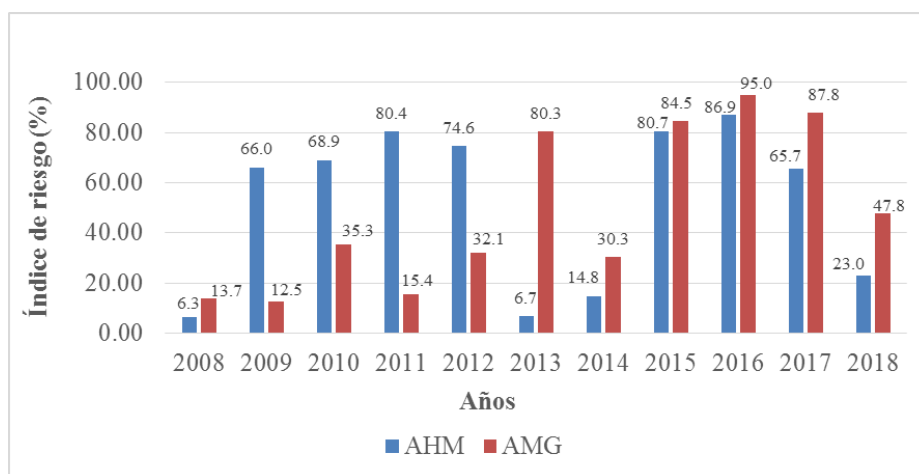


Figura 64. Índice de riesgo por sequía general (IRS G) del AHM y AMG (2008-2018)
Fuente: Elaboración propia

Los resultados del riesgo por sequía socioeconómico muestran que en el AHM y AMG en el periodo 2008-2009 paso de un riesgo muy bajo a medio esto se debió a que en la vulnerabilidad la sensibilidad aumentó y la capacidad de adaptación disminuyó, y en la exposición la densidad de población aumentó. En el periodo 2011-2014 se presentó un riesgo socioeconómico alto y muy alto en estas dos áreas, esto se debió a que la vulnerabilidad en ese periodo tuvo una vulnerabilidad alta y muy alta, la población en condiciones de pobreza aumentó, y el ingreso per cápita disminuyó en el 2011. Por último en el periodo 2017-2018 en el AHM su comportamiento fue de bajo a muy bajo y en AMG fue de media a muy baja, esto se debió a que la vulnerabilidad disminuyó en ambas áreas de estudio (Figura 65).

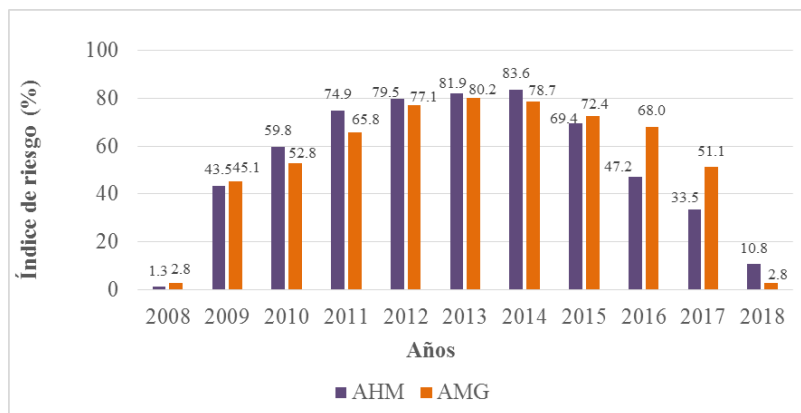


Figura 65. Índice de riesgo por sequía socioeconómica del AHM y AMG (2008-2018)
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del riesgo por sequía en la gestión institucional muestran que la tendencia en estas áreas es ir a la alza. En el caso del AMG se observa un comportamiento de sube y baja. Esto se debió a que en el periodo 2011-2014 y 2017-2018 en lo que respecta a la vulnerabilidad, la capacidad de adaptación aumento (La eficiencia física aumento en el periodo 2012-2013 y 2017, el % de micro y macromedición aumento en el periodo 2011-2013 y 2017-2018, la eficiencia comercial aumentó en el 2011, 2014 y 2017-2018) y en la sensibilidad específicamente el consumo disminuyo en el periodo 2012-2013 y 2017-2018. En lo que respecta a la exposición, en estas dos áreas el volumen de agua producido creció significativamente en el periodo 2015-2018. En el SIAPA y el SADM el indicador con un mayor peso de importancia lo tiene el indicador horas con servicio continuo 24/7 ya que en un evento de sequía podría disminuir el abastecimiento regular a la población y la población tendría que hacer gastos no previstos para la compra de tinacos para la captación de agua. En el caso del AHM se observa que la eficiencia física no ha aumentado lo que se traduce en pérdidas por fugas (Figura 66).

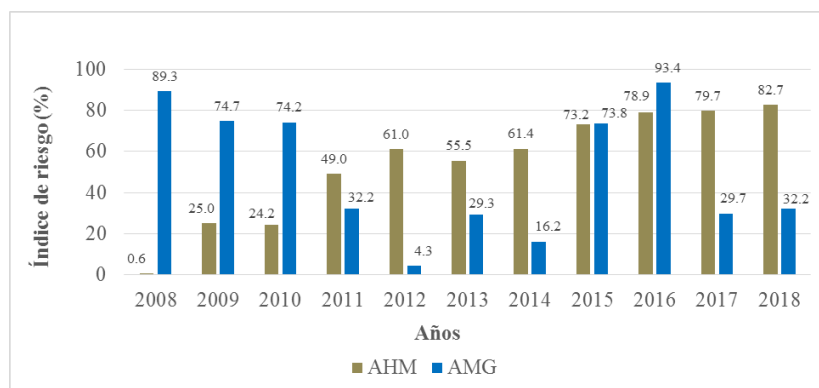


Figura 66. Índice de riesgo por sequía de gestión institucional del AHM y AMG (2008-2018)
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del riesgo por sequía ambiental muestran que en el AHM tiene un comportamiento de sube y baja, se observa un riesgo muy alto del 2008 al 2010 en el 2011-2012 alto y en 2013y 2014 su comportamiento fue extremo con un riesgo muy bajo, esto se debió a que en la vulnerabilidad hubo una disminución en la sensibilidad específicamente en la calidad del agua subterránea con una disminución de SDT y en la exposición el grado de

presión del recurso hídrico disminuyo, en el periodo 2014-2015 se observa como el riego aumento de muy bajo a medio y esto se debió a un aumento en la exposición en el grado de presión del recurso hídrico. Por último, en el periodo 2017-2018 se observa también un comportamiento de riesgo medio a muy bajo y esto se debió a que el grado de presión del recurso hídrico disminuyo. En el caso del AMG se observa que el riesgo por sequía ambiental es ir a la alza y esto se debe a que la vulnerabilidad específicamente en la calidad del agua subterránea los niveles de SDT han aumentado, y el grado de presión del recurso hídrico también ha ido en aumento. (Figura 67).

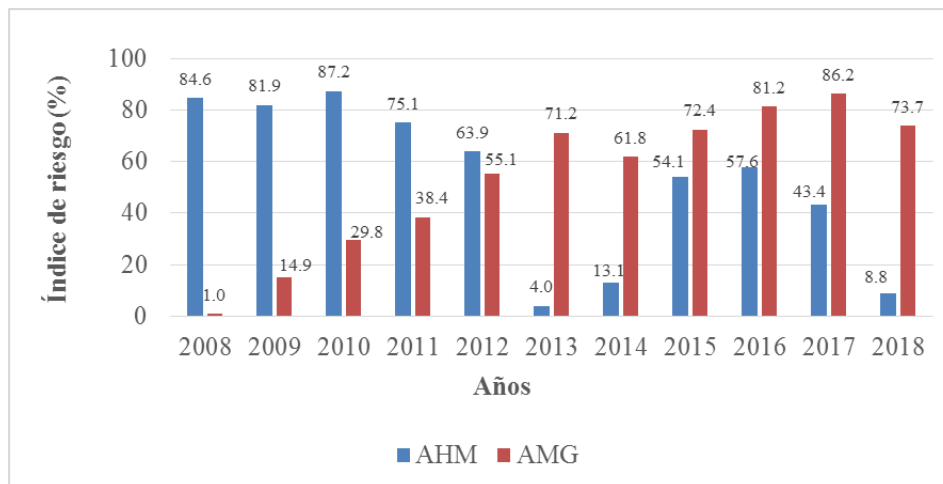


Figura 67. Índice de riesgo por sequía ambiental del AHM y AMG (2008-2018)
Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 7. Discusión de resultados, conclusiones y recomendaciones

a) Discusión relativa a la metodología

En esta tesis doctoral se consultaron 26 trabajos nacionales e internacionales relacionados con el riesgo por sequía, los cuales se mencionan en los antecedentes y además se consultó el trabajo realizado por Blahut (2020), donde hace una revisión de 82 artículos a nivel internacional relacionados con el riesgo por sequía. El total de artículos revisados fueron 108 del periodo 2001-2021 donde se observa que el 67% son trabajos relacionados con la agricultura, el 25% con múltiples amenazas, el 2% relacionado con sequia hidrológica y agricultura y el 6% restante con temas relacionados a la silvicultura, energía eléctrica, estrés déficit hídrico y salud. Con respecto a las metodologías de riesgo urbano de sequía como se mencionó en los antecedentes existe poca investigación. Por lo tanto, se realiza una discusión de las metodologías de riesgo por sequía donde está involucrada el área urbana de manera directa o indirectamente. Al respecto se encontraron los siguientes trabajos; Welle & Birkmann (2015), Neri & Magaña, (2016), Sena et al., (2017), Ortega-Gaucin et al., (2018b) y Ahmadalipour et al., (2019). Las metodologías se analizaron mediante la estructura de la metodología FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) propuesta por Ramírez, (2017). Su metodología se muestra en la Figura 68 y en el Anexo 12 se encuentra el análisis completo. Los criterios de análisis son: Metodología, escala espacial, indicadores de vulnerabilidad, exposición y amenaza, formulas y resultados.

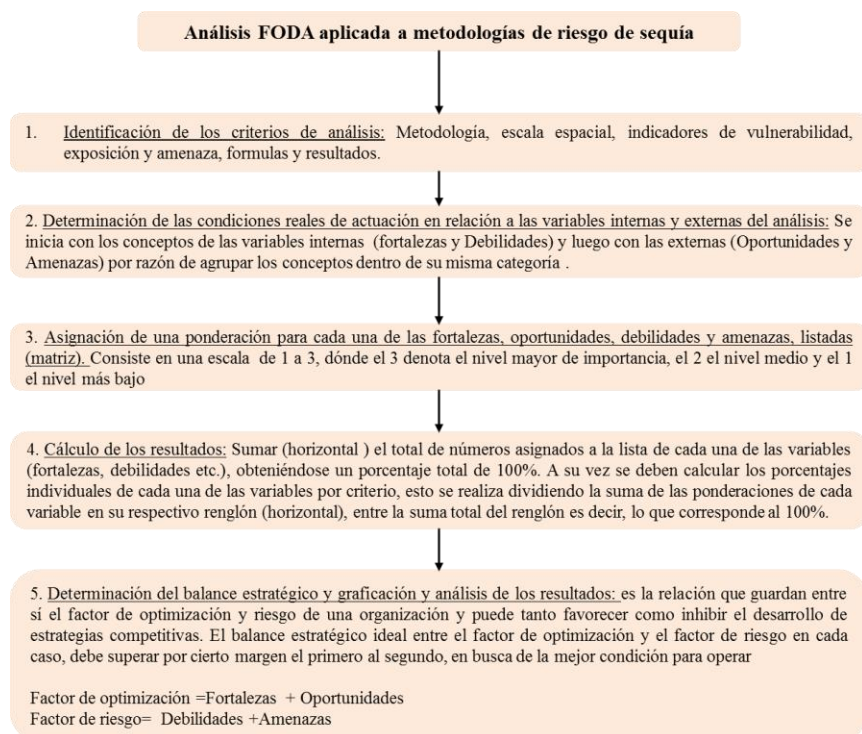


Figura 68. Análisis FODA aplicada a metodologías de riesgo por sequía

Fuente: Elaboración propia a partir de Ramírez (2017).

Los resultados de la metodología propuesta por Well & Birkman (2015) muestra que el factor de optimización es mayor al factor de riesgo, debido principalmente que su metodología es entendible y se involucraron el juicio de expertos. Entre los aspectos de factores de riesgo es que no se mencionan que indicadores se descartaron por falta de información, además debido a su escala a nivel país se podría generalizar y es más difícil identificar las vulnerabilidades puntuales (Figura 69).

Con respecto a la metodología propuesta por Neri & Magaña (2016) muestra que el factor de optimización y el factor de riesgo son iguales esto se debió a que su metodología se explica y sus indicadores son fáciles de entender, sin embargo resultaron insuficientes para obtener la vulnerabilidad real de todas las regiones de estudio (Figura 70).

Los resultados de la metodología propuesta por Sena et al. (2017) muestra que el factor de riesgo es mayor al factor de optimización, debido principalmente a que su metodología se explica, sus indicadores son fáciles de entender y su escala de estudio es fina, sin embargo la metodología podría no resultar útil por falta de indicadores (Figura 71).

La metodología propuesta por Ortega-Gaucin et al. (2018b) muestra que el factor de optimización es mayor al factor de riesgo, debido principalmente que su metodología es entendible, su estudio está a una escala fina, sus indicadores son entendibles. Entre los aspectos de factores de riesgo es que no se incluye el juicio de expertos en la ponderación de los indicadores y esto podría no reflejar la vulnerabilidad real (Figura 72).

Finalmente la metodología propuesta por Ahmadalipour et al. (2019) muestra que el factor de optimización y el factor de riesgo son iguales esto se debió a que sus indicadores son fáciles de entender, sus fuentes de información son reconocidas sin embargo hicieron sus cálculos de vulnerabilidad con faltante de datos en algunos años, su metodología se describe en dos artículos por separado y algunos anexos que mencionan no está disponibles de manera pública (Figura 73).

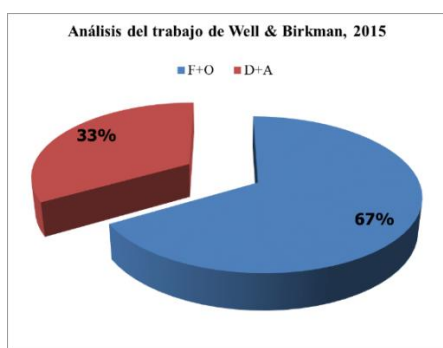


Figura 69. Análisis FODA del trabajo de Well & Birkman (2015)
Fuente: Elaboración propia

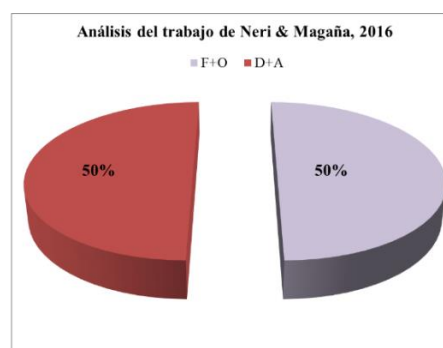


Figura 70. Análisis FODA del trabajo de Neri & Magaña (2016)
Fuente: Elaboración propia

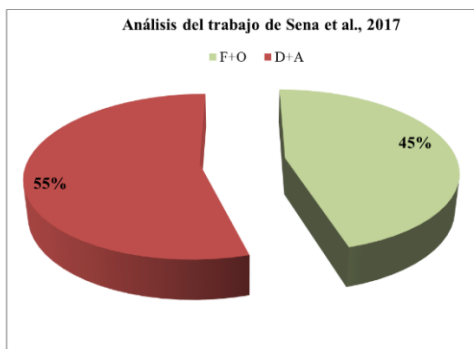


Figura 71. Análisis FODA del trabajo de Sena et al. (2017)

Fuente: Elaboración propia

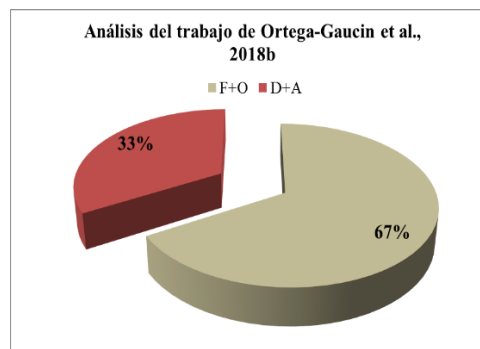


Figura 72. Análisis FODA del trabajo de Ortega-Gaucin et al. (2018b)

Fuente: Elaboración propia

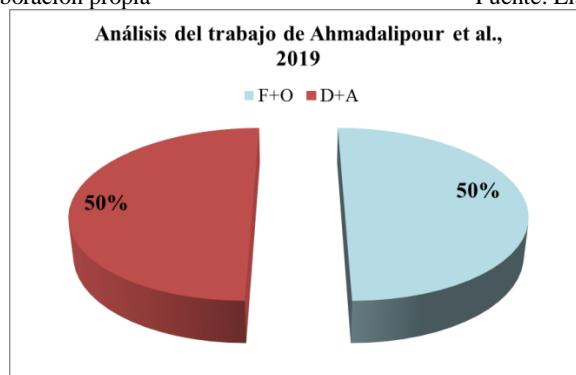


Figura 73. Análisis FODA del trabajo de Ahmadalipour et al. (2019)

Fuente: Elaboración propia

Las diferencias de la metodología que se propone en esta tesis doctoral con respecto a las demás metodologías analizadas con el método FODA es el enfoque que se le da y su propósito. En este trabajo doctoral se propone una metodología para calcular índices de peligro, vulnerabilidad, exposición y riesgo por sequía en Organismos Operadores de Agua Potable y sus respectivas áreas metropolitanas. Para ello, se utilizan indicadores climatológicos, socioeconómicos, ambientales y de gestión institucional. Para la evaluación del riesgo se adoptó el enfoque contextual, que define el riesgo en función de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad. Asimismo, se evalúan primero los elementos del riesgo por sequía por separado, y después se analizan en conjunto para calcular el grado de riesgo de las áreas metropolitanas bajo análisis (AHM y AMG), con el objetivo de contribuir a cerrar la brecha que hay en los estudios de riesgo urbano a la sequía, y para generar conocimiento que pueda ser de utilidad para los responsables de los OOAPAS y los profesionales responsables de la formulación de políticas para la gestión del riesgo. En esta tesis se identifican los indicadores de vulnerabilidad y exposición que incrementan el riesgo en las áreas de estudio, y que puedan ser relevantes para los directivos de los OOAPAS y las personas encargadas de formular políticas públicas. Para ello, se seleccionaron los indicadores que se consideraron más relevantes que influyen en la vulnerabilidad y exposición ante la sequía; sin embargo, existen más indicadores y su inclusión dependerá de la importancia de quién evalúe y de la disponibilidad de datos.

Como se puede observar no hay una manera única de calcular los componentes del riesgo. La metodología del riesgo urbano por sequía propuesta en este trabajo puede aplicarse en

otras ciudades o áreas metropolitanas. Sin embargo, es necesario mencionar algunos aspectos de gran importancia respecto a la metodología propuesta. Durante la realización de este estudio, se presentaron una serie de limitantes que dificultaron el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos. Dentro de estas se destacan:

- El tamaño de la muestra del periodo de estudio para la evaluación del Índice de vulnerabilidad y exposición fue de 11 años, esto se debió a que no se encontró información para todos los indicadores propuestos en años previos.
- Participación de los directivos de los OOAPAS en las dos áreas de estudio. Se tuvo su participación en la elección de los indicadores propuestos para la evaluación del índice de vulnerabilidad y exposición, pero por motivo de la pandemia del Covid-19 fue imposible reunirnos de nuevo para la elección de los pesos de estos indicadores, así que en su lugar se optó por un método de ponderación alterno. Esto al final podría no reflejar las condiciones reales de la vulnerabilidad y exposición.
- Datos incompletos de las estaciones hidrométricas: Algunas estaciones hidrométricas se omitieron ya que más del 80% de sus registros estaba incompletos y no era posible llenarlos con algún método.
- La evaluación del riesgo por sequía en estas dos áreas de estudio está basado en datos publicados de diferentes dependencias así que pueden estar sesgados por la calidad de los indicadores y los métodos de ponderación utilizados.

A pesar de las limitaciones anteriores, es preciso resaltar que la fortaleza de este estudio doctoral consiste en proponer una metodología para calcular índices de vulnerabilidad, exposición y riesgo por sequía en áreas metropolitanas y sus organismos operadores de manera detallada y que se pueda replicar. Además de un análisis de tres de los métodos más utilizados para la normalización y ponderación en la evaluación del índice de vulnerabilidad y exposición y, finalmente, contribuir al cierre de la brecha que hay en los estudios de riesgo urbano por sequía.

b) Discusión de resultados

Los resultados mostraron que debido a que en el AHM y AMG su suministro de agua proviene más de la mitad de fuentes superficiales, las hacen muy sensibles a las sequías. En cuanto a la precipitación media en el periodo de 1980-2018, se observa que, aunque el AMG tiene una precipitación media mayor que el AHM, estas han estado por debajo de la media en un 51%. El porcentaje de meses con sequía severa en estas dos áreas fue de 9 %. Por lo tanto, estas dos áreas son muy sensibles a las sequías meteorológicas. En cuanto a las sequías hidrológicas en estas dos áreas de estudio se puede observar que la probabilidad de ocurrencia es mayor en las sequías moderadas con respecto a las sequías severas y extremas con 0.74, 0.18, y 0.08 respectivamente para el AHM y 0.74, 0.22 y 0.04 respectivamente para el AMG.

Los resultados del riesgo por sequía muestran que la tendencia del AHM y AMG es ir al alza. Ya que la población en esas áreas ha ido en aumento por lo tanto demanda más agua y está sufriendo de un estrés hídrico. Se observa que cuando la población en condiciones de pobreza aumenta al igual que la población económicamente desocupada y el ingreso per

cápita disminuye, el riesgo por sequía socioeconómica es mayor. Con respecto al riesgo de gestión institucional se observa que también la tendencia es ir al alza ya que debido incremento de la población se está extrayendo más agua en un servicio continuo de 24/7 y además, la eficiencia física no aumenta y esto resulta en pérdidas en fugas. Con respecto al riesgo ambiental en el AHM y AMG se observa una tendencia de ir a la alza, debido a que el grado de presión del recurso hídrico ha ido en aumento. En el caso del AMG la calidad del agua superficial en general es aceptable, esto significa que tiene indicios de contaminación. La calidad del agua subterránea es dulce sin embargo se puede observar cómo se incrementaron los SDT de manera considerable en año 2012, este incremento pudo deberse a la sequía del 2011 que se presentó en México.

Debido a las intensas sequías que se han presentado desde el 2019 hasta junio del 2021 en el territorio nacional, se han propuesto varias soluciones como la infiltración y recarga de acuíferos, captación y aprovechamiento del agua de lluvia, modificación de políticas de agua, obras de captación, potabilización, conducción, incremento de volúmenes de agua residual tratada y su reúso, y proyectos de reordenamiento territorial (Breña & Breña, 2007; Conagua, 2014; González-Márquez, 2021 y Delcab, 2021).

Los resultados de este estudio confirman las afirmaciones de Esparza (2014), sobre la idea de que los efectos agravados de las sequías y la escasez de agua no sólo son por causas naturales, sino también por causa de factores sociales donde se destacan las malas políticas de administración y uso de las reservas de agua. Además confirman las afirmaciones de Pineda-Pablos & Salazar-Adams (2016), que dicen que la sequía no tiene un efecto directo en los sistemas urbanos de agua sino que está mediada por la infraestructura y gestión del agua; que el principal obstáculo para que las ciudades efectúen una gestión adaptativa del agua es la falta de sistemas de información confiable. También confirman las afirmaciones de Ahmadalipour et al. (2019), quienes consideran imprescindible controlar el crecimiento de la población para mitigar el riesgo por sequía ya que mejora la vulnerabilidad socioeconómica y reduce la exposición potencial a la sequía. Y por último se confirma la afirmación de Camacho (2012), sobre que el incremento en la vulnerabilidad, obligará a los organismos operadores a adaptarse a las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático, las cuales no solo estarán asociadas a un incremento de la demanda, sino también a una mayor presión sobre las fuentes de agua, una disponibilidad menor, cambios en la calidad del agua, por mencionar algunas; incrementando así los costos operativos y administrativos en una mayor proporción.

Las consecuencias de no contar con estrategias de gestión de riesgo, disminución de la vulnerabilidad y de la exposición se reflejan en la sequía intensa y generalizada que se está viviendo en México. Los resultados de este estudio se vinculan con la problemática que se está presentando el AMG y AHM, tal como se describe a continuación:

AMG

- Incremento de DBO y SDT: Se está incrementando la mala calidad del agua como consecuencia de que el SIAPA extrajo 32% más del agua para abastecimiento público (Meléndez, 2021b).

- Incremento del riesgo por sequía socioeconómica y de la vulnerabilidad y exposición de gestión institucional: La población afectada y que no cuenta con cisternas ni aljibes tiene que invertir en estos depósitos de almacenamiento para que le puedan dar el servicio de pipas gratuito, así que tienen que hacer una inversión de 7 mil pesos en adelante, y es un gasto que no todas las personas pueden costear, esta situación se recrudece en municipios como Tlaquepaque, donde según el INEGI 30% de la población carece de tinaco o de aljibe, cualquiera de los dos, mientras en Zapopan baja a 20% y en Guadalajara a 12% (Meléndez, 2021a). En el caso de Tlaquepaque en algunas colonias sufren cortes esporádicos debido a que están en una zona alta y requieren más presión, esas colonias no cuentan con cisterna, sin embargo, el SIAPA no las registra en su lista de zona de tandeos, los habitantes han comprado tambos de plástico y van a un llenadero de agua a surtirse de agua. El SIAPA no puede incrementar la presión del agua debido a la antigüedad de las tuberías y se corre el riesgo de que se incrementen las fugas. El Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) exigió a las autoridades del SIAPA asumieran la responsabilidad sobre la deficiente gestión del agua para el AMG y no culpar a las variaciones del ciclo hidrológico (Prieto, 2021).
- Incremento desmedido de la población: Se propone la conclusión del Circuito Multifuncional Hidráulico para abastecimiento del agua en el área metropolitana, pero esto no solucionará el problema de desabasto ya que el problema es que se observa que la ciudad de Guadalajara sigue creciendo de una forma desmedida, tanto horizontal como verticalmente (Manuela, 2021).
- Rezago en la cobertura de agua potable: Hay un polígono de 55 colonias de Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá, donde, todos los años enfrentan problemas de desabasto de agua por la deficiente infraestructura con que cuentan (Badillo, 2021).
- Disminución de la eficiencia física e incremento de fugas: Los organismos encargados de garantizar la gestión integral del agua no le han dado importancia a mejorar la infraestructura del drenaje y las tuberías, culpable de que un tercio del agua potable se desperdicie sin ser usada (Ramírez, 2021).
- Mala administración y corrupción: El discurso de los gobiernos ha sido la conclusión de la presa el Zapotillo pero esto implica que la concentración urbana le quite el recurso a una población rural o alejada de la metrópoli, lo que pocas veces se visibiliza y discute es que en muchas ocasiones el gran consumo no es por los habitantes de las ciudades sino los grandes consumidores dedicados a actividades de acumulación de capital, como usuarios industriales, agroindustria, desarrolladores inmobiliarios o extractivos. Como ejemplo el proyecto inmobiliario Iconia que el gobierno de Guadalajara concedió a desarrolladores privados. Las 13.6 hectáreas donde se pretenden florecer grandes edificios de departamentos estaban destinadas a un gran parque metropolitano (Martín, 2021).

AHM

- Incremento de la población, incremento de la demanda y estrés hídrico: Desde mediados del siglo XX, la zona metropolitana ha presentado un rápido ritmo de

crecimiento poblacional y con ello la demanda del uso del agua se ha incrementado (Flores, 2021). Derivado de la pandemia, que forzó a miles de regiomontanos a quedarse en su casa, se registró escasez del líquido (Enciso et al., 2021).

- Eficiencia física que no aumenta e incremento de fugas: Anualmente hay fugas por 134 millones de metros cúbicos, que representan 28% del total de metros que se consumen al año y que asciende a 480 millones de metros, lo que representa una pérdida de 2,150 millones de pesos para el SADM (Flores, 2021).

c) Conclusiones y recomendaciones

Como se mostró en el marco conceptual y metodológico del riesgo por sequía y sus componentes: amenaza, exposición y vulnerabilidad, existe una amplia gama de enfoques, métodos y herramientas para determinar las componentes del riesgo, sin embargo, no hay métodos que sean universalmente aplicables para hacer estas evaluaciones, ya que el fenómeno de la sequía depende de muchos factores contextuales y sus efectos son distintos en cada caso.

A partir de los artículos analizados relacionados con el riesgo por sequía se concluye que existe un vacío en los estudios de riesgo por sequía urbana. Esta propuesta de tesis doctoral tiene como objeto contribuir al cierre de la brecha. En este trabajo doctoral se propone una metodología para calcular índices de peligro, vulnerabilidad, exposición y riesgo por sequía en Organismos Operadores de Agua Potable y sus respectivas áreas metropolitanas. Para ello, se utilizan indicadores climatológicos, socioeconómicos, ambientales y de gestión institucional. Para la evaluación del riesgo se adoptó el enfoque contextual, que define el riesgo en función de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad.

Así, respecto a la hipótesis propuesta sobre que *“Es factible diseñar y aplicar una metodología para determinar índices de vulnerabilidad y riesgo ante la sequía en los OOAPAS de México, mediante la conjugación de distintos tipos de indicadores climatológicos, socioeconómicos, de gestión y ambientales”*, de acuerdo con los resultados obtenidos en este trabajo doctoral, se demostró que la metodología propuesta es factible y útil en la evaluación del riesgo por sequía en las dos áreas de estudio (AHM y AMG). Los principales resultados de esta tesis se relacionan con los de otras investigaciones previas y con lo que están reportando actualmente los principales diarios locales y nacionales sobre el impacto de la sequía en estas dos áreas de estudio. Por ejemplo, en el AMG se evidencia la deficiente gestión institucional, incremento de la población desmedida, mala calidad del agua, falta de cobertura de agua potable para algunas colonias, estrés hídrico, y el impacto socioeconómico de la población en la compra de tinacos. En el caso del AHM se evidencia el grado de presión del recurso hídrico, una eficiencia física que no incrementa y esto resulta en pérdidas en fugas, este último resultado coincide con los reportados por otros investigadores quienes comentan que, a pesar de que la gestión actual en el AHM, es considerada como eficiente cuando se evalúa en términos de indicadores de desempeño y eficiencia operativa, esta condición no es suficiente para ser considerada como sustentable.

La forma cómo ha evolucionado la vulnerabilidad, la exposición y el riesgo por sequía en el AHM y AMG facilita la forma de comprender los riesgos y se pueden desarrollar planes de

adaptación y mitigación apropiados. Esto también puede contribuir al cambio de paradigma de reactivo a proactivo.

Finalmente, se recomienda que para estudios posteriores se involucre a los tomadores de decisiones, como pueden ser los directivos y operativos de los OOAPAS, en el proceso de evaluación de los distintos componentes del riesgo por sequía. En lo que respecta específicamente a la evaluación de la vulnerabilidad, ésta puede mejorarse incorporando el índice de corrupción en lugares donde este índice esté disponible; y por último, es importante promover que los OOAPAS cuenten con información de indicadores confiables y de calidad.

Referencias

1. ACNUR (Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Refugiados). (Junio, 2019). *Sequía: causas y consecuencias de un mal que se expande*. Recuperado de https://eacnur.org/blog/sequia-causas-y-consecuencias-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/
2. Acosta Godínez, A. (1988), “El Niño: sus efectos sobre el norte de México”, *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XXX, no. 100, pp. 3-23.
3. Actis di Pasquale, E., & Balsa, J. (2017). La técnica de escalamiento lineal por intervalos: una propuesta de estandarización aplicada a la medición de niveles de bienestar social \ Interval Linear Scaling Technique: Proposal for Standardization Applied to the Measurement of Social Well-Being Levels. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 23, Páginas 164 a 193. Recuperado de <https://www.upo.es/revistas/index.php/RevMetCuant/article/view/2691>
4. Adger, W.N. (2006). Vulnerability. *Global Environ. Chang.*, 16, 268–281. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>
5. Adepetu, A.A., & Berthe, A. (2007). *Vulnerability of rural Sahelian Households to Drought: options for adaptation*. A Final Rep. Submitted to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), Proj. No. AF 9. Washington: The International START Secretariat.
6. AEDYR (Asociación Española de Desalación y Reutilización). (2019, febrero 2). ¿Qué es la reutilización de agua? Recuperado de <https://www.aedyr.com/es/que-es-reutilizacion-agua>
7. Aguilar-Barajas, I. & Sisto, N.P. & Ramírez, O, A.I. (2015). Agua para Monterrey Logros, retos y oportunidades para Nuevo León y México. Recuperado de http://www.centrodelagua.org/centrodelagua.org/www/m4rks_cms/4cms/doc/content/ebooks/aguaparamonterrey-ebook.pdf
8. Ahmadalipour, A., Moradkhani, H., Castelletti, A., & Magliocca, N. (2019). Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth. *Science of The Total Environment* 662, 672–686. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.278>
9. Alamgir, M., Mohsenipour, M., Homsy, R., Wang, X., Shahid, S., Shiru, M. S., ... & Yuzir, A. (2019). Parametric assessment of seasonal drought risk to crop production in Bangladesh. *Sustainability*, 11(5), 1442. <https://doi.org/10.3390/su11051442>
10. Alonso, J. C., & Montenegro, S. (2015). Estudio de Monte Carlo para comparar 8 pruebas de normalidad sobre residuos de mínimos cuadrados ordinarios en presencia de procesos autorregresivos de primer orden. *Estudios Gerenciales*, 31(136), 253-265. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=21241145003>
11. Althouse, L.A., Ware, W.B. and Ferron, J.M. (1998). Detecting Departures from Normality: A Monte Carlo Simulation of A New Omnibus Test based on Moments. *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA*. Recuperado de <https://eric.ed.gov/?id=ED422385>
12. Anderson, M.B. (1994). *Vulnerability to disaster and sustainable development: A general framework for assessing vulnerability*. In M. Munasinghe & C. Clarke (eds.), *Disaster*

Prevention for Sustainable Development: Economic and Policy Issues. A Report from the Yokohama World Conference on Natural Disaster Reduction. May 23–27.

13. Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., Camm, J. D., & K. M. (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios*. México, D.F.: Cengage Learning Edit or es, S.A. de C.V. Recuperado de <http://up-rid2.up.ac.pa:8080/xmlui/handle/123456789/1954>
14. Antwi-Agyei, P., Fraser, E.D., Dougill, A.J., Stringer, L.C., & Simelton, E. (2012). Mapping the vulnerability of crop production to drought in Ghana using rainfall, yield and socioeconomic data. *Applied Geography*, 32(2), 324-334. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.010>
15. Ardabili, S., Mosavi, A., Dehghani, M., & Varkonyi-Koczy, A.R. (2019). A Deep learning and machine learning in hy-drological processes climate change and earth systems a systematic review. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints201908.0166.v1>
16. Asare-Kyei, D., Renaud, F. G., Kloos, J., Walz, Y., & Rhyner, J. (2017). Development and validation of risk profiles of West African rural communities facing multiple natural hazards. *PLoS one*, 12(3), e0171921. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171921>
17. Astorga, G, J. M. (2014). Aplicación de modelos de regresión lineal para determinar las armónicas de tensión y corriente. *Ingeniería Energética*, 35(3), 234-241. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012014000300008
18. Ayuntamiento de Córdoba , España(2018) Proyecto de plan estratégico municipal de adaptación al cambio climático de Cordoba. Informe de diagnóstico parte II. Recuperado de https://www.cordoba.es/doc_pdf_etc/MEDIO_AMBIENTE/otros/Diagn%C3%B3stico%20Parte%20II.Vulnerabilidades_Web.pdf
19. Bachmair, S., Svensson, C., Hannaford, J., Barker, L. J., and Stahl, K. (2017). A quantitative analysis to objectively appraise drought indicators and model drought impacts, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20, 2589– 2609 <https://doi.org/10.5194/hess-20-2589-2016, 2016>
20. Barakat, F., & Handoufe, A. (1998). Approche agroclimatique de la sécheresse agricole au Maroc. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 9(3), 201–208.
21. Badillo, D. (Marzo 27, 2021). Inicia estiaje y el Valle de México y Guadalajara padecen ya desabasto de agua. *El economista*. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/politica/Inicia-estiaje-y-el-Valle-de-Mexico-y-Guadalajara-padecen-ya-desabasto-de-agua-20210327-0001.html>
22. Bandura, R. & Martin, C. (2006). A Survey of Composite Indices Measuring Country Performance: 2006 Update, UNDP/ODS Working Paper, Office of Development Studies, New York.
23. Barkin, D. y Klooster, D. (2006). Estrategias de la gestión del agua urbana. En Barkin, D. (coord.), *La gestión del agua urbana en México*. Guadalajara: ANEAS, Universidad de Guadalajara.
24. Bas Cerda, M. Del C. (2014). Estrategia metodológica para la construcción de indicadores compuestos en la gestión universitaria 5706_5707. Recuperado de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/35330/Estrategias%20metodolgicas%20para%20la%20construccin%20de%20indicadores%20compuestos%20en%20la%20gestin%20universitaria%205706_5707.pdf?sequence=16

25. Batelis, S.H. , Nalbantis I. (2014). Potential Effects of Forest Fires on Streamflow in the Enipeas River Basin. Thessaly. Greece. *Environ Process* 1:73–85
26. Bergaoui, M., & Alouini, A. (2001). Carctésisation de la sécheresse météorologique et hydrologique: cas du Bassin Versant de Siliana en *Tunisie*. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 12(4), 205–213.
27. Bergman, K.H., Sabol, P., & Miskus, D. (1988). *Experimental indices for monitoring global drought conditions*. Proceedings of 13th Annual Climate Diagnostics Workshop. Cambridge, MA: United States Department of Commerce.
28. Bhattacharjya RK (2004) Optimal design of unit hydrographs using probability distribution and genetic algorithms. *Sadhana Acad Proc Eng Sci*. <https://doi.org/10.1007/BF02703257>
29. Bhuiyan, C. (2004). Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli Terrain of India. Proceedings of the XXth ISPRS Conference. Istanbul, Turkey: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Recuperado de <http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/243.pdf>
30. BID (Banco Interamericano de Desarrollo). (2015). Indicadores de Riesgo de Desastre y de Gestión de Riesgos: Programa para América Latina y el Caribe: México. Recuperado de <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Indicadores-de-Riesgo-de-Desastre-y-de-Gesti%C3%B3n-de-Riesgos-Programa-para-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-M%C3%A9xico.pdf>
31. BID (Banco Interamericano de Desarrollo). (2003). Programa de información e indicadores de gestión de riesgos. Manizales, Colombia: BID. Recuperado de <http://idea.unalmzl.edu.co/documentos/02%20Fundamentos%20Metodologicos%20Indicadores%20BID-IDEA%20Fase%20I.pdf>
32. Birkmann, J. (2007). Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications. *Environmental Hazards*, 7, 20-31. <https://doi.org/10.1016/j.envhaz.2007.04.002>
33. Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). *At risk: Natural hazards, people vulnerability, and disasters*. London and New York: Routledge Publishers.
34. Blancas Peral, Francisco J., Contreras Rubio, Ignacio, Ramírez Hurtado, José M. (2011). Construcción de indicadores sintéticos una aproximación para maximizar la discriminación <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6017719>
35. Blauhut, V., Gudmundsson, L., & Stahl, K. (2015). Towards pan-European drought risk maps: quantifying the link between drought indices and reported drought impacts. *Environmental Research Letters*, 10(1), 014008.
36. Blauhut, V., Stahl, K., Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Stefano, L. D., & Vogt, J. (2016). Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, drought indices, and vulnerability factors. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(7), 2779-2800.
37. Blauhut, V. (2020) The triple complexity of drought risk analysis and its visualisation via mapping: A review across scales and sectors. *Earth Sci. Rev.* 2020, 210, 103345.

38. Bohle, H.G., Downing, T.E., & Watts, M.J. (1994). Climate change and social vulnerability. Toward a sociology and geography of food insecurity. *Global Environ. Change*, 4(1), 37–48. [https://doi.org/10.1016/0959-3780\(94\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0959-3780(94)90020-5)
39. Boken, V.K. (2005). *Agricultural drought and its monitoring and prediction: some concepts*. (Vol. 472). New York: Oxford University Press.
40. Boken, V. K. (2005). Agricultural drought and its monitoring and prediction: some concepts. Monitoring and predicting agricultural drought: a global study. Vijendra K. Boken, Arthur P. Cracknell y Ronald L. Heathcote (Eds.). Oxford University Press, EUA. pp. 3-10.
41. Bootsma, A., Boisvert, J., & Baier, R. (1996). La sécheresse et l'agriculture canadienne: une revue des moyens d'action. *Sécheresse*, vol. 4, p. 277–285.
42. Bouroncle, C., Rodríguez, C., Florián, M., Naswa, P., Lærke, S., y Olhoff, A. (2016). *Sistema Nacional de Indicadores de Adaptación al Cambio Climático (SIACC): definición del conjunto de indicadores*. Bogotá: CATIE. Recuperado de https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/resources/sistema_nacional_de_indicadores_de_adaptacion_al_cambio_climatic_o_siacc_colombia- definicion_del_conjunto_de_indicadores.pdf
43. Bootsma, A., Boisvert, J., & Baier, R. (1996). La sécheresse et l'agriculture canadienne: une revue des moyens d'action. *Science et changements planétaires / Sécheresse*, 7(4), 277–285.
44. Buenfil, R. M. O. (2000). *Guía para Organismos Operadores. Agua potable, alcantarillado y saneamiento*. [Documento en línea]. Consultado el 15 de marzo de 2017 desde: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2010/09/Guia_Organismos_Operadores.pdf
45. Burg, J. (2008). Measuring populations' vulnerabilities for famine and food security interventions: The case of Ethiopia's chronic vulnerability index. *Disasters* 32 (4), 609–630. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.2008.01057.x>
46. Burton, I., Kates, R.W., & White, G.F. (1978). *The environment as hazard*. New York: Oxford University Press.
47. Byun, H.R., & Wilhite, D.A. (1999). Objective quantification of drought severity and duration. *J. Clim.* 12(9), 2747–2756. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<2747:OQODSA>2.0.CO;2)
48. Breña-Naranjo, A. (2021). Seguridad hídrica en tiempos de sequía. IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). Recuperado de: <https://www.imta.gob.mx/gobmx/DOI/perspectivas/2021/b-imta-perspectivas-2021-14.pdf>
49. Camacho, González, D. (2012). Metodología de evaluación de costos de adaptación al cambio climático en Organismos Operadores de Agua (OOPAS). Jiutepec, Morelos, México. [Documento en línea]. Consultado el 10 de marzo de 2017 desde: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/941/DP1342.1.pdf?sequence=1>
50. Cardona, O.D. (1985): *Hazard, vulnerability and risk assessment*. Unedited working paper. Skopje, Yugoslavia: Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology.
51. Cardona, O. (1993). Evaluación de la amenaza la vulnerabilidad y el riesgo. Elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo. En Maskrey A. (Comp.), *Los desastres no son naturales*. Cd. Panamá: La Red. pp. 51–74.

52. Cardona, O. (2001). *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos*. (Tesis doctoral). Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de [https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19751/Holística_RiesgoSismicoBogota\(Cardona_2001\).pdf?sequence=1](https://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/19751/Holística_RiesgoSismicoBogota(Cardona_2001).pdf?sequence=1)
53. Cardona, O. (2005). Indicadores de riesgo de desastre y de gestión de riesgos. Informe resumido. BID/IDEA programa de indicadores para la gestión del riesgo de desastres. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo. Recuperado de https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/0/35060/INDICADORES_DE_RIESGO_DE_DESASTRES_BID.pdf
54. Carrao, H., Naumann, G., & Barbosa, P. (2016). Mapping global patterns of drought risk: an empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. *Glob. Environ. Chang.* 39, 108–124. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.04.012>
55. CARE International (2003). CARE International Policy Brief: The drought affecting the Horn of Africa 2002/2003. Recuperado de <http://www.careinternational.org.uk>
56. Carreño, M.L., Cardona, O.D., & Barbat, A.H. (2005). Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos. Barcelona: Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/28371>
57. Carter, M.R., Little, P.D., Moguees, T., & Negatu, W. (2007). Poverty traps and natural disasters in Ethiopia and Honduras. *World Development*, 35(5), 835–856. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2006.09.010>
58. Caso, D. (2019, Agosto 8). Los estados del país que se acercan al 'Día Cero' del agua. El financiero. Recuperado de <https://www.elfinanciero.com.mx/mundo/las-entidades-de-mexico-que-se-acercan-al-dia-cero-del-agua>
59. Caso, M.; González-Abraham, C.; Ezcurra, E. (2007). Divergent ecological effects of oceanographic anomalies on terrestrial ecosystems of the Mexican Pacific coast. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA* 104: 10530–10535 pp.
60. Castorena, G. (1980) “Las sequías en el siglo XX”, en Análisis histórico de las sequías en México, México, SARH/CNH: 59-81.
61. Castro, M, M. & Peña, P, T. (2016) Índice de vulnerabilidad al cambio climático en el sector hídrico a nivel comunitario en Honduras. En Variabilidad y cambio climático. Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/188268/Variabilidad_y_Cambio_Climatico-Impactos_Vulnerabilidad_y_Adaptacion_2017-01-11.pdf
62. Cedillo, M, J.L. (2017). “México entre la carencia y abundancia del agua” , Revista Digital Universitaria, 1 de febrero de 2017, Vol. 18, Núm. 2. [Documento en línea] <http://www.revista.unam.mx/vol.18/num2/art21/art21.pdf>
63. CENACE (Centro Nacional de Control de Energía). (2017). Metodologías para el Pronóstico de Demanda. [Documento en línea] <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/Publicas/MercadoOperacion/MetodologiasPronostico.aspx>

64. Cenapred (Centro Nacional de Prevención de Desastres). (2012). Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en 2010. Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres. Recuperado de http://www.cenapred.unam.mx/PublicacionesWebGobMX/buscar_buscaSubcategoria.action
65. Chibinda, Cecilia, Arada-Pérez, María de los Ángeles, & Pérez-Pompa, Norma. (2017). Caracterización por métodos físico-químicos y evaluación del impacto cuantitativo de las aguas del Pozo la Calera. *Revista Cubana de Química*, 29(2), 303-321. Recuperado en 01 de marzo de 2020, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-54212017000200010&lng=es&tlng=es.
66. Chambers, R. (1989). Editorial introduction: Vulnerability, coping and policy. *Inst. Develop. Stud. Bull.*, 20(2), 1-7. Recuperado de https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/20.500.12413/9551/IDSB_20_2_10.111-j.1759-5436.1989.mp20002001.x.pdf?sequence=1
67. Chandrasekar, K., Sai, M.S., Roy, P., Jayaraman, V., & Krishnamoorthy, R. (2009). Identification of agricultural drought vulnerable areas of Tamil Nadu, India using Gis-based multi criteria analysis. *Asian Journal of Environ. and Disaster Manag.*, 1(1), 40-61. <https://doi.org/10.3850/S17939240200900009X>
68. Chang T. J., & X. A. Kleopa. (1991). A proposed method for drought monitoring. *Water Res. Bull.* 27(2): 275-281
69. Chantaka, L, A. (Marzo 24, 2021). Muere de sed Nuevo León; sequía extrema golpea casi el 50% de su territorio. *Publimetro*. Recuperado de <https://www.publimetro.com.mx/mx/nuevo-leon/2021/04/28/muere-de-sed-nuevo-leon-sequia-extrema-golpea-casi-el-50-de-su-territorio.html>
70. Cheng, J., & Tao, J.P. (2010). Fuzzy comprehensive evaluation of drought vulnerability based on the analytic hierarchy process: An empirical study from Xiaogan city in Hubei province. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 1, 126-135. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2010.09.015>
71. Chen YD, Huang G, Shao QX, Xu C-Y (2006) Regional analysis of low flow using L-moments for Dongjiang Basin, South China. *Hydrol Sci J* 51(6):1051-1064
72. Chen, J., Deng, M., Xia, L., & Wang, H. (2017). Risk assessment of drought, based on IDM-VFS in the Nanpan river basin, Yunnan Province, China. *Sustainability*, 9(7), 1124.
73. Cole, S., Gine, X., Tobacman, J., Topalova, P., Townsend, R. & Vickery, J. (2013). Barriers to household risk management: Evidence from India, *American Economic Journal: Applied Economics*, 5(1), 104-135. <https://doi.org/10.1257/app.5.1.104>
74. Cohen B (2006) Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. *Technol Soc* 28(1):63-80
75. Cole, S., Gine, X., Tobacman, J., Topalova, P., Townsend, R. and Vickery, J. (2013). Barriers to Household Risk Management: Evidence from India, *Am. Econ. J. Appl. Econ.*, 5(1), 104-135 doi:10.1257/app.5.1.104

76. Colin, C. A., Windmeijer, F. A.G., Gramajo, H., Cane, D.E., Khosla, C. (1997). An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models. *Journal of Econometrics* 77 (2): 1790-2. PMID 11230695. doi:10.1016/S0304-4076(96)01818-0.
77. Conagua (2000) Gerencia Regional Lerma-Santiago-Pacífico. Levantamiento topobatómico del Lago de Chapala Estados de Jalisco y Michoacán. Informe final.
78. Conagua (Comisión Nacional del Agua) (2009a). Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Jalisco Recuperado de <https://transparencia.info.jalisco.gob.mx/sites/default/files/Programa%20H%C3%ADrico%20Visi%C3%B3n%202030%20del%20Estado%20de%20Jalisco.pdf>
79. Conagua (2009b) Programa Hídrico Visión 2030 del Estado de Michoacán de Ocampo. Recuperado de <https://www.cmic.org.mx/comisiones/sectoriales/infraestructurahidraulica/estadisticas/estadisticas%202008/PHV2030EMICHOACAN2009,%20julio%2009.pdf>
80. Conagua (Comisión Nacional del Agua),(2010) El agua en México: cauces y encauces Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/elaguaenmexico-caucesyencauces.pdf>
81. Conagua (Comisión Nacional del Agua), (2011). “Programa de Seguimiento de Indicadores de Gestión para Cumplimiento de Meta de Eficiencia Global. Manual de Indicadores de Gestión”. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-11-11.pdf>
82. Conagua (Comisión Nacional del Agua). (2014a). *Política Pública Nacional para la Sequía Documento Rector*. México, D. F. Recuperado de <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/Contenido/Documentos/Documento%20Marco.pdf>
83. Conagua (2014b). Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) Programa Nacional Contra la Sequía. Documento Rector. Recuperado de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Pol%C3%ADtica%20P%C3%BAblica%20Nacional%20para%20la%20Sequ%C3%ADa%20Documento%20Rector.pdf>
84. Conagua (Comisión Nacional del Agua). (2015a) “PMPMS para usuarios urbanos de agua potable y saneamiento”, consejo de cuenca Lerma – Chapala. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99853/PMPMS_Toluca_Mex.pdf
85. Conagua (Comisión Nacional del Agua). (2015c) “PMPMS para usuarios urbanos de agua potable y saneamiento”, *Organismo de Cuenca Río Bravo*. Recuperado de <http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/contenido/documentos/PMPMS%20Ciudad%20de%20Chihuahua.pdf>
86. Conagua (Comisión Nacional del Agua). (2015d). Cuidemos y valoremos el agua que mueve a México. Recuperado de http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/carrera_agua_2015.pdf

87. Conagua (Comisión Nacional del Agua). (2016). Seguimiento y evaluación 2016 del decreto por lo que por causas de interés público se suprimen las vedas existentes en la subregión hidrológica Lerma-Chapala, y se establece zona de veda en las 19 cuencas hidrológicas que comprenden dicha subregión hidrológica. Informe final, México, pp. 1-448.
88. Conagua (Comisión Nacional del Agua). (2017). Estadísticas del agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de www.conagua.gob.mx
89. CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2015a). Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2015. Recuperado de <https://www.gob.mx/conapo/documentos/delimitacion-de-las-zonas-metropolitanas-de-mexico-2015>
90. CONAPO (Consejo Nacional de Población) (2015b) Anexo C: Metodología de ubicación del índice de marginación por localidad. Ciudad de México. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/159050/07_Anexo_C.pdf
91. Coneval (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo social). (2014). Pobreza urbana y de las zonas metropolitanas de México. Recuperado de https://www.coneval.org.mx/Informes/Pobreza/Pobreza%20urbana/Pobreza_urbana_y_de_las_zonas_metropolitanas_en_Mexico.pdf
92. Correia, F.N., Santos, M.A., & Rodrigues, R.R. (1991). Reliability in regional drought studies. In: Ganoulis J (ed), *Water resources engineering risk assessment*. Berlin: NATO ASI Series, Vol G 29. pp 43–62.
93. Cortez, P. & Sainos, A. & Gómez, J.F & Maldonado, J. & Rodriguez, M. (2019). libro Mejora de áreas comerciales en Organismo Operadores. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/331586814_libro_Mejora_de_areas_comerciales_en_Organismo_Operadores
94. Culbert, T. P. (1973). *The classic maya collapse*, Albuquerque, University of New Mexico Press.
95. Cutter, S.L., Boruff, B.J., & Shirley, W.L. (2003). Social vulnerability to environmental hazards. *Social Sciences Quarterly*, 84(2), 243–261. <https://doi.org/10.1111/1540-6237.8402002>
96. DAFP (Departamento Administrativo de la Función Pública de Bogotá, Colombia). (2012) Guía para la construcción de indicadores de gestión. Recuperado de <http://www.funcionpublica.gov.co/documents/418537/506911/1595.pdf/6c897f03-9b26-4e10-85a7-789c9e54f5a3>
97. Dai, M., Huang, S., Huang, Q., Leng, G., Guo, Y., Wang, L., .. & Zheng, X. (2020). Assessing agricultural drought risk and its dynamic evolution characteristics. *Agricultural Water Management*, 231, 106003.
98. Dabanli, I. (2018). Drought hazard, vulnerability, and risk assessment in Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(18), 1-12. Recuperado de <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs12517-018-3867-x.pdf>
99. Dalhin, Br. H. (1983). Climate and prehistory on the Yucatan peninsula, *Climatic Change* 5(3):245-264

100. Davis, I. (2004). Progress in analysis of social vulnerability and capacity. In Bankoff, G., Frerks, G. & Hilhorst, D. (eds), *Mapping vulnerability: Disasters, development and people*. London: Earth Scan.
101. Deems, H.J. (2010). *Vulnerability of rural communities in the Mediterranean region to climatechange and water scarcity: The case of Cyprus*. (Master thesis). Barcelona: Univ. of Barcelona. Recuperado de https://www.cyi.ac.cy/images/projects/eewrc/clico/Deems_Rural_Vulnerability_Cyprus_thesis_Sep2010.pdf
102. Deo, R.C. & Şahin, M. (2015). Application of the extreme learning machine algorithm for the prediction of monthly Effective Drought Index in eastern Australia. *Atmospheric Research* 153, 512–525. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.10.016>
103. De la Peña, M. E. (2019, enero 17). Los temas pendientes en la agenda del agua en México en 2019 [Documento en línea]. <https://blogs.iadb.org/agua/es/los-temas-pendientes-en-la-agenda-del-agua-en-mexico>
104. Deressa, T., Hassan, R. M., & Ringler, C. (2008). Measuring Ethiopian farmers' vulnerability to climate change across regional states. *Food Policy*, 806.
105. Dercon, S. (2004). Growth and shocks: evidence from rural Ethiopia. *Journal of Development Economics*, 74(2), 309-329. [Doi://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2004.01.001](https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2004.01.001)
106. De Stefano, L., González, I., Ballesteros, M., Urquijo, J., & Blauhut, Veit. (2015). *Methodological approach considering different factors influencing vulnerability - pan-European scale*. Drought-R&SPI Technical Rep. No 26.
107. Díaz, R. (marzo 02, 2021). Guadalajara: Realizarán cortes de agua por 3 meses. Sdpnoticias. Recuperado de <https://www.sdpnoticias.com/local/jalisco/corte-de-agua-guadalajara-presade-calderon-siapa.html>
108. Díaz-Cuenca, E., Alvarado-Granados, A. R., Camacho-Calzada, K. E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Quivera Revista de Estudios Territoriales*, 14 (1), 78-97.. ISSN: 1405-8626. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=401/40123894005>.
109. Diener, E. (1995): "A value based index for measuring national quality of life", *Social Indicators Research*, 36, pp 107–127.
110. Distaso, A. (2007): "Well-being and/or quality of life in EU countries through a multidimensional index of sustainability". *Ecological Economics*, 64:1, pp. 163–180.
111. Downing, T. E. (1991). Assessing socioeconomic vulnerability to famine: Frameworks, concepts, and applications. Final Report to the US Agency for International Development, Famine Early Warning System Project.
112. Downing, T.E., & Bakker, K. (2000). Drought discourse and vulnerability. In D. A. Wilhite (ed.), *Drought: A global assessment*. Natural Hazards and Disasters Series. London: Routledge Publishers.
113. Dracup, J.A., Lee, K.S., and Paulson J.R. (1980). On the statistical characteristics of drought events'. *Water Resources Research*, 16(2), 289-296.

114. Dracup, J.A., Lee, K.S., Paulson Jr., E.G., (1980). On the definition of droughts. *Water Resour. Res.* 16, 297–302.
115. Drewnowski, J y Scott, (1966): The level of living index. Report N° 4. UNRISD. Ginebra.
116. Duran Juárez, J. y Torres Rodríguez, A. (2006). ¿Agua para Guadalajara? En Barkin, D. (coord.), *La gestión del agua urbana en México*. Guadalajara: aneas, Universidad de Guadalajara.
117. EEA (European Environmental Agency). (2012). *Urban adaptation to climate change in Europe – challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies*. EEA Report No. 2/2012, Copenhagen. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-9213-308-5. (DOI:10.2800/41895).
118. Ebert U. and Welsch H. (2004), Meaningful environmental indices: a social choice approach, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 47: 270-283.
119. Edwards, D. C. & T. B. McKee, 1997: Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report 97-2*, Departamento de Ciencia Atmosférica, Universidad del Estado de Colorado, Fort Collins, Colorado.
120. Echeverri, L. I., Arroyave, E. A., & Barajas, F. H. (2015). Comparación De Pruebas De Normalidad. *XXI Simp. Int. Estad*, 8-11.
121. Elbers, C., Gunning, J. W. and Kinsey, B. (2007) Growth and Risk: Methodology and Micro Evidence, *World Bank Econ. Rev.*, 21(1), 1–20, doi:10.1093/wber/lhl008
122. El informador. (Marzo 8, 2021). Registra metrópoli récord en gasto de agua. *El Informador*. Recuperado de <https://www.informador.mx/Registra-metropoli-record-en-gasto-de-agua-1202103080001.html>
123. El Informador (Diciembre 29, 2011). Crisis por sequía en Los Altos y Norte de Jalisco. *El Informador*. Recuperado de <https://www.informador.mx/Jalisco/Crisis-por-sequia-en-Los-Altos-y-Norte-de-Jalisco-20111229-0172.html>
124. Elbers, C., Gunning, J.W., & Kinsey, B. (2007). Growth and risk: Methodology and micro evidence. *The World Bank Econ. Rev.*, 21(1), 1–20, <https://doi.org/10.1093/wber/lhl008>
125. Enciso, L, A. (Diciembre 22, 2010). El año que concluye es el segundo más lluvioso en las pasadas siete décadas. *La Jornada* p.38. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/2010/12/22/sociedad/038n1soc>
126. Enciso, A., Davila, I., Partida, J.C., Nuñez, E., & Chio, Y. (Marzo 29, 2021a). Grandes zonas metropolitanas sufren por sequía y escasez. *Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/03/29/politica/grandes-zonas-metropolitanas-sufren-por-sequia-y-escasez/>
127. Escalante, C. & Reyes, L. (1998), Identificación y análisis de las sequías en la región hidrológica número 10, Sinaloa”, en *Ingeniería Hidráulica en México* 2(2):23-43.
128. Escolero, Oscar, Kralisch, Stefanie, Martínez, Sandra E., & Perevochtchikova, María. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 409-427. Recuperado de

- http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222016000300409&lng=es&tlng=es
129. Esparza, Miguel. (2014) “La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras”. *Secuencia. Revista de historia y ciencias sociales*. 2014, núm. 89, p. 193-219. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482014000200008&lng=es&tlng=es.
 130. Esquivel-Arriaga, G., Bueno, P., Sánchez-Cohen, I., Velásquez-Valle, M., & Esquivel-Arriaga, O. (2014). Evaluación del índice de sequía de caudales en cuencas del norte-centro de México. *Agrofaz*, 14(2), 53-60.
 131. Estes, R.J. (2003): “European social development trends: development challenges of the New Europe”, en Voguel, J. (ed.): *Good times and hard times in Sweden during 1990’s*, Living Conditions Series, Report 100. Statistics Sweden, Estocolmo, pp. 435–468.
 132. FAMM (Fondo de Agua Metropolitano de Monterrey). (2018) .Plan hídrico Nuevo león, 2050 <http://famm.mx/wp-content/uploads/2018/10/Plan-Hi%CC%81drico-NL-2050.pdf>
 133. Fallas, J. (2012). Prueba de hipótesis. Rechazar o no Ho: he ahí el dilema. http://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/prueba_hipotesis_2012.pdf
 134. Fan, G., Zhang, Y., He, Y., & Wang, K. (2017). Risk assessment of drought in the Yangtze River Delta based on natural disaster risk theory. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2017.
 135. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2010). *Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile*. Santiago, Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/019/as391s/as391s.pdf>
 136. Feng, P., Wang, B., Liu, D.L. & Yu, Q. (2019). Machine learning-based integration of remotely-sensed drought factors can improve the estimation of agricultural drought in South-Eastern Australia. *Agricultural Systems* Volume 173, 303–316. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.015>
 137. Flörke, M., Wimmer, F., Laaser, C. (2011). Final Report for the Project Climate Adaptation – modelling water scenarios and sectoral impacts. Contract N° DG ENV.D.2/SER/2009/0034. *Center for Environmental Systems Research, Kassel*. Recuperado de <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ff6cb987-cdeb-483c-b569-b657111f504a/language-en>
 138. Flores Elizondo, R. (2014). Los afluentes y los ríos. La construcción social del medio ambiente en la Cuenca Lerma Chapala. Guadalajara: ITESO.
 139. Flores, L. (Mayo 13, 2021). Presas de Nuevo León con baja captación de agua podrían racionar suministro. *El economista*. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/estados/Presas-de-Nuevo-Leon-con-baja-captacion-de-agua-podrian-racionar-suministro-20210513-0107.html>
 140. Florescano, E. & Sancho, C, J. & Pérez G, A, D. (1980). Las sequías en México: historia, características y efectos”, en *Comercio Exterior* 30(7):747-757.

141. Florescano, E. (2000). Breve historia de la sequía en México, 2ª ed., México, CONACULTA.
142. Fontaine, M., & Steinemann, A.C. (2009). Assessing vulnerability to natural hazards: An impact-based method and application to drought in Washington State. *Natural Hazards Review*, 10(1), 11-18. Recuperado de <https://cig.uw.edu/publications/assessing-vulnerability-to-natural-hazards-an-impact-based-method-and-application-to-drought-in-washington-state/>
143. Frischen, J., Meza, I., Rupp, D., Wietler, K., & Hagenlocher, M. (2020). Drought risk to agricultural systems in Zimbabwe: A spatial analysis of hazard, exposure, and vulnerability. *Sustainability*, 12(3), 752. <https://doi.org/10.3390/su12030752>
144. Füssel, H.-M. (2004). Coevolution of the political and conceptual frameworks for climate change vulnerability assessments. In Proceedings of the 2002 Berlin Conference on the Human Dimensions of Global Environmental Change “Knowledge for the Sustainability Transition. The Challenge for Social Science, pp. 302-320.
145. Füssel, H.-M. (2005). Vulnerability in Climate Change Research: A Comprehensive Conceptual Framework. Recuperado de <https://escholarship.org/content/qt8993z6nm/qt8993z6nm.pdf>
146. Freudenberg, M. (2003), “Composite Indicators of Country Performance: A Critical Assessment”, OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2003/16, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/405566708255>
147. García, G. M., Benítez, I. A., & Gaudiano, E. G. (2012). Limitaciones de una gestión sectorizada para la sustentabilidad del agua: Caso Monterrey, México. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 20(1), 53-63.
148. García, A. V. & Pérez, C. J. M. & Molinar, del V, A. (2003). Desastres Agrícolas en México. Catálogo histórico, Tomo I. Época prehispánica y colonial (958-1822), México, FCE/CIESAS
149. Gibbs, W.J., Maher, J.V., & John, V. (1967). Rainfall deciles as drought indicators. In Bulletin (Commonwealth Bureau of Meteorology (Australia)) no:48 (p. 84). Melbourne: Bureau of Meteorology.
150. Gill, R. B. (2008). Las grandes sequías mayas. Agua, vida y muerte, 1ª ed. en español, México, FCE
151. Guijarro, J. A. (2018). Homogeneización de series climáticas con Climatol. Islas Baleares, España. Retrieved from http://www.climatol.eu/homog_climatol-en.pdf
152. González, E. M., Jurado, Y. E., González, E. S., Aguirre, C. Ó. A., Jiménez, P. J., & Nívar, C. J. D. J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia uanl*, 6(3). Recuperado de http://eprints.uanl.mx/1287/1/cambio_climatico.pdf
153. González-López, N. & Carvajal-Escobar, Y. (2020). Caracterización de sequías hidrológicas en el río Cauca en su valle alto. *Tecnología y ciencias del agua*, 11(1), 235-265. Epub 30 de mayo de 2020. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2020-01-06>

154. González, T. I., Urquijo, J., Blauhut, V., Villarroya, F., & De Stefano, L. (2016). Learning from experience: a systematic review of assessments of vulnerability to drought. *Natural Hazards*, 80(2), 951–973. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-2006-1>
155. González-Márquez, M. (Marzo 18, 2021,). Sequía en Jalisco podría pasar de severa a extrema en los próximos tres meses. Universidad de Guadalajara. Red de universitarios de Jalisco. Recuperado de <https://www.udg.mx/es/noticia/sequia-en-jalisco-podria-pasar-de-severa-extrema-en-los-proximos-tres-meses>
156. González-Tánago, M., Bejarano, M. D., García de Jalón, D., and Schmidt, J. C. (2015). Biogeomorphic responses to flow regulation and fine sediment supply in Mediterranean streams (the Guadalete River, southern Spain), *Journal of Hydrology*, 528, 751–762, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.065>
157. Gusyev, M.A., Hasegawa, A., Magome, J., Kuribayashi, S, D.H., & Lee, S. (2015). Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts. Proceedings of the 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2015), Broadbeach, Queensland, Australia. Doi:10.13140/RG.2.1.4931.4321
158. Guo, Y., Huang, S., Huang, Q., Wang, H., Wang, L., & Fang, W. (2019). Copulas-based bivariate socioeconomic drought dynamic risk assessment in a changing environment. *Journal of Hydrology*, 575, 1052-1064. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.010>
159. Gujarati, D, N. (2010), *Econometría*. 5. ed. México [u.a.]: McGraw-Hill.
160. Guttman B. N. (1998). Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *J. Am. Water Res. Asoc.* 34(1): 113-121
161. Hansen, R, M. P. & Alcocer, Y, V.H. (2014) Indicadores de Gestión Prioritarios en Organismos Operadores Informe final. Subcoordinación de hidráulica urbana coordinación de hidráulica IMTA. [Documento en línea] <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1441>
162. Hagenlocher, M., Meza, I., Anderson, C.C., Min, A., Renaud, F.G., Walz, Y., Siebert, S., & Sebesvari, Z. (2019). Drought vulnerability and risk assessments: state of the art, persistent gaps, and research agenda. *Environ. Res. Lett.* 2019, 14(8), 083002. Recuperado de <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/ab225d/meta>
163. Hao, Z., & Aghakouchak, A. (2014). A nonparametric multivariate multi-index drought monitoring framework. *Journal of Hydrometeorology*, 15(1), 89-101. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0160.1>
164. Hao, Z., & Singh, V. P. (2015). Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *Journal of Hydrology*, 527, 668-678. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.031>
165. Hassani H, Silva E, (2015). Kolmogorov-Smirnov a Based test for comparing the predictive accuracy of two sets of forecasts. *Econometrics*. <https://doi.org/10.3390/econometrics3030590>
166. Hayes, M., M. D. Svoboda, and D.A. Wilhite. (1999). Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 80 (3): 429-438.

167. Hernández, S, R., & Fernández, C, C. (1998). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill [Documento en línea] https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
168. Herrera, E. (Mayo 10, 2021). Alerta de sequía en Nuevo León dispara venta de tinacos. Milenio. Recuperado de <https://www.milenio.com/negocios/alerta-sequia-leon-dispara-venta-tinacos>
169. Herrera, C, F. (Abril 4, 2021). La crisis del agua en Taiwán es un aviso de alerta para otros países. El ciudadano. Recuperado de <https://www.elciudadano.com/mexico/la-tesis-del-agua-en-taiwan-es-un-aviso-de-alerta-para-otros-paises/04/08/>
170. Hernández, A, A., Ramírez, O, A.I., Ledesma, R, R. & Brandebourger, N. I., (2017) Análisis de vulnerabilidad hídrica al cambio climático. Sitio Piloto: La Paz, Baja California Sur, México. Recuperado de <http://www.waterlac.eu/wp-content/uploads/2018/02/An%C3%A1lisis-de-vulnerabilidad-h%C3%ADrica-al-cambio-clim%C3%A1tico-La-Paz-Baja-California-Sur-M%C3%A9xicoFINAL.pdf>
171. Hoddinott, J., & Quisumbing, A. (2003). Methods for microeconomic risk and vulnerability assessment. In Risk, shocks, and human development (pp. 62-100). Palgrave Macmillan, London. https://doi.org/10.1057/9780230274129_4
172. Hodell, D. A. & Jason, H. C. & Mark, B. (1995). Possible role of climate in the collapse of Classic Maya Civilization”, in *Nature* 375:391-394.
173. Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., & Xiong, L. (2015). Uncertainties in assessing hydrological drought using streamflow drought index for the upper Yangtze River basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1235-1247. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0949-5>
174. Hydrological Drought. (2004). *Developments in water science*, 48, Elsevier, Amsterdam, 579 pp., 2004.
175. Iglesias A., Moneo M., & Quiroga S. (2007). Methods for evaluating social vulnerability to drought [Part 1. Components of drought planning. 1.3. Methodological component]. In: Iglesias A. (ed.), Moneo M. (ed.), López-Francos A. (ed.). *Drought management guidelines technical annex*. Zaragoza: CIHEAM / EC MEDA Water, 129-133. (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n. 58). Recuperado de <http://om.ciheam.org/om/pdf/b58/00800538.pdf>
176. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). (2013). Estadísticas a propósito del día mundial contra la desertificación y la sequía, recuperado el 17 de junio de 2013 desde <http://www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/Contenidos/estadisticas/2013/sequia0.pdf>
177. INEE (Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación). (2016). Panorama Educativo de México 2015. Indicadores del Sistema Educativo Nacional. Educación básica y media superior. <http://publicaciones.inee.edu.mx/buscadorPub/P1/B/114/P1B114.pdf>
178. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change*. (2001). The Scientific Basis; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA. Recuperado de <http://webpages.icav.up.pt/PTDC/CVT/098487/2008/IPPC,%202001.pdf>

179. IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Field, C., Barros, V., Stocker, T., & Dahe, Q.(Eds). Cambridge University Press, 582 pp. Recuperado de https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf
180. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). Climate change 2013: the physical science basis, summary for policymakers, Geneva, WMO/UNEP.
181. IPCC, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2014). Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución Del Grupo de Trabajo II Al Quinto Informe de Evaluación Del Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre El Cambio Climático. Recuperado de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf
182. Iyengar & Sudarshan (1982) A method of classifying región from Multivariate Data Economic and Political Weekly
183. Jacobs, R., Smith, P., & Goddard, M. (2004). *Measuring Performance: An Examination of Composite Performance Indicators*, CHE Technical Paper Series 29, Centre for Health Economics, University of York. <https://www.york.ac.uk/che/pdf/tp29.pdf>
184. Jordaan, A.J. (2006). Disaster Risk Assessment; Science or thumpsucking? *International Journal for Interdisciplinary Social Sciences*.
185. Kaly, U., & Pratt, C. (2000). Environmental vulnerability index: Development and provisional indices and profiles for Fiji, Samoa, Tuvalu and Vanuatu. Phase II report for NZODA. SOPAC Technical Report 306.
186. Kanbur, R. (1987). The standard of living: Uncertainty, inequality and opportunity. In *The Standard of Living*, ed. G. Hawthorn. New York: Cambridge University Press.
187. Kang, S.M. (2002). "A Sensitivity Analysis of the Korean Composite Environmental Index". *Ecological Economics*, 43, pp. 159-174.
188. Kates, R.W. (1985).The interaction of climate and society, in R. W. Kates, J. H. Ausubel & M. Berbarian (eds.), *Climate Impacts Assessment*, John Wiley, *Chichester*, 3, 3–36. Recuperado de <http://www.rwkates.org/pdfs/a1985.01.pdf>
189. Kim, H., Park, J., Yoo, J., & Kim, T. W. (2015). Assessment of drought hazard, vulnerability, and risk: A case study for administrative districts in South Korea. *Journal of Hydro-environment Research*, 9(1), 28-35.
190. Khoshnazar, A., Corzo, P, G.A., & Diaz, V. (2021). Spatiotemporal Drought Risk Assessment Considering Resilience and Heterogeneous Vulnerability Factors: Lempa Transboundary River Basin in The Central American Dry Corridor. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021; 9(4):386. <https://doi.org/10.3390/jmse9040386>
191. Kogan, F. N. (1990).Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *Int. J. of Remote Sensing*, 11 (8), 1405–1419. <https://doi.org/10.1080/01431169008955102>
192. Kogan, F.N. (1995). Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polarorbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorology Society*, 76(5):655–668. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1995\)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1995)076<0655:DOTLIT>2.0.CO;2)

193. Kogan, F.N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*, 15(11), 91–100. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T)
194. Komuscu, A. U. (1999). Using the SPI to analyze spatial and temporal drought patterns in Turkey. *Drought Network News* 11(1): 7-13.
195. Kroll CN, Vogel RM (2002) Probability distribution of low streamflow series in the United States. *J Hydrol Eng* 7(2):137–146
196. Knutson, C., Hayes, M.J. y Philips, T. (1998): How to Reduce Drought Risk, Western Drought Coordination Council report
197. Landa, R., Magaña, V., & Neri, C. (2008). Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. Recuperado de <http://coclima.guanajuato.gob.mx/archivos/file/presentacion.pdf>
198. Lizárraga, E. (Marzo 22, 2021). Sequía en Sinaloa, la catástrofe en la puerta. El Sol de Sinaloa. Recuperado de <https://www.elsoldesinaloa.com.mx/local/sequia-en-sinaloa-la-catastrofe-en-la-puerta-6504387.html>
199. López, A, J., & Peláez, H, O., (2015). El desigual impacto de la crisis económica de 2008-2009 en los mercados de trabajo de las regiones de México: la frontera norte frente a la región sur. *Contaduría y administración*, 60(Supl. 2), 195-218. <https://dx.doi.org/10.1016/j.cya.2015.05.004>
200. Loera Burnes, Edmundo, & Salazar Adams, Alejandro. (2017). Capacidades institucionales y desempeño de los organismos operadores de agua en Hermosillo, Sonora, y Mexicali, Baja California. *Región y sociedad*, 29(spe5), 37-74. <https://dx.doi.org/10.22198/rys.2017.0.a296>
201. Lovins, A. (1977). *Soft Energy Paths: Toward a Durable Peace*. Cambridge, Massachusetts: Ballinger.
202. Luers, A.L., Lobell, D.B., Sklar, L.S., Addams, C.L., & Matson, P.A. (2003). Method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico. *Glob. Environ. Chang.*, 13 (4), 255–267. Recuperado de https://yaquivalley.stanford.edu/pdf/luers_GEC_2003.pdf
203. Magaña, V. J.L. Pérez y C. Conde.(1998) .El fenómeno de El Niño y la Oscilación del sur y sus impactos en México. *Revista Ciencias*. Julio septiembre 51. 14- 18pp.
204. Magaña, V.; Pérez, J. L.; Vázquez, J. L.; Carrizosa, E.; Pérez, J. (1999). Los Impactos del Niño en México. Editado por V. Magaña. Secretaría de Educación Pública, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
205. Magaña, V.; Vázquez, J. L.; Pérez, J. L.; Pérez, J. B. (2003). Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional* 42: 313–330 pp.
206. Magaña, V. O. (2012). Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático. Instituto Nacional de Ecología y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México, D.F. 61 pp. http://climasaludal.org/resources/images/public/avirtuales/cuarta_conferencia/140923_guia_metodologica.pdf

207. Magaña, R. V. O., & Neri, C. (2012). Cambio climático y sequías en México. Recuperado de http://revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/63_4/PDF/sequiasMexico.pdf
208. Manuela, P., C. (Abril 15, 2021). Jalisco tiene “un desastre” en la gestión del agua: investigador. Notisistema. Recuperado de <https://www.notisistema.com/noticias/jalisco-tiene-un-desastre-en-la-gestion-del-agua-investigador/>
209. Maldonado, O. (Mayo 7, 2021). Si nivel en presas no mejora en 90 días, suspenderán servicio de agua en Nuevo León. Milenio. Recuperado de <https://www.milenio.com/ciencia-y-salud/sociedad/sequia-nuevoleon-suspenderan-servicio-agua-llueve-90>
210. Malakar, K., & Mishra, T. (2016). Assessing socio-economic vulnerability to climate change: a city-level index based approach. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/299477188_Assessing_socio-economic_vulnerability_to_climate_change_a_city-level_index-based_approach
211. Malik A., Kumar A., Salih S.Q., Yaseen Z.M. (2021). Hydrological Drought Investigation Using Streamflow Drought Index. In: Deo R., Samui P., Kisi O., Yaseen Z. (eds) Intelligent Data Analytics for Decision-Support Systems in Hazard Mitigation. Springer Transactions in Civil and Environmental Engineering. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-5772-9_4
212. Mandal KG, Padhi J, Kumar A, et al (2015) Analyses of rainfall using probability distribution and Markov chain models for crop planning in Daspalla region in Odisha, India. Theoretical and Applied Climatology. <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1259-z>
213. Marcos, O. (2001). Sequía: definiciones, tipología y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, 26, 59-80. Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/363>
214. Martín, R. (Abril 3, 2021). No es sequía, es saqueo. Informador. Recuperado de <https://www.informador.mx/ideas/No-es-sequia-es-saqueo--20210403-0022.html>
215. Martínez Cortina, L., & Llamas Madurga, M. R. (2000). Gestión de las sequías en España. Papel de las aguas subterráneas, *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, ISSN 1137-2141, Vol. 94, N° 2, 2000, págs. 205-219. [Documento en línea]. <https://aguassubterraneeas.abas.org/asubterraneeas/article/view/23891/15963>
216. Martínez, J. (2006). Agua y sostenibilidad: algunas claves desde los sistemas áridos. *Polis: Revista Latinoamericana*, 14, Universidad de Los Lagos.
217. Martínez-Austria, Polioptro F., & Vargas-Hidalgo, Alberto. (2016). Modelo dinámico adaptativo para la gestión del agua en el medio urbano. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(4), 139-154. Recuperado en 29 de julio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000400139&lng=es&tlng=es
218. Mbah, A. K. y Paothong, A. (2014). Shapiro-Francia test compared to other normality test using expected p-value. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, 1–15.
219. Me-Bar, Y., & Valdez, F, Jr. (2005). On the vulnerability of the ancient Maya society to natural threats. *J. Archaeol. Sci.*, Volume 32, 813–825. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2004.11.015>

220. Meléndez, V. (Marzo 29, 2021a). Aumenta en ZMG demanda de tinacos. Reforma. Recuperado de <https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?urlredirect=https://www.reforma.com/aumenta-en-zmg-demanda-de-tinacos/ar2152810?referer=--7d616165662f3a3a6262623b6770737a6778743b767a783a767a7b737c6778747b38646070387472607438616067777c7438706638657a6738767a7b6174787c7b74767c7a7b3a7467272420212524242a632821-->
221. Meléndez, V. (Marzo 30, 2021b). Confirman que agua turbia es por contaminación. El norte. Recuperado de <https://www.elnorte.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?urlredirect=https://www.elnorte.com/confirman-que-agua-turbia-es-por-contaminacion/ar2154011?v=4&Fuente=MD&referer=--7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a-->
222. Meza, I., Hagenlocher, M., Naumann, G., Vogt, J., and Frischen, J. (2019). Drought vulnerability indicators for global-scale drought risk assessments: Global expert survey results report, JRC technical reports, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 62 pp., Recuperado de https://collections.unu.edu/eserv/UNU:7430/Meza_etal_2019_DroughtVulnerability_MET_A.pdf, 2019.MRC: Data and Information Services, available at: <https://portal.mrcmekong.org/home>, last access: 1 March 2019, 2018.
223. Meza, I., Siebert, S., Döll, P., Kusche, J., Herbert, C., Eyshi Rezaei, E., Nouri, H., Gerdener, H., Popat, E., Frischen, J., Naumann, G., Vogt, J.V., Walz, Y., Sebesvari, Z., & Hagenlocher, M. (2020). Global-scale drought risk assessment for agricultural systems. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 20 (2), 695-712. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-695-2020>
224. Mckee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. AMS 8th Conference on Applied Climatology, Vol.17, No.22 179–184. <https://doi.org/citeulike-article-id:10490403>
225. McCormick, S. (2016). Assessing climate change vulnerability in urban America: stakeholder-driven approaches. *Climatic Change*, 397–410. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1757-3>
226. MacKenzie, C.A. (2014). Summarizing Risk Using Risk Measures and Risk Indices. *Risk Anal.* 2014, 34, 2143–2162. <https://doi.org/10.1111/risa.12220>
227. McMahon TA, Pegram GGS, Vogel RM, Peel MC (2007) Revisiting reservoir storage-yield relationships using a global streamflow database. *Adv Water Resour* 30(8):1858–1872
228. Mendes, M. and Pala, A. (2003). Type I Error Rate and Power of Three Normality Tests. *Pakistan Journal of Information and Technology* 2(2), pp. 135-139.
229. Meriem Naimi Ait-Aoudia, Ewa Berezowska-Azzag. (ERWA 2017). Algiers water issue: Key indicators for a diagnosis of water resources carrying capacity. 10th World Congress on water resources and environment Jul 2017, Athènes, Greece. [Documento en línea] <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01560827/document>
230. Meyer, S.J., & Hubbard, K.G. (1995). Extending the crop-specific drought index to soybean. Preprints, Ninth Conference on Applied Climatology, *American Meteorological Society*, Dallas, TX. pp. 258–259.

231. Miranda, F., & Guerrero, K. (Mayo 4, 2021). Medio México se encuentra bajo sequía extrema; agricultores piden ayuda al gobierno. Milenio. Recuperado de <https://www.milenio.com/politica/mexico-medio-pais-bajo-sequia-extrema>
232. Mishra, A. & Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1-2), 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>
233. Modarres, R. (2007). Streamflow drought time series forecasting. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 21 (3), 223–233.
234. Morales Gil, Alfredo; Olcina Cantos, Jorge; Rico Amorós, Antonio M. (2000). Diferentes percepciones de la sequía en España: adaptación, catastrofismo e intentos de corrección. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, núm. 23, 2000, pp. 5-46 Universidad de Alicante Alicante, España <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17602301>
235. Morris, D. (1979): "Measuring the Condition of the World's Poor: the Physical Quality of Life Index". Pergamon Policies Studies, 42. Pergamon, New. York.
236. Mullin, M. (2020). The effects of drinking water service fragmentation on drought-related water security. *Science*, 368(6488), 274-277.
237. Mussetta, P., Barrientos, M., Acevedo, E., Turbay, S., & Ocampo, O. (2017). Vulnerabilidad al cambio climático: Dificultades en el uso de indicadores en dos cuencas de Colombia y Argentina. *Empiria. Revista de metodología de ciencias sociales*, 0(36), 119-147. doi: <https://doi.org/10.5944/empiria.36.2017.17862>
238. Nalbantis, I., & Tsakiris, G. (2008 0 2009). Assessment of hydrological drought revisited. *Water Resources Management*, 23(5):881–897. Doi:10.1007/s11269-008-9305-1
239. Nalbantis I (2008) Evaluation of a hydrological drought index. *European Water* 23(24):67–77
240. Nauditt, A., Stahl, K., Rodríguez, E., Birkel, C., Formiga-Johnsson, R. M., Marko, K., ... & Thurner, J. (2020). Tropical drought risk: estimates combining gridded vulnerability and hazard data. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1-35.
241. Naumann, G., Barbosa, P., Garrote, L., Iglesias, A., & Vogt, J. (2013). Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to inform early warning systems. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10(10): 12217-12254. Doi: 10.5194/hess-18-1591-2014.
242. Naumann, G., Barbosa, P., & Carra, H. (2016). Mapping global patterns of drought risk: An empirical framework based on sub-national estimates of hazard, exposure and vulnerability. 39, 108–124. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.04.012>
243. Naumann, G., Vargas, W., Barbosa, P., Blauhut, V., Spinoni, J., and Vogt, J. (2019). Dynamics of Socioeconomic Exposure, Vulnerability and Impacts of Recent Droughts in Argentina, *Geosciences*, 9, 39, <https://doi.org/10.3390/geosciences9010039>, 2019.
244. Narasimhan, B., & Srinivasan, R. (2005). Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 133(1):69–88. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.07.012>.

245. Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffman, A., y Giovannini, E. (2005). Handbook on constructing composite indicators: methodology and user guide, OECD Statistics Working Paper, STD/DOC (2005)3, OECD Publishing, Paris <http://www.oecd.org/els/soc/handbookonconstructingcompositeindicatorsmethodologyanduserguide.htm>
246. Nasrollahi, M., Khosravi, H., Moghaddamnia, A., Malekian, A., & Shahid, S. (2018). Assessment of drought risk index using drought hazard and vulnerability indices. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(20), 1-12.
247. Navarro, O. (2009). Selección de variables en regresión componentes principales. *Energy and Technology for the America: Education, Innovation, Technology and Practice*. June 2-5, 2009, San Cristóbal, Venezuela. CD-ROM. <http://www.laccei.org/LACCEI2009-Venezuela/Papers/p186.pdf>
248. Nazrul, I.S. (2015) Inequality and Environmental Sustainability. DESA Working Paper No. 145 ST/ESA/2015/DWP/145.
249. NDMC (National Drought Mitigation Center). (1995). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Recuperado de <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1019&context=droughtfacpub>
250. Neri, C., & Magaña, V. (2016). Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico. *Weather, Climate, and Society*, 8(2), 95-110. Recuperado de https://journals.ametsoc.org/view/journals/wcas/8/2/wcas-d-15-0005_1.xml
251. Nilsson R. (2000), Confidence Indicators and Composite Indicator”, *CIRET* conference, Paris, 10-14 October 2000
252. Ochoa, S. (Marzo 27, 2021). Exige UdeG datos sobre crisis de agua. *Reforma*. Recuperado de <https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?urlredirect=https://www.reforma.com/exige-udeg-datos-sobre-crisis-de-agua/ar2151971?v=2&referer=--7d616165662f3a3a6262623b6770737a6778743b767a783a747b607b767c747b386760617438717038657c6574663872677461607c6174663865746774387066661703879607b70663a746727242027222522-->
253. OMM (Organización Meteorológica Mundial y Asociación Mundial para el Agua). (2006). *Vigilancia y alerta temprana de la sequía: Conceptos, progresos y desafíos futuros*. Ginebra, Suiza. 110 p. Recuperado de https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_es_2006.pdf
254. OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2012). Índice normalizado de precipitación Guía del usuario. https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf
255. OMM & GWP (Organización Meteorológica Mundial y Asociación Mundial para el Agua). (2016). *Manual de indicadores e índices de sequía*. Programa de Gestión Integrada de Sequías. Recuperado de http://www.droughtmanagement.info/literature/WMO-GWP_Manual-de-indicadores_2016

256. OMS (Organización Mundial de la Salud). (2003). Domestic Water Quantity, Service Level and Health. WHO/SDE/WSH/03.02 https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/es/
257. Ortega-Gaucin, D. (2012a). *Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación*. México: Instituto del Agua del Estado de Nuevo León, 2012. 222 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.1426.0563.
258. Ortega-Gaucin, D. (2012b). *Impacto socio-económico de la sequía en un distrito de riego: estrategias para mitigarlo*. Alemania: Editorial Académica Española. 212 p.
259. Ortega-Gaucin, D., (2013). Impacto de las sequías en Nuevo León. CIENCIA UANL, vol. 16, No. 63, 8-14 pp. <https://agua.org.mx/biblioteca/impacto-de-las-sequias-en-nuevo-leon/>
260. Ortega-Gaucin, D. (2014). “*Aspectos socioeconómicos y ambientales de las sequías en México*”. Recuperado de https://agua.org.mx/wpcontent/uploads/2014/06/Aspectos_socioeconomicos_y_ambientales_de_las_sequias_en_Mexico.pdf
261. Ortega-Gaucin, D., & Velasco, I. (2015). Program of preventive and mitigation drought measures in the Rio Balsas Basin Council, Mexico. In: Andreu, J. et al. (eds.). *Drought: Research and Science-Policy Interfacing*. The Netherlands: CRC Press/Balkema. pp. 493-498. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/275963665_Program_of_Preventive_and_Mitigation_Drought_Measures_in_the_Rio_Balsas_Basin_Council_Mexico
262. Ortega-Gaucin, D., López, P, M., & Arreguín, C, F.I. (2016). Drought risk management in Mexico: progress and challenges. *Int. J. of Safety and Security Engineering* 6(2), 161-170. <https://doi.org/10.2495/SAFE-V6-N2-161-170>
263. Ortega-Gaucin, D., De la Cruz Bartolón, J., & Castellano-Bahena, H. V. (2018a). Drought Vulnerability Indices in México. *Water*, 10(11), 1671. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w10111671>
264. Ortega-Gaucin, D., De la Cruz J., & Castellano-Bahena, H.V. (2018b). Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México. En: *Agua y Cambio Climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos. pp 80-105. Recuperado de <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/2192>
265. Ortega-Gaucin, D., Ceballos-Tavares, J.A., Ordoñez Sánchez, A. & Castellano-Bahena, H.V. (2021). Agricultural Drought Risk Assessment: A Spatial Analysis of Hazard, Exposure, and Vulnerability in Zacatecas, Mexico. *Water* 2021, 13, 1431. <https://doi.org/10.3390/w13101431>
266. Padilla, C, E. (2012). La construcción social de la escasez de agua: Una perspectiva teórica anclada en la construcción territorial. *Región y sociedad*, 24(spe3), 91-116. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252012000600004&lng=es&tlng=es.
267. Palma, C, A. (2020). “Agua y Covid-19: Reflexiones para una nueva normalidad en el sector hídrico. Organizada por la Red del Agua UNAM. En revista Agua y Saneamiento (ANEAS), 87, 8-10. <https://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2020/07/AyS87fin.pdf>

268. Palmer, W.C. (1965). Meteorological drought. Weather Bureau Research Paper No. 45, US Department of Commerce, Washington, DC. 58 pp. Recuperado de [https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB Meteorological Drought 1965.pdf](https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB_Meteorological_Drought_1965.pdf)
269. Palmer, W.C. (1968). Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 21 (4): 156–161. Doi: 10.1080/00431672.1968.9932814
270. Paneque, Pilar & Vargas Molina, Jesús & Lafuente, Regina. (2018). Evaluación de la vulnerabilidad socio-institucional al riesgo de sequía: participación pública en la construcción de indicadores a través de un geovisor colaborativo. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Pilar_Paneque/publication/326540649_Evaluacion_de_la_vulnerabilidad_socio-institucional_al_riesgo_de_sequia_participacion_publica_en_la_construccion_de_indicadores_a_traves_de_un_geovisor_colaborativo/links/5b5374730f7e9b240ff967bf/Evaluacion-de-la-vulnerabilidad-socio-institucional-al-riesgo-de-sequia-participacion-publica-en-la-construccion-de-indicadores-a-traves-de-un-geovisor-colaborativo.pdf?origin=publication_detail
271. Parlamento Europeo (2019, febrero 12). Nuevas reglas para impulsar la reutilización del agua para riego agrícola. Recuperado de <https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20190207IPR25214/nuevas-reglas-para-impulsar-la-reutilizacion-del-agua-para-riego-agricola>
272. Park, S., Im, J., Jang, E., & Rhee, J. (2015). Drought assessment and monitoring through blending of multi-sensor indices using machine learning approaches for different climate regions. *Agric. For. Meteorol. Volume* 216, 157–169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.10.011>
273. Patrick, E. (2003). Sequía: Vulnerabilidad y Crisis en las Tierras Áridas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
274. Patel, K. (Mayo 6, 2021). Sequía generalizada en México. Ciencia Nasa. Recuperado de <https://ciencia.nasa.gov/sequia-generalizada-en-mexico>
275. Patnaik, Unmesh & Narayanan, K. (2009). Vulnerability and Climate Change: An Analysis of the Eastern Coastal Districts of India. University Library of Munich, Germany, MPRA Paper.
276. Peduzzi, P., Dao, H., Herold, C. & Mouton, F. (2009). Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9, 1149–1159. Recuperado de <https://nhess.copernicus.org/articles/9/1149/2009/nhess-9-1149-2009.pdf>
277. Pearson, K. (1894). Contributions to the mathematical theory of evolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 71–110.
278. Peters, E.; J. Campoy F. y K. Flessa (2009). Ciénega de Santa Clara Comprehensive Monitoring Program. Publicación especial del Instituto Nacional de Ecología, México.
279. Perló, M. & González E. (2005). ¿Guerra por el agua en el Valle de México? Estudios sobre las relaciones hidráulicas en el Distrito Federal y el Estado de México. México: Coordinación de Humanidades, Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad-UNAM, Fundación

- Friedrich Ebert Stiftung. Recuperado de http://centro.paot.org.mx/documentos/unam/guerra_por_agua_digital.pdf
280. Pértegas, D. S. Pita F, S. (2001). Determinación del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal de Pearson. *Unidad de Epidemiología Clínica y Bioestadística. Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña (España): cad aten primaria* 2001;2002; 9: 209-211. Disponible en: <<http://www.fisterra.com/mbe/investiga/pearson/pearson.asp>>. Actualizada el 18/11/2002
281. Philander, S. G. (1990), *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*, San Diego, Academic Press
282. Pihkhma, R. (1999). *21st Century Water Systems: Scenarios, Visions, and Drivers*. Recuperado de https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/05/RMI_Document_Repository_Public-Reprrts_W99-21_21CentWaterSys.pdf
283. Pineda-Pablos, Nicolás, & Salazar-Adams, Alejandro. (2016). Ciudades y sequía en México. La gestión del agua como estrategia crítica de mitigación. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(5), 95-113. Documento en línea]. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500095&lng=es&tlng=es
284. Pinkhma, R. (1999). *21st Century Water Systems: Scenarios, Visions, and Drivers*. Rocky Mountain Inst., Snowmass, Colo.
285. Prabnakorn, S., Maskey, S., Suryadi, F. X., & de Fraiture, C. (2019). Assessment of drought hazard, exposure, vulnerability, and risk for rice cultivation in the Mun River Basin in Thailand. *Natural Hazards*, 97(2), 891-911.
286. Prieto, A. F. (2015). *Distribuciones de probabilidad*. Universidad de Cundinamarca. Recuperado de: http://www.academia.edu/19517058/Distribuciones_discretas_y_continuas
287. Prieto, M, S.J. (Marzo 30, 2021). Como se ensaño la crisis de agua en el AMG. Territorio. Recuperado de <https://territorio.mx/como-se-ensano-la-tesis-de-agua-en-el-amg/>
288. PNUD (1990 a 2011): *Informe sobre Desarrollo Humano. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo*. Mundiprensa Libros, Madrid / Fondo de Cultura Económica, México.
289. Rajsekhar, D., Singh, V. P., & Mishra, A. K. (2015). Multivariate drought index: An information theory based approach for integrated drought assessment. *Journal of Hydrology*, 526, 164-182. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.031>
290. Rafael, S. & Martins, Helena & Borrego, Carlos & López, Myriam. (2015). Urban vulnerability and resilience to climate change. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. Vol. 198, Pag . 379–390. <https://doi.org/10.2495/AIR150331>
291. Raffestin, C. (1993). *Por uma geografia do poder*. São Paulo: Editora Ática.
292. Ragnar, F. (1934). *Statistical Confluence Analysis by Means of Complete Regression Systems*, Institute of Economics, Oslo University, publ. núm. 5,
293. Ramírez, M. (Abril 21, 2021). Sequía en Jalisco viola el derecho humano al acceso al agua asegura especialista. Milenio. Recuperado de

<https://www.milenio.com/politica/comunidad/sequia-jalisco-viola-derecho-humano-acceso-agua-udeg>

294. Ramírez, R, J. L. (2017). Procedimiento para la elaboración de un análisis FODA como una herramienta de planeación estratégica en las empresas. Instituto de Investigaciones y Estudios Superiores de las Ciencias Administrativas. México. Recuperado de <https://www.uv.mx/iiesca/files/2012/12/herramienta2009-2.pdf>
295. Ravelo, A., Sanz, R., & Douriet, J. C. (2014). Detección, evaluación y pronóstico de las sequías en la región del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, México. *Agriscientia*, 31(1), 11-24.
296. Razali, N. y Wah, Y. (2011). Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov- Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests. *Journal of Statistical Modeling and Analytics*, 2(1), 21–33.
297. Rhee, J., & Im, J. (2017). Meteorological drought forecasting for ungauged areas based on machine learning: Using long-range climate forecast and remote sensing data. *Agric. For. Meteorol.* 237, 105–122. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.02.011>
298. Ricaño, E, M. (2018) “Los servicios de agua y saneamiento en México”. *Revista H2O Gestión del agua. El agua paga el agua.* Enero-marzo 2018, Vol. 17 Núm 5. [Documento en línea] https://issuu.com/helios_comunicacion/docs/h2o-17_fin
299. Rivera, Patricia. & Águila, Adrián, Guillermo. (2015). La gestión integral del agua en zonas urbanas: caso de estudio Zacatecas-Guadalupe, México. *Tecnología y ciencias del agua*, 6(3), 125-142. Recuperado en 01 de diciembre de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000300009&lng=es&tlng=es.
300. Rocha Castro, E. (2010). Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas. Chihuahua, México: Universidad Autónoma de Chihuahua. Consultado en: <https://www.oocities.org/edrochac/sanitaria/parametros1.pdf>
301. Romieu, E., Welle, T., Schneiderbauer, S., Pelling, M., & Vinchon, C. (2010). Vulnerability assessment within climate change and natural hazard contexts: revealing gaps and synergies through coastal applications. *Sustainability Science*, 5(2), 159-170. <https://doi.org/10.1007/s11625-010-0112-2>
302. Robledo, R. (Abril 28, 2021). Es inducida escasez de agua en Cerro Prieto, NL, dicen ejidatarios. *Jornada*. Recuperado de https://jornada.com.mx/notas/2021/04/28/economia/es-inducida-la-escasez-de-agua-en-presa-cerro-prieto-en-nl-acusan/?fbclid=IwAR26c6ZLzkGnsQmzRtzzT_BMEGjHkiuEryC9ufqnD-gJdrKEPFda-SPJ0xQ
303. Rodríguez, O, J. E. & MacLachlan, M. C. (2001). *Hacia el ser histórico de México. Una reinterpretación de la Nueva España*, México, Diana.
304. - Royston, J.P. (1982a). An Extension of Shapiro and Wilk’s W Tests for Normality to Large Samples. *Applied Statistics*, 31, pp.115-124.
305. Royston, J.P. (1982b). Algorithm AS 177: Expected Normal Order Statistics (Exact and Approximate), *Applied Statistics*, 31, pp.161-165.

306. Royston, J.P. (1982c). Algorithm AS 181: The W Test for Normality. *Applied Statistics*, 31, pp.176-180.
307. Royston, P. (1992). Approximating the Shapiro-Wilk W test for Non-normality [Abstract]. *Statistics and Computing*, 2, pp.117-119.
308. Royston, P. (1995). Remark AS R94:A Remark on Algorithm AS181:The W-test for Normality. *Journal of the Royal Statistical Society*, Vol. 44, No. 4, pp. 547-551.
309. Safavi, H.R., Esfahani, M.K., & Zamani, A.R. (2014). Integrated index for assessment of vulnerability to drought, case study: Zayandehrood River Basin, Iran. *Water resources management*, 28(6), 1671-1688. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0576-4>
310. Salas, J. (1993). Analysis and modeling of hydrologic time series. En: *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill, págs. 19.2-19.63. Recuperado de http://dl.watereng.ir/HANDBOOK_OF_HYDROLOGY.PDF
311. Salazar Adams, Alejandro, & Lutz Ley, América N. (2015). Factores asociados al desempeño en organismos operadores de agua potable en México. *Región y sociedad*, 27(62), 05-26. Recuperado en 05 de marzo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252015000100001&lng=es&tlng=es
312. Saltelli, A., Ratto, M., Andrés, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M. y Tarantola, S. (2008). *Global Sensitivity Analysis. The primer*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd
313. SAS Institute. (2004), “SAS 9.1.3 Procedures Guide”, Volume 4. Cary, NC: SAS Institute.
- Selcuk K., Dincer G., & Gokmen Z. (2015). MVN: An R Package for Assessing Multivariate Normality. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/MVN/vignettes/MVN.pdf> (November 13, 2015).
314. SEAPAL (Sistema de los Servicios de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Puerto Vallarta). (2019, enero 14). Vallartenses refrendan su confianza en SEAPAL; registra 99.2% de eficiencia comercial. Consultado en <http://www.seapal.gob.mx/vallartenses-refrendan-su-confianza-en-seapal-registra-99-2-de-eficiencia-comercial/>
315. Schuschny, Andrés & Soto, Humberto (2009). Guía metodológica Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/1/S2009230_es.pdf
316. Segob (Secretaría de Gobernación). (2011). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de la Región Hidrológica número 24 Bravo-Conchos. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5192916&fecha=02/06/2011
317. Segob (Secretaría de Gobernación). (2004). Declaratoria de Emergencia con motivo de las lluvias atípicas registradas del 5 al 8 de septiembre de 2004 y sus efectos en el Municipio de Zamora de Hidalgo del Estado de Michoacán. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=679445&fecha=15/10/2004
318. Segob (Secretaría de Gobernación) (2015). Norma Oficial Mexicana NOM-032-SAG/PESC-2015, Pesca responsable en el Lago de Chapala, ubicado en los estados de Jalisco y Michoacán. Especificaciones para el aprovechamiento de los recursos pesqueros. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5397400&fecha=19/06/2015

319. Segob (Secretaría de Gobernación) (2017). Acuerdo por el que se dan a conocer los resultados del estudio técnico de las aguas nacionales superficiales en las cuencas hidrológicas Laguna Madre Norte, Río Potosí 1, Río Potosí 2, Río Camacho, Río Pablillo 1, Río Pablillo 2, Arroyo Los Anegados o Conchos 2, Río Conchos, Río San Lorenzo, Río Burgos, Río San Fernando 1, Arroyo Chorreras o Las Norias, Río San Fernando 2, Barra Jesús María, Barra de Ostiones, Barra Carrizos y Barra de San Vicente, pertenecientes a la Región Hidrológica número 25 San Fernando-Soto La Marina. http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5492245
320. Secretaría de Desarrollo Social. Unidad de Planeación, (2010), Huracán Alex en Nuevo León, la memoria. Riesgos, testimonios y acción social. Unidad de Planeación. Investigaciones y Diagnósticos de Desarrollo Social 2009-2015, Gobierno del Estado de Nuevo León, Monterrey. Recuperado de <http://www.nl.gob.mx/publicaciones/huracan-alex-en-nuevo-leon-la-memoria-riesgos-testimonios-y-accion-social>
321. Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2011). Manifiesto de impacto ambiental modalidad particular que se presenta para el proyecto relacionado con un parque recreativo en un predio ubicado dentro de los límites de la presa Cerro Prieto en el municipio de Linares, Nuevo León municipio de Monterrey, Nuevo León. <http://sinat.semarnat.gob.mx/dgiraDocs/documentos/nl/estudios/2011/19NL2011UD034.pdf>
322. Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2015). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Recuperado de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
323. Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2016). Informe de la Situación Del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Ciudad de México (México): Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Edición 2015 [Documento en línea]. Desde: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
324. Sena, A., Ebi, K. L., Freitas, C., Corvalan, C., & Barcellos, C. (2017). Indicators to measure risk of disaster associated with drought: Implications for the health sector. *PloS one*, 12(7), e0181394. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181394>
325. Shafer, B., & Dezman, L. (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in Snowpack Runoff Areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp. 164–175. Recuperado de <https://westernsnowconference.org/sites/westernsnowconference.org/PDFs/1982Shafer.pdf>
326. Shahid, S., & Behrawan, H. (2008). Drought risk assessment in the western part of Bangladesh. *Nat. Hazards* 2008, 46, 391–413.
327. Shapiro, S.S. & Wilk, M.B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika*, Vol. 52, No. 3/4, pp. 591-611.
328. SIAPA (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado) (2008) Informe Anual 2008, SIAPA, Guadalajara, 2008. [Documento en línea] <http://www.siapa.gob.mx/transparencia/pdf/IIinformeSIAPA.pdf>

329. SIAPA. (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado) (2012). Objetivos de SIAPA [Documento en línea] https://www.siapa.gob.mx/extras/transparencia/manuales/DIRECCION_GRAL/objetivo%20siapa.htm
330. SIAPA (Sistema Intermunicipal de Agua Potable y Alcantarillado) (2017). "Informe de actividades y resultados enero-diciembre 2017". Recuperado de [http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/informe de actividades -
_anual 2017.pdf](http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/informe_de_actividades_-_anual_2017.pdf)
331. Sisto, N., Guajardo-Quiroga, R., & Aguilar-Barajas, I. (2011). Estimación de los impactos económicos de una sequía. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 2(2), 111-123. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-
24222011000200008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222011000200008&lng=es&tlng=es).
332. Schneiderbauer, S., & Ehrlich, D. (2004). Risk, hazard and people's vulnerability to natural hazards: A review of definitions, concepts and data. *European Commission Joint Research Centre. EUR*, 21410, 40. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/268149143 Risk Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards a Review of Definitions Concepts and Data](https://www.researchgate.net/publication/268149143_Risk_Hazard_and_People's_Vulnerability_to_Natural_Hazards_a_Review_of_Definitions_Concepts_and_Data)
333. Schuschny, A., & Soto, H. (2009). Guía metodológica, diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible. Santiago de Chile, CEPAL, Naciones Unidas. Recuperado de [https://www.cepal.org/es/publicaciones/3661-guia-metodologica-diseno-indicadores-
compuestos-desarrollo-sostenible](https://www.cepal.org/es/publicaciones/3661-guia-metodologica-diseno-indicadores-compuestos-desarrollo-sostenible)
334. Shukla S, Wood AW (2008) Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophys Res Lett* 35:L02405. Doi:10.1029/2007GL032487
335. Solis, V. (Mayo 9, 2021). ¿Qué está pasando en Tampico con el agua?. El Sol de México. Recuperado de [https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/que-esta-pasando-
en-tampico-con-el-agua-6693725.html](https://www.elsoldemexico.com.mx/republica/sociedad/que-esta-pasando-en-tampico-con-el-agua-6693725.html)
336. Stahl, K. and Hisdal, H. (2004) Hydroclimatology, in Tallaksen, L.M. and Van Lanen, H.A.J. (Eds.)
337. Stefan, S., Ghioca M, Rimbu N, Boroneant C. (2004). Study of meteorological and hydrological drought in southern Romania from observational data. *Int J Climatol* 24:871–881
338. Stephens MA (1974) EDF statistics for goodness of fit and some comparisons. *J Am Statistical Association*. <https://doi.org/10.1080/01621459.1974.10480196>
339. Steel, R.G.D, and Torrie, J. H. (1960). Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences., McGraw Hill, 1960, pp. 187, 287.
340. Svoboda, Mark D., Doug LeComte, Michael J. Hayes, Richard Heim, Karin Gleason, James R. Angel, Brad Rippey, Rich Tinker, Mike Palecki, David Stooksbury, David Miskus y Scott Stephens (2002). (Drought Monitor). En: *Bulletin of the American Meteorological Society* April, pags. 1181-1190. Doi: 10.1175/1520-0477(2002)083h1181:TDMi2.3.CO;2.
341. Tabari, H., Nikbakht, J., & Hosseinzadeh-Talaei, P. (2013). Hydrological drought assessment in Northwestern Iran Based on Streamflow Drought Index (SDI). *Water Resources Management*, 27(1), 137- 151. <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0173-3>

342. Tadesse, T., D. A. Wilhite, S. K. Harms, M. J. Hayes, and S. Goddard. (2004). Drought monitoring using data mining techniques: A case study for Nebraska, USA. *Natural Hazards* 33(1): 137– 159.
343. Tate, E.L., & Gustard, A. (2000). Drought definition: A hydrological perspective. In: Voght J.V., Somma F (eds) *Drought and drought mitigation in Europe (advances in natural and technological hazard research)*, vol 14. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-015-9472-1_3
344. Tarpley, J.D., Schneider, S.R., & Money, R. L. (1984). Global Vegetation Indices from the NOAA7 Meteorological Satellite. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23(3), 491-494. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0491:GVIFTN>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0491:GVIFTN>2.0.CO;2)
345. Teniente, J.(Abril 26, 2021). Se vacían las presas en Nuevo León; hay riesgo de quedarse sin agua en MTY. Unotv. Recuperado de <https://www.unotv.com/estados/nuevo-leon/se-vacian-las-presas-en-nuevo-leon-hay-riesgo-de-quedarse-sin-agua-en-mty/>
346. Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G. (2015). DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3):697-709. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1007/s12145-014-0178-y>
347. Torres González, L. G. & Pérez Peña, O. (2005). La condición de ecoescasez y la política ecológica del Estado mexicano en la cuenca Lerma-Chapala-Santiago. En Durán Juárez, J. M., Bohem Schoendube, B. & Sánchez Rodríguez, M. (coords.), *Los estudios del agua en la cuenca Lerma Chapala-Santiago II*. Guadalajara: El Colegio de Michoacán, Universidad de Guadalajara.
348. Torres, P., Cruz, C., & Patiño, P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *revista ingenierías universidad de Medellín*, 8(15 Sup. 1), 79-94. Recuperado a partir de <https://revistas.udem.edu.co/index.php/ingenierias/article/view/59>
349. Torres-Lima, P. (2015). “Ecurbanismo y habitabilidad regional. Contribuciones de América Latina”. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/291345490_Ecourbanismo_y_habitabilidad_regional_Contribuciones_de_America_Latina.
350. Torres-Rodríguez, A. (2013). Abastecimiento de agua potable en las ciudades de México: el caso de la zona metropolitana de Guadalajara. *Agua y Territorio*, 1, 77-90. <https://doi.org/10.17561/at.v1i1.1035>
351. Torres, M. & Barajas, L. (2013). Descripción de la cuenca hidrográfica del río San Juan, presa La Boca-presa El Cuchillo, Nuevo León, México, Monterrey. <https://docplayer.es/20730632-Descripcion-de-la-cuenca-hidrografica-del-rio-san-juan-presa-la-boca-presa-el-cuchillo-nuevo-leon-mexico.html>
352. Trenberth, K. E. (1997). The definition of El Niño. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78. 2771-2777 pp.
353. Tsakiris, G. (2007). Practical application of risk and hazard concepts in proactive planning. *European Water*, 19(20),47–56. Recuperado de https://www.ewra.net/ew/pdf/EW_2007_19-20_05.pdf

354. Tsakiris, G., Nalbantis, I., Vangelis, H., Verbeiren, B., Huysmans, M., Tychon, B., & Batelaan, O. (2013). A System-based Paradigm of Drought Analysis for Operational Management. *Water Resources Management*, 27(15), 5281–5297. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0471-4>
355. Timmerman, P. (1981). Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society. *Environmental Monograph* No. 1, Institute for Environmental Studies, University of Toronto, Canada.
356. UNISDR, Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres, 43. Recuperado de http://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf
357. UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). (2013). Economic and Social Impacts of Desertification, Land Degradation and Drought https://profiles.uonbi.ac.ke/jmariara/files/unccd_white_paper_1.pdf
358. UN-ISDR. (2009). Drought Risk Reduction, Framework and Practices: Contributing to the Implementation of the Hyogo Framework of Action, Geneva, 214 pp., available at: https://www.unisdr.org/files/11541_DroughtRiskReduction2009library.pdf, last access: 28 July 2019, 2009.
359. UNDRRO, United Nations Disaster Relief Organization. (1979). *Natural disasters and vulnerability analysis*, Report of Experts Group Meeting, Geneva. UN.
360. UNCCD/FAO/GWP/WMO, Convención de las Naciones Unidas para el Combate de la Desertificación, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Asociación Mundial para el Agua y Organización Meteorológica Mundial. (2019). Drought impact and vulnerability assessment: Available approaches and policy recommendations. UNCCD. 12 pp. Recuperado de <https://www.unccd.int/publications>
361. Valencia, R. M., Figueroa, C. A., Ruiz, O. D., Otero, S. J., Martínez, I. J., Ceballos S. V., Joaquín, D. S., & González, Q. D. (2014). Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. *REVISTA INGENIERÍAS UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN*, 13(25), 29-43. <https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a2>
362. Valiente, M. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas* (Esp), No. 26, 59-80. Universidad de Alicante Alicante, España. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/176/Resumenes/Resumen_17602604_1.pdf
363. Van-Rooy, M.P. (1965). A rainfall anomaly index (RAI) independent of time and space. *Notos*, 14: 43–48.
364. Velasco, I. (2002). *Plan de preparación para afrontar sequías en un distrito de riego*. (Tesis de Doctorado en Ingeniería Hidráulica). Universidad Nacional Autónoma de México, México. 151 p.
365. Velasco, I., Ochoa, L., & Gutiérrez, C. (2005). Sequía, un Problema de Perspectiva y Gestión. *Región y Sociedad*, Vol. 17, No. 34, 35-71. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252005000300002&lng=es&tlng=es
366. Velázquez, G.A. y Gómez Lende, S. (2005): “Población y calidad de vida en la Argentina (1991-2001). La fragmentación de la sociedad y el territorio”, en Velázquez, G.A. y Gómez

- Lende, S. (comp.): Desigualdad y calidad de vida en la Argentina (1991-2001) Aportes empíricos y metodológicos, UNCEN-REUN-CIG, Tandil, pp. 63–86
367. Velázquez, G.A. (2008): “Bienestar y jerarquía urbana. Un análisis regional en la Argentina (2001)”, en Lucero, P. (ed.): Territorio y calidad de vida, una mirada desde la geografía local: Mar del Plata y Partido de General Pueyrredón. EUDEM. Mar del Plata, pp. 41–72.
368. Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., & López-Moreno, J.I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index, *Journal of Climate*, 23 (7): 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
369. Vicente-Serrano SM, López-Moreno JI, Beguería S, Lorenzo-Lacruz J, Azorin-Molina C, Morán-Tejeda, E. (2012). Accurate Computation of a Streamflow Drought Index. *J Hydrol Engin* 17(2):318–332
370. Vogt, J. V., Naumann, G., Masante, D., Spinoni, J., Cammalleri, C., Erian, W., ... & Barbosa, P. (2018). Drought Risk Assessment and Management. A conceptual framework. Publications Office of the European Union, Luxembourg, doi: 10.2760/057223
371. Wanders, N., Van Lanen, H.A.J., & Van Loon, A.F. (2010). WATCH Technical Report No. 24: Indicators for drought characterization on a global scale. Recuperado de <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/160049>
372. Webb, P., & Harinarayan, A. (1999). A measure of uncertainty: The nature of vulnerability and its relationship to malnutrition. *Disasters*. Dec;23 (4), 292–305.
373. Welle, T., & Birkmann, J. (2015). The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale. *Journal of Extreme Events. Volume 2*, No. 01. <https://www.researchgate.net/publication/283087679> The World Risk Index An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale
374. Wilhite, D.A., & Glantz, M.H. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. Recuperado de <http://digitalcommons.unl.edu/droughtfacpub/20>
375. Wilhite, D.A. (2000). Chapter 1 Drought as a natural hazard: concepts and definitions. En: Wilhite Donald (Ed.). *Drought: a global assessment, Vol. I*. USA: Routledge. pp. 3-18.
376. Wilhite, D.A. (2005). *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*. (D. A. Wilhite, Ed.), CRC Pres (1 st editi). USA: Taylor & Francis.
377. Winsemius, H, C., Jongman, B., Veldkamp, T, I.E., Hallegatte, S., Bangalore, M., & Ward, P. J. (2018). Disaster risk, climate change, and poverty: Assessing the global exposure of poor people to floods and droughts. *Environment and Development Economics*, 23(3), 328-348. <https://doi.org/10.1017/S1355770X17000444>
378. Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2003). *At risk: Natural hazards, peoples's vulnerability and disasters* (2nd ed.). Recuperado de https://www.preventionweb.net/files/670_72351.pdf
379. Yan, M.P. (1965). A Rainfall Anomaly Index independent of time and space. *Notos*, 14:43–48.
380. Yang, W. (2010). Drought analysis under climate change by application of drought indices and copulas. MSc Thesis, Civil and Environmental Engineering, Portland State University

381. Yen, B.C. (1971). Risks in hydrologic design of engineering projects, *Journal of the Hydraulics Division*, 97(9), pp. 1525–1526. <https://doi.org/10.1061/JYCEAJ.0002476>
382. Yue S, Wang, C.Y. (2004). Possible regional probability distribution type of Canadian annual streamflow by L-moments. *Water Resour Manage* 18(5):425–438
383. Zaidman, M.D., Rees, H.G., Young, A.R. (2002). Spatio-temporal development of streamflow droughts in north-west Europe. *Hydrol Earth Syst Sci* 5(4):733–751.
384. Zárate Martín, M.A. (1988): “Bienestar Social y diferenciación interna del espacio urbano. Vitoria-Gasteiz”, *Revista de la Facultad de Geografía e Historia*, 1, pp. 163–178.
385. Zhang, R., Chen, Z.Y., Xu, L.J., & Ou, C.Q. (2019). Meteorological drought forecasting based on a statistical model with machine learning techniques in Shaanxi province, China. *Science of the Total Environment* 665, 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.431>
386. Zhang, F., Chen, Y., Zhang, J., Guo, E., Wang, R., & Li, D. (2019). Dynamic drought risk assessment for maize based on crop simulation model and multi-source drought indices. *Journal of cleaner production*, 233, 100-114.
387. Zhong, L.; Hua, L.; Yan, Z. (2020). Datasets of meteorological drought events and risks for the developing countries in Eurasia. *Big Earth Data* 2020, 4, 191–223.
388. Zarafshani, K., Sharafi, L., Azadi, H., Hosseininia, G., De Maeyer, P., & Witlox, F. (2012). Drought vulnerability assessment: The case of Wheat farmers in Western Iran. *Glob. Planet. Chang.* 98–99, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.08.012>
389. Zarafshani, K., Sharafi, L., Azadi, H., & Van Passel, S. (2016). Vulnerability assessment models to drought: Toward a conceptual framework. *Sustainability*, 8, 588.

LINKS

1. CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social) Glosario-coneval. [Documento en línea]. <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Glosario.aspx>
2. INE (Instituto Nacional Electoral) Definiciones: Indicadores de la fuerza de trabajo [Documento en línea]. www.ine.gov.mx/anda4/index.php/catalog/9/download/65
3. INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) Densidad poblacional Documento en línea]. <http://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/densidad.aspx?tema=P>
4. INEE (Instituto Nacional de la Educación para la evaluación). [Documento en línea]. https://www.inee.edu.mx/bie_wr/mapa_indica/2011/PanoramaEducativoDeMexico/CS/CS04/2011_CS04_b.pdf
5. Densidad de población: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030> y <https://www.municipios.mx/>
6. Población económicamente activa desocupada (PEAD): <http://imco.org.mx/indices/> y <http://www.snim.rami.gob.mx/>
7. Población en condiciones de pobreza : <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipal.aspx>

8. Ingreso per cápita anual : <http://imco.org.mx/indices/> y <https://www.gob.mx/conapo/documentos/proyecciones-de-la-poblacion-de-los-municipios-de-mexico-2015-2030>
9. Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado : http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion
10. Calidad del agua superficial: <https://siapa.gob.mx/transparencia/fuentes-de-abastecimiento/cuenca> y <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=calidadAgua>
11. Calidad del agua subterránea (SDT): <https://siapa.gob.mx/transparencia/fuentes-de-abastecimiento/cuenca> y <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
12. Grado de presión sobre el recurso hídrico: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/publicaciones-estadisticas-y-geograficas-60692>

Anexos

Anexo 1.- Trabajos relacionados con el riesgo y vulnerabilidad ante el cambio climático y la sequía.

Tabla 71.- Trabajos relacionados con el riesgo y vulnerabilidad ante el cambio climático y la sequía.

No	Autores	Descripción	Indicadores
1	Naumann et al. (2016)	<p>Elaboraron un mapa mundial del riesgo de sequía a nivel administrativo subnacional. El riesgo de sequía se evaluó para el período 2000- 2014 y se basó en el producto de tres factores determinantes independientes: peligro, exposición y la vulnerabilidad.</p> <p>$R=H*E*V$</p> <p>Pesos: DEA</p>	<p>Exposición: -Tierras agrícolas en el año 2000, -Población expuesta -Ganado -Estrés hídrico basal</p> <p>Vulnerabilidad</p> <p>Económico (4): - PIB per cápita (US \$) - Tasa de incidencia de la pobreza en \$ 1,25 por día (PPA) (% de la población total)</p> <p>Sociales (8): - Tasa de alfabetización (% de personas de 15 o más años de edad) - Efectividad del Gobierno - Prevención de desastres y de preparación (US \$ / año / habitante)</p> <p>Infraestructura (3)</p> <p>Amenaza: Se calculó la sequía meteorológica con el índice de Anomalía ponderada y normalizada de la precipitación (WASP)</p>
2	González et al. (2016)	<p>Este documento presenta una revisión sistemática de las evaluaciones anteriores de vulnerabilidad a la sequía, del periodo 2002-2014.</p>	<p>Factores incluidos con mayor frecuencia (# de DVA)</p> <p>Enfoque biofísico: 1.- Características de la sequía ('Sequía'): SPI, NDVI, 2.- Componentes climáticos: precipitación, evapotranspiración, temperatura ('Clima'): Precipitación anual promedio 3.- Características del suelo y factores topográficos ("Suelo"): Capacidad de retención de agua del suelo 4.- Recursos hídricos (SW y GW, almacenamiento, escorrentía, etc.) ('Recursos hídricos'): Estado de las aguas subterráneas y superficiales</p> <p>Enfoque socioeconómico:</p>

No	Autores	Descripción	Indicadores
			<p>1.- Usos del agua (DWS, industrial, agrícola, etc.) ('Usos del agua'): Uso del agua en la agricultura.</p> <p>2.- Uso de la tierra ('Uso de la tierra'): Usos de la tierra agrícola</p> <p>3.- Sociocultural (demografía, educación, salud, género, conciencia de sequía, etc.) ('Sociocultural'): Población y educación</p> <p>4.- Recursos económicos y financieros (mano de obra, ingresos, consumo, equidad, productividad, inversiones, ahorros, activos, seguros, etc.) ('Eco financieros): recursos económicos ingresos agrícolas empleo</p> <p>5.- Institucional, política y gobernanza (redes sociales, impuestos, programas gubernamentales, participación, etc.) ('Instit') Presencia o programas gubernamentales</p> <p>6.- Técnicas, tecnológicas e infraestructurales (riego, labranza, semillas mejoradas, fertilizantes, acceso a servicios (electricidad, agua segura, Comunicaciones, etc.) ('Infraestructura técnica): Riego</p> <p>7.- Otros ('Otros'): Impactos</p>
3	Malakar & Mishra (2016)	Desarrollan índices que indican la vulnerabilidad al cambio climático / peligros ambientales para las ciudades de la India ubicadas en diferentes zonas bioclimáticas.	<p>Vulnerabilidad:</p> <p>Infraestructura (10):</p> <ul style="list-style-type: none"> -% De hogares con instalación de agua potable dentro de las instalaciones % De los hogares tienen instalación sanitaria dentro <p>Tecnología (6):</p> <p>Financiero (3).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Producto interno bruto per cápita -% de la población que tiene empleo por más de 6 meses del año. <p>Social (8):</p> <ul style="list-style-type: none"> -% De la población por debajo de 6 años de edad -% Por encima de los 60 años de edad -% población discapacitada <p>Espacio (3):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tasa de crecimiento poblacional % - La densidad de población - % Área urbanizada

No	Autores	Descripción	Indicadores
4	Sena et al. (2017)	<p>En este estudio se investigan los factores que contribuyen a los riesgos para la salud de la sequía en Brasil.</p> <p>$R = (H+V+E)/3$ Pesos iguales</p>	<p>Exposición: - % de la población que vive en hogares sin agua corriente</p> <p>Vulnerabilidad: - Nivel educativo - Pobreza</p> <p>Amenaza (H) - Número de evaluaciones de daños por sequía y los casos históricos de sequía.</p>
5	Meriem et al. (2017)	<p>Proponen indicadores clave y umbrales relacionados para analizar la capacidad de transporte de agua de Argel a fin de proporcionar una herramienta de diagnóstico para que los responsables de las políticas establezcan las bases de una estrategia de agua sostenible en la ciudad de Argel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Tasa de explotación de recursos renovables de agua subterránea - Tasa de movilización de aguas superficiales. - Capacidad de desalinización. - Tasa de pérdida en la red de suministro (%) - Tasa de pérdida en la red de distribución - Tasa de reutilización del agua. - Estructura de agua doméstica. - Calidad de administración y servicio de agua. - Calidad de la regulación. - Ley de autoridad - Gasto de agua en el presupuesto familiar - % de hogares con dispositivos de ahorro de agua - porcentaje de hogares que utilizan agua de lluvia
6	Ahmadalipour et al. (2019)	<p>En este estudio, el riesgo de sequía se evalúa a nivel nacional en África, y se investigan los impactos del cambio climático, el crecimiento de la población y las vulnerabilidades socioeconómicas sobre el riesgo de sequía.</p> <p>$R = H * E * V$</p>	<p>Exposición: - Crecimiento de la población (%)</p> <p>Vulnerabilidad: - 28 factores de seis sectores diferentes de uso de la tierra, economía, salud, energía e infraestructura, recursos sociales y de agua.</p> <p>Amenaza: la amenaza de sequía se cuantificó utilizando el Índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizado (SPEI)</p>

No	Autores	Descripción	Indicadores
7.-	Paneque et al. (2018)	<p>Este trabajo centra su atención en un componente central de este riesgo la vulnerabilidad. Se desarrolló un geovisor web con el objetivo entre otros de construir algunos indicadores socio-institucionales que mejoren los índices para la evaluación y el análisis de vulnerabilidad al riesgo de sequía calculados hasta el momento en la cuenca piloto del Guadalete-Barbete.</p> <p>Normalización: desviación estándar o min y max</p>	<p>Exposición: SPEI SPI</p> <p>Sensibilidad (13): Población equivalente (hab) Densidad de población(hab/km2) Tasa de crecimiento anual (%) Demanda doméstica neta (l/hab/día) Pérdida en redes urbanas (%)</p> <p>Capacidad de adaptación (17):</p> <p>Indicador de confianza institucional (%) Capacidad de trasvase (%) Indicador de percepción de sequía (%).</p>
8.-	Welle & Birkmann (2015)	<p>Este artículo proporciona un nuevo enfoque para evaluar el riesgo y la vulnerabilidad a los peligros naturales en la escala de país y permite la comparación de los países a escala mundial.</p>	<p>Exposición (5): - Población expuesta a la sequía.</p> <p>Sensibilidad (7): a) Infraestructura publica - población sin acceso a saneamiento mejorado (%) - población sin acceso a una fuente de agua mejorada (%) b) Nutrición (1):</p> <p>c) Pobreza y dependencia - Tasa de dependencia -pobreza extrema</p> <p>d)Capacidad económica e ingresos - Producto interno bruto per cápita - índice de Gini</p> <p>Capacidad de adaptación: a) Gobierno y autoridades - Índice de Percepción de la Corrupción</p>

No	Autores	Descripción	Indicadores
			b) Protección ambiental del ecosistema - recursos de agua - la biodiversidad y protección al hábitat.
9.-	Mussetta et al. (2017)	<p>Este artículo evidencia las dificultades metodológicas y teóricas en el uso de indicadores sociales para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático y de esta forma contribuye a refinar las estrategias metodológicas para el abordaje de este fenómeno. Se analizan en particular los indicadores de nivel de ingresos, tenencia de la tierra, acceso al agua, infraestructura tecnológica, asistencia técnica, asociativismo y nivel educativo. Para finalizar, se presenta una propuesta alternativa para dar cuenta de las complejidades propias del fenómeno de la vulnerabilidad.</p>	Sensibilidad (5): - Nivel relativo de ingresos (Índice de necesidades básicas insatisfechas) - Acceso al agua (índice de regulación hídrica, índice de calidad del agua, índice de vulnerabilidad por desabasto, disponibilidad física del agua, disputas por la escases del agua, índice de pobreza hídrica) - Índice de Desarrollo Humano Capacidad de adaptación (9): - Nivel educativo - Cobertura de salud - Gobernanza
10.-	BID (2003)	<p>Propone preliminarmente un sistema de indicadores que represente los factores de riesgo.</p>	Indicadores de Exposición y Susceptibilidad - Densidad poblacional - % de población pobre - Crecimiento poblacional - Crecimiento urbano - % de tierra arable - Producto nacional bruto - Crecimiento económico Indicadores de Fragilidad Socio-económica - Indigencia (población con ingresos menores a 1 US\$ diario) - Índice de pobreza - Desigualdad (participación del quintil más pobre en el consumo) - Desempleo como % de la fuerza de trabajo - Desnutrición - Tasa de alfabetismo (inv) - % de personas con acceso a salud (inv)

No	Autores	Descripción	Indicadores
			<ul style="list-style-type: none"> - % de personas con acceso a agua (inv) - % de población con dependencia al GDP agricultura - Concentración del ingreso - Inflación - Dependencia - Servicio de la deuda - Degradación del suelo Indicadores de Resiliencia (falta de) - Ingreso per cápita (inv) - Desarrollo humano (inv) - Desarrollo género (inv) - Cobertura de educación primaria (inv) - Cobertura de educación secundaria (inv) - Gasto social (inv) - Corrupción - Evasión de impuestos - Fragmentación (aplicación limitada de legislación) - Médicos por 1000 habitantes (inv) - Camas hospitalarias (inv) - Radios por 1000 habitantes (inv) - % de aseguramiento de vivienda - % de tierra irrigada
11.-	Magaña (2012)	La guía contiene recomendaciones que permiten al usuario evaluar la vulnerabilidad ante cambio climático.	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grado de presión sobre el recurso agua - Porcentaje de acuíferos sobreexplotados y con intrusión salina - Proporción de agua pública residual tratada con respecto del agua urbana consumida - Tarifa consumo en ciudades \$/m3 - Productividad del agua kg/m3

No	Autores	Descripción	Indicadores
12.-	Ayuntamiento de Córdoba, España (2018)	<p>El documento responde a la necesidad de identificar y valorar los riesgos e impactos a los que está expuesto el municipio de Córdoba ante el Cambio Climático, así como las principales vulnerabilidades que posee de carácter medioambiental y socioeconómicas.</p> <p>V=s-ca</p>	<p>Sensibilidad</p> <p>a) medioambientales (6)</p> <ul style="list-style-type: none"> -zonas en riesgo de desertificación <p>b) desarrollo urbano (11)</p> <ul style="list-style-type: none"> - densidad demográfica - población sensible - población que no trabaja - gestión de aguas residuales <p>Capacidad de adaptación</p> <p>a) medioambientales (3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Areas naturales protegidas <p>b) b) desarrollo urbano (3)</p> <ul style="list-style-type: none"> - zonas verdes - fuentes alternativas de agua potable <p>-</p>
13.-	Castro et al. (2016)	<p>El artículo se basa en un estudio del índice integrado de vulnerabilidad al cambio climático en la unidad hidrogeológica del cerro de Hula, la cual ha sido seleccionada bajo el criterio de delimitar la fuente de abastecimiento de agua de 23 comunidades en Honduras.</p>	<p>Exposición</p> <p>a) Fenómenos extremos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Inundaciones, sequía, deslizamientos, lluvia intensa, temperaturas máximas y sus frecuencias en la zona <p>b) Amenazas antropogénicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incendios, uso del suelo, torres de generación de energía eólica, resineras, cruce de carreteras primarias y secundarias y desechos sólidos en zonas recreativas. <p>c) Climatología:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precipitación y temperatura promedio anual. <p>c) Concentración de metales pesados en el agua:</p>

No	Autores	Descripción	Indicadores
			<ul style="list-style-type: none"> - Hierro, plomo y manganeso para ambas épocas:seca y lluviosa. Sensibilidad: a) población (2) <ul style="list-style-type: none"> - Índice de pobreza a nivel municipal - población en actividades primarias b) salud (3) <ul style="list-style-type: none"> - Porcentaje de adultos mayores (65 años), niños menores (5 años), - personas con capacidades especiales, - acceso a centros de salud dentro de la comunidad c) gestión del agua (6) <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de acuífero en función de la recarga, - porcentaje de almacenamiento, - infraestructura de aprovechamiento y distribución, - tratamiento del agua, - obras de abastecimiento dentro del área de recarga - tarifa. d) . Fragilidad del acuífero a la contaminación e) Gobernanza del agua (3) <ul style="list-style-type: none"> - Junta de agua legalizada y activa, - uso del suelo en el área de recarga (tenencia de la tierra) - porcentaje de área total en función del área de recarga. Capacidad de adaptación a) Capital humano (3) <ul style="list-style-type: none"> - grado de escolaridad, - porcentaje de personas capacitadas en el manejo y uso del agua. b) Capital social (6) <ul style="list-style-type: none"> % porcentaje de familias con acceso al agua, % familias con energía eléctrica c) Capital financiero (4)

No	Autores	Descripción	Indicadores
			<ul style="list-style-type: none"> - %de familias que reciben remesas del extranjero, - familias con apoyo del gobierno (bono solidario), - ingreso mensual por familia, - asociados a cooperativas de ahorro y crédito a nivel local. <p>d) Capital natural:</p> <ul style="list-style-type: none"> - superficie con bosques y/o selvas, - superficie reforestada <p>Recarga de acuíferos.</p>
14.-	Bouroncle et al. (2016)	<p>Éste documento muestra el progreso del proceso de construcción del Sistema Nacional de Indicadores para la Adaptación al Cambio Climático (SNIACC) de Colombia.</p> <p>$R=H*E*V$</p> <p>$V=s-ca$</p>	<p>Exposición (8)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Área expuesta a cambios en el Índice de Calidad del Agua (ICA)² - - Población en zonas de reporte de malaria y dengue, según cotas altitudinales - - Ciudades con más de 100,000 habitantes con riesgo de desabastecimiento por sequía <p>Sensibilidad (8)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Conflicto de uso del suelo - Índice de Retención y Regulación Hídrica - Índice de Pobreza Multidimensional - Densidad poblacional (para ciudades con más de 100,000 habitantes) - Área verde por habitante (para ciudades con más de 100,000 habitantes) <p>Capacidad de adaptación (9)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de eficiencia en el uso del agua - Índice de presión hídrica a ecosistemas - Índice de uso del agua superficial - Planes de ordenación territorial urbanos que incluyen aspectos de cambio climático

No	Autores	Descripción	Indicadores
			- Inversión municipal en gestión de riesgo
15	Valencia et al. (2014)	Este artículo de investigación presenta una metodología para el análisis de vulnerabilidad de fuentes abastecedoras de agua con resultados regionales (Popayán y Cajibío), considerando los siguientes elementos: 1) Incorporación de indicadores pertinentes para fuentes abastecedoras de acueductos municipales, 2) Saberes locales sobre percepción, clima e identificación de problemáticas relacionadas, 3) Procedimientos matemáticos y ajuste del algoritmo para calcular la vulnerabilidad y 4) articulación con instrumentos de planificación territorial.	<p>Biofísica (8)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de regulación hídrica - Índice de Uso de Agua - Índice de calidad de agua <p>Político institucional (2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Actores relacionados con el recurso hídrico en la cuenca (#) <p>Económico productivo (2)</p> <ul style="list-style-type: none"> - % Cobertura acueducto urbana (%) <p>Sociocultural (4)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Densidad poblacional urbana(unidad)
16	BID (2015)	El objetivo de este informe, es la actualización de los indicadores de riesgo de desastres y de gestión del riesgo en 14 países (Argentina, Belice, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Chile, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Jamaica, México, Nicaragua, Perú, República Dominicana) y aplicación en dos países (Brasil y Venezuela). Las evaluaciones se han realizado utilizando las metodologías formuladas en el Programa de Indicadores BID-IDEA,	<p>Índice de Vulnerabilidad prevalente:</p> <p>a) Indicadores de exposición y susceptibilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento poblacional, tasa promedio anual en % - Crecimiento urbano, tasa promedio anual en % - Densidad poblacional en personas por área (5Km2) - Porcentaje de población pobre con ingresos menores a US\$ 1 diario PPP - Stock de capital en millones de dólares por cada 1000 km2 - Valor de importaciones y exportaciones de bienes y servicios en % del PIB - Inversión fija interna del gobierno en porcentaje del PIB exp

No	Autores	Descripción	Indicadores
			<ul style="list-style-type: none"> - Tierra arable y cultivos permanentes en porcentaje del área del suelo b) Indicadores de fragilidad socioeconómica <ul style="list-style-type: none"> - Índice de Pobreza Humana, HPI-1. - Dependencia de población vulnerable de la población en capacidad de trabajar (15-64). - Desigualdad social, concentración del ingreso medida con base en índice de Gini - Desempleo como porcentaje de la fuerza total de trabajo - Inflación, con base en el costo de los alimentos en % anual - Dependencia del crecimiento del PIB de la agricultura, en % anual - Servicio de la deuda en porcentaje del PIB - Degradación antropogénica del suelo (GLASOD) c) Indicadores de falta de resiliencia <ul style="list-style-type: none"> - Índice de Desarrollo humano, DHI [Inv] - Índice de desarrollo relacionado con género, GDI [Inv] - Gasto social; en pensiones, salud y educación, en % del PIB [Inv] - Índice de Gobernabilidad (Kaufmann) [Inv] - Aseguramiento de infraestructura y vivienda en % del PIB [Inv]

No	Autores	Descripción	Indicadores
			<ul style="list-style-type: none"> - Televisores por cada 1000 habitantes [Inv] - Camas hospitalarias por cada 1000 habitantes [Inv] - Índice de Sostenibilidad Ambiental, ESI [Inv] <p>Índice De Gestión del Riesgo (IGR)</p> <p>a) Indicadores de gobernabilidad y protección financiera</p> <ul style="list-style-type: none"> - Organización interinstitucional, multisectorial y descentralizada - Fondos de reservas para el fortalecimiento institucional - Localización y movilización de recursos de presupuesto - Implementación de redes y fondos de seguridad social - Cobertura de seguros y estrategias de transferencia de pérdidas de activos Públicos - Cobertura de seguros y reaseguros de vivienda y del sector privado
17.-	Hernández et al. (2017)	Analizan la vulnerabilidad hídrica al cambio climático. Sitio Piloto: La Paz, Baja California Sur, México	<p>Exposición:</p> <p>a) Fenómenos extremos:</p> <p>b) Climatología</p> <p>Sensibilidad</p> <p>a) Recursos hídricos (6)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consumo de agua (l/hab/día)

No	Autores	Descripción	Indicadores
			<ul style="list-style-type: none"> - Índice de escurrimiento superficial (IESS) Adim - Grado de presión hídrica (GPH) % - Índice de disponibilidad de agua (IDA) % - Recarga/extracción Adim. - Sobre-explotación de acuíferos Adim. <p>b) Población (1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Población expuesta Hab. <p>c) Agrícola (1)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Superficie en actividades agropecuarias km2 <p>Capacidad de adaptación:</p> <p>a) Capital financiero</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia física del organismo operador % - Eficiencia comercial del organismo operador% - PIB actual MUSD <p>b) Capital físico</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura de servicio de agua potable % - Cobertura de servicio de alcantarillado % - Tratamiento de aguas negras % - Número de PTAR en operación Adim. - Eficacia de operación de las PTAR % <p>c) Capital natural</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cobertura forestal km2 <p>d) Capital social</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planes de manejo o de acción climática Adim. <p>e) Capital humano</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de Marginación Social (IMS) Adim. - Índice de Desarrollo Humano (IDH) Adim.

No	Autores	Descripción	Indicadores
18.-	Pineda-Pablos et al. (2016)	Proponen un modelo para el análisis del impacto de la sequía en el que la gestión del agua es el elemento crítico en los municipios urbanos de México.	<ul style="list-style-type: none"> - Nivel de cobertura - Agua no contabilizada - Porcentaje de medición - Tarifa - Facturación - Cobro efectivo - Recuperación de costos - Sustentabilidad financiera - Cultura del agua (patrones de consumo)
19.-	Ortega-Gaucin et al. (2018)	Presentan una metodología para calcular índices de vulnerabilidad ante la sequía en los Organismos de Cuenca en México, la cual se basa en la concepción de vulnerabilidad del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2007), quien la divide en tres componentes: grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.	<p><u>Económica:</u></p> <p>Grado de exposición (GE)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Densidad de población (hab/km2) <input type="checkbox"/> Población económicamente activa desocupada (%) <p>Sensibilidad (S)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Valor de la producción agrícola de riego y temporal (miles \$) <input type="checkbox"/> Valor de la producción del ganado en pie (miles \$) <p>Capacidad de Adaptación (CA)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Superficie rehabilitada al riego (ha) <input type="checkbox"/> Superficie agrícola tecnificada (ha) <input type="checkbox"/> Longitud de caminos rurales (km) <p><u>Social:</u></p> <p>Grado de exposición (GE)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Población en condiciones de pobreza (%) <input type="checkbox"/> Población sin derechohabencia a servicios de salud (%) <input type="checkbox"/> Población analfabeta (%) <p>Sensibilidad (S)</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Viviendas sin agua entubada (%) <input type="checkbox"/> Viviendas sin drenaje ni excusado (%)

No	Autores	Descripción	Indicadores
			<input type="checkbox"/> Viviendas sin energía eléctrica (%) <input type="checkbox"/> Viviendas con piso de tierra (%) Capacidad de Adaptación (CA) <input type="checkbox"/> Ingreso per cápita anual (dólares) <input type="checkbox"/> Beneficiarios del programa Oportunidades (%) <input type="checkbox"/> Beneficiarios del programa Liconsa (%) <input type="checkbox"/> Años promedio de escolaridad (adim.) <u>Ambiental:</u> Grado de exposición (GE) <input type="checkbox"/> Grado de explotación de las cuencas (adim.)* <input type="checkbox"/> Grado de explotación de los acuíferos (adim.)* Sensibilidad (S) <input type="checkbox"/> Deforestación (% de área crítica forestal) <input type="checkbox"/> Superficie afectada por incendios forestales (ha) Capacidad de Adaptación (CA) <input type="checkbox"/> Superficie reforestada (ha) <input type="checkbox"/> Áreas naturales protegidas (% de área)
20.-	Camacho (2012)	Presenta una propuesta metodológica para el cálculo de los costos de adaptación al cambio climático en un Organismo Operador de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (OOAPAS).	Grado de exposición - Temperatura °C - Precipitación % variación Sensibilidad - Población/Ingreso/Precio (Demanda): Consumo (l/h/d) - Confiabilidad de infraestructura: Grado de confiabilidad: Gastos de mtto./Ingreso total - Relación Demanda- Oferta: Demanda/Oferta - Presión hídrica: Grado de presión (%): Vol. Concesionado/Agua renovable - Eficiencia económica: Tarifa/Costos de producción Capacidad de adaptación - Desempeño: Eficiencia física (%), Eficiencia comercial (%)

No	Autores	Descripción	Indicadores
21.-	Conagua (2015)	Tiene como propósito contribuir a minimizar los impactos sociales, económicos y ambientales de eventuales situaciones de sequía en el marco territorial del Área Metropolitana d	<p>Análisis de la demanda</p> <ul style="list-style-type: none"> - Numero de tomas - Volumen de agua potabilizada (hm3) - Dotación domiciliaria (l/hab/día) - Volumen de agua potabilizada (hm3) - Volumen de agua facturada (hm3) - Volumen de agua contabilizada (hm3) - Volumen de agua cobrada (hm3) - Eficiencia física % - Eficiencia comercial % - Eficiencia global %. - Tarifa (\$/m3) - Proyección de la población <p>Análisis de la oferta</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fuentes de abastecimiento - Disponibilidad de agua en las fuentes de abastecimiento - Macromedición % - Micromedición %. <p>Vulnerabilidad:</p> <p>Grado de presión sobre el recurso hídrico (P)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sobreexplotación de acuíferos (Sa), % - Volumen de agua residual tratada (Vt), hm3) - Densidad de población al año2010 (hab/km2) - Disponibilidad natural per cápita de aguas subterráneas (hm3/hab/año).
22.-	Salazar et al. (2015)	En su estudio investigan los factores asociados con el desempeño de los organismos operadores de agua en México, mediante el análisis de la estructura de correlación de los principales indicadores para una muestra de 106 de ellos.	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia física - Eficiencia comercial - Relación ingresos/costos - Precio (o tarifa) - Costo de producción - Empleados por cada mil tomas - Consumo - Micromedición % - Cobertura de agua potable % - Cobertura de alcantarillado %

No	Autores	Descripción	Indicadores
23.-	Loera et al. (2017)	Con el enfoque de capacidad institucional, se analizan los factores políticos que influyeron en la asignación de recursos jurídicos, organizacionales y humanos para la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Mexicali y para Agua de Hermosillo.	<ul style="list-style-type: none"> - Cobertura - Eficiencia física - Eficiencia comercial -Sustentabilidad financiera - Sustentabilidad ambiental
24.-	Cortez et al. (2019)	El funcionamiento de los organismos de agua se ve afectado por diversas causas, pero también por la eficiencia con la que las áreas constituidas realizan sus funciones. El sistema comercial de los organismos operadores de agua juega un papel fundamental para su buen funcionamiento ya que tienen la misión de recaudar ingresos por la prestación de servicios y así hacer frente a los costos de operación y administración. El libro está estructurado en diez capítulos.	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia física - Eficiencia comercial - Eficiencia global - Eficiencia de conducción (Ec) - Eficiencia de distribución (Edis) - Eficiencia de facturación - Agua no contabilizada

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2.- Comportamiento de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM.

En cuanto a los indicadores que componen la vulnerabilidad ante la sequía se observa que la crisis económica de 2008-2009 afectó al mercado laboral mexicano en términos de cantidad, distribución por sectores y calidad de los empleos (López & Peláez, 2015). En la Figura 74 se muestra la población económicamente activa desocupada (PEAD) (%). En cuanto al porcentaje de población pobre en el año 2010 las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey tuvieron los menores porcentajes a nivel nacional (Coneval, 2014) (Figura 75).

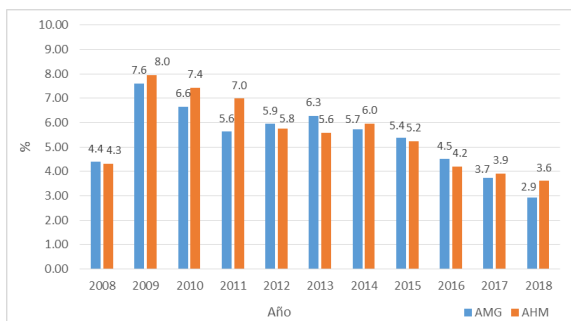


Figura 74. Población económicamente activa desocupada (PEAD) (%).
Fuente: Elaboración propia

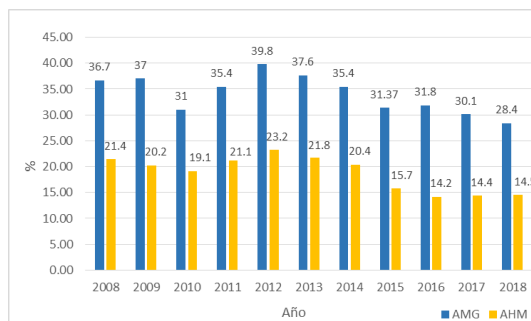


Figura 75. Población en condiciones de pobreza (%).
Fuente: Elaboración propia

Con respecto al PIB per cápita se observa que el AHM produce el doble con respecto al AMG como se muestra en la Figura 76. Con respecto a la relación costo tarifa, representa una relación entre las tarifas de agua y el costo que tiene proporcionar esa cantidad de agua (costos de mantenimiento, operación y administración) se observa que el AMG tuvo una mayor relación costo tarifa en el periodo 2014-2015 del 18% con respecto al 2013 y de 15% en el 2016 con respecto al 2015. Mientras que en el AHM el incremento fue de 20% en el periodo 2016-2018 con respecto al 2015 (Figura 77).

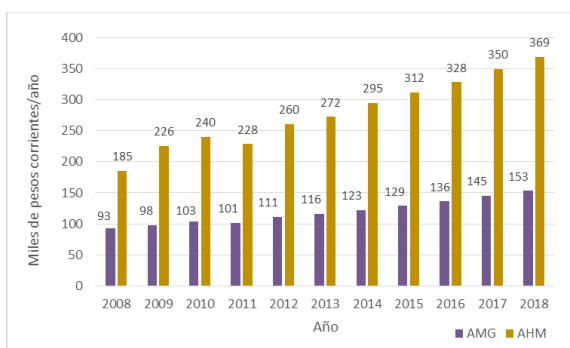


Figura 76. Ingreso per cápita anual (Miles de pesos corrientes/año) (PIB per cápita)
Fuente: Elaboración propia

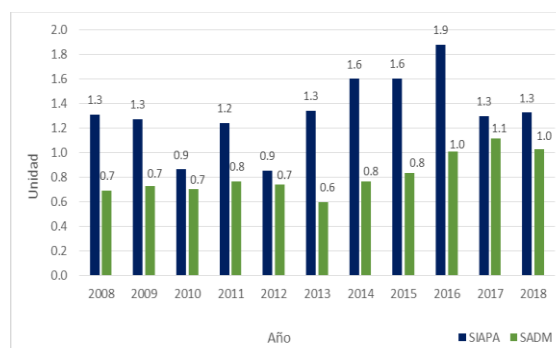


Figura 77. Relación tarifa costo
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2003), una persona debe consumir en promedio 100 litros de agua para satisfacer las necesidades tanto de consumo como de higiene. En México, el consumo promedio de agua por persona es de 380 litros de agua al día (Conagua, 2015d). En el AMG el promedio de consumo en el periodo 2008-2018 es de 211 l/h/d, mientras que en el AHM el promedio es de 130 l/h/d (Figura 78). Con respecto a las viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado se observa que en el 2008 el AMG tuvo el mayor porcentaje con 9% llegando al 2018 con 0.8%. Con respecto al AHM se observa que en el periodo 2008-2011 el porcentaje se mantuvo con 1% llegando al 2017 y 2018 con 0.06% (Figura 79).

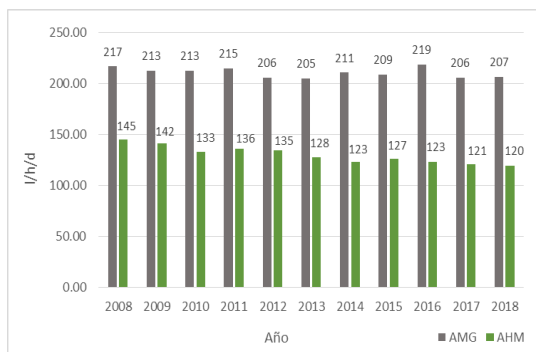


Figura 78. Consumo (l/h/d)
Fuente: Elaboración propia

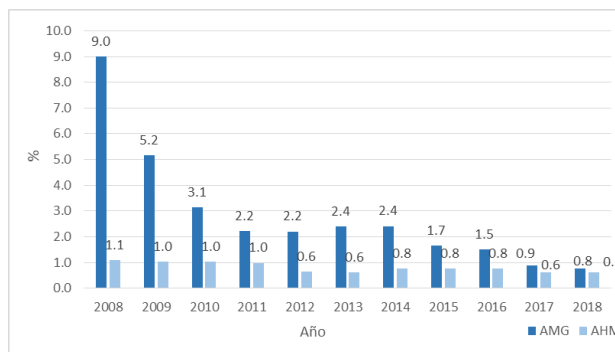


Figura 79. Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado (%)
Fuente: Elaboración propia

En el 2015 se realizó un estudio a 106 organismos operadores y en promedio, la eficiencia física fue de 52.7 % (Salazar & Lutz, 2015). En el 2012 el SIAPA incremento la eficiencia física, a través del reemplazo de redes de agua potable y la sustitución de medidores y tomas domiciliarias que por vida útil ya no eran funcionales (SIAPA, 2012). (Figura 80). En el 2015 se realizó un estudio a nivel nacional a 106 OOAPAS y en promedio, la eficiencia comercial fue de 76.3% (Salazar & Lutz, 2015). En el caso del SIAPA y SADM el promedio de la eficiencia física es del 80% y 96% respectivamente en el periodo 2008-2018 (Figura 81).

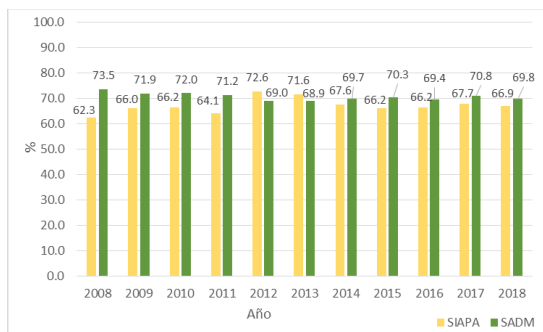


Figura 80. Eficiencia física (%)
Fuente: Elaboración propia

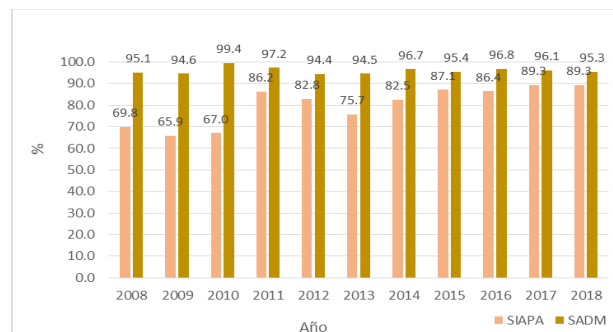


Figura 81. Eficiencia comercial (%)
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a la cobertura de micro medición y macro medición (Figura 82) se observa que el AHM ha tenido una cobertura del 100% en el periodo 2008-2018, mientras que la cobertura de micro y macro medición del AMG fue del 76.6% en el 2008 la cobertura bajo más en el 2010 con 62% pero en el 2018 subió con 91.7%. Con respecto a la calidad del agua y de acuerdo con información de las estaciones de monitoreo de la calidad del agua de la Comisión nacional del agua (Conagua), el 32.4% de las aguas superficiales monitoreadas tienen algún grado de contaminación (De la Peña, 2019). En general la calidad de agua superficial del AHM es de buena calidad y para el AMG su calidad del agua es aceptable (Figura 83 y Figura 13).

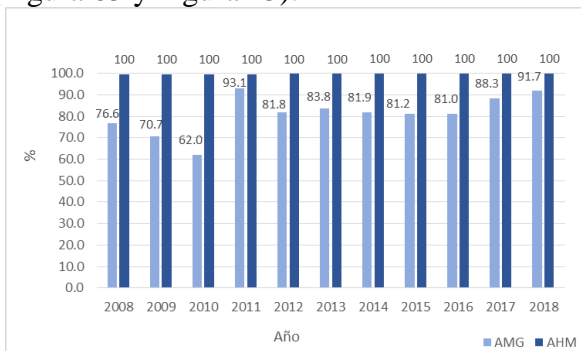


Figura 82. Micro y macro medición (%)
Fuente: Elaboración propia

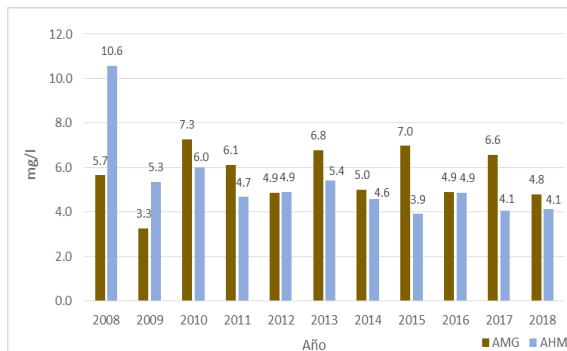


Figura 83. Calidad del agua superficial DBO5 (mg/l)
Fuente: Elaboración propia

En el caso de la calidad de agua subterránea el AHM la calidad es ligeramente salobre y para el AMG su agua es dulce (Figura 84 y Figura 14). En México en términos de tratamiento de aguas residuales, aunque en los últimos años la cobertura ha tenido un incremento considerable, solo el 57,8% de las aguas residuales colectadas en las redes de alcantarillado son tratadas y se estima que el 20% de las plantas de tratamiento de aguas residuales en operación no están funcionando adecuadamente (De la Peña, 2019) En el caso del AHM la cobertura del volumen tratado ha sido del 100% mientras que el AMG ha incrementado el volumen tratado pasando de un 45% en el 2013 a un 68% en el 2018 como se muestra en la Figura 85.

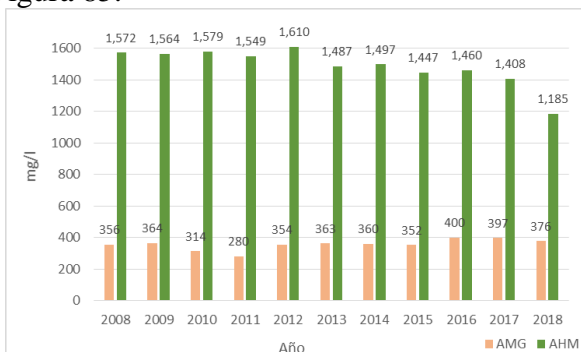


Figura 84. Calidad de agua subterránea SDT (mg/l)
Fuente: Elaboración propia

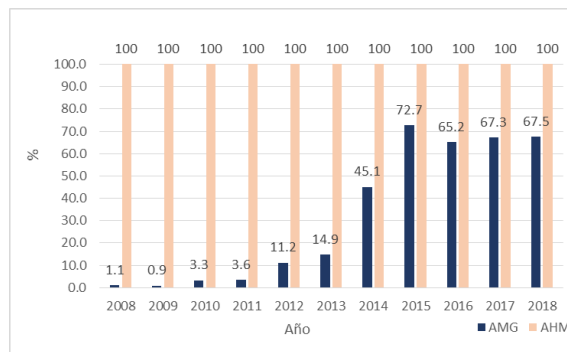


Figura 85. Volumen tratado (%)
Fuente: Elaboración propia

Criterio (mg/l)	Clasificación	Color
$DBO_5 \leq 3$	EXCELENTE No CONTAMINADA	Azul
$3 < DBO_5 \leq 6$	BUENA CALIDAD AGUAS SUPERFICIALES CON BAJO CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA BIODEGRADABLE	Verde
$6 < DBO_5 \leq 30$	ACEPTABLE CON INDICIO DE CONTAMINACIÓN. AGUAS SUPERFICIALES CON CAPACIDAD DE AUTODEPURACIÓN O CON DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS BIOLÓGICAMENTE	Amarillo
$30 < DBO_5 \leq 120$	CONTAMINADA AGUAS SUPERFICIALES CON DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES CRUDAS, PRINCIPALMENTE DE ORIGEN MUNICIPAL	Naranja
$DBO_5 > 120$	FUERTEMENTE CONTAMINADA AGUAS SUPERFICIALES CON FUERTE IMPACTO DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES CRUDAS MUNICIPALES Y NO MUNICIPALES	Rojo

Figura 86. Criterio de clasificación del DBO.
Fuente: Conagua (2017)

Criterio (mg/L)	Clasificación	Color
$SDT \leq 1000$	Dulce	Azul
$1000 < SDT < 2000$	Ligeramente Salobre	Verde
$2000 < SDT < 10000$	Salobre	Amarillo
$SDT > 10000$	Salina	Rojo

Figura 87. Criterio de clasificación del STD.
Fuente: Conagua (2017)

En cuanto a los indicadores que componen la exposición ante la sequía en la Figura 88 se observa que la densidad de población ha ido en aumento así para el AHM en el 2008 tenía 19,606 hab/km² y para el 2018 ya eran 21,243 hab/km² lo que se traduce en un incremento del 8%, en el caso del AMG el incremento de la densidad de población fue de 15,660 hab/km² en el 2008 y para el 2018 fue de 16,623 hab/km² lo que se traduce en un incremento del 6%. El volumen de agua producido en el AHM se ha incrementado en un 21% desde el año 2008 hasta el 2018 y para el AMG El incremento fue de 7% en el mismo periodo (Figura 90).

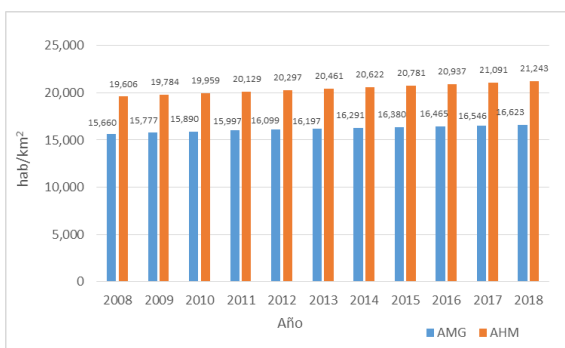


Figura 88. Densidad de población (hab/km²)
Fuente: Elaboración propia

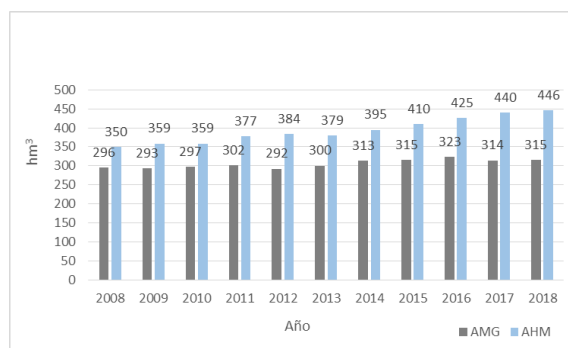


Figura 89. Volumen de agua producido (hm³)
Fuente: Elaboración propia

Con respecto a las horas con servicio de agua continua en el AHM fue de 100% mientras que el AMG fue de 99.82% para el periodo 2008-2018 (Figura 90). Para el indicador grado de presión del recurso hídrico, se calcula como el porcentaje de agua para uso consuntivo respecto a la disponibilidad total. Si es mayor a 40%, se considera que se ejerce una fuerte presión sobre el recurso. A nivel nacional, el valor es de 19.5%, lo cual se considera de nivel bajo. Regionalmente, las zonas centro, norte y noroeste del país tienen fuerte presión sobre el recurso (Conagua, 2017). El estado de Nuevo León tiene una fuerte presión hídrica con un promedio del 48%. Para el estado de Jalisco este grado de presión se ha incrementado de un 24% en el 2008 hasta 32% en el 2018 (Figura 91).

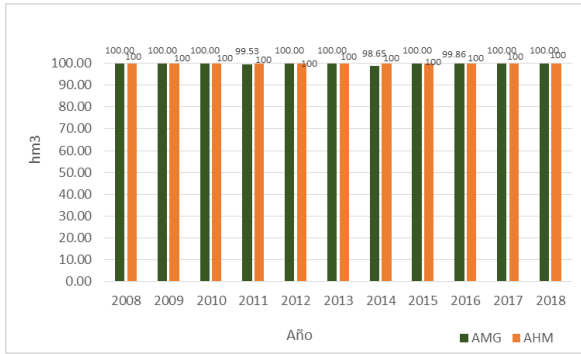


Figura 90. Horas con servicio continuo (%)

Fuente: Elaboración propia

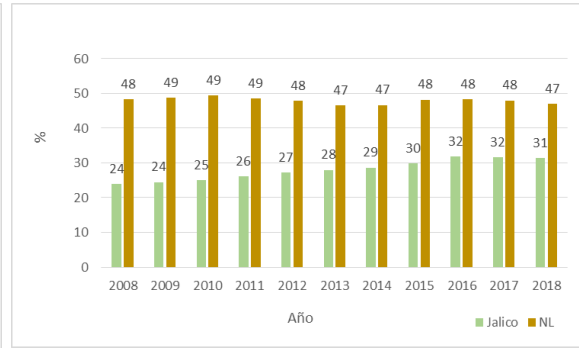


Figura 91. -Grado de presión del recurso hídrico (%)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3.- Resultados del coeficiente de correlación de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

Tabla 72.- Coeficiente de correlación de los indicadores socioeconómicos para el cálculo de la vulnerabilidad del AMG

<i>Indicadores</i>	<i>Población económicamente activa desocupada</i>	<i>Población en condiciones de pobreza (</i>	<i>Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)</i>
Población económicamente activa desocupada	1.00		
Población en condiciones de pobreza	0.60	1.00	
Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	-0.71	-0.71	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de la vulnerabilidad del AMG

	<i>Viviendas sin agua entubada y sin drenaje ni excusado</i>	<i>Consumo</i>	<i>Relación tarifa costo</i>	<i>Eficiencia física</i>	<i>Micro y macro medición</i>	<i>Eficiencia comercial</i>
Viviendas sin agua entubada y sin drenaje ni excusado	1.00					
Consumo	0.49	1.00				
Relación tarifa costo	-0.16	0.33	1.00			
Eficiencia física	-0.50	-0.75	-0.27	1.00		
Micro y macro medición	-0.48	-0.32	0.30	0.12	1.00	
Eficiencia comercial	-0.75	-0.29	0.41	0.17	0.83	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74.- Coeficiente de correlación de los indicadores ambientales para el cálculo de la vulnerabilidad del AMG

	<i>Volumen tratado</i>	<i>Calidad del agua superficial DBO5</i>	<i>Calidad de agua subterránea SDT)</i>
Volumen tratado	1.00		
Calidad del agua superficial DBO5	0.09	1.00	
Calidad de agua subterránea SDT	0.61	-0.33	1.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75.- Coeficiente de correlación de los indicadores socioeconómicos para el cálculo de la vulnerabilidad del AHM

	<i>Población económicamente activa desocupada</i>	<i>Población en condiciones de pobreza</i>	<i>Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)</i>
Población económicamente activa desocupada	1.000		
Población en condiciones de pobreza	0.579	1.000	
Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	-0.623	-0.802	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de la vulnerabilidad del AHM

<i>indicadores</i>	<i>Viviendas sin agua entubada y sin drenaje ni excusado</i>	<i>Consumo</i>	<i>Relación tarifa costo</i>	<i>Eficiencia física</i>	<i>Micro y macro medición</i>	<i>Eficiencia comercial</i>
Viviendas sin agua entubada y drenaje ni excusado (%)	1.000					
Consumo	0.807	1.000				
Relación tarifa costo	-0.465	-0.662	1.000			
Eficiencia física	0.862	0.698	-0.207	1.000		
Micro y macro medición	-0.836	-0.950	0.799	-0.666	1.000	
Eficiencia comercial	0.360	-0.129	0.081	0.255	-0.054	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 77.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de la vulnerabilidad del AHM

<i>Indicadores</i>	<i>Volumen tratado</i>	<i>Calidad del agua superficial DBO5</i>	<i>Calidad de agua subterránea SDT</i>
Volumen tratado	1.000		
Calidad del agua superficial DBO5	-0.693	1.000	
Calidad de agua subterránea SDT	-0.822	0.428	1.000

Fuente: Elaboración propia

Tabla 78.- Coeficiente de correlación de los indicadores socioeconómicos para el cálculo de exposición del AMG

<i>Indicadores</i>	<i>Población total</i>	<i>Densidad de población</i>
Población total	1.00	
Densidad de población	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 79.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de exposición del AMG

<i>Indicadores</i>	<i>Volumen de agua producido</i>	<i>Horas con servicio de agua continuo 24 horas</i>
Volumen de agua producido	1.00	
Horas con servicio de agua continuo 24 horas	-0.24	1.00

Fuente: Elaboración

Tabla 80.- Coeficiente de correlación de los indicadores socioeconómicos para el cálculo de exposición del AHM

<i>Indicadores</i>	<i>Población total</i>	<i>Densidad de población</i>
Población total	1.00	
Densidad de población	1.00	1.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 81.- Coeficiente de correlación de los indicadores de gestión institucional para el cálculo de exposición del AHM

<i>Indicadores</i>	<i>Volumen de agua producido</i>	<i>Horas con servicio continuo (24 horas)</i>
Volumen de agua producido	1.00	
Horas con servicio continuo	0.98	1.00

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4.- Normalización por el método de estandarización de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

Tabla 82. Normalización por el método de estandarización de los indicadores de vulnerabilidad del AMG

Año	Sensibilidad							Capacidad de adaptación				
	Población económicamente activa desocupada (PEAD)	Población en condiciones de pobreza	Viviendas sin agua entubada ni sin drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercia	Volumen tratado
2008	-0.71	0.72	2.60	1.25	-0.05	0.00	0.00	-1.31	-1.60	-0.50	-1.16	-0.99
2009	1.67	0.81	0.97	0.42	-0.18	-1.97	0.25	-1.05	-0.35	-1.16	-1.59	-1.00
2010	0.97	-0.83	0.13	0.42	-1.54	1.33	-1.24	-0.77	-0.28	-2.12	-1.47	-0.92
2011	0.21	0.37	-0.26	0.83	-0.29	0.38	-2.21	-0.87	-1.00	1.33	0.66	-0.91
2012	0.45	1.57	-0.27	-1.04	-1.57	-0.65	-0.07	-0.40	1.89	0.08	0.29	-0.67
2013	0.69	0.97	-0.19	-1.25	0.05	0.92	0.20	-0.15	1.55	0.30	-0.50	-0.55
2014	0.28	0.37	-0.19	0.00	0.91	-0.54	0.10	0.18	0.19	0.09	0.26	0.42
2015	0.03	-0.73	-0.51	-0.42	0.93	1.09	-0.11	0.50	-0.30	0.01	0.77	1.30
2016	-0.62	-0.61	-0.57	1.67	1.83	-0.62	1.29	0.87	-0.28	-0.01	0.69	1.06
2017	-1.20	-1.08	-0.83	-1.04	-0.09	0.76	1.19	1.30	0.21	0.80	1.02	1.13
2018	-1.78	-1.54	-0.88	-0.83	0.00	-0.71	0.60	1.71	-0.05	1.18	1.01	1.14

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83. Normalización por el método de estandarización de los indicadores de exposición del AMG

Año	Socioeconómica	Gestión institucional		Ambiental
	Densidad de población	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua continuo	Grado de presión del recurso hídrico
2008	-1.61	-0.92	0.43	-1.40
2009	-1.24	-1.17	0.43	-1.22
2010	-0.89	-0.75	0.43	-1.03
2011	-0.56	-0.33	-0.70	-0.64
2012	-0.24	-1.25	0.43	-0.27
2013	0.07	-0.48	0.43	0.00
2014	0.36	0.69	-2.83	0.23
2015	0.64	0.90	0.43	0.62
2016	0.91	1.60	0.10	1.31
2017	1.16	0.83	0.43	1.23
2018	1.40	0.89	0.43	1.16

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84. Normalización por el método de estandarización de los indicadores de vulnerabilidad del AHM

Año	SENSIBILIDAD							CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN				
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	Volumen tratado
2008	-0.83	0.79	1.48	1.76	-0.76	2.83	0.71	-1.63	2.04	-1.51	-0.55	-1.51
2009	1.65	0.45	1.22	1.34	-0.55	0.02	0.65	-0.92	0.89	-1.21	-0.89	-1.21
2010	1.29	0.11	1.14	0.31	-0.71	0.38	0.78	-0.68	0.96	-0.90	2.30	-0.90
2011	0.98	0.71	0.92	0.72	-0.31	-0.35	0.52	-0.88	0.41	-0.60	0.86	-0.60
2012	0.14	1.32	-0.84	0.52	-0.46	-0.22	1.04	-0.32	-1.09	-0.30	-1.05	-0.30
2013	0.03	0.91	-1.05	-0.31	-1.34	0.05	0.00	-0.11	-1.17	0.00	-0.96	0.00
2014	0.29	0.49	-0.25	-0.83	-0.29	-0.40	0.08	0.28	-0.60	0.30	0.47	0.30
2015	-0.21	-0.89	-0.25	-0.41	0.12	-0.76	-0.34	0.58	-0.21	0.60	-0.37	0.60
2016	-0.92	-1.34	-0.30	-0.83	1.18	-0.24	-0.22	0.86	-0.81	0.90	0.54	0.90
2017	-1.12	-1.30	-1.02	-1.03	1.83	-0.67	-0.67	1.24	0.15	1.21	0.07	1.21
2018	-1.32	-1.25	-1.05	-1.24	1.29	-0.64	-2.55	1.57	-0.58	1.51	-0.42	1.51

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85. Normalización por el método de estandarización de los indicadores de exposición del AHM

Año	Socioeconómico	Gestión institucional		Ambiental
	Densidad de población	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua continuo	Grado de presión del recurso hídrico
2008	-1.55	-1.29	-1.51	0.37
2009	-1.22	-1.04	-1.21	0.96
2010	-0.90	-1.03	-0.90	1.56
2011	-0.58	-0.47	-0.60	0.72
2012	-0.28	-0.28	-0.30	-0.15
2013	0.03	-0.42	0.00	-1.55
2014	0.32	0.05	0.30	-1.50
2015	0.62	0.52	0.60	0.27
2016	0.90	0.96	0.90	0.34
2017	1.19	1.42	1.21	0.01
2018	1.47	1.58	1.51	-1.05

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5- Normalización por el método de reescalamiento de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

Tabla 86. Normalización por el método de re escalamiento de los indicadores de vulnerabilidad del AMG

Año	SENSIBILIDAD							CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN				
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Viviendas sin agua entubada ni sin drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Ingreso per cápita anual	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	Volumen tratado
2008	0.31	0.73	1.00	0.86	0.45	0.60	0.63	1.00	1.00	0.53	0.83	1.00
2009	1.00	0.75	0.53	0.57	0.41	0.00	0.70	0.91	0.64	0.72	1.00	1.00
2010	0.80	0.23	0.29	0.57	0.01	1.00	0.28	0.82	0.62	1.00	0.95	0.97
2011	0.58	0.61	0.18	0.71	0.38	0.71	0.00	0.85	0.83	0.00	0.13	0.96
2012	0.64	1.00	0.17	0.07	0.00	0.40	0.61	0.70	0.00	0.36	0.28	0.86
2013	0.71	0.81	0.20	0.00	0.48	0.88	0.69	0.62	0.10	0.30	0.58	0.80
2014	0.60	0.61	0.20	0.43	0.73	0.43	0.66	0.51	0.49	0.36	0.29	0.38
2015	0.52	0.26	0.11	0.29	0.73	0.92	0.60	0.40	0.63	0.38	0.09	0.00
2016	0.34	0.30	0.09	1.00	1.00	0.41	1.00	0.28	0.62	0.39	0.12	0.10
2017	0.17	0.15	0.02	0.07	0.44	0.83	0.97	0.13	0.48	0.16	0.00	0.07
2018	0.00	0.00	0.00	0.14	0.46	0.38	0.80	0.00	0.56	0.04	0.00	0.07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 87. Normalización por el método de re escalamiento de los indicadores de exposición del AMG

Año	Socioeconómica	Gestión institucional		Ambiental
	Densidad de población	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua continuo las 24 horas	Grado de presión del recurso hídrico
2008	0.00	0.11	1.00	0.00
2009	0.12	0.03	1.00	0.07
2010	0.24	0.17	1.00	0.14
2011	0.35	0.32	0.65	0.28
2012	0.46	0.00	1.00	0.42
2013	0.56	0.27	1.00	0.52
2014	0.66	0.68	0.00	0.60
2015	0.75	0.76	1.00	0.74
2016	0.84	1.00	0.90	1.00
2017	0.92	0.73	1.00	0.97
2018	1.00	0.75	1.00	0.94

Fuente: Elaboración propia

Tabla 88. Normalización por el método de re escalamiento de los indicadores de vulnerabilidad del AHM

Año	SENSIBILIDAD							CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN				
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	Eficiencia física	Micro y maro medición	Eficiencia comercial	Volumen tratado
2008	0.16	0.80	1.00	1.00	0.18	1.00	0.91	1.00	0.00	1.00	0.85	1.00
2009	1.00	0.67	0.89	0.86	0.25	0.22	0.89	0.78	0.36	0.90	0.95	0.90
2010	0.88	0.54	0.86	0.52	0.20	0.32	0.93	0.70	0.34	0.80	0.00	0.80
2011	0.78	0.77	0.78	0.66	0.32	0.12	0.86	0.77	0.51	0.70	0.43	0.70
2012	0.49	1.00	0.08	0.59	0.28	0.15	1.00	0.59	0.98	0.60	1.00	0.60
2013	0.46	0.84	0.00	0.31	0.00	0.23	0.71	0.53	1.00	0.50	0.97	0.50
2014	0.54	0.69	0.32	0.14	0.33	0.10	0.73	0.40	0.82	0.40	0.55	0.40
2015	0.37	0.17	0.32	0.28	0.46	0.00	0.62	0.31	0.70	0.30	0.80	0.30
2016	0.13	0.00	0.29	0.14	0.80	0.14	0.65	0.22	0.89	0.20	0.53	0.20
2017	0.07	0.02	0.01	0.07	1.00	0.03	0.52	0.11	0.59	0.10	0.67	0.10
2018	0.00	0.03	0.00	0.00	0.83	0.03	0.00	0.00	0.82	0.00	0.81	0.00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 89. Normalización por el método de re escalamiento de los indicadores de exposición del AHM

Año	Socioeconómica	Gestión institucional		Ambiental
	Densidad de población	Volumen de agua producido	Horas con servicio continuo (24 horas)	Grado de presión del recurso hídrico
2008	0.00	0.00	0.00	0.62
2009	0.11	0.09	0.10	0.81
2010	0.22	0.09	0.20	1.00
2011	0.32	0.28	0.30	0.73
2012	0.42	0.35	0.40	0.45
2013	0.52	0.30	0.50	0.00
2014	0.62	0.47	0.60	0.02
2015	0.72	0.63	0.70	0.59
2016	0.81	0.79	0.80	0.61
2017	0.91	0.94	0.90	0.50
2018	1.00	1.00	1.00	0.16

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6- Normalización por el método cíclico de los indicadores de vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

Tabla 90. Normalización por el método de indicadores cíclicos de los indicadores de vulnerabilidad del AMG

10	SENSIBILIDAD							CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN				
	Población económicamente activa desocupada (PEAD)	Población en condiciones de pobreza	Viviendas sin agua entubada ni sin drenaje y excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	Volumen tratado
2008	-0.90	0.83	3.87	1.50	-0.07	0.00	0.00	-1.58	-2.28	-0.72	-1.35	-1.08
2009	2.14	0.92	1.45	0.50	-0.27	-2.41	0.38	-1.27	-0.51	-1.68	-1.86	-1.09
2010	1.24	-0.95	0.19	0.50	-2.28	1.64	-1.88	-0.93	-0.40	-3.08	-1.72	-1.00
2011	0.27	0.42	-0.39	1.00	-0.42	0.46	-3.35	-1.05	-1.42	1.94	0.78	-1.00
2012	0.57	1.80	-0.41	-1.25	-2.32	-0.80	-0.10	-0.48	2.70	0.11	0.34	-0.73
2013	0.88	1.11	-0.28	-1.50	0.07	1.13	0.30	-0.19	2.22	0.43	-0.58	-0.60
2014	0.36	0.42	-0.28	0.00	1.35	-0.66	0.16	0.22	0.28	0.13	0.30	0.45
2015	0.04	-0.84	-0.75	-0.50	1.37	1.33	-0.17	0.60	-0.42	0.02	0.90	1.42
2016	-0.79	-0.70	-0.85	2.00	2.71	-0.76	1.96	1.05	-0.40	-0.01	0.81	1.16
2017	-1.53	-1.24	-1.23	-1.25	-0.13	0.94	1.80	1.58	0.31	1.16	1.19	1.23
2018	-2.27	-1.77	-1.31	-1.00	0.00	-0.87	0.91	2.06	-0.07	1.71	1.18	1.24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 91. Normalización por el método de indicadores cíclicos de los indicadores de exposición del AMG

Año	Socioeconómico	Gestión Institucional		Ambiental
	Densidad de población	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua en las zonas de tandeo	Grado de presión del recurso hídrico
2008	-1.95	-1.04	0.67	-1.69
2009	-1.51	-1.31	0.67	-1.47
2010	-1.08	-0.85	0.67	-1.25
2011	-0.67	-0.37	-1.09	-0.77
2012	-0.29	-1.40	0.67	-0.32
2013	0.08	-0.54	0.67	0.00
2014	0.44	0.77	-4.41	0.28
2015	0.78	1.01	0.67	0.75
2016	1.10	1.79	0.16	1.59
2017	1.41	0.93	0.67	1.49
2018	1.70	1.00	0.67	1.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 92. Normalización por el método de indicadores cíclicos de los indicadores de vulnerabilidad del AHM

Año	SENSIBILIDAD							CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN				
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Ingreso per cápita anual(PIB per cápita)	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	Volumen tratado
2008	-1.04	0.91	1.71	2.08	-0.95	4.75	1.04	-1.98	2.51	-1.83	-0.71	-1.83
2009	2.06	0.51	1.41	1.59	-0.69	0.03	0.94	-1.12	1.10	-1.47	-1.15	-1.47
2010	1.62	0.12	1.31	0.37	-0.88	0.64	1.13	-0.82	1.19	-1.10	2.99	-1.10
2011	1.23	0.82	1.07	0.86	-0.38	-0.58	0.75	-1.06	0.51	-0.73	1.12	-0.73
2012	0.18	1.52	-0.97	0.61	-0.58	-0.38	1.51	-0.39	-1.35	-0.37	-1.37	-0.37
2013	0.04	1.04	-1.21	-0.37	-1.66	0.09	0.00	-0.13	-1.44	0.00	-1.24	0.00
2014	0.36	0.57	-0.29	-0.98	-0.37	-0.67	0.12	0.34	-0.74	0.37	0.61	0.37
2015	-0.26	-1.02	-0.29	-0.49	0.15	-1.27	-0.49	0.70	-0.26	0.73	-0.49	0.73
2016	-1.15	-1.54	-0.35	-0.98	1.47	-0.41	-0.33	1.05	-1.00	1.10	0.70	1.10
2017	-1.40	-1.49	-1.18	-1.22	2.28	-1.12	-0.97	1.50	0.19	1.47	0.09	1.47
2018	-1.65	-1.44	-1.21	-1.47	1.60	-1.08	-3.71	1.91	-0.71	1.83	-0.55	1.83

Fuente: Elaboración propia

Tabla 93. Normalización por el método de indicadores cíclicos de los indicadores de exposición del AHM

Año	Socioeconómico	Gestión institucional		Ambiental
	Densidad de población	Volumen de agua producido	Horas con servicio continuo	Grado de presión del recurso hídrico
2008	-1.88	-1.56	-1.52	0.48
2009	-1.48	-1.26	-1.16	1.25
2010	-1.09	-1.25	-0.80	2.02
2011	-0.71	-0.57	-0.43	0.94
2012	-0.33	-0.34	-0.07	-0.19
2013	0.03	-0.51	0.30	-2.01
2014	0.39	0.06	0.66	-1.94
2015	0.75	0.63	1.03	0.35
2016	1.10	1.17	1.39	0.45
2017	1.44	1.73	-1.52	0.01
2018	1.78	1.92	2.12	-1.36

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7.-Determinación de los pesos y cálculo de la vulnerabilidad y exposición del AMG y AHM

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)

w_q es el peso del indicador
 I_{qc} el valor normalizado

Año	SE		CA	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de vulnerabilidad
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB percapita)	
2008	-0.71	0.72	-1.31	4.84
2009	1.67	0.81	-1.05	4.32
2010	0.97	-0.83	-0.77	2.70
2011	0.21	0.37	-0.87	3.30
2012	0.45	1.57	-0.40	1.99
2013	0.59	0.97	-0.15	0.97
2014	0.28	0.37	0.18	-0.49
2015	0.03	-0.73	0.50	-2.01
2016	-0.62	-0.61	0.87	-3.43
2017	-1.20	-1.08	1.30	-5.25
2018	-1.78	-1.54	1.71	-6.94
w	0.17	0.31	3.61	

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)

w_q es el peso del indicador
 I_{qc} el valor normalizado

Año	SE		CA			$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de vulnerabilidad	
	Viviendas sin agua entubada y sin drenaje ni escusado	Consumo	Relación tarifa costo	Eficiencia física	Micro y macro medición		Eficiencia comercial
2008	2.60	1.25	-0.05	-1.60	-0.50	-1.18	-3.83
2009	0.97	0.42	-0.18	-0.35	-1.16	-1.59	-0.12
2010	0.13	0.42	-1.54	-0.28	-2.12	-1.47	-1.69
2011	-0.26	0.83	-0.29	-1.00	1.33	0.66	-1.79
2012	-0.27	-1.04	-1.57	1.89	0.08	0.29	0.33
2013	-0.19	-1.25	0.05	1.55	0.30	-0.50	3.85
2014	-0.19	0.00	0.91	0.19	0.09	0.28	0.99
2015	-0.51	-0.42	0.33	-0.30	0.01	0.77	0.71
2016	-0.57	1.67	1.83	-0.28	-0.01	0.69	-0.79
2017	-0.83	-1.04	-0.09	0.21	0.80	1.02	1.13
2018	-0.88	-0.83	0.00	-0.05	1.18	1.01	1.20
w	-1.15	-1.33	1.19	-0.50	-0.79	1.81	

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)

w_q es el peso del indicador
 I_{qc} el valor normalizado

Año	SE		CA	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de vulnerabilidad
	Calidad del agua superficial DBOS	Calidad de agua subterránea SDT	Volumen tratado	
2008	0.00	0.00	-0.99	3.05
2009	-1.97	0.25	-1.00	3.01
2010	1.33	-1.24	-0.92	2.87
2011	0.38	-2.21	-0.91	2.82
2012	-0.65	-0.07	-0.67	2.04
2013	0.92	0.20	-0.55	1.71
2014	-0.54	0.10	0.42	-1.30
2015	1.09	-0.11	1.30	-3.97
2016	-0.62	1.29	1.06	-3.28
2017	0.76	1.19	1.13	-3.45
2018	-0.71	0.60	1.14	-3.51
w	0.03	0.00	3.07	

Vulnerabilidad ambiental (VA)

w_q es el peso del indicador
 I_{qc} el valor normalizado

Año	VSE	VGI	VA	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de vulnerabilidad
2008	4.84	-3.83	3.05	-21.54
2009	4.32	-0.12	3.01	-19.14
2010	2.70	-1.69	2.87	-12.16
2011	3.30	-1.79	2.62	-14.73
2012	1.99	0.33	2.04	-8.69
2013	0.97	3.65	1.71	-4.28
2014	-0.49	0.99	-1.30	2.34
2015	-2.01	0.71	-3.97	3.26
2016	-3.43	-0.79	-3.28	15.26
2017	-5.25	1.13	-3.45	23.27
2018	-6.94	1.20	-3.51	30.61
w	-4.34	0.04	-0.12	

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 92.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación
Fuente: Elaboración propia

Año	Densidad de población	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de exposición
2008	-1.61	-5.34
2009	-1.24	-4.12
2010	-0.89	-2.96
2011	-0.56	-1.85
2012	-0.24	-0.78
2013	0.07	0.23
2014	0.36	1.20
2015	0.64	2.12
2016	0.91	3.00
2017	1.16	3.84
2018	1.40	4.64
w	3.31	

Exposición Socioeconómico (ESE)

Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua continuo	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de exposición
2008	-0.92	0.43	-2.53
2009	-1.17	0.43	-3.26
2010	-0.75	0.43	-2.03
2011	-0.33	-0.70	-1.33
2012	-1.25	0.43	-3.48
2013	-0.48	0.43	-1.22
2014	0.69	-2.83	0.59
2015	0.90	0.43	2.90
2016	1.60	0.10	4.80
2017	0.83	0.43	2.68
2018	0.89	0.43	2.88
w	2.97	0.51	

Exposición de Gestión Institucional (EGI)

Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_e = \sum_{i=1}^n w_i I_{qe}$ Índice de exposición
2008	-1.40	-4.57
2009	-1.22	-3.97
2010	-1.03	-3.36
2011	-0.64	-2.07
2012	-0.27	-0.87
2013	0.00	0.00
2014	0.23	0.75
2015	0.62	2.02
2016	1.31	4.28
2017	1.23	4.02
2018	1.16	3.78
w	3.26	

Exposición Ambiental (EA)

Año	SE	GI	A	$IC_e = \sum_{i=1}^n w_i I_{qe}$ Índice de exposición
2008	-5.34	-2.53	-4.57	-5.27
2009	-4.12	-3.26	-3.97	-4.13
2010	-2.96	-2.03	-3.36	-2.93
2011	-1.85	-1.33	-2.07	-1.84
2012	-0.78	-3.48	-0.87	-0.94
2013	0.23	-1.22	0.00	0.16
2014	1.20	0.59	0.75	1.19
2015	2.12	2.30	2.02	2.19
2016	3.00	4.30	4.28	3.11
2017	3.84	2.88	4.02	3.82
2018	4.64	2.88	3.78	4.62
w	0.98	0.06	-0.02	

Exposición General

Figura 93.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación
Fuente: Elaboración propia

Año	Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)			$IC_v = \sum_{i=1}^n w_i I_{qv}$ Índice de vulnerabilidad
	SE	CA		
2008	-0.71	0.72	-1.31	0.44
2009	1.67	0.81	-1.05	1.38
2010	0.97	-0.83	-0.77	0.30
2011	0.21	0.37	-0.97	0.48
2012	0.45	1.57	-0.40	0.50
2013	0.69	0.97	-0.15	0.60
2014	0.28	0.37	0.38	0.36
2015	0.03	-0.73	0.50	-0.40
2016	-0.62	-0.61	0.87	-0.70
2017	-1.20	-1.08	1.30	-1.19
2018	-1.78	-1.54	1.71	-1.67
SD	1.00	1.00	1.00	
1/SD	1	1	1	
w	0.33	0.33	0.33	
C	0.33			

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Año	SE		CA				$IC_v = \sum_{i=1}^n w_i I_{qv}$ Índice de vulnerabilidad
	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni escusado	Consumo	Relación tarifa costo	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	
2008	2.60	1.25	-0.05	-1.60	-0.50	-1.16	1.18
2009	0.97	0.42	-0.18	-0.35	-1.16	-1.59	0.72
2010	0.13	0.42	-1.54	-0.28	-2.12	-1.47	0.48
2011	-0.26	0.83	-0.29	-1.00	1.33	0.66	-0.12
2012	-0.27	-1.04	-1.57	1.89	0.08	0.29	-0.86
2013	-0.19	-1.25	0.05	1.55	0.30	-0.50	-0.48
2014	-0.19	0.00	0.91	0.19	0.09	0.26	0.02
2015	-0.51	-0.42	0.93	-0.30	0.01	0.77	-0.08
2016	-0.57	1.67	1.83	-0.28	-0.01	0.69	0.42
2017	-0.83	-1.04	-0.09	0.21	0.80	1.02	-0.66
2018	-0.88	-0.83	0.00	-0.05	1.18	1.01	-0.64
SD	1	1	1	1	1	1	
1/SD	1	1	1	1	1	1	
w	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	
C	0.17						

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Año	Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)			$IC_v = \sum_{i=1}^n w_i I_{qv}$ Índice de vulnerabilidad
	SE	CA		
2008	0.00	0.00	-0.99	0.33
2009	-1.97	0.25	-1.00	-0.24
2010	1.33	-1.24	-0.92	0.34
2011	0.38	-2.21	-0.91	-0.31
2012	-0.65	-0.07	-0.67	-0.02
2013	0.92	0.20	-0.55	0.56
2014	-0.54	0.10	0.42	-0.28
2015	1.09	-0.11	1.30	-0.11
2016	-0.62	1.29	1.06	-0.13
2017	0.76	1.19	1.13	0.27
2018	-0.71	0.60	1.14	-0.42
SD	1	1	1	
1/SD	1	1	1	
w	0.33	0.33	0.33	
C	0.33			

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Año	VSE	VGI	VA	$IC_v = \sum_{i=1}^n w_i I_{qv}$ Índice de vulnerabilidad
2008	0.44	1.18	0.33	0.58
2009	1.18	0.72	-0.24	0.29
2010	0.30	0.48	0.34	0.37
2011	0.48	-0.12	-0.31	-0.10
2012	0.80	-0.86	-0.02	-0.08
2013	0.60	-0.46	0.56	0.29
2014	0.16	0.03	-0.28	-0.11
2015	-0.40	-0.08	-0.11	-0.16
2016	-0.70	0.42	-0.13	-0.09
2017	-1.19	-0.66	0.27	-0.27
2018	-1.67	-0.64	-0.42	-0.72
SD	0.88	0.64	0.32	
1/SD	1.13	1.56	3.10	
w	0.20	0.27	0.54	
C	0.17			

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 94.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
Fuente: Elaboración propia

Año	Densidad de población	$IC_E = \sum_{q=1}^n w_q I_{qE}$	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua continuo 24 horas	$IC_G = \sum_{q=1}^n w_q I_{qG}$	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_A = \sum_{q=1}^n w_q I_{qA}$	Año	SE	GI	A	$IC_{EG} = \sum_{q=1}^n w_q I_{qEG}$
		Índice de exposición				Índice de exposición			Índice de exposición					Índice de exposición
2008	-1.61	-1.61	2008	-0.92	0.43	-0.25	2008	-1.40	-1.40	2008	-1.61	-0.25	-1.40	-0.94
2009	-1.24	-1.24	2009	-1.17	0.43	-0.37	2009	-1.22	-1.22	2009	-1.24	-0.37	-1.22	-0.85
2010	-0.89	-0.89	2010	-0.75	0.43	-0.16	2010	-1.03	-1.03	2010	-0.89	-0.16	-1.03	-0.60
2011	-0.56	-0.56	2011	-0.33	0.43	-0.51	2011	-0.64	-0.64	2011	-0.56	-0.51	-0.64	-0.56
2012	-0.24	-0.24	2012	-1.25	0.43	-0.41	2012	-0.27	-0.27	2012	-0.24	-0.41	-0.27	-0.32
2013	0.07	0.07	2013	-0.48	0.43	-0.03	2013	0.00	0.00	2013	0.07	-0.03	0.00	0.01
2014	0.36	0.36	2014	0.69	0.43	-1.07	2014	0.23	0.23	2014	0.36	-1.07	0.23	-0.32
2015	0.64	0.64	2015	0.90	0.43	0.67	2015	0.62	0.62	2015	0.64	0.67	0.62	0.65
2016	0.91	0.91	2016	1.60	0.43	0.85	2016	1.31	1.31	2016	0.91	0.85	1.31	0.99
2017	1.16	1.16	2017	0.83	0.43	0.63	2017	1.23	1.23	2017	1.16	0.63	1.23	0.94
2018	1.40	1.40	2018	0.89	0.43	0.66	2018	1.16	1.16	2018	1.40	0.66	1.16	1.00
SD	1.00		SD	1.00	1.00		SD	1.00		SD	1.00	0.62	1.00	
HSD	1.00		HSD	1.00	1.00		HSD	1.00		HSD	1.00	1.62	1.00	
w	1.00		w	0.50	0.50		w	1.00		w	0.28	0.45	0.28	
C	1.00		C	0.50			C	1.00		C	0.28			

Exposición Socioeconómico (ESE) Exposición de Gestión Institucional (EGI) Exposición Ambiental (EA) Exposición General

Figura 95.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)

w_q es el peso del indicador
 I_{qE} el valor normalizado

Año	SE		CA	$IC_V = \sum_{q=1}^n w_q I_{qV}$	Índice de vulnerabilidad
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)		
2008	0.31	0.73	1.00		-10.03
2009	1.00	0.75	0.91		-8.63
2010	0.80	0.23	0.82		-8.26
2011	0.58	0.61	0.85		-8.38
2012	0.64	1.00	0.70		-6.26
2013	0.71	0.81	0.62		-5.52
2014	0.60	0.61	0.51		-4.57
2015	0.52	0.26	0.40		-3.81
2016	0.34	0.30	0.28		-2.54
2017	0.17	0.15	0.13		-1.20
2018	0.00	0.00	0.00		0.00
w	0.60	0.95	-10.90		

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)

w_q es el peso del indicador
 I_{qG} el valor normalizado

Año	SE			CA			$IC_V = \sum_{q=1}^n w_q I_{qV}$	Índice de vulnerabilidad
	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni escusado	Consumo	Relación tarifa costo	Micro y macro medición	Eficiencia física	Eficiencia comercial		
2008	1.00	0.86	0.45	0.53	1.00	0.83		-6.27
2009	0.53	0.57	0.41	0.72	0.64	1.00		-4.33
2010	0.29	0.57	0.01	1.00	0.62	0.95		-4.02
2011	0.18	0.71	0.38	0.00	0.83	0.13		-1.15
2012	0.17	0.07	0.00	0.38	0.00	0.28		-1.30
2013	0.20	0.00	0.48	0.30	0.10	0.58		-0.62
2014	0.20	0.43	0.73	0.38	0.49	0.29		0.94
2015	0.11	0.29	0.73	0.38	0.63	0.09		3.12
2016	0.09	1.00	1.00	0.39	0.62	0.12		1.36
2017	0.02	0.07	0.44	0.16	0.48	0.00		2.68
2018	0.00	0.14	0.46	0.04	0.56	0.00		2.40
w	-4.02	-3.88	4.04	2.73	1.75	-4.71		

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

w_q es el peso del indicador
 I_{qE} el valor normalizado

Año	SE		CA	$IC_V = \sum_{q=1}^n w_q I_{qV}$	Índice de vulnerabilidad
	Calidad del agua superficial DBOS	Calidad de agua subterránea a SDT	Volumen tratado		
2008	0.60	0.63	1.00		-7.00
2009	0.00	0.70	1.00		-7.07
2010	1.00	0.28	0.97		-6.74
2011	0.71	0.00	0.96		-6.74
2012	0.40	0.61	0.86		-6.02
2013	0.88	0.69	0.80		-5.62
2014	0.43	0.66	0.38		-2.69
2015	0.92	0.60	0.00		0.07
2016	0.41	1.00	0.10		-0.72
2017	0.83	0.97	0.07		-0.47
2018	0.38	0.80	0.07		-0.49
w	0.09	-0.02	-7.06		

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Año	VSE	VGI	VA	$IC_V = \sum_{q=1}^n w_q I_{qV}$	Índice de vulnerabilidad
2008	-10.03	-6.27	-7.00		-3.36
2009	-8.63	-4.33	-7.07		-7.70
2010	-8.26	-4.02	-6.74		-7.33
2011	-8.38	-1.15	-6.74		-6.55
2012	-6.26	-1.30	-6.02		-4.99
2013	-5.52	-0.62	-5.62		-4.23
2014	-4.57	0.94	-2.69		-3.13
2015	-3.81	3.12	0.07		-1.98
2016	-2.54	1.36	-0.72		-1.52
2017	-1.20	2.68	-0.47		-0.10
2018	0.00	2.40	-0.49		0.75
w	0.77	0.30	-0.04		

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 96.-Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método de escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación
Fuente: Elaboración propia.

Año	Densidad de población	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de exposición	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua continuo las 24 horas	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de exposición	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de exposición	Año	SE	GI	A	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de exposición
2008	0.00	0.00	2008	0.11	1.00	2.63	2008	0.00	0.00	2008	0.00	2.63	0.00	0.14
2009	0.12	1.21	2009	0.03	1.00	1.89	2009	0.07	0.61	2009	1.21	1.89	0.61	1.28
2010	0.24	2.38	2010	0.17	1.00	3.13	2010	0.14	1.21	2010	2.38	3.13	1.21	2.48
2011	0.35	3.49	2011	0.32	0.65	3.82	2011	0.28	2.50	2011	3.49	3.82	2.50	3.57
2012	0.46	4.55	2012	0.00	1.00	1.67	2012	0.42	3.70	2012	4.55	1.67	3.70	4.47
2013	0.56	5.56	2013	0.27	1.00	3.93	2013	0.52	4.57	2013	5.56	3.93	4.57	5.57
2014	0.66	6.54	2014	0.68	0.00	5.74	2014	0.60	5.32	2014	6.54	5.74	5.32	6.60
2015	0.75	7.46	2015	0.76	1.00	8.05	2015	0.74	6.59	2015	7.46	8.05	6.59	7.60
2016	0.84	8.34	2016	1.00	0.90	9.96	2016	1.00	8.86	2016	8.34	9.96	8.86	8.52
2017	0.92	9.18	2017	0.73	1.00	7.83	2017	0.97	8.60	2017	9.18	7.83	8.60	9.23
2018	1.00	9.98	2018	0.75	1.00	8.03	2018	0.94	8.35	2018	9.98	8.03	8.35	10.03
W	9.98		W	8.45	1.67		W	8.86		W	0.98	0.05	-0.02	

Exposición Socioeconómico (ESE)

Exposición de Gestión Institucional (EGI)

Exposición Ambiental (EA)

Exposición General

Figura 97.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método de escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE		CA	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de vulnerabilidad
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	
2008	0.31	0.73	1.00	0.66
2009	1.00	0.75	0.91	0.89
2010	0.80	0.23	0.82	0.62
2011	0.58	0.61	0.85	0.68
2012	0.64	1.00	0.70	0.78
2013	0.71	0.81	0.82	0.71
2014	0.60	0.61	0.51	0.57
2015	0.52	0.26	0.40	0.49
2016	0.34	0.30	0.28	0.31
2017	0.17	0.15	0.13	0.15
2018	0.00	0.00	0.00	0.00
SD	0.29	0.32	0.33	
1/SD	3.45	3.11	3.02	
W	0.36	0.32	0.31	100
C	0.10			

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Año	Sensibilidad			Capacidad de adaptación			$I_{q,c}$ el valor normalizado
	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de vulnerabilidad
2008	1.00	0.86	0.45	1.00	0.53	0.83	0.78
2009	0.53	0.57	0.41	0.64	0.72	1.00	0.63
2010	0.29	0.57	0.01	0.62	1.00	0.95	0.56
2011	0.18	0.71	0.38	0.83	0.00	0.13	0.37
2012	0.17	0.07	0.00	0.00	0.36	0.28	0.14
2013	0.20	0.00	0.48	0.10	0.30	0.58	0.27
2014	0.20	0.43	0.73	0.49	0.36	0.29	0.42
2015	0.11	0.29	0.73	0.63	0.38	0.09	0.39
2016	0.09	1.00	1.00	0.62	0.39	0.12	0.54
2017	0.02	0.07	0.44	0.48	0.16	0.00	0.20
2018	0.00	0.14	0.46	0.56	0.04	0.00	0.21
SD	0.29	0.34	0.29	0.29	0.29	0.38	
1/SD	3.49	2.92	3.40	3.49	3.46	2.61	
W	0.18	0.15	0.18	0.18	0.18	0.13	
C	0.05						

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE		CA	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de vulnerabilidad
	Calidad del agua superficial DBD5	Calidad de agua subterránea SDT	Volumen tratado	
2008	0.60	0.63	1.00	0.71
2009	0.00	0.70	1.00	0.52
2010	1.00	0.28	0.97	0.71
2011	0.71	0.00	0.96	0.50
2012	0.40	0.61	0.86	0.60
2013	0.88	0.63	0.80	0.79
2014	0.43	0.66	0.38	0.51
2015	0.32	0.60	0.00	0.57
2016	0.41	1.00	0.10	0.56
2017	0.83	0.97	0.07	0.69
2018	0.38	0.80	0.07	0.47
SD	0.30	0.29	0.43	
1/SD	3.30	3.50	2.30	
W	0.36	0.38	0.25	
C	0.11			

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Año	VSE	VGI	VA	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de vulnerabilidad
2008	0.66	0.78	0.71	0.72
2009	0.89	0.63	0.52	0.63
2010	0.62	0.56	0.71	0.65
2011	0.68	0.37	0.50	0.50
2012	0.78	0.14	0.60	0.51
2013	0.71	0.27	0.79	0.63
2014	0.57	0.42	0.51	0.50
2015	0.40	0.39	0.57	0.48
2016	0.31	0.54	0.56	0.50
2017	0.15	0.20	0.69	0.45
2018	0.00	0.21	0.47	0.30
SD	0.28	0.20	0.11	
1/SD	3.61	5.02	9.40	
W	0.20	0.28	0.52	
C	0.06			

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 98.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método de escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

Fuente: Elaboración propia

Año	Densidad de población	$IC_e = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qC}$ Índice de exposición	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua continuo 24 horas	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qC}$ Índice de exposición	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_a = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qC}$ Índice de exposición	Año	SE	GI	A	$IC_g = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qC}$ Índice de exposición
2008	0.00	0.00	2008	0.11	1.00	0.53	2008	0.00	0.00	2008	0.00	0.59	0.00	0.27
2009	0.12	0.12	2009	0.03	1.00	0.55	2009	0.07	0.07	2009	0.12	0.55	0.07	0.31
2010	0.24	0.24	2010	0.17	1.00	0.61	2010	0.14	0.14	2010	0.24	0.61	0.14	0.39
2011	0.35	0.35	2011	0.32	0.65	0.50	2011	0.28	0.28	2011	0.35	0.50	0.28	0.40
2012	0.46	0.46	2012	0.00	1.00	0.53	2012	0.42	0.42	2012	0.46	0.53	0.42	0.48
2013	0.56	0.56	2013	0.27	1.00	0.66	2013	0.52	0.52	2013	0.56	0.66	0.52	0.59
2014	0.65	0.65	2014	0.68	0.00	0.32	2014	0.60	0.60	2014	0.65	0.32	0.60	0.48
2015	0.75	0.75	2015	0.76	1.00	0.89	2015	0.74	0.74	2015	0.75	0.89	0.74	0.81
2016	0.84	0.84	2016	1.00	0.90	0.95	2016	1.00	1.00	2016	0.84	0.95	1.00	0.93
2017	0.92	0.92	2017	0.73	1.00	0.87	2017	0.97	0.97	2017	0.92	0.87	0.97	0.91
2018	1.00	1.00	2018	0.75	1.00	0.88	2018	0.94	0.94	2018	1.00	0.88	0.94	0.93
SD	0.33		SD	0.35	0.31		SD	0.37		SD	0.33	0.20	0.37	
WSD	3.01		WSD	2.84	3.26		WSD	2.71		WSD	3.01	4.95	2.71	
W	1.00		W	0.47	0.53		W	1.00		W	0.28	0.46	0.25	
C	0.33		C	0.16			C	0.37		C	0.09			

Exposición Socioeconómico (ESE) Exposición de Gestión Institucional (EGI) Exposición Ambiental (EA) Exposición General (EG)

Figura 99.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método de escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				w_q es el peso del índice
Año	SE		CA	$IC_v = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qC}$ Índice de vulnerabilidad
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB percapita)	
2008	-0.90	0.83	-1.58	4.84
2009	2.14	0.92	-1.27	4.32
2010	1.24	-0.95	-0.93	2.70
2011	0.27	0.42	-1.05	3.30
2012	0.57	1.80	-0.48	1.99
2013	0.88	1.11	-0.19	0.97
2014	0.36	0.42	0.22	-0.49
2015	0.04	-0.84	0.60	-2.01
2016	-0.79	-0.70	1.05	-3.43
2017	-1.53	-1.24	1.58	-5.25
2018	-2.27	-1.77	2.06	-6.94
w	0.14	0.27	2.99	

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Año	SE			CA			$IC_v = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qC}$ Índice de vulnerabilidad
	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	
2008	3.87	1.50	-0.07	-2.28	-0.72	-1.35	-3.83
2009	1.45	0.50	-0.27	-0.51	-1.68	-1.96	-0.12
2010	0.19	0.50	-2.28	-0.40	-3.08	-1.72	-1.68
2011	-0.39	1.00	-0.42	-1.42	1.94	0.78	-1.79
2012	-0.41	-1.25	-2.32	2.70	0.11	0.34	0.33
2013	-0.28	-1.50	0.07	2.22	0.43	-0.58	3.85
2014	-0.28	0.00	1.35	0.28	0.13	0.30	0.99
2015	-0.75	-0.50	1.37	-0.42	0.02	0.90	0.71
2016	-0.85	2.00	2.71	-0.40	-0.01	0.81	-0.79
2017	-1.23	-1.25	-0.13	0.31	1.16	1.19	1.13
2018	-1.31	-1.00	0.00	-0.07	1.71	1.18	1.20
w	-0.78	-1.11	0.80	-0.35	-0.54	1.55	

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE		CA	$IC_v = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qC}$ Índice de vulnerabilidad
	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Volumen tratado	
2008	0.00	0.00	-1.08	3.05
2009	-2.41	0.38	-1.03	3.01
2010	1.64	-1.88	-1.00	2.87
2011	0.46	-3.35	-1.00	2.82
2012	-0.80	-0.10	-0.73	2.04
2013	1.13	0.30	-0.60	1.71
2014	-0.66	0.16	0.45	-1.30
2015	1.33	-0.17	1.42	-3.97
2016	-0.76	1.96	1.16	-3.28
2017	0.94	1.80	1.23	-3.45
2018	-0.87	0.91	1.24	-3.51
w	0.02	0.00	2.82	

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Año	VSA	VGEST	VA	$IC_v = \sum_{q=1}^Q w_q I_{qC}$ Índice de vulnerabilidad
2008	4.84	-3.83	3.05	-4.53
2009	4.32	-0.12	3.01	-3.30
2010	2.70	-1.69	2.87	-2.63
2011	3.30	-1.79	2.82	-3.02
2012	1.99	0.33	2.04	-1.54
2013	0.97	3.85	1.71	0.01
2014	-0.49	0.99	-1.30	0.78
2015	-2.01	0.71	-3.97	2.15
2016	-3.43	-0.79	-3.28	2.56
2017	-5.25	1.13	-3.45	4.21
2018	-6.94	1.20	-3.51	5.30
w	-0.63	0.24	-0.18	

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 100.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación

Fuente: Elaboración propia.

Año	Densidad de población	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua en las zonas de tandeo	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	SE	GI	A	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición
2008	-1.95	-5.34	2008	-1.04	0.67	-2.53	2008	-1.69	-4.57	2008	-5.34	-2.53	-4.57	-5.27
2009	-1.51	-4.12	2009	-1.31	0.67	-3.26	2009	-1.47	-3.97	2009	-4.12	-3.26	-3.97	-4.13
2010	-1.08	-2.96	2010	-0.85	0.67	-2.03	2010	-1.25	-3.36	2010	-2.96	-2.03	-3.36	-2.93
2011	-0.67	-1.85	2011	-0.37	-1.09	-1.33	2011	-0.77	-2.07	2011	-1.85	-1.33	-2.07	-1.84
2012	-0.29	-0.78	2012	-1.40	0.67	-3.48	2012	-0.32	-0.87	2012	-0.78	-3.48	-0.87	-0.94
2013	0.08	0.23	2013	-0.54	0.67	-1.22	2013	0.00	0.00	2013	0.23	-1.22	0.00	0.16
2014	0.44	1.20	2014	0.77	-4.41	0.59	2014	0.28	0.75	2014	1.20	0.59	0.75	1.19
2015	0.78	2.12	2015	1.01	0.67	2.90	2015	0.75	2.02	2015	2.12	2.90	2.02	2.19
2016	1.10	3.00	2016	1.79	0.16	4.80	2016	1.59	4.28	2016	3.00	4.80	4.28	3.11
2017	1.41	3.84	2017	0.93	0.67	2.68	2017	1.49	4.02	2017	3.84	2.68	4.02	3.82
2018	1.70	4.64	2018	1.00	0.67	2.88	2018	1.40	3.78	2018	4.64	2.88	3.78	4.62
W	2.73		W	2.65	0.33		W	2.70		W	0.98	0.06	-0.02	

Exposición Socioeconómico (ESE)

Exposición de Gestión Institucional (EGI)

Exposición Ambiental (EA)

Exposición General (EG)

Figura 101.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad = (Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				w_q es el peso del indicador
SE		CA		I_{qe} el valor normalizado
Año	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
2008	-0.90	0.83	-1.58	0.54
2009	2.14	0.92	-1.27	1.42
2010	1.24	-0.95	-0.93	0.36
2011	0.27	0.42	-1.05	0.59
2012	0.57	1.80	-0.48	0.97
2013	0.88	1.11	-0.19	0.73
2014	0.36	0.42	0.22	0.19
2015	0.04	-0.84	0.60	-0.48
2016	-0.79	-0.70	1.05	-0.85
2017	-1.53	-1.24	1.58	-1.44
2018	-2.27	-1.77	2.06	-2.02
SD	1.28	1.15	1.21	
WSD	0.78	0.87	0.83	
W	0.31	0.35	0.33	
C	0.40			

Vulnerabilidad = (Sensibilidad - Capacidad de adaptación)						w_q es el peso del indicador	
SE		CA				I_{qe} el valor normalizado	
Año	Viviendas sin agua entubada ni envasada	Consumo	Relación tarifa costo	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
2008	3.87	1.50	-0.07	-2.28	-0.72	-1.35	1.59
2009	1.45	0.50	-0.27	-0.51	-1.68	-1.86	0.97
2010	0.19	0.50	-2.28	-0.40	-3.08	-1.72	0.65
2011	-0.39	1.00	-0.42	-1.42	1.94	0.78	-0.16
2012	-0.41	-1.25	-2.32	2.70	0.11	0.34	-1.16
2013	-0.28	-1.50	0.07	2.22	0.43	-0.58	-0.62
2014	-0.28	0.00	1.35	0.28	0.13	0.30	0.04
2015	-0.75	-0.50	1.37	-0.42	0.02	0.90	-0.11
2016	-0.85	2.00	2.71	-0.40	-0.01	0.81	0.57
2017	-1.23	-1.25	-0.13	0.31	1.16	1.19	-0.90
2018	-1.31	-1.00	0.00	-0.07	1.71	1.18	-0.87
SD	1.49	1.20	1.48	1.43	1.45	1.17	
WSD	0.67	0.83	0.68	0.70	0.69	0.86	
W	0.15	0.19	0.15	0.16	0.16	0.19	
C	0.23						

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Vulnerabilidad = (Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				w_q es el peso del indicador
SE		CA		I_{qe} el valor normalizado
Año	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Volumen tratado	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
2008	0.00	0.00	-1.08	0.42
2009	-2.41	0.38	-1.09	-0.30
2010	1.64	-1.88	-1.00	0.42
2011	0.46	-3.35	-1.00	-0.38
2012	-0.80	-0.10	-0.73	-0.02
2013	1.13	0.30	-0.60	0.70
2014	-0.66	0.16	0.45	-0.36
2015	1.33	-0.17	1.42	-0.14
2016	-0.76	1.96	1.16	-0.16
2017	0.94	1.80	1.23	0.34
2018	-0.87	0.91	1.24	-0.52
SD	1.23	1.51	1.09	
WSD	0.81	0.66	0.92	
W	0.34	0.28	0.38	
C	0.42			

Año	VSE	VGI	VA	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
2008	0.54	1.59	0.42	0.74
2009	1.42	0.97	-0.30	0.37
2010	0.36	0.65	0.42	0.47
2011	0.53	-0.16	-0.38	-0.13
2012	0.37	-1.16	-0.02	-0.10
2013	0.73	-0.62	0.70	0.37
2014	0.19	0.04	-0.36	-0.14
2015	-0.48	-0.11	-0.14	-0.20
2016	-0.85	0.57	-0.16	-0.12
2017	-1.44	-0.90	0.34	-0.34
2018	-2.02	-0.87	-0.52	-0.92
SD	1.07	0.87	0.40	
WSD	0.94	1.15	2.47	
W	0.21	0.25	0.54	
C	0.22			

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 102.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Año	Densidad de población	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de exposición	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua en las zonas de tandeo	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de exposición	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de exposición	Año	SE	GI	A	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de exposición
2008	-1.95	-1.95					2008	-1.69	-1.69	2008	-1.95	-0.32	-1.69	-1.18
2009	-1.51	-1.51	2008	-1.04	0.67	-0.32	2009	-1.47	-1.47	2009	-1.51	-0.48	-1.47	-1.06
2010	-1.08	-1.08	2009	-1.31	0.67	-0.48	2010	-1.25	-1.25	2010	-1.08	-0.21	-1.25	-0.76
2011	-0.67	-0.67	2010	-0.85	0.67	-0.21	2011	-0.77	-0.77	2011	-0.67	-0.67	-0.77	-0.70
2012	-0.29	-0.29	2011	-0.37	-1.09	-0.67	2012	-0.32	-0.32	2012	-0.29	-0.53	-0.32	-0.40
2013	0.08	0.08	2012	-1.40	0.67	-0.53	2013	0.00	0.00	2013	0.08	-0.04	0.00	0.01
2014	0.44	0.44	2013	-0.54	0.67	-0.04	2014	0.28	0.28	2014	0.44	-1.40	0.28	-0.40
2015	0.78	0.78	2014	0.77	-4.41	-1.40	2015	0.75	0.75	2015	0.78	0.87	0.75	0.81
2016	1.10	1.10	2015	1.01	0.67	0.87	2016	0.75	0.75	2016	1.10	1.11	1.59	1.24
2017	1.41	1.41	2016	1.79	0.16	1.11	2017	1.49	1.49	2017	1.41	0.82	1.49	1.18
2018	1.70	1.70	2017	0.93	0.67	0.82	2018	1.40	1.40	2018	1.70	0.86	1.40	1.25
			2018	1.00	0.67	0.86								
SD	1.21		SD	1.12	1.56		SD	1.21		SD	1.21	0.80	1.21	
I/SD	0.83		I/SD	0.89	0.64		I/SD	0.83		I/SD	0.83	1.24	0.83	
W	1.00		W	0.58	0.42		W	1.00		W	0.29	0.43	0.29	
C	1.21		C	0.65			C	1.21		C	0.35			

Exposición Socioeconómico (ESE)

Exposición de Gestión Institucional (EGI)

Exposición Ambiental (EA)

Exposición General (EG)

Figura 103.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación

Fuente: Elaboración propia.

Año	SE		CA	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de vulnerabilidad
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	
2008	-0.83	0.79	-1.63	5.86
2009	1.65	0.45	-0.32	2.56
2010	1.23	0.11	-0.68	1.81
2011	0.98	0.71	-0.88	2.73
2012	0.14	1.32	-0.32	1.36
2013	0.03	0.91	-0.11	0.60
2014	0.29	0.49	0.28	-0.89
2015	-0.21	-0.89	0.58	-2.07
2016	-0.92	-1.34	0.86	-2.89
2017	-1.12	-1.30	1.24	-4.03
2018	-1.32	-1.25	1.57	-5.05
W	-0.35	0.28	3.28	

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Año	SE			CA			$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de vulnerabilidad
	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	
2008	1.48	1.76	-0.76	2.04	-1.51	-0.55	5.00
2009	1.22	1.34	-0.55	0.89	-1.21	-0.89	4.00
2010	1.14	0.31	-0.71	0.96	-0.90	2.30	3.00
2011	0.92	0.72	-0.31	0.41	-0.60	0.86	2.00
2012	-0.84	0.52	-0.46	-1.09	-0.30	-1.05	1.00
2013	-1.05	-0.31	-1.34	-1.17	0.00	-0.96	0.00
2014	-0.25	-0.83	-0.29	-0.60	0.30	0.47	-1.00
2015	-0.25	-0.41	0.12	-0.21	0.60	-0.37	-2.00
2016	-0.30	-0.83	1.18	-0.81	0.30	0.54	-3.00
2017	-1.02	-1.03	1.83	0.15	1.21	0.07	-4.00
2018	-1.05	-1.24	1.29	-0.58	1.51	-0.42	-5.00
W	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.3166	0.0000	

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Año	SE		CA	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de vulnerabilidad
	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Volumen tratado	
2008	2.83	0.71	-1.51	5.00
2009	0.02	0.65	-1.21	4.00
2010	0.38	0.78	-0.90	3.00
2011	-0.35	0.52	-0.60	2.00
2012	-0.22	1.04	-0.30	1.00
2013	0.05	0.00	0.00	0.00
2014	-0.40	0.08	0.30	-1.00
2015	-0.76	-0.34	0.60	-2.00
2016	-0.24	-0.22	0.90	-3.00
2017	-0.67	-0.67	1.21	-4.00
2018	-0.64	-2.55	1.51	-5.00
W	-2.47E-14	-4.27E-14	3.316625	

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Año	VSE	VGI	VA	$IC_c = \sum_{q=1}^Q w_q I_{q,c}$ Índice de vulnerabilidad
2008	5.86	5.00	5.00	-5.00
2009	2.56	4.00	4.00	-4.00
2010	1.81	3.00	3.00	-3.00
2011	2.73	2.00	2.00	-2.00
2012	1.36	1.00	1.00	-1.00
2013	0.60	0.00	0.00	0.00
2014	-0.89	-1.00	-1.00	1.00
2015	-2.07	-2.00	-2.00	2.00
2016	-2.89	-3.00	-3.00	3.00
2017	-4.03	-4.00	-4.00	4.00
2018	-5.05	-5.00	-5.00	5.00
W	0.00	0.00	-1.00	

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 104.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Año	Densidad de población	$I_{C_1} = \frac{I_{C_1}}{I_{C_1}}$ Índice de exposición	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio de agua	$I_{C_2} = \frac{I_{C_2}}{I_{C_2}}$ Índice de exposición	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$I_{C_3} = \frac{I_{C_3}}{I_{C_3}}$ Índice de exposición	Año	SE	GI	A	$I_{C_4} = \frac{I_{C_4}}{I_{C_4}}$ Índice de exposición
2008	-1.55	-5.14	2008	-1.29	-1.51	-5.00	2008	0.37	-0.62	2008	-5.14	-5.00	-0.62	-5.00
2009	-1.22	-4.05	2009	-1.04	-1.21	-4.00	2009	0.96	-1.62	2009	-4.05	-4.00	-1.62	-4.00
2010	-0.90	-2.98	2010	-1.03	-0.90	-3.00	2010	1.56	-2.63	2010	-2.98	-3.00	-2.63	-3.00
2011	-0.58	-1.94	2011	-0.47	-0.60	-2.00	2011	0.72	-1.22	2011	-1.94	-2.00	-1.22	-2.00
2012	-0.28	-0.91	2012	-0.28	-0.30	-1.00	2012	-0.15	0.25	2012	-0.91	-1.00	0.25	-1.00
2013	0.03	0.09	2013	-0.42	0.00	0.00	2013	-1.55	2.61	2013	0.09	0.00	2.61	0.00
2014	0.32	1.08	2014	0.05	0.30	1.00	2014	-1.50	2.52	2014	1.08	1.00	2.52	1.00
2015	0.62	2.04	2015	0.52	0.60	2.00	2015	0.27	-0.46	2015	2.04	2.00	-0.46	2.00
2016	0.90	3.00	2016	0.96	0.90	3.00	2016	0.34	-0.58	2016	3.00	3.00	-0.58	3.00
2017	1.19	3.94	2017	1.42	1.21	4.00	2017	0.01	-0.02	2017	3.94	4.00	-0.02	4.00
2018	1.47	4.87	2018	1.58	1.51	5.00	2018	-1.05	1.77	2018	4.87	5.00	1.77	5.00
w	3.32			0.00	3.32			-1.68			-2.54E-13	1	-8.23E-15	

Exposición Socioeconómico (ESE) Exposición de Gestión Institucional (EGI) Exposición Ambiental (EA) Exposición General

Figura 105.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación
Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				w_2 es el peso del indicador I_{C_2} el valor normalizado
Año	SE Población económicamente activa desocupada	CA Población en condición de pobreza	CA Ingreso per cápita anual (PIB per cápita)	$I_{C_2} = \sum_{q=1}^q w_q I_{q_2}$ Índice de vulnerabilidad
2008	-0.93	0.79	-1.63	0.53
2009	1.65	0.45	-0.92	1.00
2010	1.29	0.11	-0.68	0.69
2011	0.36	0.71	-0.98	0.66
2012	0.14	1.32	-0.32	0.60
2013	0.03	0.91	-0.11	0.35
2014	0.29	0.49	0.28	0.17
2015	-0.21	-0.98	0.58	-0.56
2016	-0.92	-1.34	0.86	-1.04
2017	-1.12	-1.30	1.24	-1.22
2018	-1.32	-1.25	1.57	-1.38
SD	1.00	1.00	1.00	
1/SD	1.00	1.00	1.00	
w	0.33	0.33	0.33	
C	0.33			

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)						w_5 es el peso del indicador I_{C_5} el valor normalizado	
Año	SE Consumo	CA Relación tarifa costo	CA Eficiencia física	CA Micro medición	CA Eficiencia comercial	$I_{C_5} = \sum_{q=1}^q w_q I_{q_5}$ Índice de vulnerabilidad	
2008	1.48	1.76	-0.76	2.04	-1.51	-0.65	0.42
2009	1.22	1.34	-0.95	0.89	-1.21	-0.89	0.62
2010	1.14	0.31	-0.71	0.96	-0.90	2.30	-0.27
2011	0.92	0.72	-0.31	0.41	-0.60	0.86	0.11
2012	-0.84	0.52	-0.46	-1.09	-0.30	-1.05	0.28
2013	-1.05	-0.31	-1.34	-1.17	0.00	-0.96	-0.10
2014	-0.25	-0.83	-0.29	-0.60	0.30	0.47	-0.28
2015	-0.25	-0.41	0.12	-0.21	0.60	-0.37	-0.09
2016	-0.30	-0.63	1.18	-0.81	0.90	0.54	-0.10
2017	-1.02	-1.03	1.82	0.95	1.21	0.07	-0.27
2018	-1.05	-1.24	1.29	-0.58	1.51	-0.42	-0.25
SD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
1/SD	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
w	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	
C	0.17						

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				I_{C_3} es el peso del indicador I_{C_3} el valor normalizado
Año	SE Calidad del agua superficial DBDS	CA Calidad de agua subterránea a SDT	CA Volumen tratado	$I_{C_3} = \sum_{q=1}^q w_q I_{q_3}$ Índice de vulnerabilidad
2008	2.83	0.71	-1.51	1.68
2009	0.02	0.65	-1.21	0.62
2010	0.38	0.78	-0.30	0.69
2011	-0.35	0.52	-0.60	0.26
2012	-0.22	1.04	-0.30	0.37
2013	0.05	0.00	0.00	0.02
2014	-0.40	0.08	0.30	-0.21
2015	-0.76	-0.34	0.60	-0.57
2016	-0.24	-0.22	0.30	-0.46
2017	-0.67	-0.67	1.21	-0.85
2018	-0.84	-2.55	1.51	-1.57
SD	1.00	1.00	1.00	
1/SD	1.00	1.00	1.00	
w	0.33	0.33	0.33	
C	0.33			

Año	VSE	VGI	VA	$I_{C_4} = \sum_{q=1}^q w_q I_{q_4}$ Índice de vulnerabilidad
2008	0.53	0.42	1.68	0.63
2009	1.00	0.53	0.62	0.65
2010	0.69	-0.27	0.69	0.11
2011	0.86	0.11	0.26	0.29
2012	0.60	0.28	0.37	0.36
2013	0.35	-0.10	0.02	0.02
2014	0.17	-0.26	-0.21	-0.16
2015	-0.56	-0.09	-0.57	-0.28
2016	-1.04	-0.10	-0.46	-0.36
2017	-1.22	-0.27	-0.85	-0.58
2018	-1.38	-0.25	-1.57	-0.74
SD	0.88	0.29	0.87	
1/SD	1.13	3.42	1.14	
w	0.20	0.60	0.20	
C	0.18			

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 106.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
Fuente: Elaboración propia

Año	Densidad de población	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio continuo (24 horas)	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$	Año	SE	GI	A	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$
		Índice de exposición				Índice de exposición			Índice de exposición					Índice de exposición
2008	-1.55	-1.55	2008	-1.29	-1.51	-1.40	2008	0.37	0.37	2008	-1.55	-1.40	0.37	-0.86
2009	-1.22	-1.22	2009	-1.04	-1.21	-1.12	2009	0.96	0.96	2009	-1.22	-1.12	0.96	-0.46
2010	-0.90	-0.90	2010	-1.03	-0.90	-0.97	2010	1.56	1.56	2010	-0.90	-0.97	1.56	-0.10
2011	-0.58	-0.58	2011	-0.47	-0.60	-0.54	2011	0.72	0.72	2011	-0.58	-0.54	0.72	-0.13
2012	-0.28	-0.28	2012	-0.28	-0.30	-0.29	2012	-0.15	-0.15	2012	-0.28	-0.23	-0.15	-0.24
2013	0.03	0.03	2013	-0.42	0.00	-0.21	2013	-1.55	-1.55	2013	0.03	-0.21	-1.55	-0.58
2014	0.32	0.32	2014	0.05	0.30	0.18	2014	-1.50	-1.50	2014	0.32	0.18	-1.50	-0.33
2015	0.62	0.62	2015	0.52	0.60	0.56	2015	0.27	0.27	2015	0.62	0.56	0.27	0.48
2016	0.90	0.90	2016	0.96	0.90	0.93	2016	0.34	0.34	2016	0.90	0.93	0.34	0.73
2017	1.19	1.19	2017	1.42	1.21	1.31	2017	0.01	0.01	2017	1.19	1.31	0.01	0.84
2018	1.47	1.47	2018	1.58	1.51	1.54	2018	-1.05	-1.05	2018	1.47	1.54	-1.05	0.65
SD	1.00		SD	1.00	1.00		SD	1.00		SD	1.00	0.99	1.00	
1/SD	1.00		1/SD	1.00	1.00		1/SD	1.00		1/SD	1.00	1.01	1.00	
W	1.00		W	0.50	0.50		W	1.00		W	0.33	0.33	0.33	
C	1.00		C	0.50			C	1.00		C	0.33			

Exposición Socioeconómico (ESE)

Exposición de Gestión Institucional (EGI)

Exposición Ambiental (EA)

Exposición General

Figura 107.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE		CA	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$
	Población económica mente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB percapita)	
2008	0.16	0.80	1.00	-10.08
2009	1.00	0.67	0.78	-8.72
2010	0.88	0.54	0.70	-7.90
2011	0.78	0.77	0.77	-8.27
2012	0.49	1.00	0.59	-5.98
2013	0.46	0.84	0.53	-5.37
2014	0.54	0.69	0.40	-4.29
2015	0.37	0.17	0.31	-3.53
2016	0.13	0.00	0.22	-2.47
2017	0.07	0.02	0.11	-1.17
2018	0.00	0.03	0.00	0.02
W	-1.04	0.74	-10.51	

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)							
Año	SE			CA			$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$
	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado	Consumo	Relación tarifa costo	Eficiencia física	Micro y macro medición	Eficiencia comercial	
2008	1.00	1.00	0.18	0.00	1.00	0.85	-10.00
2009	0.89	0.86	0.25	0.36	0.90	0.95	-9.00
2010	0.86	0.52	0.20	0.34	0.80	0.90	-8.00
2011	0.78	0.66	0.32	0.51	0.70	0.43	-7.00
2012	0.08	0.59	0.28	0.98	0.60	1.00	-6.00
2013	0.00	0.31	0.00	1.00	0.50	0.97	-5.00
2014	0.32	0.14	0.33	0.82	0.40	0.55	-4.00
2015	0.32	0.28	0.46	0.70	0.30	0.80	-3.00
2016	0.29	0.14	0.80	0.89	0.20	0.53	-2.00
2017	0.01	0.07	1.00	0.59	0.10	0.67	-1.00
2018	0.00	0.00	0.83	0.82	0.00	0.81	0.00
W	0.00	0.00	0.00	0.00	-10.00	0.00	

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE		CA	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$
	Calidad del agua superficial DEOS	Calidad de agua subterránea SDT	Volumen tratado	
2008	1.00	0.91	1.00	-10.00
2009	0.22	0.89	0.90	-9.00
2010	0.32	0.93	0.80	-8.00
2011	0.12	0.86	0.70	-7.00
2012	0.15	1.00	0.60	-6.00
2013	0.23	0.71	0.50	-5.00
2014	0.10	0.73	0.40	-4.00
2015	0.00	0.62	0.30	-3.00
2016	0.14	0.65	0.20	-2.00
2017	0.03	0.52	0.10	-1.00
2018	0.03	0.00	0.00	0.00
W	0.00	0.00	-10.00	

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Año	VSE	VGI	VA	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$
2008	-10.08	-10.00	-10.00	-10.00
2009	-8.72	-9.00	-9.00	-9.00
2010	-7.90	-8.00	-8.00	-8.00
2011	-8.27	-7.00	-7.00	-7.00
2012	-5.98	-6.00	-6.00	-6.00
2013	-5.37	-5.00	-5.00	-5.00
2014	-4.29	-4.00	-4.00	-4.00
2015	-3.53	-3.00	-3.00	-3.00
2016	-2.47	-2.00	-2.00	-2.00
2017	-1.17	-1.00	-1.00	-1.00
2018	0.02	0.00	0.00	0.00
W	7.8E-14	0	1	

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 108.-Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método de rescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación

Fuente: Elaboración propia.

Año	Densidad de población	$IC_e = \sum_{i=1}^q w_i I_{ei}$ Índice de exposición	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio continuo (24 horas)	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{cq}$ Índice de exposición	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_g = \sum_{q=1}^q w_q I_{gq}$ Índice de exposición	Año	SE	GI	A	$IC_e = \sum_{i=1}^q w_i I_{ei}$ Índice de exposición
2008	0.00	0.00					2008	0.62	-1.09	2008	0.00	0.00	-1.09	0.00
2009	0.11	1.09					2009	0.81	-1.43	2009	1.09	1.00	-1.43	1.00
2010	0.22	2.16	2008	0.00	0.00	0.00	2010	1.00	-1.77	2010	2.16	2.00	-1.77	2.00
2011	0.32	3.20	2009	0.09	0.10	1.00	2011	0.73	-1.29	2011	3.20	3.00	-1.29	3.00
2012	0.42	4.23	2010	0.09	0.20	2.00	2012	0.45	-0.80	2012	4.23	4.00	-0.80	4.00
2013	0.52	5.23	2011	0.28	0.30	3.00	2013	0.00	0.00	2013	5.23	5.00	0.00	5.00
2014	0.62	6.22	2012	0.35	0.40	4.00	2014	0.02	-0.03	2014	6.22	6.00	-0.03	6.00
2015	0.72	7.19	2013	0.30	0.50	5.00	2015	0.59	-1.03	2015	7.19	7.00	-1.03	7.00
2016	0.81	8.14	2014	0.47	0.60	6.00	2016	0.61	-1.08	2016	8.14	8.00	-1.08	8.00
2017	0.91	9.08	2015	0.63	0.70	7.00	2017	0.50	-0.89	2017	9.08	9.00	-0.89	9.00
2018	1.00	10.01	2016	0.79	0.80	8.00	2018	0.16	-0.28	2018	10.01	10.00	-0.28	10.00
			2017	0.94	0.90	9.00								
			2018	1.00	1.00	10.00								
W	10.01						W	-1.77		W	0.00	1.00	0.00	
				0.00	10.00									

Exposición Socioeconómico (ESE)

Exposición de Gestión Institucional (EGI)

Exposición Ambiental (EA)

Exposición General

Figura 109.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método de reescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE	CA	$IC_e = \sum_{i=1}^q w_i I_{ei}$ Índice de vulnerabilidad	
2008	0.16	0.80	1.00	0.66
2009	1.00	0.67	0.78	0.82
2010	0.88	0.54	0.70	0.71
2011	0.78	0.77	0.77	0.77
2012	0.49	1.00	0.59	0.68
2013	0.46	0.84	0.53	0.60
2014	0.54	0.69	0.40	0.54
2015	0.37	0.17	0.31	0.29
2016	0.13	0.00	0.22	0.13
2017	0.07	0.02	0.11	0.07
2018	0.00	0.03	0.00	0.01
SD	0.34	0.39	0.31	
I/SD	2.96	2.66	3.20	
W	0.34	0.30	0.36	
C	0.11			

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)							
Año	SE	CA	$IC_e = \sum_{i=1}^q w_i I_{ei}$ Índice de vulnerabilidad				
2008	1.00	1.00	0.18	0.00	1.00	0.85	0.65
2009	0.93	0.86	0.25	0.36	0.90	0.95	0.63
2010	0.86	0.52	0.20	0.34	0.80	0.00	0.43
2011	0.78	0.66	0.32	0.51	0.70	0.43	0.55
2012	0.08	0.59	0.28	0.98	0.60	1.00	0.61
2013	0.00	0.31	0.00	1.00	0.50	0.97	0.49
2014	0.32	0.14	0.33	0.82	0.40	0.55	0.43
2015	0.32	0.28	0.46	0.70	0.30	0.80	0.49
2016	0.29	0.14	0.80	0.89	0.20	0.53	0.49
2017	0.01	0.07	1.00	0.59	0.10	0.67	0.43
2018	0.00	0.00	0.83	0.82	0.00	0.81	0.44
SD	0.39	0.33	0.32	0.31	0.33	0.30	
I/SD	2.53	2.99	3.17	3.20	3.02	3.36	
W	0.14	0.16	0.17	0.18	0.17	0.18	
C	0.05						

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE	CA	$IC_e = \sum_{i=1}^q w_i I_{ei}$ Índice de vulnerabilidad	
2008	1.00	0.91	1.00	0.97
2009	0.22	0.89	0.30	0.66
2010	0.32	0.93	0.80	0.67
2011	0.12	0.86	0.70	0.55
2012	0.15	1.00	0.60	0.58
2013	0.23	0.71	0.50	0.48
2014	0.10	0.73	0.40	0.41
2015	0.00	0.62	0.30	0.31
2016	0.14	0.65	0.20	0.34
2017	0.03	0.52	0.10	0.22
2018	0.03	0.00	0.00	0.01
SD	0.28	0.28	0.33	
I/SD	3.59	3.59	3.02	
W	0.35	0.35	0.30	
C	0.10			

Año	VSE	VGI	VA	$IC_e = \sum_{i=1}^q w_i I_{ei}$ Índice de vulnerabilidad
2008	0.66	0.66	0.97	0.72
2009	0.82	0.69	0.66	0.71
2010	0.71	0.43	0.67	0.54
2011	0.77	0.55	0.55	0.59
2012	0.68	0.61	0.58	0.62
2013	0.60	0.49	0.48	0.51
2014	0.54	0.43	0.41	0.45
2015	0.29	0.49	0.31	0.41
2016	0.13	0.49	0.34	0.39
2017	0.07	0.43	0.22	0.31
2018	0.01	0.44	0.01	0.26
SD	0.30	0.10	0.26	
I/SD	3.33	10.43	3.89	
W	0.19	0.59	0.22	
C	0.06			

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 110.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método de reescalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

Fuente: Elaboración propia

Año	Densidad de población	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio continuo (24 horas)	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	SE	GI	A	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición
2008	0.00	0.00	2008	0.00	0.00	0.00	2008	0.62	0.62	2008	0.00	0.00	0.62	0.21
2009	0.11	0.11	2009	0.09	0.10	0.09	2009	0.81	0.81	2009	0.11	0.09	0.81	0.34
2010	0.22	0.22	2010	0.09	0.20	0.15	2010	1.00	1.00	2010	0.22	0.15	1.00	0.46
2011	0.32	0.32	2011	0.28	0.30	0.29	2011	0.73	0.73	2011	0.32	0.29	0.73	0.45
2012	0.42	0.42	2012	0.35	0.40	0.38	2012	0.45	0.45	2012	0.42	0.38	0.45	0.42
2013	0.52	0.52	2013	0.30	0.50	0.40	2013	0.00	0.00	2013	0.52	0.40	0.00	0.30
2014	0.62	0.62	2014	0.47	0.60	0.53	2014	0.02	0.02	2014	0.62	0.53	0.02	0.39
2015	0.72	0.72	2015	0.63	0.70	0.67	2015	0.59	0.59	2015	0.72	0.67	0.59	0.66
2016	0.81	0.81	2016	0.79	0.80	0.79	2016	0.61	0.61	2016	0.81	0.79	0.61	0.74
2017	0.91	0.91	2017	0.94	0.90	0.92	2017	0.50	0.50	2017	0.91	0.92	0.50	0.77
2018	1.00	1.00	2018	1.00	1.00	1.00	2018	0.16	0.16	2018	1.00	1.00	0.16	0.71
SD	0.33		SD	0.35	0.33		SD	0.32		SD	0.33	0.34	0.32	
WSD	3.02		WSD	2.87	3.02		WSD	3.11		WSD	3.02	2.96	3.11	
W	1.00		W	0.49	0.51		W	1.00		W	0.33	0.33	0.34	
C	0.33		C	0.17			C	0.32		C	0.11			

Exposición Socioeconómico (ESE) Exposición de Gestión Institucional (EGI) Exposición Ambiental (EA) Exposición General (EG)

Figura 111.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
Fuente: Elaboración propia

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE		CA	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB percapita)	
2008	-1.04	0.91	-1.98	5.86
2009	2.06	0.51	-1.12	2.56
2010	1.62	0.12	-0.82	1.81
2011	1.23	0.82	-1.06	2.73
2012	0.18	1.52	-0.39	1.36
2013	0.04	1.04	-0.13	0.60
2014	0.36	0.57	0.34	-0.89
2015	-0.26	-1.02	0.70	-2.07
2016	-1.15	-1.54	1.05	-2.89
2017	-1.40	-1.49	1.50	-4.03
2018	-1.65	-1.44	1.91	-5.05
W	-0.28	0.24	2.70	

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)							
Año	SE			CA		$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad	
	Viviendarrinos entubodani drenajoni ascurada	Canunuma	Relación tarifa carta	Eficiencia ofiçia	Miery macra mediçion		
2008	1.71	2.08	-0.95	2.51	-1.33	-0.71	5.00
2009	1.41	1.59	-0.69	1.10	-1.47	-1.15	4.00
2010	1.31	0.37	-0.88	1.19	-1.10	2.99	3.00
2011	1.07	0.86	-0.38	0.51	-0.73	1.12	2.00
2012	-0.97	0.61	-0.58	-1.35	-0.37	-1.27	1.00
2013	-1.21	-0.27	-1.66	-1.44	0.00	-1.24	0.00
2014	-0.29	-0.98	-0.27	-0.74	0.37	0.51	-1.00
2015	-0.29	-0.49	0.15	-0.25	0.73	-0.49	-2.00
2016	-0.35	-0.98	1.47	-1.00	1.10	0.70	-3.00
2017	-1.18	-1.22	2.28	0.19	1.47	0.09	-4.00
2018	-1.21	-1.47	1.60	-0.71	1.83	-0.55	-5.00
W	0.00	0.00	0.00	0.00	2.73	0.00	

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Vulnerabilidad = f(Sensibilidad - Capacidad de adaptación)				
Año	SE		CA	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
	Calidad del agua superficial DBO5	Calidad de agua subterránea SDT	Volumen tratado	
2008	4.75	1.04	-1.83	5.00
2009	0.03	0.94	-1.47	4.00
2010	0.64	1.13	-1.10	3.00
2011	-0.58	0.75	-0.73	2.00
2012	-0.38	1.51	-0.37	1.00
2013	0.09	0.00	0.00	0.00
2014	-0.67	0.12	0.37	-1.00
2015	-1.27	-0.49	0.73	-2.00
2016	-0.41	-0.33	1.10	-3.00
2017	-1.12	-0.87	1.47	-4.00
2018	-1.08	-3.71	1.83	-5.00
W	0.00	0.00	2.73	

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Año	VSE	VGI	VA	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
2008	5.86	5.00	5.00	-5.00
2009	2.56	4.00	4.00	-4.00
2010	1.81	3.00	3.00	-3.00
2011	2.73	2.00	2.00	-2.00
2012	1.36	1.00	1.00	-1.00
2013	0.60	0.00	0.00	0.00
2014	-0.89	-1.00	-1.00	1.00
2015	-2.07	-2.00	-2.00	2.00
2016	-2.89	-3.00	-3.00	3.00
2017	-4.03	-4.00	-4.00	4.00
2018	-5.05	-5.00	-5.00	5.00
W	-7.55E-14	0	-1	

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 112.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación
Fuente: Elaboración propia.

Año	Densidad de población	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio continuo	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición	Año	SE	GI	A	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de exposición
2008	-1.88	-5.14	2008	-1.56	-1.52	-4.41	2008	0.48	-0.62	2008	-5.14	-4.41	-0.62	-5.08
2009	-1.48	-4.05	2009	-1.26	-1.16	-3.53	2009	1.25	-1.62	2009	-4.05	-3.53	-1.62	-4.01
2010	-1.09	-2.98	2010	-1.25	-0.80	-3.38	2010	2.02	-2.63	2010	-2.98	-3.38	-2.63	-3.04
2011	-0.71	-1.94	2011	-0.57	-0.43	-1.57	2011	0.94	-1.22	2011	-1.94	-1.57	-1.22	-1.91
2012	-0.33	-0.91	2012	-0.34	-0.07	-0.85	2012	-0.19	0.25	2012	-0.91	-0.85	0.25	-0.91
2013	0.03	0.09	2013	-0.51	0.30	-1.14	2013	-2.01	2.61	2013	0.09	-1.14	2.61	-0.02
2014	0.39	1.08	2014	0.06	0.66	0.40	2014	-1.94	2.52	2014	1.08	0.40	2.52	1.03
2015	0.75	2.04	2015	0.63	1.03	1.92	2015	0.35	-0.46	2015	2.04	1.92	-0.46	2.03
2016	1.10	3.00	2016	1.17	1.39	3.40	2016	0.45	-0.58	2016	3.00	3.40	-0.58	3.04
2017	1.44	3.94	2017	1.73	-1.52	3.65	2017	0.01	-0.02	2017	3.94	3.65	-0.02	3.92
2018	1.78	4.87	2018	1.92	2.12	5.51	2018	-1.36	1.77	2018	4.87	5.51	1.77	4.95
W	2.73		W	2.45	0.38		W	-1.300		W	0.90	0.10	0.01	

Exposición Socioeconómico (ESE)

Exposición de Gestión Institucional (EGI)

Exposición Ambiental (EA)

Exposición General (EG)

Figura 113.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Año	SE		CA		$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
	Población económicamente activa desocupada	Población en condiciones de pobreza	Ingreso per cápita anual (PIB percapita)		
2008	-1.04	0.91	-1.98		0.64
2009	2.06	0.51	-1.12		1.21
2010	1.62	0.12	-0.82		0.83
2011	1.23	0.82	-1.06		1.03
2012	0.18	1.52	-0.39		0.72
2013	0.04	1.04	-0.13		0.42
2014	0.36	0.57	0.34		0.20
2015	-0.26	-1.02	0.70		-0.67
2016	-1.15	-1.54	1.05		-1.25
2017	-1.40	-1.49	1.50		-1.46
2018	-1.85	-1.44	1.91		-1.66
SD	1.25	1.15	1.21		
I/SD	0.80	0.87	0.82		
W	0.32	0.35	0.33		
C	0.40				

Vulnerabilidad socioeconómica (VSE)

Año	SE			CA			$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
	Viviendas sin agua entubada ni drenaje ni escusada	Consumo	Relación tarifa costo	Eficiencia física	Metro y macro medición	Eficiencia o comercial	
2008	1.71	2.08	-0.95	2.51	-1.83	-0.71	0.51
2009	1.41	1.59	-0.69	1.10	-1.47	-1.15	0.65
2010	1.31	0.37	-0.88	1.19	-1.10	2.39	-0.33
2011	1.07	0.86	-0.38	0.51	-0.73	1.12	0.14
2012	-0.37	0.61	-0.59	-1.35	-0.37	-1.37	0.34
2013	-1.21	-0.37	-1.66	-1.44	0.00	-1.24	-0.12
2014	-0.29	-0.98	-0.37	-0.74	0.37	0.61	-0.31
2015	-0.29	-0.49	0.15	-0.26	0.73	-0.49	-0.11
2016	-0.35	-0.98	1.47	-1.00	1.10	0.70	-0.12
2017	-1.18	-1.22	2.28	0.19	1.47	0.09	-0.33
2018	-1.21	-1.47	1.60	-0.71	1.83	-0.55	-0.31
SD	1.15	1.18	1.24	1.24	1.22	1.30	
I/SD	0.87	0.84	0.80	0.81	0.82	0.77	
W	0.18	0.17	0.16	0.16	0.17	0.16	
C	0.20						

Vulnerabilidad de gestión institucional (VGI)

Año	SE		CA		$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
	Calidad del agua superficial DBD5	Calidad de agua subterránea SDT	Volumen tratado		
2008	4.75	1.04	-1.83		2.40
2009	0.03	0.94	-1.47		0.89
2010	0.64	1.13	-1.10		0.98
2011	-0.58	0.75	-0.73		0.37
2012	-0.38	1.51	-0.37		0.53
2013	0.09	0.00	0.00		0.02
2014	-0.67	0.12	0.37		-0.29
2015	-1.27	-0.49	0.73		-0.81
2016	-0.41	-0.33	1.10		-0.65
2017	-1.12	-0.97	1.47		-1.21
2018	-1.08	-3.71	1.83		-2.23
SD	1.67	1.46	1.22		
I/SD	0.60	0.69	0.82		
W	0.28	0.33	0.39		
C	0.47				

Vulnerabilidad ambiental (VA)

Año	VSE	VGI	VA	$IC_e = \sum_{q=1}^n w_q I_{qe}$ Índice de vulnerabilidad
2008	0.64	0.51	2.40	0.87
2009	1.21	0.65	0.89	0.81
2010	0.83	-0.33	0.98	0.14
2011	1.03	0.14	0.37	0.36
2012	0.72	0.34	0.53	0.45
2013	0.42	-0.12	0.02	0.02
2014	0.20	-0.31	-0.29	-0.20
2015	-0.67	-0.11	-0.81	-0.35
2016	-1.25	-0.12	-0.65	-0.45
2017	-1.46	-0.33	-1.21	-0.72
2018	-1.66	-0.31	-2.23	-0.93
SD	1.06	0.36	1.25	
I/SD	0.94	2.81	0.80	
W	0.21	0.62	0.18	
C	0.22			

Vulnerabilidad general (VG)

Figura 114.- Cálculo del índice de vulnerabilidad VSE, VGI, VA y VG del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación

Fuente: Elaboración propia

Año	Densidad de población	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de exposición
2008	-1.88	-1.88
2009	-1.48	-1.48
2010	-1.09	-1.09
2011	-0.71	-0.71
2012	-0.33	-0.33
2013	0.03	0.03
2014	0.39	0.39
2015	0.75	0.75
2016	1.10	1.10
2017	1.44	1.44
2018	1.78	1.78
SD	1.21	
1/SD	0.82	
W	1.00	
C	1.21	

Exposición Socioeconómico (ESE)

Año	Volumen de agua producido	Horas con servicio continuo (24 horas)	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de exposición
2008	-1.56	-1.52	-1.54
2009	-1.26	-1.16	-1.21
2010	-1.25	-0.80	-1.02
2011	-0.57	-0.43	-0.50
2012	-0.34	-0.07	-0.20
2013	-0.51	0.30	-0.11
2014	0.06	0.66	0.36
2015	0.63	1.03	0.83
2016	1.17	1.39	1.28
2017	1.73	-1.52	0.10
2018	1.92	2.12	2.02
SD	1.21	1.22	
1/SD	0.82	0.82	
W	0.50	0.50	
C	0.61		

Exposición de Gestión Institucional (EGI)

Año	Grado de presión del recurso hídrico	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de exposición
2008	0.48	0.48
2009	1.25	1.25
2010	2.02	2.02
2011	0.94	0.94
2012	-0.19	-0.19
2013	-2.01	-2.01
2014	-1.94	-1.94
2015	0.35	0.35
2016	0.45	0.45
2017	0.01	0.01
2018	-1.36	-1.36
SD	1.29	
1/SD	0.77	
W	1.00	
C	1.29	

Exposición Ambiental (EA)

Año	SE	GI	A	$IC_c = \sum_{q=1}^q w_q I_{qc}$ Índice de exposición
2008	-1.88	-1.54	0.48	-1.03
2009	-1.48	-1.21	1.25	-0.55
2010	-1.09	-1.02	2.02	-0.11
2011	-0.71	-0.50	0.94	-0.13
2012	-0.33	-0.20	-0.19	-0.24
2013	0.03	-0.11	-2.01	-0.64
2014	0.39	0.36	-1.94	-0.33
2015	0.75	0.83	0.35	0.66
2016	1.10	1.28	0.45	0.96
2017	1.44	0.10	0.01	0.51
2018	1.78	2.02	-1.36	0.90
SD	1.21	1.08	1.29	
1/SD	0.82	0.92	0.77	
W	0.33	0.37	0.31	
C	0.40			

Exposición General (EG)

Figura 115.- Cálculo del índice de exposición ESE, EGI, EA y EG del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8. Prueba de Shapiro-Wilk en los seis métodos evaluados

Tabla 94.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.939	0.963	0.870	0.938
p-value	0.506	0.803	0.078	0.503
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
Normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 95.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.965	0.906	0.925	0.962
p-value	0.832	0.218	0.360	0.796
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 96.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.932	0.957	0.918	0.933
p-value	0.434	0.730	0.304	0.440
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 97.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.965	0.917	0.925	0.871
p-value	0.832	0.296	0.360	0.080
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 98.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.956	0.930	0.870	0.966
p-value	0.721	0.407	0.078	0.841
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 99.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.965	0.906	0.925	0.962
p-value	0.832	0.218	0.360	0.796
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 100.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.932	0.957	0.918	0.933
p-value	0.434	0.730	0.304	0.440
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 101.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.965	0.917	0.925	0.871
p-value	0.832	0.296	0.360	0.080
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 102.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.939	0.963	0.870	0.950
p-value	0.506	0.803	0.078	0.645
alpha	0.050	0.050	0.050	0.050
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 104.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.932	0.957	0.918	0.933
p-value	0.434	0.730	0.304	0.440
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 106.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.972	0.968	0.968	0.968
p-value	0.910	0.870	0.870	0.870
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 108.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.872	0.870	0.988	0.967
p-value	0.081	0.078	0.995	0.856
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 103.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.965	0.906	0.925	0.962
p-value	0.832	0.218	0.360	0.796
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 105.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AMG, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.965	0.917	0.925	0.871
p-value	0.832	0.296	0.360	0.080
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 107.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.968	0.968	0.935	0.968
p-value	0.870	0.870	0.467	0.870
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 109.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.968	0.955	0.935	0.920
p-value	0.870	0.713	0.467	0.320
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 110.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.965	0.968	0.968	0.968
p-value	0.833	0.870	0.870	0.870
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 112.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.872	0.870	0.988	0.967
p-value	0.081	0.078	0.995	0.856
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 114.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.972	0.968	0.968	0.968
p-value	0.910	0.870	0.870	0.870
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 116.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de vulnerabilidad del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>VSE</i>	<i>VGI</i>	<i>VA</i>	<i>VG</i>
W-stat	0.872	0.870	0.988	0.967
p-value	0.081	0.078	0.995	0.856
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 111.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.968	0.968	0.935	0.968
p-value	0.870	0.870	0.467	0.870
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 113.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.968	0.955	0.935	0.920
p-value	0.870	0.713	0.467	0.320
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 115.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.968	0.950	0.935	0.969
p-value	0.870	0.639	0.467	0.877
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Tabla 117.- Prueba de Shapiro Wilk al análisis del índice de exposición del AHM, aplicando el método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.

	<i>Ex SE</i>	<i>Ex GI</i>	<i>Ex A</i>	<i>Ex G</i>
W-stat	0.968	0.975	0.935	0.936
p-value	0.870	0.935	0.467	0.475
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Anexo 9.- Resultados del grado de vulnerabilidad y exposición de cada uno de los métodos evaluados del AMG y AHM

9.1.Resultados del grado de vulnerabilidad del AMG

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de VSE del AMG se muestra en la Tabla 118 y se observa que el método uno y método cinco tienen la misma escala de vulnerabilidad, mientras el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala.

Tabla 118.- Escala de vulnerabilidad Socioeconómica del AMG

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.- Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy alta	Muy baja	Alta	Alta	Muy alta	Alta
2009	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2010	Alta	Muy baja	Alta	Alta	Alta	Alta
2011	Alta	Muy baja	Alta	Alta	Alta	Alta
2012	Alta	Baja	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2013	Media	Media	Alta	Alta	Media	Alta
2014	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2015	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja
2016	Muy baja	Muy alta	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2017	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2018	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de VGI del AMG se muestra en la Tabla 119 y se observa que el método uno y método cinco tienen la misma escala de vulnerabilidad, mientras el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala.

Tabla 119.- Escala de vulnerabilidad Gestión institucional (GI) del AMG

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta
2009	Media	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Media	Muy alta
2010	Baja	Muy baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2011	Muy baja	Media	Media	Media	Muy baja	Media
2012	Media	Media	Muy baja	Muy baja	Media	Muy baja

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2013	Muy alta	Media	Baja	Baja	Muy alta	Baja
2014	Alta	Alta	Media	Media	Alta	Media
2015	Alta	Muy alta	Media	Media	Alta	Media
2016	Baja	Alta	Alta	Alta	Baja	Alta
2017	Alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Alta	Muy baja
2018	Alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Alta	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de VA del AMG se muestra en la Tabla 122 y se observa que el método uno y método cinco tienen la misma escala de vulnerabilidad, mientras el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala.

Tabla 120.- Escala de vulnerabilidad Ambiental del AMG

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2009	Muy alta	Muy baja	Baja	Baja	Muy alta	Baja
2010	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2011	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja
2012	Alta	Baja	Media	Media	Alta	Media
2013	Alta	Baja	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2014	Baja	Alta	Muy baja	Muy baja	Baja	Muy baja
2015	Muy baja	Muy alta	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2016	Muy baja	Muy alta	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2017	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta
2018	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de VG del AMG se muestra en la Tabla 121 y se observa que el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala de vulnerabilidad.

Tabla 121.- Escala de vulnerabilidad General del AMG

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta
2009	Muy baja	Muy baja	Alta	Alta	Muy baja	Alta
2010	Baja	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Baja	Muy alta
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2012	Baja	Media	Media	Media	Baja	Media
2013	Media	Media	Alta	Alta	Media	Alta
2014	Media	Alta	Baja	Baja	Media	Baja
2015	Alta	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja
2016	Muy alta	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja
2017	Muy alta	Muy alta	Baja	Baja	Muy alta	Baja
2018	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

9.2. Resultados del grado de exposición del AMG

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de ESE del AMG se muestra en la Tabla 122 se observa que todos los métodos tienen el mismo grado de exposición esto se debe a que la exposición socioeconómica solo tiene una variable.

Tabla 122.- Escala de Exposición Socioeconómica del AMG

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.- Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2010	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2012	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2013	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2014	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
2015	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de EGI del AMG se muestra en la Tabla 123 y se observa que el método uno, método dos y método cinco tienen la misma escala de exposición, mientras el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala de exposición.

Tabla 123.- Escala de Exposición Gestión institucional del AMG

	1.- Aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Aplicando el método de reescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	3.- Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	4.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación.
Año						
2008	Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2009	Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2010	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2012	Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2013	Baja	Baja	Media	Media	Baja	Media
2014	Media	Media	Muy baja	Muy baja	Media	Muy baja
2015	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de EA del AMG se muestra en la Tabla 124 se observa que todos los métodos tienen el mismo grado de exposición esto se debe a que la exposición ambiental solo tiene una variable.

Tabla 124.- Escala de Exposición Ambiental del AMG

	1.- Aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Aplicando el método de reescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
Año						
2008	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2010	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2012	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2013	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2014	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2015	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de EG del AMG se muestra en la Tabla 125 y se observa que el método uno, método dos y método cinco tienen la misma escala de exposición, mientras el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala de exposición.

Tabla 125.- Escala de Exposición General del AMG

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.-Método de reescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.-Método de reescalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2010	Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2012	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2013	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2014	Alta	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja
2015	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

9.3.Resultados del grado de vulnerabilidad del AHM

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de VSE del AHM se muestran en la Tabla 126 y se observa que el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala de vulnerabilidad.

Tabla 126.- Escala de vulnerabilidad socioeconómica del AHM

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.-Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy alta	Baja	Alta	Alta	Muy alta	Alta
2009	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2010	Alta	Muy alta	Alta	Alta	Alta	Alta
2011	Alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2012	Media	Media	Alta	Alta	Alta	Alta
2013	Media	Media	Alta	Alta	Media	Alta
2014	Baja	Alta	Media	Media	Baja	Media
2015	Baja	Media	Baja	Baja	Baja	Baja
2016	Baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2017	Baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2018	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de VSE del AHM se muestra en la Tabla 127 y se muestra que el método uno y método cinco tienen la misma escala de vulnerabilidad, mientras que el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala de vulnerabilidad.

Tabla 127.- Escala de vulnerabilidad de gestión institucional del AHM

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2009	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2010	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja
2011	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta
2012	Alta	Baja	Muy alta	Muy alta	Alta	Muy alta
2013	Media	Media	Baja	Baja	Media	Baja
2014	Baja	Alta	Muy baja	Muy baja	Baja	Muy baja
2015	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja
2016	Muy baja	Muy alta	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2017	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2018	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de VA del AHM se muestra en la Tabla 128 y se observa que el método uno y método cinco tienen la misma escala de vulnerabilidad, mientras que el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala de vulnerabilidad.

Tabla 128.- Escala de vulnerabilidad ambiental del AHM

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2009	Muy alta	Muy baja	Alta	Alta	Muy alta	Alta
2010	Muy alta	Muy baja	Alta	Alta	Muy alta	Alta
2011	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta
2012	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta	Alta
2013	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2014	Baja	Alta	Media	Media	Baja	Media
2015	Baja	Alta	Baja	Baja	Baja	Baja
2016	Muy baja	Muy alta	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2017	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2018	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja

Fuente: Elaboración propia

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de VG del AHM se muestra en la Tabla 129 y se observa que el método uno, método dos y método cinco tienen la misma escala de vulnerabilidad, mientras el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala de vulnerabilidad.

Tabla 129.- Escala de vulnerabilidad general del AHM

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Aplicando el método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta
2009	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta
2010	Muy baja	Muy baja	Media	Media	Muy baja	Media
2011	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2012	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2013	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2014	Alta	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja
2015	Alta	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja
2016	Muy alta	Muy alta	Baja	Baja	Muy alta	Baja
2017	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja
2018	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

9.4.Resultados del grado de exposición del AHM

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de ESE del AHM se muestra en la Tabla 130 se observa que todos los métodos tienen el mismo grado de exposición esto se debe a que la exposición socioeconómica solo tiene una variable.

Tabla 130.- Escala de Exposición socioeconómica del AHM

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2010	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2012	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2013	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2014	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
2015	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de EGI del AHM se muestra en la Tabla 131 y se observa que el método uno y método dos tienen la misma escala de exposición, mientras el método tres y método cuatro tienen la misma escala de exposición.

Tabla 131.- Escala de Exposición de gestión institucional del AHM

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2010	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2012	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Media
2013	Media	Media	Media	Media	Baja	Media
2014	Alta	Alta	Media	Media	Media	Alta
2015	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Media
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de EA del AHM se muestra en la Tabla 132 y se observa que el método uno, método dos y método cinco tienen la misma escala de exposición, mientras el método tres, método cuatro y método seis tienen la misma escala de exposición.

Tabla 132.- Escala de Exposición ambiental del AHM

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de re escalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2009	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta
2010	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta
2011	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2012	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2013	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja
2014	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja
2015	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2016	Baja	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2017	Media	Media	Media	Media	Media	Media
2018	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados para cada uno de los métodos evaluados del grado de EA del AHM se muestra en la Tabla 132 y se observa que el método uno, método dos y método cinco tienen la misma escala de exposición, mientras el método tres y método cuatro tienen la misma escala de exposición. Con respecto al método tres y método seis existe un 82% de coincidencia, la diferencia radica en el año 2015 donde en el método tres es de Alta y en el método seis es Muy alta. Y en el año 2017 en el método tres es de muy alta mientras en el método seis es de alta.

Tabla 133.- Escala de Exposición General del AHM

Año	1.- Método de estandarización para la normalización y el método de regresión para la ponderación.	2.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de regresión para la ponderación	3.-Método de estandarización para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	4.- Método de reescalamiento para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación	5.- Método cíclico para la normalización y el método de regresión para la ponderación	6.- Método cíclico para la normalización y el método de Iyengar & Sudarshan la ponderación
2008	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Baja	Baja	Muy baja	Baja
2010	Muy baja	Muy baja	Media	Media	Muy baja	Media
2011	Baja	Baja	Media	Media	Baja	Media
2012	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2013	Media	Media	Muy baja	Muy baja	Media	Muy baja
2014	Alta	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja
2015	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10.- Resultados de los métodos evaluados

10.1. Resultados de la vulnerabilidad del AMG

La Tabla 134 muestra un resumen de los resultados del grado de vulnerabilidad del AMG por método y tipo de vulnerabilidad (Figura 116). Se observa que el método uno y cinco tienen el mismo comportamiento en la vulnerabilidad socioeconómica, gestión y ambiental, en el caso de la vulnerabilidad general solo difieren en el año 2011 y 2016 con un nivel del grado de vulnerabilidad de diferencia.

Con respecto al método uno y el método dos aunque tengan el mismo tipo de ponderación se observa que solo tienen un 19% de coincidencias en la vulnerabilidad socioeconómica, 28% de coincidencia en la gestión institucional y 64% de coincidencia en la vulnerabilidad general.

En lo que se refiere a los métodos tres, cuatro y seis, son iguales en cada tipo de vulnerabilidad.

Tabla 134.-Concentrado de los resultados del grado de vulnerabilidad del AMG

Año	Socioeconómica			Gestión Institucional			Ambiental			General		
	2	1=5	3=4=6	2	1=5	3=4=6	2	1=5	3=4=6	2	1=5	3=4=6
2008	Muy baja	Muy alta	Alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta
2009	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Media	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Baja	Muy baja	Muy baja	Alta
2010	Muy baja	Alta	Alta	Muy baja	Baja	Alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Baja	Muy alta
2011	Muy baja	Alta	Alta	Media	Muy baja	Media	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Baja	Baja-Media	Baja
2012	Baja	Alta	Muy alta	Media	Media	Muy baja	Baja	Alta	Media	Media	Baja	Media
2013	Media	Media	Alta	Media	Muy alta	Baja	Baja	Alta	Muy alta	Media	Media	Alta
2014	Media	Media	Media	Alta	Alta	Media	Alta	Baja	Muy baja	Alta	Media	Baja
2015	Alta	Baja	Baja	Muy alta	Alta	Media	Muy alta	Muy baja	Baja	Alta	Alta	Baja
2016	Muy alta	Muy baja	Baja	Alta	Baja	Alta	Muy alta	Muy baja	Baja	Alta	Muy alta-Alta	Baja
2017	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Alta	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Baja
2018	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Alta	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja

Fuente: Elaboración propia

Nota:

Método 1 (utilizando la normalización de estandarización con el método de regresión como ponderación)

Método 2 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de regresión como ponderación)

Método 3 (utilizando la normalización estandarización con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 4 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 5 (utilizando la normalización cíclico con el método de regresión como ponderación)

Método 6 (utilizando la normalización cíclico con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)



Figura 116.- Resultados del porcentaje de índice de VSE, VGI, VA y VG del AMG.
Fuente: Elaboración propia

10.2. Resultados de la exposición del AMG

Para evaluar la exposición socioeconómica y ambiental del AMG, se utilizó solo una variable y esto dio como resultado que todos los métodos tuvieran el mismo grado de vulnerabilidad. En el caso de la exposición de gestión y la general se observa que los resultados de los métodos uno, dos y cinco tienen el mismo resultado y lo mismo pasa con los resultados de los métodos tres, cuatro y seis (Tabla 135 y Figura 117)

Tabla 135.-Concentrado de los resultados del grado de exposición del AMG

Año	Socioeconómica	Gestión institucional		Ambiental	General	
	1=2=3=4=5=6	1=2=5	3=4=6	1=2=3=4=5=6	1=2=5	3=4=6
2008	Muy baja	Muy baja	Baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja
2010	Muy baja	Baja	Baja	Muy baja	Muy baja	Baja
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2012	Media	Muy baja	Baja	Baja	Baja	Baja
2013	Media	Baja	Media	Media	Media	Media
2014	Alta	Media	Muy baja	Media	Alta	Baja
2015	Alta	Muy alta	Muy alta	Alta	Alta	Muy alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia

Nota:

Método 1 (utilizando la normalización de estandarización con el método de regresión como ponderación)

Método 2 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de regresión como ponderación)

Método 3 (utilizando la normalización estandarización con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 4 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 5 (utilizando la normalización cíclico con el método de regresión como ponderación)

Método 6 (utilizando la normalización cíclico con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

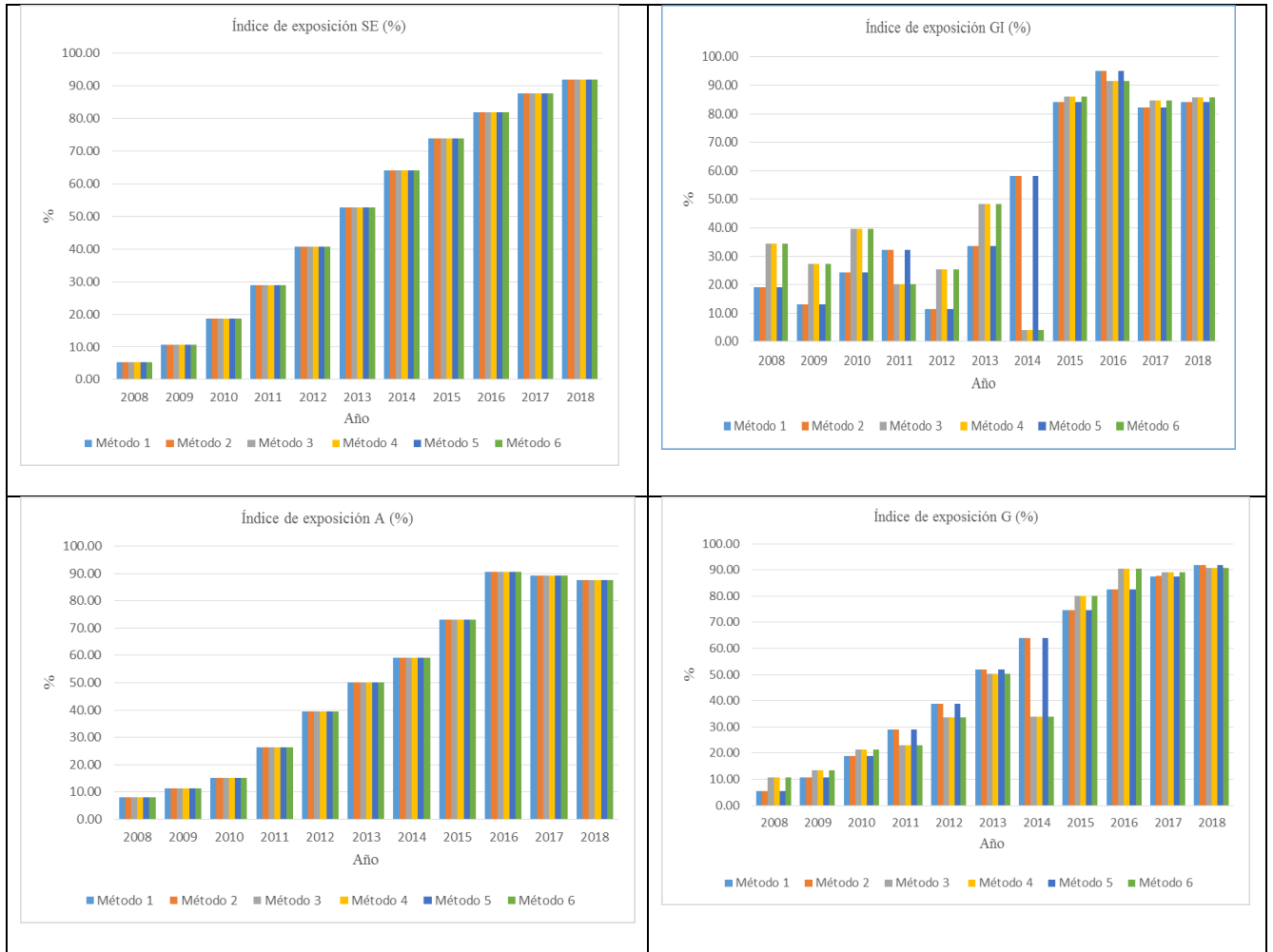


Figura 117.- Resultados del porcentaje de índice de ESE, EGI, EA y EG del AMG.

Fuente: Elaboración propia

10.3. Resultados de la vulnerabilidad del AHM

En la Tabla 136 y se muestra un resumen de los resultados del grado de vulnerabilidad del AHM .Con respecto al método uno y método cinco se observa que tienen el mismo resultado en la vulnerabilidad de gestión, ambiental y general.

En lo referente a la vulnerabilidad socioeconómica existen diferencias en los años 2012, 2016 y 2017 lo que se traduce en un 73% de coincidencias.

Con respecto al método uno y el método dos aunque tengan el mismo tipo de ponderación se observa que solo tienen un 28% de coincidencias en la vulnerabilidad socioeconómica, 9 % de coincidencia en la gestión institucional y 9%de coincidencia en la vulnerabilidad ambiental. Se observa que los métodos tres, cuatro y seis tienen el mismo resultado en cada tipo de vulnerabilidad.

Tabla 136.-Concentrado del grado de vulnerabilidad que componen la vulnerabilidad del AHM

Año	Socioeconómica			Gestión institucional			Ambiental			General	
	2	1=5	3=4=6	2	1=5	3=4=6	2	1=5	3=4=6	1=2=5	3=4=6
2008	Baja	Muy alta	Alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta
2009	Muy alta	Alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Alta	Muy baja	Muy alta
2010	Muy alta	Alta	Alta	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Alta	Muy baja	Media
2011	Muy alta	Alta	Muy alta	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2012	Media	Media-Alta	Alta	Baja	Alta	Muy alta	Baja	Alta	Alta	Baja	Alta
2013	Media	Media	Alta	Media	Media	Baja	Media	Media	Media	Media	Media
2014	Alta	Baja	Media	Alta	Baja	Muy baja	Alta	Baja	Media	Alta	Baja
2015	Media	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja	Baja	Alta	Baja
2016	Muy baja	Baja-Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Baja	Muy alta	Muy baja	Baja	Muy alta	Baja
2017	Muy baja	Baja-Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja
2018	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja

Fuente: Elaboración propia

Nota:

Método 1 (utilizando la normalización de estandarización con el método de regresión como ponderación)

Método 2 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de regresión como ponderación)

Método 3 (utilizando la normalización estandarización con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 4 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 5 (utilizando la normalización cíclico con el método de regresión como ponderación)

Método 6 (utilizando la normalización cíclico con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)



Figura 118.- Resultados del porcentaje de índice de VSE, VGI, VA y VG del AHM.
Fuente: Elaboración propia

10.4. Resultados de la exposición del AHM

En la Tabla 137 se muestra el resumen de los resultados del grado de exposición del AHM. Para evaluar la exposición socioeconómica se utilizó solo una variable y esto dio como resultado que todos los métodos tuvieran el mismo grado de vulnerabilidad.

En el caso de la exposición de gestión institucional el método uno y dos tienen el mismo resultado. El método cinco tiene diferencias en los años 2013 y 2014. Los métodos tres y cuatro tienen el mismo resultado, pero el método seis tiene diferencias en los años 2012, 2014 y 2016.

Con respecto a la exposición ambiental los resultados de los métodos uno, dos y cinco tienen el mismo resultado y lo mismo pasa con los métodos tres, cuatro y seis.

En lo que respecta a la exposición general, los métodos uno, dos y cinco tienen los mismos resultados. Los métodos tres y cuatro tienen los mismos resultados, pero el método seis difiere en los años 2015 y 2017.

Tabla 137.-Concentrado del grado de exposición del AHM

Año	Socioeconómica	Gestión institucional		Ambiental		General	
	1=2=3=4=5=6	1=2=5	3=4=6	1=2=5	3=4=6	1=2=5	3=4=6
2008	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Baja	Alta	Muy baja	Muy baja
2009	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Baja
2010	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy alta	Muy baja	Media
2011	Baja	Baja	Baja	Baja	Alta	Baja	Media
2012	Baja	Baja	Baja/Media	Media	Media	Baja	Baja
2013	Media	Media/Baja	Media	Muy alta	Muy baja	Media	Muy baja
2014	Alta	Alta/Media	Media/Alta	Muy alta	Muy baja	Alta	Baja
2015	Alta	Alta	Alta	Baja	Alta	Alta	Alta/Muy alta
2016	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Baja	Alta	Muy alta	Muy alta
2017	Muy alta	Muy alta	Muy alta/Media	Media	Media	Muy alta	Muy alta/Alta
2018	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy alta	Muy baja	Muy alta	Muy alta

Fuente: Elaboración propia

Nota:

Método 1 (utilizando la normalización de estandarización con el método de regresión como ponderación)

Método 2 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de regresión como ponderación)

Método 3 (utilizando la normalización estandarización con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 4 (utilizando la normalización de re-escalamiento con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)

Método 5 (utilizando la normalización cíclico con el método de regresión como ponderación)

Método 6 (utilizando la normalización cíclico con el método de Iyengar & Sudarshan como ponderación)



Figura 119.- Resultados del porcentaje de índice de ESE, EGI, EA y EG del AHM.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 11.- Análisis para la elección del mejor método

11.1. Análisis de la variación de vulnerabilidad socioeconómica

El análisis de la variación de vulnerabilidad socioeconómica del AMG y AHM se muestra en la Figura 120 y en Tabla 138.

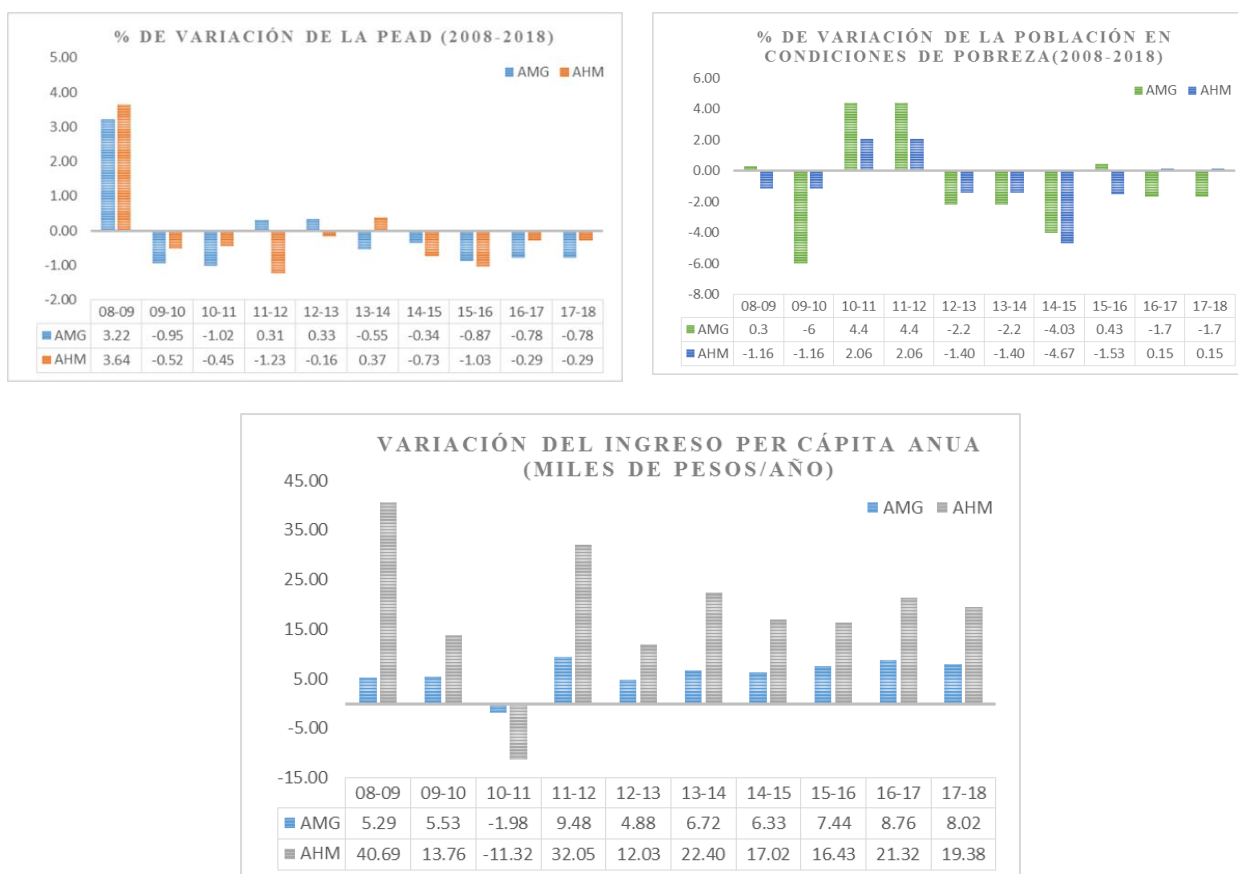


Figura 120.-Variación de los indicadores que componen la vulnerabilidad SE del AMG y AHM (2008-2018)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 138.- Análisis de la variación de los indicadores de vulnerabilidad SE del AMG y AHM

AÑO	AMG	AHM
2008 vs 2009	El indicador de la PEAD tuvo el mayor incremento de todo el periodo y el crecimiento de ingreso per cápita fue mínimo por lo tanto la vulnerabilidad en el 2009 fue mayor con respecto al 2008. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo un incremento de 3.64% que fue el mayor del periodo, con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza también tuvo una disminución de 1.16 %, en el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación el incremento es de 41 miles de pesos /año. Esto daría como resultado que si la vulnerabilidad en el 2009 fue menor con respecto al 2008. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco.
2009 vs 2010	Los indicadores de sensibilidad tuvieron un decremento, en especial el de la pobreza, la capacidad de adaptación aumento. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad del 2010 fue menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo una disminución de 0.52 % esta disminución fue menor con respecto al aumento del año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo una disminución de 1.16 %, esta disminución fue igual que el año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación el incremento es de 14 miles de pesos /año. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea menor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis
2010 vs 2011	En el componente de sensibilidad el indicador PEAD tuvo una disminución de 1.02% y el indicador de pobreza tuvo un incremento de 4.4% sin embargo este crecimiento fue menor comparado con la disminución del año anterior. En el componente de capacidad de adaptación se observa una disminución, sin embargo, esta disminución no es mayor al incremento del año anterior. Esto daría como resultado que en el 2011 tuviera una vulnerabilidad menor o igual con respecto al año 2010. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo una disminución de 0.45 % esta disminución fue menor con respecto al año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo un aumento de 2.06 %, este aumento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación tuvo una disminución es de 11 miles de pesos /año esta disminución es menor con respecto al aumento del año anterior. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea mayor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis
2011 vs 2012	En el componente de sensibilidad el indicador PEAD, tuvo un incremento, pero este incremento fue menor en comparación con la disminución del año anterior, el indicador de pobreza también tuvo un incremento de 4.4%. En el componente de la capacidad de adaptación el ingreso per cápita anual tuvo un incremento. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo una disminución de 1.23 % esta disminución fue mayor con respecto al año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo un aumento de 2.06 %, este aumento igual que el año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación tuvo un aumento de 32 miles de pesos /año este aumento es mayor con respecto a la disminución del año anterior. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea menor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, tres cuatro y seis
2012 vs 2013	En el componente de sensibilidad el indicador PEAD, tuvo un incremento de 0.33% este incremento fue mayor con respecto al año anterior, el indicador de pobreza tuvo una disminución de 2.2% esta disminución fue menor con respecto al incremento del año anterior. En el componente de la capacidad de adaptación el ingreso per cápita anual tuvo un incremento de 5miles de pesos/año, pero este incremento fue menor con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo una disminución de 0.16 % esta disminución fue menor con respecto al año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo una disminución de 1.40 %, esta disminución es menor con respecto al aumento del año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación tuvo un aumento es de 12 miles de pesos /año este aumento es menor con respecto al del año anterior. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea igual o menor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres cuatro y seis
2013 vs 2014	En el componente de sensibilidad el indicador PEAD tuvo una disminución de 0.55% esto es que la disminución fue mayor que el incremento con respecto al año anterior, el indicador de pobreza tuvo una disminución 2.2% igual al año anterior. En el componente de la	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo un aumento de 0.37 % este aumento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo una disminución de 1.40 %, esta disminución es igual al del año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a

AÑO	AMG	AHM
	capacidad de adaptación el ingreso per cápita anual tuvo un incremento de 7 miles de pesos/año, este incremento fue mayor con respecto al año pasado. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor con respecto al año pasado. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	la capacidad de adaptación tuvo un aumento de 22 miles de pesos /año este aumento es mayor con respecto al del año anterior. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea menor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, cinco y tres cuatro y seis
2014 vs 2015	En el componente de sensibilidad el indicador PEAD tuvo una disminución de 0.34% esta disminución es menor que la tuvo el año anterior, el indicador de pobreza tuvo una disminución de 4.03% esta disminución fue mayor con respecto al año anterior, En el componente de la capacidad de adaptación el ingreso per cápita anual tuvo un incremento de 6 miles de pesos/año similar al año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año pasado. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo una disminución es de 0.73 % esta disminución es mayor con respecto al incremento del año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo una disminución de 4.67 %, esta disminución es mayor al del año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación tuvo un aumento de 17 miles de pesos /año este aumento es menor con respecto al del año anterior. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea menor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres cuatro y seis
2015 vs 2016	En el componente de sensibilidad el indicador PEAD tuvo una disminución de 0.87% esta disminución es mayor que la tuvo el año anterior, el indicador de pobreza tuvo un incremento de 0.43% este incremento fue menor de la disminución que tuvo el año anterior, En el componente de la capacidad de adaptación el ingreso per cápita anual tuvo un incremento de 7 miles de pesos/año similar al año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año pasado. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo una disminución es de 1.03 % esta disminución es mayor con respecto al del año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo una disminución de 1.53 %, esta disminución es menor con respecto al del año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación tuvo un aumento de 16 miles de pesos /año este aumento es menor con respecto al del año anterior. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea menor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: cinco, tres cuatro y seis
2016 vs 2017	En el componente de sensibilidad el indicador PEAD tuvo una disminución de 0.78% esta disminución es menor que la tuvo el año anterior, el indicador de pobreza tuvo una disminución de 1.7% esta disminución fue mayor con respecto al incremento que tuvo el año anterior, En el componente de la capacidad de adaptación el ingreso per cápita anual tuvo un incremento de 9 miles de pesos/año este incremento fue mayor con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor con respecto al año pasado. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo una disminución es de 0.29 % esta disminución es menor con respecto al del año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo un aumento de 0.15 %, este aumento es menor con respecto a la disminución del año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación tuvo un aumento de 21 miles de pesos /año este aumento es mayor con respecto al del año anterior. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea igual o menor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: cinco, tres cuatro y seis
2017 vs 2018	En el componente de sensibilidad el indicador PEAD tuvo una disminución de 0.78% esta disminución es igual a la que tuvo el año anterior, el indicador de pobreza tuvo una disminución de 1.7% igual que el año anterior, En el componente de la capacidad de adaptación el ingreso per cápita anual tuvo un incremento de 8 miles de pesos/año este incremento fue similar con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual con respecto al año pasado. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad, el indicador de PEAD, tuvo una disminución es de 0.29 % esta disminución es igual al del año anterior. Con respecto al indicador de población en condiciones de pobreza tuvo un aumento de 0.15 %, este aumento es igual al del año anterior. En el caso del ingreso per cápita que pertenece a la capacidad de adaptación tuvo un aumento de 19 miles de pesos /año este aumento es menor con respecto al del año anterior. Esto daría como resultado que la vulnerabilidad sea igual o menor con respecto el año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno , cinco y tres cuatro y seis

Fuente: Elaboración propia

11.2. Análisis de la variación de vulnerabilidad de gestión institucional

El análisis de la vulnerabilidad de gestión institucional del AMG y AHM se muestra en Figura 121 y

Tabla 139.

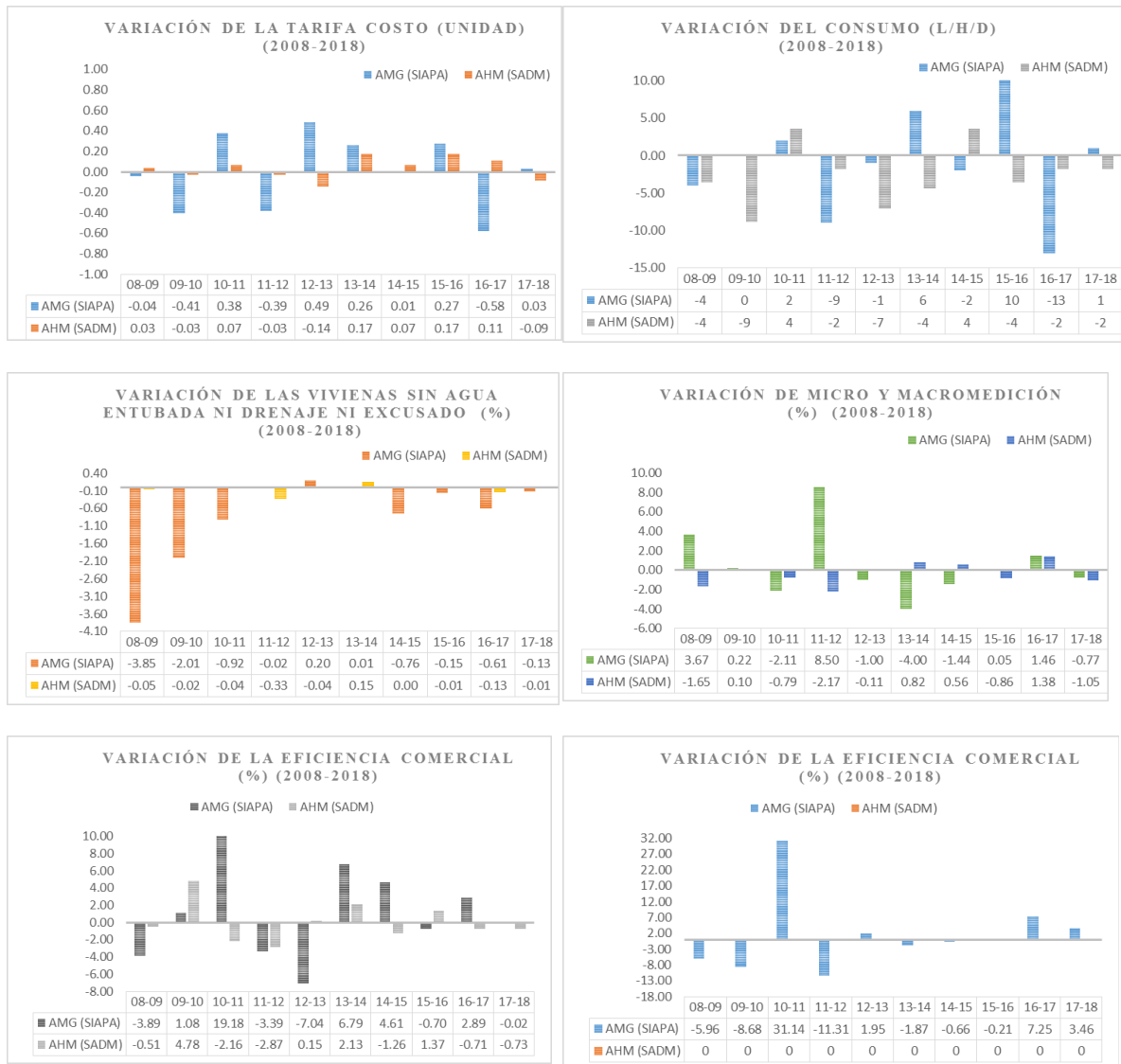


Figura 121.-Variación de los indicadores que componen la vulnerabilidad GI del AMG y AHM (2008-2018)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 139.- Análisis de la variación de los indicadores de vulnerabilidad GI del AMG y AHM

Año	AMG	AHM
2008 vs 2009	Los indicadores del componente de sensibilidad disminuyeron. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó un 3.67%, la eficiencia comercial disminuyó un 3.89% y micro y macro medición también disminuyeron un 5.96. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.03%, el consumo disminuyo en 4/l/h/d, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyó en 0.05%. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo 1.65 %, la eficiencia comercial disminuyó un 0.51 % y micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento, Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, cinco y tres, cuatro y seis.
2009 vs 2010	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo disminuyó con 0.41%, la disminución fue mayor con respecto al año anterior, el consumo no tuvo ningún cambio, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyó en 2.01%, la disminución fue menor que el año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó un 0.22% este aumento fue menor que el año anterior, la eficiencia comercial aumentó un 1.08% es te aumento fue menor en comparación con la disminución del año anterior y por último micro y macro medición disminuyo un 8.68% esta disminución fue mayor que el año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo disminuyó 0.03%, esta disminución es igual al incremento del año anterior el consumo disminuyo en 9/l/h/d esta disminución es mayor con respecto al año anterior. El indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyó en 0.02%. Esta disminución es menor con respecto al año anterior En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó 0.10 %, este aumento es menor con respecto a la disminución del año anterior la eficiencia comercial aumentó un 4.78 %, este aumento es mayor con respecto a la disminución del año anterior. Con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento, Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis
2010 vs 2011	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.38%, el aumento fue menor con respecto a la disminución del año anterior, el consumo aumentó 2 /l/h/d, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyó en 0.92%. La disminución fue menor que el año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo un 0.22% esta disminución fue mayor con respecto al incremento que del año anterior, la eficiencia comercial aumentó 19% este aumento fue mayor en comparación con la del año anterior. Y por último micro y macro medición aumentó un 31.14% este aumento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. En la Tabla 85 se puede observar que los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.07%, este aumento es mayor con respecto a la disminución del año anterior. El consumo aumento en 4 /l/h/d, este aumento es menor con respecto al aumento del año anterior el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado aumentó 0.04%, este aumento es mayor con respecto a la disminución con respecto al año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo 0.79 %, esta disminución es mayor con respecto al aumento del año anterior la eficiencia comercial disminuyo un 2.16 %, esta disminución es menor con respecto al aumento del año anterior. Con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento, Esto daría como resultado una vulnerabilidad mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis
2011 vs 2012	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo disminuyó 0.39%, la disminución fue similar al aumento con respecto al año anterior, el consumo disminuyo en 9 /l/h/d esta disminución es una de las mayores en todo el periodo, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyó en 0.02%., la disminución fue menor que el año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó un 8.50 % este aumento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior, la eficiencia comercial disminuyo 3.39% esta disminución fue menor en comparación con el aumento del año anterior. Y por último micro y macro	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo disminuyó 0.03%, esta disminución es menor con respecto al aumento del año anterior, el consumo disminuyo en 2 /l/h/d, este aumento es menor con respecto al aumento del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo 0.33%, esta disminución es mayor con respecto al aumento del año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyó 2.17 %, esta disminución es menor con respecto al año anterior. La eficiencia comercial disminuyo un 2.87 %, esta disminución es mayor con respecto al año anterior. Y con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres

Año	AMG	AHM
	medición disminuyo un 11.31 % esta disminución fue menor con respecto al aumento del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. En la Tabla 85 se puede observar que los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2012 vs 2013	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.49%, el aumento fue similar a la disminución del año anterior, el consumo disminuyo en 1 l/h/d esta disminución es menor que la disminución del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado aumentó en 0.20%, el aumento fue mayor que la disminución del año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo un 1 % esta disminución es menor con respecto al aumento del año anterior, la eficiencia comercial disminuyo 7 % esta disminución fue mayor en comparación con la disminución del año anterior. Y por último micro y macro medición aumentó un 1.95 % este aumento fue menor con respecto a la disminución del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo disminuyo 0.14%, esta disminución es mayor con respecto del año anterior, el consumo disminuyo en 7 l/h/d, esta disminución es mayor con respecto al año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo 0.04 %, esta disminución es menor con respecto al del año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo 0.11 %, esta disminución es menor con respecto al año anterior, la eficiencia comercial aumentó un 0.15 %, este aumento es menor con respecto a la disminución del al año anterior. Con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2013 vs 2014	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.26%, el aumento fue menor con respecto al año anterior, el consumo aumentó en 6 l/h/d este aumento es mayor que la disminución del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado aumentó en 0.01%, el aumento fue menor con respecto al año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo un 4 % esta disminución es mayor con respecto al del año anterior, la eficiencia comercial aumento 6.79 % este aumento fue similar en comparación con la disminución del año anterior. Por ultimo micro y macro medición disminuyo un 1.87 % esta disminución fue similar con respecto al aumento del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.17%, este aumento es mayor con respecto al año anterior, el consumo disminuyo en 4 l/h/d, esta disminución es menor con respecto al año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado aumentó 0.15 %, esta disminución es mayor con respecto a la disminución del año anterior al del año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó 0.82 %, esta disminución es menor con respecto al año anterior, la eficiencia comercial aumentó un 0.15 %, este aumento es menor con respecto a la disminución del al año anterior. Con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2014 vs 2015	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.01%, el aumento fue menor con respecto al año anterior, el consumo disminuyo en 2 l/h/d esta disminución es menor que el aumento del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo en 0.76 %, la disminución fue mayor con respecto el aumento del año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo un 1.44 % esta disminución es menor con respecto al del año anterior, la eficiencia comercial aumentó 4.61 % este aumento fue menor en comparación con la del año anterior. Por ultimo micro y macro medición disminuyo un 0.66 % esta disminución fue menor con respecto al del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.07%, este aumento es menor con respecto al año anterior, el consumo aumentó en 4 l/h/d, este aumento es igual a la disminución del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo en 0.15 %. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó 0.56 %, este aumento es menor con respecto al año anterior, la eficiencia comercial disminuyo un 1.26 %, esta disminución es menor con respecto al aumento del al año anterior, y con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2015 vs 2016	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.027 %, el aumento fue mayor con respecto al año anterior, el consumo aumento en 10 l/h/d este aumento es mayor con respecto a la disminución del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo en 0.15 %, la disminución fue menor con respecto al año anterior. En el componente	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.17%, este aumento es mayor con respecto al año anterior, el consumo disminuye en 4 l/h/d, esta disminución es igual al aumento del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo en 0.01%, esta disminución es mayor con respecto al año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo 0.86 %, esta

Año	AMG	AHM
	de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumento un 0.05 % este aumento es menor con respecto a la disminución del año anterior, la eficiencia comercial disminuyo 0.70% esta disminución fue menor en comparación con el aumento del año anterior. Por ultimo micro y macro medición disminuyo un 0.21% esta disminución fue menor con respecto al del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis	disminución es mayor con respecto al año anterior. la eficiencia comercial aumentó un 1.37 %, este aumento es mayor con respecto a la disminución del año anterior, y con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento, Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2016 vs 2017	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo disminuyo 0.58 %, la disminución fue mayor con respecto al aumento del año anterior, el consumo disminuyo en 13 l/h/d esta disminución es mayor con respecto al aumento del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo en 0.61 %., la disminución fue mayor con respecto al año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó 1.46 % este aumento es mayor con respecto al del año anterior, la eficiencia comercial aumentó 2.89 % este aumento fue mayor en comparación con la disminuciones año anterior. Por ultimo micro y macro medición aumentó 7.25% este aumento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.11%, este aumento es menor con respecto al año anterior, el consumo disminuye en 2 l/h/d, esta disminución es menor al del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni excusado disminuyo en 0.13%. Esta disminución es mayor con respecto al año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó 1.38 %, este aumento es mayor con respecto al aumento del año anterior. La eficiencia comercial disminuyo 0.71 %, esta disminución es menor con respecto al aumento del año anterior. Y con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento, Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2017 vs 2018	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo aumentó 0.03 %, el aumento fue menor con respecto a la disminución del año anterior, el consumo aumentó 1 l/h/d este aumento es menor con respecto a la disminución del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo en 0.13 %., la disminución fue menor con respecto al año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física aumentó 0.77% este aumento es menor con respecto al del año anterior, la eficiencia comercial disminuyo 0.02% esta disminución fue menor en comparación con el aumento del año anterior, y por ultimo micro y macro medición aumentó 3.46% este aumento fue menor con respecto a la del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad el indicador de relación tarifa costo disminuyo 0.09 %, esta disminución es menor con respecto al aumento del año anterior. El consumo disminuye en 2 l/h/d, esta disminución es igual al del año anterior, el indicador de viviendas sin agua entubada ni drenaje ni excusado disminuyo en 0.01%. Esta disminución es menor con respecto al año anterior. En el componente de capacidad de adaptación, la eficiencia física disminuyo 1.05 %, esta disminución es menor con respecto al aumento del año anterior. La eficiencia comercial disminuyo 0.73 %, esta disminución es mayor con respecto al año anterior. Con respecto al indicador micro y macro medición se mantienen igual durante el periodo 2008-2018 con el 100% de cobertura. Se observa que aunque la sensibilidad disminuyo pero en dos de tres indicadores de capacidad de adaptación hubo un aumento, Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.

Fuente: Elaboración propia.

11.3. Análisis de la variación de vulnerabilidad ambiental

El análisis de la vulnerabilidad ambiental del AMG y AHM se muestra en la Figura 122 Y Tabla 140



Figura 122.-Variación de los indicadores que componen la vulnerabilidad A del AMG y AHM (2008-2018)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 140.- Análisis de la variación de los indicadores de vulnerabilidad A del AMG y AHM

Año	AMG	AHM
2008 vs 2009	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo una disminución de 2.30 mg/l, el indicador de SDT tuvo un incremento de 8.51 mg/l. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado hubo un decremento de 0.21 (%). Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento en el 2008 son: uno y cinco y tres, cuatro y seis en el 2009 los métodos uno y cinco.	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo una disminución de 5.23 mg/l, el indicador de SDT tuvo una disminución de 7.71 mg/l. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado en el periodo del 2008 al 2018 fue del 100%. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis
2009 vs 2010	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo un incremento de 4.01 mg/l, el incremento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior, el indicador de SDT tuvo una disminución de 50.94 mg/l esta disminución fue mayor con respecto al incremento del año anterior. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado hubo un incremento de 2.42 (%) este incremento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo un incremento de 0.68 mg/l, este incremento fue menor con respecto a la disminución del año anterior. El indicador de SDT tuvo un aumento de 15,41 mg/l, este aumento es mayor con respecto a la disminución del año anterior. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado en el periodo del 2008 al 2018 fue del 100%. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2010 vs 2011	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo una disminución de 1.16 mg/l, la disminución fue menor con respecto al incremento del año anterior, el indicador de SDT tuvo una	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo una disminución de 1.35 mg/l, esta disminución es mayor con respecto al incremento del año anterior. El indicador de SDT

Año	AMG	AHM
	disminución de 50.94 mg/l esta disminución fue mayor con respecto al incremento del año anterior. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado hubo un incremento de 0.24 (%) este incremento fue menor con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	tuvo una disminución de 30.82 mg/l, esta disminución es mayor con respecto al incremento del año anterior. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado en el periodo del 2008 al 2018 fue del 100%. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2011 vs 2012	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo una disminución de 1.25 mg/l, la disminución fue mayor con respecto al del año anterior, el indicador de SDT tuvo un incremento de 73.34 mg/l este incremento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado hubo un incremento de 7.63 (%) este incremento fue mayor con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo un aumento de 0.22 mg/l, este incremento es menor con respecto a la disminución del año anterior. El indicador de SDT tuvo un incremento de 61.5 mg/l, este incremento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado en el periodo del 2008 al 2018 fue del 100%. Esto daría como resultado una vulnerabilidad igual o menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.
2012 vs 2013	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo un incremento de 1.91 mg/l, el incremento fue mayor con respecto al decremento del año anterior, el indicador de SDT tuvo un incremento de 9.04 mg/l este incremento fue mayor con respecto a la disminución del año anterior. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado hubo un incremento de 3.07 (%) este incremento fue menor con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una vulnerabilidad mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: tres, cuatro y seis.	En el componente de sensibilidad el indicador DBO tuvo un aumento de 0.51 mg/l, este incremento es mayor con respecto al del año anterior. El indicador de SDT tuvo una disminución de 123 mg/l, esta disminución es mayor con respecto al incremento del año anterior. Con respecto a la capacidad de adaptación en el indicador volumen tratado en el periodo del 2008 al 2018 fue del 100%. Esto daría como resultado una vulnerabilidad menor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno y cinco y tres, cuatro y seis.

Fuente: Elaboración propia.

11.4. Análisis de la variación de exposición socioeconómica

La exposición socioeconómica del AMG y AHM solo tiene un indicador, el indicador de densidad de población, el cual ha ido en aumento del periodo 2008-2018 (Figura 123).

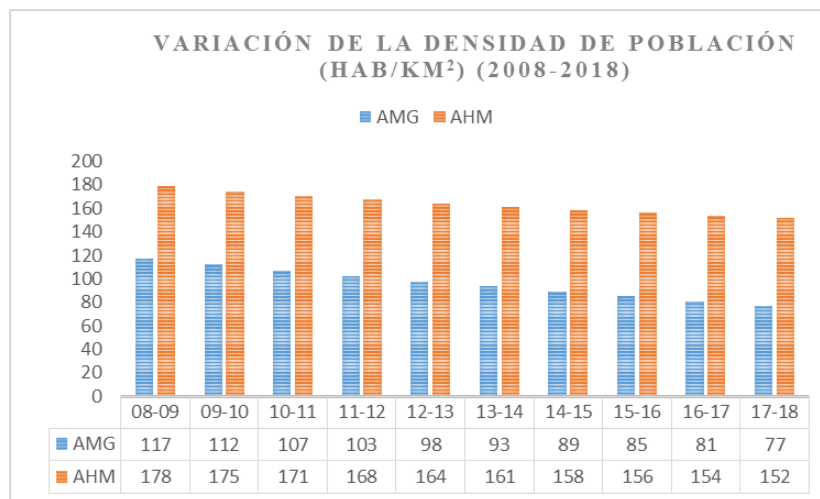


Figura 123.-Variación de los indicadores que componen la exposición SE del AMG y AHM (2008-2018)

Fuente: Elaboración propia

11.5. Análisis de la variación de exposición de gestión institucional

Con respecto a la exposición de gestión institucional en el AHM el indicador de volumen de agua potable producido tuvo se ha ido incrementando del periodo 2008-2018. con respecto al indicador de horas con servicio continuo durante el periodo del 2008-2018 fue del 100%. Esto daría como resultado una exposición menor en el 2008 e incrementarse cada año hasta llegar a una exposición mayor en el 2018. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos, y cinco y tres, cuatro y seis (Figura 124). El análisis de la exposición de GI del AMG se muestra en la Tabla 141.

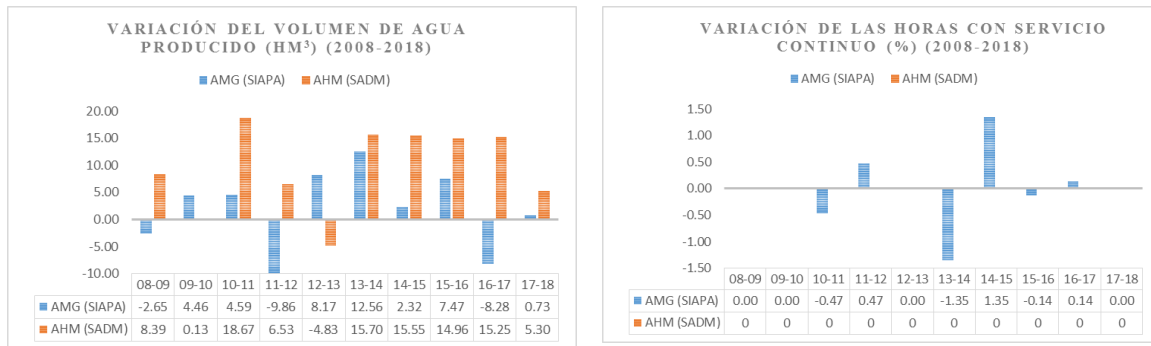


Figura 124.- Variación de los indicadores que componen la exposición GI del AMG y AHM (2008-2018)
Fuente: Elaboración propia

Tabla 141.- Análisis de la variación de los indicadores de exposición GI del AMG y AHM

Año	AMG
2008 vs 2009	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo una disminución de 2.65 hm ³ , con respecto al indicador de horas con servicio continuo no tuvo ningún cambio. Esto daría como resultado una exposición menor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis
2009 vs 2010	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo un incremento de 4.46 hm ³ , este incremento es mayor con respecto a la disminución del año anterior. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo no tuvo ningún cambio con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una exposición mayor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis
2010 vs 2011	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo un incremento de 4.46 hm ³ , este incremento es mayor con respecto al del año anterior. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo tuvo una disminución de 0.47%. Esto daría como resultado una exposición mayor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis.
2011 vs 2012	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo una disminución de 9.86 hm ³ , esta disminución es mayor con respecto al del año anterior. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo tuvo un aumento de 0.47%, este aumento es igual a la disminución del año anterior. Esto daría como resultado una exposición menor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis
2012 vs 2013	EL indicador de volumen de agua potable producido tuvo un incremento de 8.17 hm ³ , este aumento es menor con respecto a la disminución de del año anterior. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo no tuvo ningún cambio, con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una exposición mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis
2013 vs 2014	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo un incremento de 12.56 hm ³ , este aumento es mayor con respecto al del año anterior. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo tuvo una disminución de 1.35% esta disminución es mayor con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una exposición mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco.
2014 vs 2015	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo un incremento de 2.32 hm ³ , este aumento es menor con respecto al del año anterior. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo tuvo un aumento de 1.35% este aumento es igual a la disminución del año anterior. Esto daría como resultado una exposición mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis
2015 vs 2016	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo un incremento de 7.47 hm ³ , este incremento es mayor con respecto al año anterior. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo tuvo una disminución de 0.14 % esta disminución es menor con respecto al incremento del año anterior. Esto daría como resultado una exposición mayor o igual con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis
2016 vs 2017	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo una disminución de 8.28 hm ³ , esta disminución menor con respecto al incremento del periodo 2013-2016. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo tuvo un aumento de 0.14 %

	este aumento es igual a la disminución del año anterior. Esto daría como resultado una exposición igual o mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis
2017 vs 2018	El indicador de volumen de agua potable producido tuvo un aumento de 0.73 hm ³ , este aumento es menor que la disminución del año anterior. Con respecto al indicador de horas con servicio continuo tuvo ningún cambio con respecto al año anterior. Esto daría como resultado una exposición igual o mayor con respecto al año anterior. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son: uno, dos y cinco y tres, cuatro y seis

Fuente: Elaboración propia.

11.6. Análisis de la variación de exposición ambiental

El análisis de la vulnerabilidad ambiental del AMG y AHM se muestra en la Figura 122 Y Tabla 140. En el AMG el indicador de grado de presión del recurso hídrico ha ido en aumento del periodo 2008-2018, Se observa que el comportamiento de los indicadores va desde muy baja hasta muy alta. Todos los métodos se ajustan a este comportamiento. Con respecto al AHM se observa que el grado de presión aumento en los años 2009 y 2010, y luego disminuyo en el periodo 2011-2013, posteriormente aumento en el periodo 2014-2016 y finalmente disminuyo en el periodo 2017-2018. Los métodos que mejor se ajustan a este comportamiento son tres, cuatro y seis.

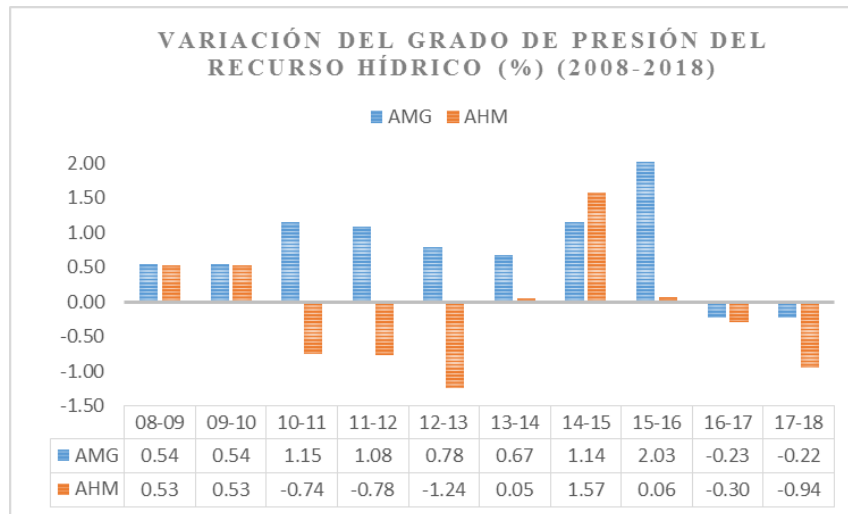


Figura 125.-Variación de los indicadores que componen la exposición A del AMG y AHM (2008-2018)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 12.- Análisis FODA aplicada a metodologías de riesgo de sequía

Se realiza una discusión de las metodologías de riesgo ante la sequía donde está involucrada el área urbana de manera directa o indirectamente. Las metodologías se analizaron mediante la estructura de la metodología FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) (Figura 126). En la Tabla 142 se describen las metodologías a evaluar, en la Tabla 143 se describen los pasos para la construcción del índice de riesgo ante la sequía que se utilizó en cada una de ellas con el objetivo de conocer sus aportaciones, similitudes y diferencias con respecto a la metodología propuesta en este estudio doctoral. Por último, se realizó el análisis FODA de estas metodologías analizando los siguientes elementos: Metodología, escala espacial indicadores de vulnerabilidad, exposición y amenaza, formulas y resultados.

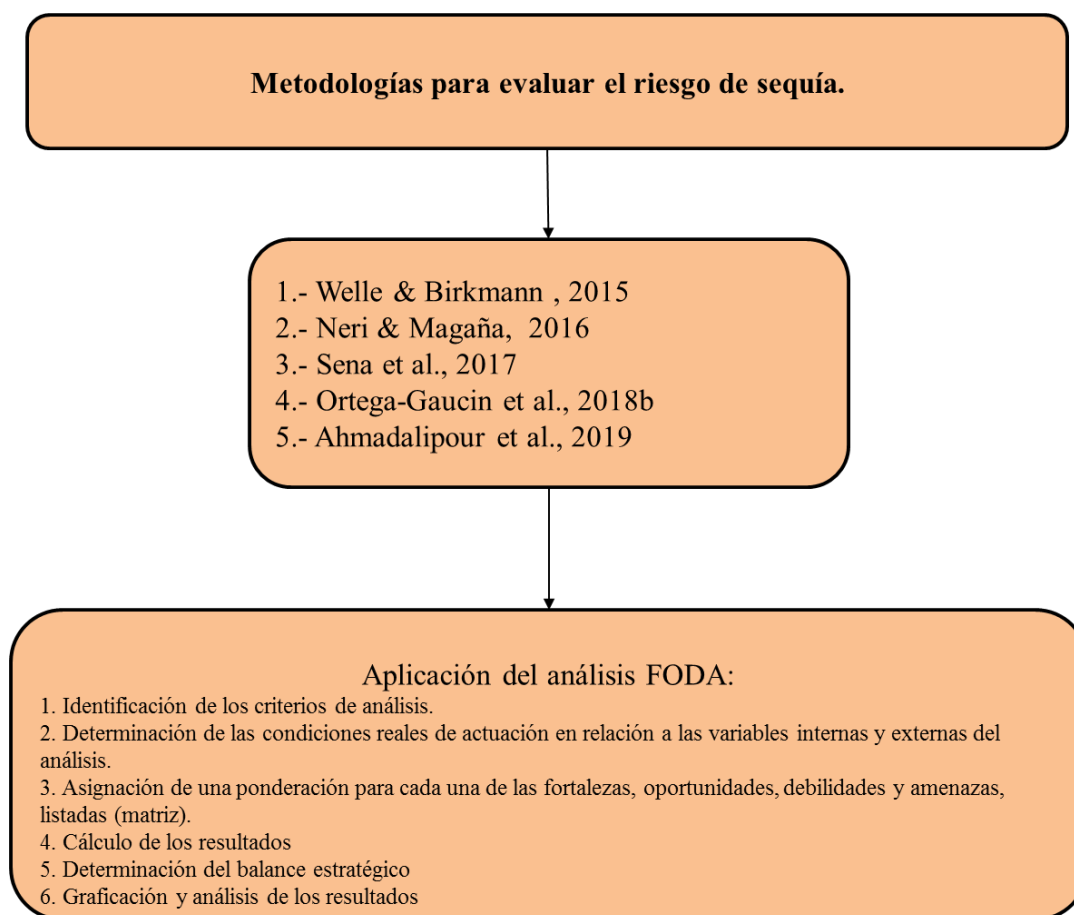


Figura 126.-Diagrama de las metodologías para analizar con la estructura FODA

Tabla 142.- Metodologías publicadas para evaluar el riesgo de sequía donde está involucrada el área urbana de manera directa o indirectamente.

Concepto	Metodologías analizadas				
	1.- The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale	2.- Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico.	3.- Indicators to measure risk of disaster associated with drought: Implications for the health sector.	4.- Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México.	5.- Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth
Autor/año	Welle & Birkmann (2015)	Neri & Magaña (2016)	Sena et al. (2017)	Ortega-Gaucin et al. (2018b)	Ahmadalipour et al. (2019)
Zona de estudio	País (173 países)	Región Hidrológica Administrativa (RHA) Nacional México	Brasil (Municipal)	México (Municipal)	África (Nacional)
Contenido y objetivo	Muestra el método y los datos para el cálculo del Índice de Riesgo Mundial, los resultados generales de las clasificaciones de países se validan mediante un análisis de incertidumbre. Su objetivo es proporcionar un nuevo enfoque para evaluar el riesgo y la vulnerabilidad a los peligros naturales en la escala de país y permite la comparación de los países a escala mundial.	Desarrolla una metodología para estimar la vulnerabilidad y el riesgo de sequía, considerando los factores físicos, económicos y sociales que hacen que las regiones de México sean propensas a sufrir sequías hidrológicas y agrícolas. El método propuesto define el objeto en estudio, la amenaza natural y los factores de vulnerabilidad por medio de indicadores.	Investigan los factores que contribuyen a los riesgos para la salud de la sequía en Brasil.	Presentan los resultados de la aplicación de una metodología propuesta para determinar índices municipales de peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en México. Su objetivo es proponer una metodología para determinar índices y mapas de peligro, vulnerabilidad (económica, social y ambiental) y riesgo por sequía, usando indicadores relativos a escala municipal.	El riesgo de sequía se evalúa a nivel nacional en África, y se investigan los impactos del cambio climático, el crecimiento de la población y las vulnerabilidades socioeconómicas sobre el riesgo de sequía. Se emplean análisis multimodelo y multiescenario para cuantificar el peligro de sequía utilizando un conjunto de 10 modelos climáticos regionales y un índice de sequía multiescalar.
Resultados y conclusiones	Los resultados se mapearon y clasificaron por medio de un sistema GIS para mostrar diferentes patrones de exposición, vulnerabilidad y riesgo a escala global. La perspectiva global del riesgo muestra claramente que la vulnerabilidad de	La metodología propuesta demostró ser útil para explicar los contrastes espaciales y temporales de las sequías hidrológicas y agrícolas en el norte de México en los últimos años, es decir, las regiones semiáridas, donde el déficit hídrico es un	Indicadores como el acceso al agua corriente, el analfabetismo y la pobreza muestran marcadas diferencias en la mayoría de los estados y, en casi todos los estados, las condiciones de vida de las comunidades de la región semiárida son peores que en el resto de	Los resultados indican que la metodología es viable para su aplicación a nivel nacional, e inclusive puede ser adaptado para aplicarse a nivel estatal o regional. El mapa final muestra que los estados de la república mexicana que tienen mayor proporción de municipios con alto y muy alto riesgo por	Los resultados muestran que se espera que el riesgo de sequía aumente en el futuro en África con tasas variadas para diferentes modelos y escenarios. Aunque los países del norte de África indican un peligro de sequía agravante, la proporción de riesgo de sequía es más alta en los países de África central como consecuencia de la

Concepto	Metodologías analizadas				
	1.- The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale	2.- Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico.	3.- Indicators to measure risk of disaster associated with drought: Implications for the health sector.	4.- Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México.	5.- Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth
	una sociedad o un país no es lo mismo que la exposición a los peligros naturales.	problema constante. Los indicadores de vulnerabilidad propuestos funcionan mejor para el centro y norte de México.	cada estado. Hay municipios con alto riesgo de desastres por sequía en todos los estados y hay un mayor número de municipios con mayor riesgo desde el centro hacia el norte de la región semiárida.	sequía son los del noroeste (Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa) y los de la altiplanicie mexicana (Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Jalisco, Zacatecas, Michoacán).	vulnerabilidad y el aumento de la población en esa región. Los resultados indican que si no se implementa la adaptación al cambio climático, décadas antes se producirán peligros y riesgos de sequía sin precedentes. Además, se considera que controlar el crecimiento de la población es imperativo para mitigar el riesgo de sequía en África (incluso más eficaz que la mitigación del cambio climático), ya que mejora la vulnerabilidad socioeconómica y reduce la exposición potencial a la sequía.

Fuente. Elaboración propia con base en Welle & Birkmann (2015); Neri & Magaña (2016); Sena et al. (2017); Ortega-Gaucin et al. (2018b) y Ahmadalipour et al. (2019).

Tabla 143.- Descripción de los pasos para la construcción del índice de vulnerabilidad ante cambio climático de las metodologías publicadas en los sectores hídrico y agrícola, que se han presentado en México a lo largo del presente siglo.

	Metodologías				
	1.- The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale	2.- Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico.	3.- Indicators to measure risk of disaster associated with drought: Implications for the health sector.	4.- Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México.	5.- Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth
Autor/año	Welle & Birkmann (2015)	Neri & Magaña (2016)	Sena et al. (2017)	Ortega-Gaucin et al. (2018b)	Ahmadalipour et al. (2019)
1.- Variables e indicadores	<p>Exposición (E):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Población expuesta a la sequía. -Población expuesta a terremotos -Población expuesta a tormentas -Población expuesta a inundaciones -Población expuesta al aumento del nivel del mar <p>Sensibilidad (S):</p> <p>a) Infraestructura publica</p> <ul style="list-style-type: none"> - población sin acceso a saneamiento mejorado (%) - población sin acceso a una fuente de agua mejorada (%) <p>b) Nutrición: % población desnutrida</p> <p>c) Pobreza y dependencia</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tasa de dependencia - Pobreza extrema <p>d) Capacidad económica e ingresos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Producto interno bruto per cápita - índice de Gini <p>Capacidad de afrontamiento (CC):</p> <p>a) Gobierno y autoridades</p> <ul style="list-style-type: none"> - Índice de percepción de la corrupción - Índice de estados fallidos <p>b) Servicios médicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Número de camas de hospital por 10,000 habitantes 	<p>Vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presión del recurso hídrico - Estado de los acuíferos - % de tratamiento de aguas residuales - Tarifa de agua en áreas urbanas - Productividad del agua en el distrito de riego - Capacidad de almacenamiento de agua en los principales embalses <p>Amenaza (H):</p> <p>Índice de precipitación estandarizado (SPI)</p>	<p>Exposición:</p> <ul style="list-style-type: none"> - % de la población que vive en hogares sin agua corriente <p>Vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Nivel educativo -Pobreza <p>Amenaza (H):</p> <ul style="list-style-type: none"> -Número de evaluaciones de daños por sequía y los casos históricos de sequía. 	<p>Grado de exposición (GE)</p> <p><u>Económica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Densidad de población (hab/km2) - Población económicamente activa desocupada (%) <p><u>Social:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Población en condiciones de pobreza (%) - Población sin derechohabencia a servicios de salud (%) - Población analfabeta (%) <p><u>Ambiental:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Grado de explotación de las cuencas (adim.)* - Grado de explotación de los acuíferos (adim.)* <p>Sensibilidad (S)</p> <p><u>Económica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Valor de la producción agrícola de riego y temporal (miles \$) - Valor de la producción del ganado en pie (miles \$) <p><u>Social:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Viviendas sin agua entubada (%) - Viviendas sin drenaje ni excusado (%) - Viviendas sin energía eléctrica (%) - Viviendas con piso de tierra (%) <p><u>Ambiental:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Deforestación (% de área critica forestal) - Superficie afectada por incendios forestales (ha) 	<p>Exposición:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Crecimiento de la población (%)) <p>Vulnerabilidad:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 28 factores de seis sectores diferentes de uso de la tierra, economía, salud, energía e infraestructura, recursos sociales y de agua. <p>Amenaza (H):</p> <p>Índice de Evapotranspiración de Precipitación Estandarizado (SPEI)</p>

	Metodologías				
	1.- The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale	2.- Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico.	3.- Indicators to measure risk of disaster associated with drought: Implications for the health sector.	4.- Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México.	5.- Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth
	<ul style="list-style-type: none"> - Número de médicos por 10,000 habitantes c) Cobertura de material - Seguro (excepto seguro de vida) <p>Capacidad de adaptación (CA):</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Gobierno y autoridades - Índice de Percepción de la corrupción b) Protección ambiental del ecosistema - recursos de agua - la biodiversidad y protección al hábitat. 			<p>Capacidad de Adaptación (CA)</p> <p><u>Económica:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Superficie rehabilitada al riego (ha) - Superficie agrícola tecnificada (ha) - Longitud de caminos rurales (km) <p><u>Social:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Ingreso per cápita anual (dólares) - Beneficiarios del programa Oportunidades (%) - Beneficiarios del programa Liconsa (%) - Años promedio de escolaridad (adim.) <p><u>Ambiental:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Superficie reforestada (ha) - Áreas naturales protegidas (% de área) <p>Probabilidad de ocurrencia de sequía (P):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Número de meses con sequía (A) - Número total de registros en el periodo (N) 	
2.- Método de normalización	Diversos métodos por cada indicador	Método de re-escalamiento	No se menciona	Método de re-escalamiento	Método de re-escalamiento
3.- Método de ponderación	Pesos iguales (juicio de expertos)	Juicio de expertos	Pesos iguales	Iyengar y sudarshan	Pesos iguales
4.-Formula para el calculo del Índice de vulnerabilidad	$V = \frac{1}{3} * (S + (1 - CC) + (1 - CA))$	$VI(t) = \frac{\sum_{i=1}^n wiVr_i(t)}{n}$ <p>Donde n es el número de indicadores y wi es el factor de ponderación que representa la importancia del factor de vulnerabilidad i en el índice de</p>	$V = (p + e)/2$ <p>Donde=pobreza y e=nivel educativo</p>	$V = f(GE + S - CA)$ $IVG = \frac{IVE}{3} + \frac{IVS}{3} + \frac{IVA}{3}$ <p>Dónde: IVE=vulnerabilidad económica, IVS=vulnerabilidad social y IVA=vulnerabilidad ambiental.</p>	$D = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_{12}}{12}$ <p>Dónde: D_1, D_2, \dots, D_{12} representar la serie de tiempo DVI para un país en particular en 1960, 1965, ..., 2015, respectivamente</p>

	Metodologías				
	1.- The World Risk Index – An Approach to Assess Risk and Vulnerability on a Global Scale	2.- Estimation of vulnerability and risk to meteorological drought in Mexico.	3.- Indicators to measure risk of disaster associated with drought: Implications for the health sector.	4.- Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México.	5.- Future drought risk in Africa: Integrating vulnerability, climate change, and population growth
		vulnerabilidad media o compuesta.			
5.- Formula para el calculo de la exposición	$Exp = \frac{A + B + C + (0.5 * D + E)}{N}$ <p>Dónde: Exp = Exposición; A = Personas expuestas a terremotos; B = Personas expuestas a tormentas; C = Personas expuestas a inundaciones; D = Personas expuestas a sequías; E = Personas expuestas al aumento del nivel del mar; N = Número de población.</p>	No hay	No hay formula puesto que es un solo indicador.	No hay	No hay formula puesto que es un solo indicador.
6.- Formula para el calculo de Riesgo	$R = E * V$	$R = H * V$	$R = (H + V + E)/3$	$P = \frac{A}{N}$ $IR = P * IVG$	$R = H * E * V$

Fuente. Elaboración propia con base en Welle & Birkmann (2015); Neri & Magaña (2016); Sena et al. (2017); Ortega-Gaucin et al. (2018b) y Ahmadalipour et al. (2019).

Procedimiento para la construcción del análisis FODA: Para la elaboración del análisis FODA se tomó como base, la metodología propuesta por Ramírez (2017) quien sugiere los siguientes pasos:

1. Identificación de los criterios de análisis.
2. Determinación de las condiciones reales de actuación en relación a las variables internas y externas del análisis.
3. Asignación de una ponderación para cada una de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, listadas (matriz).
4. Cálculo de los resultados
5. Determinación del balance estratégico
6. Graficación y análisis de los resultados

Pasos 1 y 2.- Identificación de los criterios de análisis y determinación de las condiciones reales de actuación en relación a las variables internas y externas del análisis.

Se inicia con los conceptos de las variables internas (Fortalezas y Debilidades) y luego con las externas (Oportunidades y Amenazas) por razón de agrupar los conceptos dentro de su misma categoría (Ramírez, 2002). Los elementos de análisis para este trabajo son: metodología, escala espacial, indicadores de vulnerabilidad, exposición y amenaza, formulas, resultados. La Tabla 144 muestra la matriz FODA por cada autor.

- Fortaleza. Es algo en lo que la metodología es competente, se traduce en aquellos elementos o factores que estando bajo su control, mantiene un alto nivel de desempeño, generando ventajas o beneficios presentes y claros, con posibilidades atractivas en el futuro.

- Debilidad. Significa una deficiencia o carencia, algo en lo que tiene bajos niveles de desempeño y por tanto es vulnerable, denota una desventaja ante la competencia, con posibilidades pesimistas o poco atractivas para el futuro. Constituye un obstáculo para la consecución de los objetivos, aun cuando está bajo el control de la metodología.

- Oportunidades. Son aquellas circunstancias del entorno que son potencialmente favorables para la metodología y pueden ser cambios o tendencias que se detectan y que pueden ser utilizados ventajosamente para alcanzar o superar los objetivos.

- Amenazas. Son factores del entorno que resultan en circunstancias adversas que ponen en riesgo el alcanzar los objetivos establecidos, pueden ser cambios o tendencias que se presentan repentinamente o de manera paulatina, las cuales crean una condición de incertidumbre e inestabilidad en donde la metodología tiene muy poca o nula influencia.

Paso 3 y 4.-Asignación de una ponderación para cada una de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, listadas (matriz) y cálculo de los resultados:

Ramírez, (2002) propone una escala _de 1 a 3, dónde el 3 denota el nivel mayor de importancia, el 2 el nivel medio y el 1 el nivel más bajo y posteriormente se calculan los resultados de la siguiente manera: para el análisis por criterio, se debe sumar (horizontal o por renglón) el total de números asignados a la lista de cada una de las variables (fortalezas, debilidades etc.) correspondientes a cada criterio de análisis, obteniéndose así un total que

expresado en porcentaje significa el 100% de la cantidad. A su vez se deben calcular los porcentajes individuales de cada una de las variables por criterio, esto se realiza dividiendo la suma de las ponderaciones de cada variable en su respectivo renglón (horizontal), entre la suma total del renglón es decir, lo que corresponde al 100% (Tabla 144).

Tabla 144.- Matriz FODA de las metodologías a evaluar pasos 1,2,3 y 4.

Autor	Fortalezas	Debilidades	Oportunidades	Amenazas	Total
Welle & Birkmann (2015)	-La selección de indicadores fue evaluada por expertos (3) -Metodología fácil de replicar (3)	-No todos los indicadores que se mencionan se integraron al cálculo debido a la falta de disponibilidad de datos a nivel mundial. (1)	-Podría servir como herramienta para orientar las políticas destinadas a reducir la exposición y la sensibilidad y el aumento de la Capacidad de Adaptación (2)	-Podrían no reflejar las vulnerabilidades puntuales debido a su escala de estudio (3)	12
Total	6=50%	1=8%	2=17%	3=25%	100%
Neri & Magaña (2016)	-Indicadores fáciles de entender (3)	-Indicadores de vulnerabilidad insuficientes ya que los indicadores de vulnerabilidad propuestos funcionan mejor para una región que para otra (3)	-El análisis del riesgo de sequía podría ser útil para definir medidas estructurales para reducir la vulnerabilidad en las áreas donde los indicadores de vulnerabilidad funcionen (3)	-Debido a la escases de la información el resultado puede no reflejar la vulnerabilidad real en esas regiones (3)	12
Total	3=25%	3=25%	3=25%	3=25%	100%
Sena et al. (2017)	-Indicadores fáciles de entender (2) -Escala fina (1)	-Indicadores insuficientes (3)	-Debido a la escala de estudio, facilita la implementación y evaluación de políticas, se focaliza la inversión pública en prevención y mitigación en necesidades concretas (2)	-Debido a los escases de la información el resultado puede no reflejar la vulnerabilidad real. (3)	11
Total	3=27%	3=27%	2=18%	3=27%	100%
Ortega-Gaucin et al. (2018b)	-Metodología fácil de replicar (3) -Escala fina (2)	-No se incluye el juicio de expertos para la determinación de los pesos (3)	-Debido a la escala de estudio facilita la implementación y evaluación de políticas, se focaliza la inversión pública en prevención y mitigación en necesidades concretas (3)	-Calidad de la información de los indicadores (1)	12
Total	5=42%	3=25%	3=25%	1=8%	100%
Ahmadalipour et al. (2019)	Indicadores fáciles de entender (3)	-En algunos casos, los datos de indicadores son limitados antes de la década de 1980. (2)	-Podría servir como herramienta para orientar las políticas destinadas a reducir la exposición y la sensibilidad y el aumento de la Capacidad de Adaptación (2)	-Podrían no reflejar las vulnerabilidades puntuales debido a su escala de estudio y a la falta de información (3)	10
Total	3=30%	2=20%	2=20%	3=30%	100%

Fuente: Elaboración propia

Pasos 5. y 6 - Determinación del balance estratégico y graficación y análisis de los resultados.

El balance estratégico es la relación que guardan entre sí el factor de optimización y riesgo de la metodología y puede tanto favorecer como inhibir el desarrollo de estrategias competitivas. El factor de optimización indica la posición favorable de la metodología respecto a sus activos competitivos y las circunstancias que potencialmente pueden significar un beneficio importante para adquirir ventajas competitivas en el futuro. El factor de riesgo por el contrario muestra un pasivo competitivo y aquellas condiciones que limitan el desarrollo futuro para la aplicación de la metodología. Las fórmulas para obtener el factor de optimización y riesgo son las siguientes:

$$\text{Factor de optimización} = \text{Fortalezas (F)} + \text{Oportunidades(O)} \quad (1)$$

$$\text{Factor de riesgo} = \text{Debilidades (D)} + \text{Amenazas (A)} \quad (2)$$

El balance estratégico ideal entre el factor de optimización y el factor de riesgo en cada caso, no es del 50% y 50% entre ellos, sino que, debe superar por cierto margen el primero al segundo, en busca de la mejor condición para operar (Ramírez, 2017). La Tabla 145 muestra el balance estratégico.

Tabla 145.- Balance estratégico

Autor	Factor de optimización (%) F+O	Factor de riesgo (%) D+A	Total (%)
Welle & Birkmann (2015)	67	33	100
Neri & Magaña (2016)	50	50	100
Sena et al. (2017)	45	55	100
Ortega-Gaucin et al. (2018b)	67	33	100
Ahmadalipour et al. (2019)	50	50	100

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la metodología propuesta por Well & Birkman (2015), muestra que el factor de optimización es mayor al factor de riesgo, debido principalmente que su metodología es entendible y se involucraron el juicio de expertos. Entre los aspectos de factores de riesgo es que no se mencionan que indicadores se descartaron por falta de información, además debido a su escala a nivel país se podría generalizar y es más difícil identificar las vulnerabilidades puntuales (Figura 127).

Con respecto a la metodología propuesta por Neri & Magaña (2016), muestra que el factor de optimización y el factor de riesgo son iguales esto se debió a que su metodología se explica y sus indicadores son fáciles de entender, sin embargo resultaron insuficientes para obtener la vulnerabilidad real de todas las regiones de estudio (Figura 128).

Los resultados de la metodología propuesta por Sena et al. (2017), muestra que el factor de riesgo es mayor al factor de optimización, debido principalmente a que su metodología se explica, sus indicadores son fáciles de entender y su escala de estudio es fina, sin embargo la metodología podría no resultar útil por falta de indicadores (Figura 129).

La metodología propuesta por Ortega Gaucin et al. (2018b), muestra que el factor de optimización es mayor al factor de riesgo, debido principalmente que su metodología es entendible, su estudio está a una escala fina, sus indicadores son entendibles. Entre los aspectos de factores de riesgo es que no se incluye el juicio de expertos en la ponderación de los indicadores y esto podría no reflejar la vulnerabilidad real (Figura 130).

Finalmente la metodología propuesta por Ahmadalipour et al. (2019), muestra que el factor de optimización y el factor de riesgo son iguales esto se debió a que sus indicadores son fáciles de entender, sus fuentes de información son reconocidas sin embargo hicieron sus cálculos de vulnerabilidad con faltante de datos en algunos años, su metodología se describe en dos artículos por separado y algunos anexos que mencionan no está disponibles de manera pública (Figura 131).

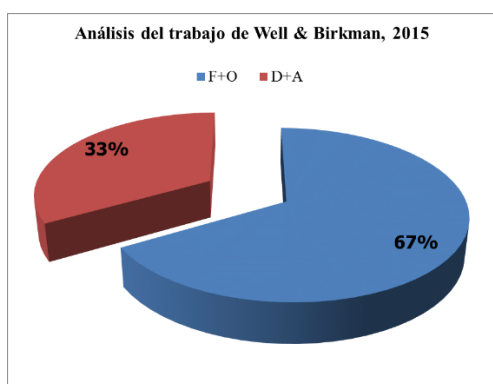


Figura 127. Análisis del trabajo de Well & Birkman (2015)
Fuente: Elaboración propia

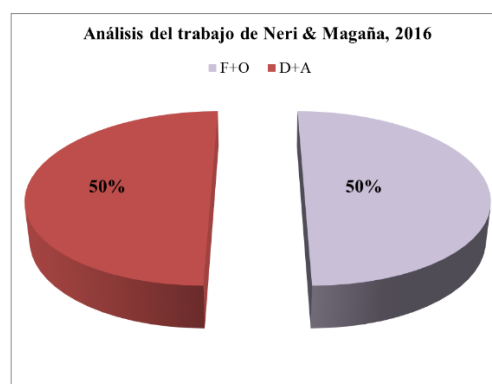


Figura 128. Análisis del trabajo de Neri & Magaña (2016)
Fuente: Elaboración propia

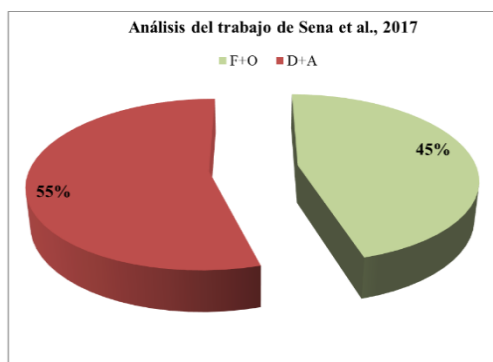


Figura 129. Análisis del trabajo de Sena et al. (2017)
Fuente: Elaboración propia

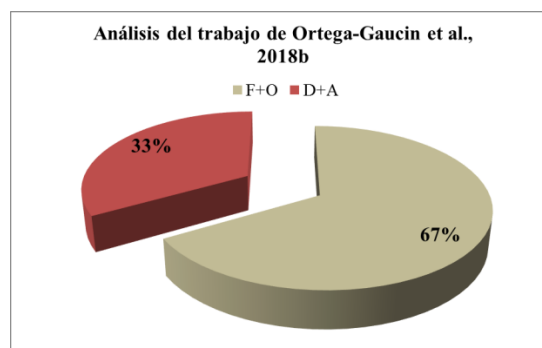


Figura 130. Análisis del trabajo de Ortega-Gaucin et al. (2018b)
Fuente: Elaboración propia

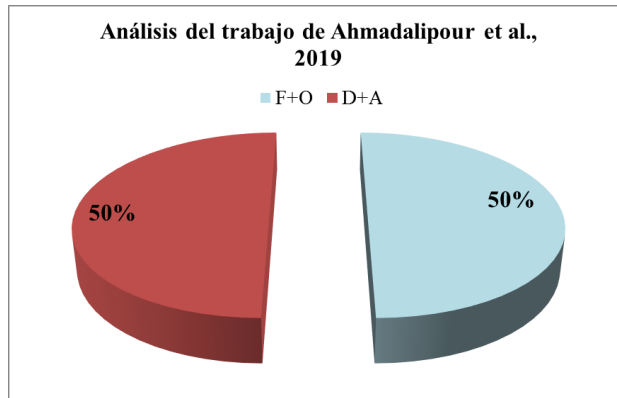


Figura 131. Análisis del trabajo de Ahmadalipour et al. (2019)
Fuente: Elaboración propia