

Metodología para el análisis de riesgo de efectos de cambio climático en agua potable

Informe final

DP: 1403.1

JEFE DE PROYECTO: *HÉCTOR DAVID CAMACHO GONZÁLEZ*



CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ANTECEDENTES.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
1. MARCO LEGAL.....	12
1.1 LEY DE PLANEACIÓN.....	12
1.2 LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	13
1.3 ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	15
2. LA VULNERABILIDAD COMO CONCEPTO BASE DEL ANÁLISIS.....	18
2.1 PANEL INTERGUBERNAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC).....	18
2.2 INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC).....	19
2.3 COMISIÓN INTERSECRETARIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO.....	19
2.4 DEPARTAMENTO DE SALUD Y AMBIENTE DE KANSAS, ESTADOS UNIDOS.....	20
2.5 COMISIÓN ECONÓMICA DE PARA AMÉRICA LATINA.....	20
2.6 TSUYOSHI HASHIMOTO.....	20
2.5 VÍCTOR MAGAÑA.....	21
2.7 COOPERACIÓN SUIZA EN AMÉRICA LATINA.....	21
2.8 METODOLOGÍA PARA VALORAR ÍNDICES DE VULNERABILIDAD.....	21
3. UN PANORAMA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	25
3.1 METODOLOGÍAS PARA EVALUAR EL RIESGO.....	28
3.1.1 MÉTODOS CUALITATIVOS.....	28
3.1.2 MÉTODOS SEMI-CUANTITATIVOS:.....	28
3.1.3 MÉTODOS CUANTITATIVOS:.....	29
4. ORGANISMOS OPERADORES DE AGUA POTABLE.....	31
4.1 ESTADÍSTICAS DE LOS ORGANISMOS OPERADORES DE AGUA EN MÉXICO.....	31
4.2 LOS ORGANISMOS OPERADORES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO.....	39
5. METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE RIESGO.....	44
5.1 METODOLOGÍAS PARA EL ANALISIS DE RIESGO.....	45
5.1.1 RIESGO EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE.....	49
5.2 PROPUESTA METODOLÓGICA.....	50

5.2.1 ANALISIS DE VULNERABILIDAD.....	51
5.2.2 ANALISIS DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA AMENAZA.....	59
5.2.3 CÁLCULO DEL RIESGO ACTUAL Y FUTURO.....	61
6. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA: CASO DE MEXICALI.	63
6.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD	65
6.1.1 Etapa A. Seleccionar los indicadores	65
6.1.2 Etapa B. Normalizar y ponderar los datos	66
6.1.3. Etapa C Realizar una agregación	67
6.2 ANÁLISIS DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA AMENAZA	68
6.2.1 Horizonte temporal.....	69
6.2.2 Grado de la amenaza.....	70
6.2.3 Observaciones utilizadas (población).....	73
6.2.4 Probabilidad de ocurrencia de la amenaza	73
6.2.5 Valoración histórica y futura de la amenaza	95
Figura 27 Efecto de un incremento de la temperatura máxima en la distribución.....	100
6.3 CÁLCULO DEL RIESGO ACTUAL Y FUTURO	140
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	147
BIBLIOGRAFÍA	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura general de la Estrategia Nacional de Cambio Climático.....	16
Figura 2 enfoque para el estudio del Cambio Climático.....	41
Figura 3 Temperatura anual media 1961-1990 (Martinez, 2010).....	42
Figura 4 Proyección de anomalías de Temperatura 2061-2090 escenario A2 (Martinez, 2010).....	43
Figura 5. Etapas para la evaluación del riesgo ante el cambio climático en los sistemas operadores de agua potable.....	51
Figura 6. Etapas para determinar los factores de vulnerabilidad.....	53
Figura 7. Etapas para determinar la probabilidad de ocurrencia de la amenaza.....	62
Figura 8 Ubicación de la ciudad de Mexicali.....	64
Figura 9 Localización de la estación hidrométrica N° 2033 Mexicali.....	73
Figura 10 Histograma de temperatura media, mínima y máxima de la estación N° 2033 para el período 1990-2010.....	74
Figura 11 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de enero de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	75
Figura 12 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de febrero de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	77
Figura 13 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de marzo de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	79
Figura 14 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de abril de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	80
Figura 15 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de mayo de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	82
Figura 16 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de junio de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	84
Figura 17 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de julio de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	85
Figura 18 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de agosto de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	87
Figura 19 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de septiembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	88
Figura 20 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de octubre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	90
Figura 21 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de noviembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	92
Figura 22 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	93
Figura 22 Histogramas de la temperatura máxima de los meses de enero a junio de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	96
Figura 22 Histogramas de la temperatura máxima de los meses de julio a diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	97

Figura 22 Distribución de probabilidad normal	98
Figura 22 Distribución de probabilidad normal	99
Figura 22 Efecto de un incremento de la temperatura máxima en la distribución	100
Figura 23 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de enero	102
Figura 24 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de enero.	103
Figura 25 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de febrero.....	104
Figura 26 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de febrero.	106
Figura 27 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de marzo.....	107
Figura 28 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de marzo.	109
Figura 29 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de abril.....	110
Figura 30 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de abril.....	112
Figura 31 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de mayo	113
Figura 32 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de mayo.	115
Figura 33 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de junio.....	116
Figura 34 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de junio.	118
Figura 35 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de julio.....	119
Figura 36 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de julio.....	121
Figura 37 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de agosto.....	122
Figura 38 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de agosto.....	124
Figura 39 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de septiembre.....	125
Figura 40 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de septiembre.....	127
Figura 41 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de octubre	128
Figura 42 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de octubre.	130
Figura 43 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de noviembre.....	131

Figura 44 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de noviembre.....	133
Figura 45 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de diciembre.....	134
Figura 46 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de diciembre.....	136
Figura 47. Riesgo mensual considerando vulnerabilidad sin Cambio Climático periodo 2011-2030	144
Figura 48. Riesgo mensual considerando vulnerabilidad con Cambio Climático periodo 2011-2030.....	145
Figura 49. Riesgo mensual considerando vulnerabilidad con y sin Cambio Climático periodo 2011-2030.	146

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Definiciones de Vulnerabilidad.....	23
Tabla 2 Definiciones de Riesgo.....	27
Tabla 3 Cobertura nacional de servicios al año 2011.....	32
Tabla 4 Coberturas de Agua Potable año 2011.....	34
Tabla 5 Cobertura de Alcantarillado año 2011.....	35
Tabla 6 Cobertura de Agua Tratada año 2011.....	36
Tabla 7 Indicadores publicados por Conagua, 2012.....	38
Tabla 8 Eficiencias, ciudades mayores a 500 mil habitantes. Conagua 2012.....	39
Tabla 9 Selección de Indicadores de vulnerabilidad.....	54
Tabla 10 Niveles de ponderación.....	58
Tabla 11 Normalización y ponderación de rangos.....	67
Tabla 12 Índice de vulnerabilidad (2010). Mexicali.....	68
Tabla 13 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima de la estación N° 2033 para el período 1990-2010.....	74
Tabla 14 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de enero de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	75
Tabla 15 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de enero de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	76
Tabla 16 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de febrero de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	77
Tabla 17 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de febrero de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	78
Tabla 18 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de marzo de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	79
Tabla 19 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de marzo de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	80
Tabla 20 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de abril de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	81
Tabla 21 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de abril de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	81
Tabla 22 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de mayo de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	82
Tabla 23 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de mayo de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	83
Tabla 24 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de junio de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	84
Tabla 25 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de junio de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	85

Tabla 26 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de julio de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	86
Tabla 27 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de julio de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	86
Tabla 28 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de agosto de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	87
Tabla 29 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de agosto de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	88
Tabla 30 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de septiembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	89
Tabla 31 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de septiembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	89
Tabla 32 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de octubre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	90
Tabla 33 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de octubre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	91
Tabla 34 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de noviembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	92
Tabla 35 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de noviembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	93
Tabla 36 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	94
Tabla 37 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.....	94
Tabla 38 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de enero.....	102
Tabla 39 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de febrero.....	105
Tabla 40 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de marzo.....	108
Tabla 41 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de abril.....	111
Tabla 42 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de mayo.....	114
Tabla 43 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de junio.....	117
Tabla 44 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de julio.....	120
Tabla 45 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de agosto.....	123
Tabla 46 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de septiembre.....	126
Tabla 47 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de octubre.....	129

Tabla 48 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de noviembre.....	132
Tabla 49 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de diciembre.....	135
Tabla 50 Temperatura anual media máxima histórica (1990-2010) y estimación futura para 2011-2030	138
Tabla 51 Probabilidad de ocurrencia de temperatura mayores a 45°C periodo 1990-2010 y estimación futura periodo 2011-2030.....	139
Tabla 52 Riesgo mensual considerando vulnerabilidad sin Cambio Climático y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayores a 45°C periodo 1990-2010 y estimación futura periodo 2011-2030	141
Tabla 53 Riesgo mensual considerando vulnerabilidad con Cambio Climático y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayores a 45°C periodo 1990-2010 y estimación futura periodo 2011-2030	142

ANTECEDENTES

Los efectos del cambio climático generan diferentes alteraciones en los ecosistemas y en las actividades humanas, algunas son más evidentes que otras, pero son de interés social todos los cambios que afectan a los sectores socioeconómicos tal es el caso de los aumentos de temperaturas o disminuciones en la precipitación, fenómenos observados en los últimos años que, han llevado a diversos actores a interesarse en el tema

Si bien los efectos del cambio climático pueden proyectarse mediante modelos de escenarios climáticos, es necesario hacer una evaluación del nivel de riesgo que puede presentarse en una localidad, con la finalidad de contar con herramientas para tomar medidas de adaptación. Teniendo la visión de que el cambio climático afectara a diferentes organizaciones, principalmente aquellas que proporcionan servicios ambientales, como los organismos operadores de agua potable que son los encargados de suministrar agua potable a las diversas localidades.

Este proyecto tiene como principal objetivo la propuesta e implementación de una metodología para determinar la vulnerabilidad de costos de adaptación al cambio climático en organismos operadores agua potable. La metodología se divide en dos partes: 1) un análisis de vulnerabilidad que permite evaluar la sensibilidad de los organismos operadores ante los impactos potenciales del cambio climático, así como su capacidad de adaptación basada en el incremento de la eficiencia física y comercial, y 2) el cálculo de costos, que utiliza la información obtenida en el análisis de vulnerabilidad para establecer opciones de adaptación a los impactos significativos así como el costo que implica aumentar la capacidad de respuesta de un organismo operador.

INTRODUCCIÓN

El proyecto a realizar se utilizará la primera parte del trabajo ya realizado, para realizar el análisis de riesgo, utilizando la vulnerabilidad de los estudios realizados y hacer la evaluación del riesgo, el trabajo a presentar tiene como objetivo implementar una metodología de análisis de riesgo conociendo las formas de evaluación de la misma.

El trabajo esta seccionado de la siguiente manera:

Legislación: En este apartado contiene las leyes que sustentan el trabajo de investigación de los efectos del cambio climático que impactan a la población ya sea de forma social, económica o ambiental, las leyes mencionadas son las principales que motivan a la realización de estos documentos, como los planes que se tienen para la continuidad y formas de adaptación de los efectos el cambio climático.

Definiciones: En esta sección encontraremos las definiciones de Vulnerabilidad y Riesgo, sus diferentes conceptos y la diferencia de uno y el otro, ya que se tiende a confundir ciertas definiciones y la definición de probabilidad de ocurrencia y ejemplos de dichas definiciones.

Metodologías de análisis de riesgo: se conocerá las diferentes metodologías para analizar el análisis de riesgo y cuál es la más aceptable con forme a los indicadores que se propongan para evaluar la vulnerabilidad y los indicadores para evaluar el riesgo.

1. MARCO LEGAL

En este apartado se hace un análisis de la legislación vinculada con el tema de análisis de riesgo frente a los efectos del cambio climático, con el propósito de guiar este trabajo como instrumento para el cumplimiento de los objetivos de la planeación nacional y de la estrategia nacional del cambio climático.

1.1 LEY DE PLANEACIÓN

La Ley de Planeación (LP) tiene por objeto establecer:

- Las normas y principios básicos conforme a los cuales se llevará a cabo la Planeación Nacional del Desarrollo y encauzar, en función de ésta, las actividades de la administración Pública Federal (LP, Art. 1).

La ley de Planeación establece los lineamientos para la creación del Plan Nacional de Desarrollo (PND), que se realiza para el eficaz desempeño de la responsabilidad de estado sobre el desarrollo integral y sustentable del país.

El PND 2013-2018 contiene 5 ejes de desarrollo que son:

1. México en Paz
2. México incluyente
3. México con educación de calidad
4. México Prospero
5. México con Responsabilidad Global.

Cada uno de los ejes de desarrollo tiene establecido su propio objetivo. El eje de desarrollo de México Prospero, tiene como objetivo el de impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve nuestro patrimonio natural que, al mismo tiempo genere riqueza, competitividad y empleo. Una de las estrategias de

México Próspero consiste en fortalecer la política nacional de cambio climático y cuidado del ambiente para transitar hacia una economía competitiva, sustentable, resiliente y de bajo carbono (Estrategia 4.4.3). La estrategia contiene una línea de acción que consiste en investigación científica y tecnológica para generar información, desarrollar sistemas de información, diseñar políticas ambientales, de mitigación y adaptación al cambio climático. En este sentido, la metodología para el análisis de riesgo de efectos del cambio climático en organismos operadores de agua potable presentada e implementada en este informe, contribuye a investigar y generar información mediante el análisis de riesgo ante cambio climático. Este tipo de análisis de riesgo permite generar información de las probables consecuencias de una amenaza, con las cuales se pueden establecer medidas de adaptación o mitigación.

1.2 LEY GENERAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) es la que se encarga de distribuir las responsabilidades en el tema del cambio climático, a las entidades federativas y municipales para hacer frente a los efectos del cambio climático.

La LGCC tiene por objeto:

- Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero
- Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma
- Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático

- Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno
- Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático
- Establecer las bases para la concertación con la sociedad, y
- Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

Dentro de los mismos objetivos, los que interesan para el sustento de este proyecto son los siguientes:

- Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático.
- Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno.
- Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático.

Estos objetivos enfocan medidas para el análisis de los riesgos ante posibles amenazas del cambio climático, con investigación, creación de metodologías para evaluar la exposición (LGCC, Art. 2). También se indica en la ley que el gobierno federal tiene la facultad de crear la Estrategia Nacional del Cambio Climático, así como llevar su instrumentación, seguimiento y evaluación (LGCC L. G., Art. 7)

La política Nacional de Cambio Climático contiene instrumentos de planeación tales como la Estrategia Nacional, documento donde contiene los pilares de cómo responder a los efectos del cambio climático y las medidas de cómo reducir las emisiones de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), de mediano a largo plazo (Art. 58, LGCC) y el Programa Especial, programa sexenal con visiones a largo plazo, teniendo diferentes objetivos sin desviarlos de la Estrategia Nacional del Cambio Climático, incluyendo los compromisos internacionales en materia ambiental (Art. 67, LGCC).

En el artículo 59 de la LGCC indica que la planeación nacional comprenderá dos vertientes

- Los periodos constitucionales que corresponden a las administraciones federales y estatales.
- La proyección en mediano y largo plazos que tendrán previsiones a diez, veinte y cuarenta años.

El primer punto se refiere a la decisión que deben tomar las entidades federales dentro de su administración la implementación de herramientas y planes, para disminuir los impactos negativos que traen de las amenazas del cambio climático.

El segundo punto se refiere a la Estrategia Nacional, instrumento rector para enfrentar los efectos del cambio climático a media y largo plazo, tomando en cuenta las acciones tomadas presentes para la disminución de la vulnerabilidad.

1.3 ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

La “Estrategia Nacional del Cambio Climático visión 10-20-40” tiene por objeto ser instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazo, para enfrentar los efectos del Cambio Climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono. Esta describe los ejes estratégicos y líneas de acción a seguir con base en la información disponible del entorno, para así orientar las políticas de los tres órdenes de gobierno y fomentar la corresponsabilidad con los diversos sectores de la sociedad. Esto con el objetivo de atender las prioridades nacionales y alcanzar el horizonte deseable para el país en el largo plazo, los pilares de la política, con los ejes estratégicos para cumplir los pilares en adaptación y mitigación.

PILARES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA POLÍTICA

- CONTAR CON POLITICAS Y ACCIONES CLIMÁTICAS TRANSVERSALES, ARTICULADAS COORDINADAS E INCLUYENTES
- DESARROLLAR POLITICAS FISCALES E INSTRUMENTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS CON ENFOQUE CLIMÁTICO
- IMPLEMENTAR UNA PLATAFORMA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN, DESARROLLO Y ADECUACIÓN DE TECNOLOGÍAS CLIMÁTICAS Y FORTALECIMIENTO DE CAPACIDADES INSTITUCIONALES.
- PROMOVER EL DESARROLLO DE UNA CULTURA CLIMÁTICA.
- INSTRUMENTAR MECANISMOS DE MEDICIÓN, REPORTE, VERIFICACIÓN Y MONITOREO Y EVALUACIÓN.
- FORTALECER LA COOPERACIÓN ESTRATÉGICA Y EL LIDERAZGO INTERNACIONAL.

ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

- REDUCIR LA VULNERABILIDAD Y AUMENTAR LA RESILIENCIA DEL SECTOR SOCIAL ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.
- REDUCIR LA VULNERABILIDAD Y AUMENTAR LA RESILIENCIA DE LA INFRAESTRUCTURA ESTRATÉGICA Y SISTEMAS PRODUCTIVOS ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO.
- CONSERVAR Y USAR DE FORMA SUSTENTABLE LOS ECOSISTEMAS Y MANTENER LOS SERVICIOS AMBIENTALES QUE PROVEEN.

DESARROLLO BAJO EN EMISIONES/MITIGACIÓN

- ACELERAR LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA HACIA FUENTES DE ENERGÍA LIMPIA.
- REDUCIR LA INTENSIDAD ENERGÉTICA MEDIANTE ESQUEMAS DE EFICIENCIA Y CONSUMO RESPONSABLE.
- TRANSITAR A MODELOS DE CIUDADES SUSTENTABLES CON SISTEMAS DE MOVILIDAD, GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS Y EDIFICACIONES DE BAJA HUELLA DE CARBONO.
- IMPULSAR MEJORES PRÁCTICAS AGROPECUARIAS Y FORESTALES PARA INCREMENTAR Y PRESERVAR LOS SUMIDEROS NATURALES DE CARBONO.
- REDUCIR EMISIONES DE CONTAMINANTES CLIMÁTICOS DE VIDA CORTA Y PROPICIAR COBENEFICIOS DE SALUD Y BIENESTAR.

Figura 1 Estructura general de la Estrategia Nacional de Cambio Climático

Dentro de los pilares y sus ejes estratégicos contienen los planes de acción a tomar para cumplir con la ENCC, el pilar de “implementar una plataforma de investigación, innovación, desarrollo y adecuación de tecnologías climáticas y fortalecimiento de capacidades institucionales” se encuentran cuatro planes de acción donde especifica el desarrollo del proyecto a realizar los cuales son:

- Promover la elaboración de estudios y proyectos de investigación científica y tecnológica en materia de cambio climático, a nivel nacional, estatal, regional y

municipal, mediante consorcios de investigación que favorezcan la coordinación efectiva entre instituciones académicas y de investigación, públicas, privadas, nacionales y extranjeras.

- Identificar, sistematizar, analizar y difundir el conocimiento existente sobre cambio climático en el país, de acuerdo con los requerimientos nacionales, con el objetivo de que sea el sustento de la política nacional de cambio climático.
- Impulsar la investigación y focalizar acciones de innovación tecnológica por región, ecosistemas, centros de población, equipamiento e infraestructura, sectores productivos y grupos sociales en la evaluación de la vulnerabilidad y diseño de medidas de adaptación para que la infraestructura del país se encuentre preparada ante los riesgos que representan los desastres ocasionados por el cambio climático y exista tecnología capaz de consolidar a México como una potencia emergente en los próximos años.
- Generar conocimiento, mediante la investigación nacional, para entender e interpretar el cambio climático y sus impactos en México.

Los planes de acción mencionados sirven como sustento para la creación de este proyecto ya que especifican el desarrollo de investigaciones para la evaluación de los efectos del cambio climático. Estos instrumentos políticos corresponden a acciones de integración y continuidad de participación y esfuerzos, desde los gobiernos locales (municipios) hasta la entidad federativa junto con todos los sectores de la sociedad para que puedan ser aplicadas correctamente y llevar una buena planeación para enfrentar los efectos del cambio climático.

2. LA VULNERABILIDAD COMO CONCEPTO BASE DEL ANÁLISIS

En esta sección se presenta una recopilación de las definiciones que varios autores dan al concepto de vulnerabilidad en materia ambiental, su forma de medición y la aplicación de su propuesta. De acuerdo a la Real Academia Española, la vulnerabilidad se define como adjetivo de ser herido o recibir una lesión, física o moralmente (RAE, 2014); mientras que la Ley General de Cambio Climático la define con el nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad, y su capacidad de adaptación (LGCC, Artº 3). En los siguientes puntos se presentan las definiciones de varias organizaciones nacionales e internacionales así como diversos autores sobre vulnerabilidad.

2.1 PANEL INTERGUBERNAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC)

El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), es un grupo multidisciplinario creado para dar respuesta a los efectos del cambio climático, creado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Se encuentra conformado por los Miembros de las Naciones Unidas y de la OMM, cuya función consiste en analizar, de forma exhaustiva, objetiva, abierta y transparente, la información científica, técnica y socioeconómica para entender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles repercusiones y las posibilidades de adaptación y atenuación del mismo (IPCC, 2014).

El IPCC define la vulnerabilidad como la predisposición de verse afectado, con la función de la exposición ante una amenaza, sensibilidad del sistema y la capacidad de adaptación para reducir los efectos negativos de las amenazas. (IPCC P. I., 2001). Esta función se emplea para hacer planteamientos y evaluaciones de la vulnerabilidad ante una amenaza, con herramientas para evaluar las vulnerabilidades y dar recomendaciones para disminuir los efectos del cambio climático.

2.2 INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC)

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) es una institución federal que tiene por misión generar e integrar el conocimiento técnico y científico para la formulación, conducción y evaluación de políticas públicas que conlleven a la protección del medio ambiente, preservación y restauración ecológica, crecimiento verde, así como la mitigación y adaptación al cambio climático en el país. El INECC define la vulnerabilidad como el hecho de que podemos ser sujetos de los efectos negativos del cambio climático, ya sea como individuos, como miembros de una comunidad, como ciudadanos de un país o como parte de la humanidad en general (INECC, 2012).

2.3 COMISIÓN INTERSECRETARIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

La Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC) presentó el documento “Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones” que tiene por objeto establecer la visión, los elementos y criterios para articular y orientar los instrumentos de política y las acciones necesarias para fortalecer las capacidades de adaptación de la sociedad, los ecosistemas y los sistemas productivos, definen la vulnerabilidad como el nivel que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema, esta definición se asemeja a la que propone el IPCC, que es relación

con la exposición de un sistema a una amenaza, la sensibilidad y su capacidad de adaptación (CICC, 2012).

2.4 DEPARTAMENTO DE SALUD Y AMBIENTE DE KANSAS, ESTADOS UNIDOS

El Departamento de Salud y Ambiente de Kansas creó el documento Simplified Vulnerability Assessment Tool for Drinking Water, el objetivo del documento consiste en realizar la valoración de la vulnerabilidad por amenazas de carácter social. Siendo el vandalismo, terrorismo y sabotaje sus principales amenazas, sin descartar los amenazas ambientales como heladas, inundaciones y sequías. Utilizan una metodología para evaluar el análisis de riesgo y definen a la vulnerabilidad como la probabilidad ocurrencia, consecuencias y respuesta. (Kansas, 2013).

2.5 COMISIÓN ECONÓMICA DE PARA AMÉRICA LATINA

En el documento “Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe una guía metodológica” realizado por la Comisión Económica de Para América Latina (CEPAL), presenta una búsqueda de las metodologías para calcular el riesgo asociados con los efectos del cambio climático. Definen la vulnerabilidad en relación con la sensibilidad y la capacidad de adaptación de los elementos de la zona expuesta, todo esto en función de la intensidad del evento, considerándolo un parámetro multidimensional (CEPAL, 2011).

2.6 TSUYOSHI HASHIMOTO

El autor Tsuyoshi Hashimoto en su artículo “Reliability, Resilience and Vulnerability Criteria for Water Resource System Performance Evaluation” define la vulnerabilidad como la magnitud de que falle un sistema de agua potable frente a una amenaza, utilizando la relación de probabilidad de ocurrencia de amenazas (Hashimoto, 1982).

2.5 VÍCTOR MAGAÑA

El autor Víctor Magaña en su “Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático” Define la vulnerabilidad como el grado el cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, en otro contexto la vulnerabilidad es el nivel de grado al que esté expuesto a un peligro. (Magaña v. , 2013).

2.7 COOPERACIÓN SUIZA EN AMÉRICA LATINA

En la guía para la reducción de la vulnerabilidad en sistemas de agua potable y saneamiento realizado por la Cooperación Suiza en América Latina en el país de Nicaragua. La guía se enfoca fundamentalmente, en el marco conceptual y en los instrumentos de evaluación, análisis de riesgos y adaptación al cambio climático. El objetivo de la publicación es la promoción de instrumentos de evaluación de riesgos en todas las fases del ciclo de proyectos referente al suministro de agua potable o alcantarillado, de manera que se construya de forma más resiliente y se garantice su sostenibilidad En este trabajo se clasifica a la vulnerabilidad como el proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición a alguna amenaza (CSAC, 2011).

2.8 METODOLOGÍA PARA VALORAR ÍNDICES DE VULNERABILIDAD

La Metodología para valorar índices de vulnerabilidad ante cambio climático y acciones de compensación en las costas de Tamaulipas, tiene por objeto evaluar la vulnerabilidad de las cuencas o subcuentas de agua cerca de las costas de México en el estado de Tamaulipas. En el estudio se define a la vulnerabilidad como el conjunto de condiciones y procesos resultantes de factores físicos, sociales, económicos y ambientales que incrementan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de riesgos potenciales (Turrubiates, 2010).



La tabla 1 presenta una recopilación de definiciones de la vulnerabilidad:

Libro/Autor	Definición
Real academia española	Adjetivo de ser herido o recibir una lesión, física o moralmente.
Ley General de Cambio Climático	Nivel que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático.
Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)	Predisposición de verse afectado, con la función de la exposición ante una amenaza.
Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)	Estar sujetos a los efectos negativos del cambio climático.
Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC)	Carácter, magnitud y velocidad de la variación climática a la que se encuentra expuesto un sistema.
Sistema Operativo de la ciudad de Kansas, USA	Interacción de la probabilidad de ocurrencia, las consecuencias y respuesta del organismo.
Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe “una guía metodológica”	Relación con la sensibilidad y la capacidad de adaptación de los elementos de la zona expuesta.
Tsuyoshi Hashimoto	Magnitud de que falle un sistema de agua potable frente a una amenaza
Víctor Magaña	El grado el cual un sistema es susceptible e incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático.
Cooperación Suiza en América Latina	El proceso mediante el cual se determina el nivel de exposición a alguna amenaza.
Metodología para valorar índices de vulnerabilidad ante cambio climático y acciones de compensación en las costas de Tamaulipas	Conjunto de condiciones y procesos resultantes de factores físicos, sociales, económicos y ambientales que incrementan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de riesgos potenciales.

Tabla 1 Definiciones de Vulnerabilidad

La información recopilada de las definiciones de vulnerabilidad en materia de cambio climático, abre un panorama de las interpretaciones así como de las formas de evaluarla. Una gran parte de las definiciones tienden a señalar que la vulnerabilidad es el nivel de exposición ante un efecto del cambio climático, algunas otras como el caso de la definición del IPCC indica que es la predisposición de verse afectado, con la función de la exposición ante una amenaza. La cual se evalúa con indicadores para valorar el nivel de exposición a través de funciones de amenaza, sensibilidad del sistema y la capacidad de adaptación, y así reducir los efectos del cambio climático.



3. UN PANORAMA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

En esta sección se presentan diversas definiciones sobre el concepto de riesgo en materia ambiental que varios autores manejan; así como la metodología para su cálculo. La Real Academia Española define el riesgo como la contingencia o proximidad de un daño (RAE, 2014). La LGCC define el riesgo como la probabilidad de que se produzca un daño en las personas, o en uno o varios ecosistemas, originado por un fenómeno natural o causas antropogénicas (LGCC, Art° 3).

El Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica realizó un estudio sobre el riesgo en el sistema hídrico de Costa Rica ante los impactos hidrometeorológicos extremos, donde señala que el riesgo es la interacción de la amenaza por la vulnerabilidad (MINAET, 2011).

Andreas Lindhe (2008) realizó un análisis de riesgo en los sistemas de agua potable, el autor analiza los planes de aprovechamiento del cuidado del agua como una herramienta para el cuidado del agua por los sistemas operadores de agua potable. Lindhe define el riesgo como la probabilidad de ocurrencia multiplicada por la consecuencia de la amenaza. Rodríguez (2010) desarrolló el estudio titulado “Instrumento para valorar los niveles de gestión institucional de riesgos mediante el uso de indicadores”, en donde define el riesgo como la probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas. Este estudio tuvo como objetivo analizar la contribución de la sostenibilidad del desempeño en los entes sectoriales de desarrollo, mediante la elaboración de instrumentos para valorar los niveles de gestión institucional de riesgo (Rodríguez N. L., 2010).

El objetivo del estudio titulado “Agua y clima: elementos Para la adaptación al cambio climático” (Landa R. , 2008) consiste en incidir en el espacio de vinculación entre los actores que generan el conocimiento y quienes diseñan y aplican política pública. Landa define el riesgo como el resultado de una amenaza y de la vulnerabilidad;

específicamente en el sector agua y clima, son los eventos hidrometeorológicos que representan una amenaza y llevan a un riesgo intolerable cuando existe una condición de vulnerabilidad (Landa R. , 2008).

El “Manual Básico para la Estimación de Riesgo” (Instituto Nacional de Defensa Civil del Peru, 2006). establece las normas y procedimientos técnicos y administrativos para la programación y ejecución de la estimación del riesgo. Con esto se contribuye a reducir los efectos de un desastre, mediante la estimación el nivel de riesgo en una localidad, a través de la identificación del peligro y el análisis de vulnerabilidad, elaborando mapas temáticos. El manual define el riesgo como la evaluación de la vulnerabilidad ante un peligro

Ganoulis (2007), explica en su libro las diferentes metodologías probabilísticas basadas en el riesgo y los enfoques basados en lógica difusa e incluye diversos modelos matemáticos para la simulación y las teorías de la calidad del agua, como el análisis de decisión, la teoría de la utilidad y la evaluación integrada basada en el riesgo de múltiples criterios y gestión, en para evaluar a fondo varios estudios de casos del mundo real. El autor define al riesgo como la cuantificación de la consecuencia que puede ocurrir, debido a una contingencia ambiental (Ganoulis, 2007).

La siguiente tabla muestra un resumen sobre algunas definiciones de riesgo en materia de cambio climático.

Libro / Autor	Definición
Real Academia Española	Contingencia o proximidad de un daño.
Ley General del Cambio Climático	La probabilidad de que se produzca un daño en las personas, en uno o varios ecosistemas, originado por un fenómeno natural o antropogénicas.
Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica	Se considera como la interacción de la amenaza por la vulnerabilidad.
Integrated and Probability Risk Analysis of Drinking Water System	La probabilidad de ocurrencia multiplicada por la consecuencia
Instrumento para valorar los niveles de gestión institucional de riesgos mediante el uso de indicadores	Probabilidad de consecuencias perjudiciales o pérdidas esperadas.
Agua y clima: elementos Para la adaptación al cambio climático	Eventos hidrometeorológicos que representan una amenaza y llevan a un riesgo intolerable cuando existe una condición de vulnerabilidad
Manual básico para la estimación de riesgo	Evaluación de la vulnerabilidad ante un peligro
Risk Analysis of Water Pollution	Cuantificación de la consecuencia que pueden ocurrir, debido a una contingencia ambiental

Tabla 2 Definiciones de Riesgo

El común denominador en torno a las definiciones de riesgo presentadas en la tabla 2, es la probabilidad de ocurrencia, el cual es abordado desde distintos enfoques. La probabilidad de ocurrencia se puede considerar de forma cualitativa a través de cuestionarios o consultas a expertos para determinar la frecuencia de ocurrencia del fenómeno estudiado; o bien, a través de métodos cuantitativos que requieren de series históricas de datos que reflejen el comportamiento de la variable o amenaza analizada. Este último enfoque puede proporcionar mayor precisión al momento de estimar a futuro el riesgo o probabilidad que ocurra algún fenómeno al cual se está expuesto y ocasione efectos negativos. De acuerdo a lo descrito en los párrafos anteriores, podemos decir que el riesgo puede ser evaluado a través de la interacción de la vulnerabilidad y la amenaza (probabilidad de ocurrencia de la amenaza). **donde se proponen indicadores por el analista del estudio considerando el alcance que se desee obtener y así definir las medidas de mitigación, contando con un panorama general de la aplicación del concepto de riesgo con el cambio climático, ello permite adoptar ideas**

para construir una metodología de análisis de riesgos que considere conceptos tales como la vulnerabilidad y la probabilidad de ocurrencia de las amenazas a las que se expone un sistema de agua potable.

En los siguientes puntos se describirá la metodológica propuesta para llevar a cabo el análisis de riesgo ante el cambio climático en sistemas de agua potable.

3.1 METODOLOGÍAS PARA EVALUAR EL RIESGO

A continuación se hace una breve descripción de algunas metodologías para determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento a partir de estadísticas de datos históricos o bien a través de instrumentos que lo identifican de manera directa.

3.1.1 MÉTODOS CUALITATIVOS

Los métodos cualitativos se emplean para realizar un estudio de riesgo general que no clasifica el nivel de riesgo que se tiene ante una amenaza, solo identifica los riesgos, este método utilizan las técnicas de “Brainstorming (lluvia de ideas)”, cuestionario y entrevistas estructuradas, complementadas con técnicas de organización como la evaluación de grupos multidisciplinarios y el juicio de especialistas y expertos (Técnica Delphi), que sirven para darle mayor cobertura a estos estudios.

3.1.2 MÉTODOS SEMI-CUANTITATIVOS:

En estos métodos se utilizan las clasificaciones de palabra como alto, medio o bajo, o descripciones más detalladas de la probabilidad y la consecuencia.

Estas clasificaciones se demuestran en relación con una escala apropiada para calcular el nivel de riesgo, se debe enfocar la atención en la escala utilizada a fin ya que pueden ser escalas de 3 a N probabilidades y evitar malos entendidos o malas interpretaciones de los resultados del cálculo.

La metodología semi-cuantitativa puede ser aplicada con tablas comparativas entre la vulnerabilidad y la exposición de una amenaza y así considerar el nivel de riesgo dentro de una escala, un ejemplo de esta metodología es el NMP (número más probable), que

utiliza matrices para la evaluación del riesgo, con valores establecidos que identifican el grado de riesgo que se presenta ante una amenaza.

3.1.3 MÉTODOS CUANTITATIVOS:

Los métodos cuantitativos son aquellos que permiten asignar valores de ocurrencia a los diferentes riesgos identificados, es decir, calcular el nivel de riesgo de una amenaza.

Los métodos cuantitativos incluyen:

- Análisis de probabilidad
- Análisis de consecuencias
- Simulación computacional (proyecciones)

El desarrollo de dichas medidas puede ser realizado mediante diferentes mecanismos, entre ellos el método Montecarlo, el cual tiene por característica:

- Amplia visión para mostrar múltiples posibles escenarios
- Sencillez para llevarlo a la práctica
- Computarizado para la realización de simulaciones

Otro método cuantitativo es Cadenas de Markov, que se caracteriza por la sucesión de ensayos, en la cual cada ensayo tiene el mismo número finito de resultados posibles y la probabilidad de cada resultado depende sólo de la información precedente y no de cualquier resultado previo.

Todos los modelos matemáticos pueden ser empleados, siempre que cumplan con los tres requisitos mencionados anteriormente.

La complejidad de la naturaleza y la diversidad de peligros que se dan en los ecosistemas, deben ser tomadas en cuenta para incorporar los criterios de prevención y atención de los desastres en la formulación de los Planes de Desarrollo y Programas de Inversión, en los distintos niveles (nacional, sectorial, regional o local) y para horizontes determinados (largo, mediano y corto plazo).

Un estudio de éxito encontrando el nivel de riesgo fue el caso de PERU frente al fenómeno atmosférico “El niño” se pronosticó en el año 1997 y 1998, que el impacto

negativo hacia la población fuera de 10 mil millones de dólares, sin embargo el estudio que realizo y con el apoyo del Consejo Consultivo Científico-Tecnológico de Defensa Civil y la ejecución de un conjunto de obras y acciones de prevención, el impacto fue menor y las pérdidas llegaron aproximadamente a 3 mil 500 millones de dólares.

Los resultados obtenidos en dicha experiencia, confirman que el análisis de riesgo es una herramienta que se suma a las acciones de prevención; orientando las acciones en materia de reducción de los desastres naturales. La importancia de la estimación del riesgo no solo ayuda a tener una visión futura acerca de las probables consecuencias de un determinado fenómeno. De acuerdo con el Instituto Nacional de Prevención de Perú, la estimación de riesgos también proporciona elementos para contar con parámetros fundamentales en la gestión de los desastres, a partir de la identificación de peligros de origen natural o antropogénico. (INDECI, 2006)

- Contribuye en la cuantificación del nivel de daño y los costos económicos de una localidad frente a un peligro.
- Proporciona una base para la planificación de las medidas de prevención específica, reduciendo la vulnerabilidad.
- Permite racionalizar los potenciales humanos y los recursos financieros, en la prevención y atención de los desastres.
- Constituye una garantía para la inversión en los casos de proyectos específicos de desarrollo.

Después de ocurrido un desastre, toma en cuenta las lecciones que siempre dejan éstos en un asentamiento humano o centro poblado, permitiendo observar y analizar los tipos de vulnerabilidad y su estrecha relación con el riesgo.

4. ORGANISMOS OPERADORES DE AGUA POTABLE

Los organismos operadores de agua potable, alcantarillado y saneamiento (OOAPAS) tienen un papel importante en la comunidad, ya que son los proveedores del servicio de agua potable. Los OOAPAS pueden tener afectaciones por diversos factores y uno muy importante es el cambio climático, que puede llegar a afectar el servicio. La sociedad mexicana (en general) está acostumbrada a un servicio de agua potable de baja calidad, mismo que se refleja en la instalación de cisternas, bombas y tinacos para el almacenamiento domiciliario y regulación de la presión, así como en el consumo de agua embotellada para beber que implica un costo extra para los usuarios. El organismo operador debe cumplir con las obligaciones de proporcionar un servicio continuo, con presión adecuada y con parámetros de calidad del agua para el consumo humano. Sin embargo, los usuarios aceptan la ineficiencia de la empresa que presta el servicio en la localidad ya que esta generalmente no cumple con sus funciones y transfiere al usuario necesidades adicionales para subsanar sus deficiencias (Martínez, 2007). Estas deficiencias se pueden ver incrementadas la cultura de no pago y retraso del mismo por parte de los usuarios, así como la falta de reconocimiento del costo que implica contar con infraestructura que conduzca el líquido hasta sus viviendas. Este ciclo no virtuoso es común en gran parte de las ciudades donde se observan servicios de abastecimiento de agua potable con baja calidad.

4.1 ESTADÍSTICAS DE LOS ORGANISMOS OPERADORES DE AGUA EN MÉXICO

De acuerdo con el Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores (PIGOO) en México existen 2 517 organismos operadores del agua, de los cuales 637 atienden ciudades con más de 20,000 habitantes. Aunque en México existe una gran

cantidad de organismos operadores con diferencias de desarrollo entre los mismos, hasta donde sabemos, no se conocen casos en los que se haya llevado a cabo un análisis de vulnerabilidad que identifique amenazas que atentan contra el objeto de su creación, que es la prestación de servicios públicos para el abastecimiento de agua, recolección de aguas residuales y su tratamiento previo a la descarga a un cuerpo receptor. Sin embargo, bajo un enfoque de planeación a largo plazo, las amenazas que pueden incidir en la operación de un sistema de agua urbano pueden rebasar la capacidad de estas organizaciones, como es el caso del fenómeno del cambio climático. La relación entre este fenómeno atmosférico y la gestión de los organismo operadores es incipiente, ya que los efectos negativos del cambio climático pueden observarse lejanos debido al largo plazo de sus posibles impactos, que implican las proyecciones de escenarios de variaciones del clima y sus efectos en la sociedad y sectores productivos. No obstante, este trabajo hace mención de diversos efectos negativos del cambio climático en los organismos operadores, los cuales son mencionados más adelante de forma enunciativa más no limitativa de las áreas donde este fenómeno afecta a estos sistemas.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), publica cada año el documento “Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”; en su edición 2012, se presenta un censo de las condiciones que se tiene en el abastecimiento de agua potable, alcantarillado y saneamiento. El documento muestra un incremento paulatino de los porcentajes de cobertura a nivel nacional de los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento. En la tabla 3 se muestra la evolución en el periodo 1990-2011.

Año	Cobertura en Porcentaje		
	Agua Potable	Alcantarillado	Agua Tratada
1990	78.4	61.5	-----
1995	84.6	72.4	-----
2000	87.8	76.2	23.0
2005	89.2	85.6	35.0
2010	91.2	89.9	44.8
2011	91.6	90.2	46.5

Tabla 3 Cobertura nacional de servicios al año 2011

La cobertura de agua potable no es homogénea a nivel nacional, el acceso a agua potable para su aprovechamiento varía entre cada estado, donde interfieren varios factores que no permitan la cobertura total (distancia, localidades rurales aisladas, presupuesto, etc.). Los factores pueden variar dependiendo como se estén manejando los Organismos Operadores de Agua Potable de cada entidad, quedando con la mayor cobertura de abastecimiento de agua potable el estado de Yucatán con un 98.3 % y el ultimo el estado de Guerrero con un 74.3 %. La tabla siguiente muestra el porcentaje de las coberturas a nivel estatal en agua potable.

Cobertura de Agua Potable por Entidad		
Nº	Estado	Porcentaje
1	Yucatán	98.30
2	Colima	98.30
3	Coahuila	97.90
4	Distrito Federal	97.90
5	Aguascalientes	97.60
6	Nuevo León	97.40
7	Tamaulipas	97.20
8	Tlaxcala	96.70
9	Sonora	96.60
10	Chihuahua	96.10
11	Sinaloa	95.50
12	Durango	95.50
13	Jalisco	95.30
14	Guanajuato	95.20
15	Zacatecas	95.00
16	Querétaro	94.60
17	Nayarit	94.50
18	Baja California	94.30
19	México	93.90
20	Quintana Roo	93.20
21	Baja California Sur	93.20
22	Campeche	92.70
23	Morelos	92.70
24	Hidalgo	92.10
25	Michoacán	91.80
26	San Luis Potosí	87.30
27	Puebla	86.90
28	Tabasco	82.60
29	Veracruz	91.70
30	Chiapas	79.00
31	Oaxaca	77.40
32	Guerrero	74.30

--	Nacional	91.60
----	----------	-------

Tabla 4 Coberturas de Agua Potable año 2011

El tema de la cobertura de alcantarillado para los organismos operadores de agua potable detona la problemática del servicio que ofrecen, principalmente en Estados donde la población se concentra en pequeñas áreas, como el caso del Distrito Federal (en donde su zona metropolitana concentra toda su población) que debe tener un sistema de alcantarillado adecuado para trasladar las aguas residuales generadas por la misma ciudad para no generar problemas, como inundaciones o enfermedades a la salud. La tabla 5 muestra la cobertura de Alcantarillado al año 2011.

Cobertura de Alcantarillado por Entidad		
Nº	Estado	Porcentaje
1	Distrito Federal	99.20
2	Colima	98.00
3	Jalisco	97.20
4	Aguascalientes	97.20
5	Morelos	96.30
6	Nuevo León	95.90
7	Tabasco	95.70
8	Coahuila	95.40
9	Baja California Sur	95.30
10	México	93.90
11	Nayarit	93.90
12	Quintana Roo	93.30
13	Tlaxcala	92.90
14	Sinaloa	92.90
15	Chihuahua	92.30
16	Baja California	91.10
17	Guanajuato	90.90
18	Querétaro	90.70
19	Sonora	90.00
20	Zacatecas	89.50
21	Tamaulipas	89.20
22	Durango	88.90
23	Michoacán	88.00
24	Puebla	86.50
25	Hidalgo	84.80
26	Veracruz	84.70
27	Campeche	84.50
28	Chiapas	82.10
29	San Luis Potosí	80.70
30	Yucatán	78.50

31	Guerrero	76.90
32	Oaxaca	70.80
--	Nacional	90.20

Tabla 5 Cobertura de Alcantarillado año 2011

El tema de saneamiento hay grandes diferencias de coberturas entre los estados, siendo ejemplo de esta brecha los estados de Aguascalientes y Nuevo León que tienen una cobertura de agua tratada del 100%; mientras que el estado de Yucatán solo tiene cobertura del 2.7% de tratamiento de sus aguas residuales. En la tabla siguiente se muestran las coberturas de agua tratada de las entidades Federativas de México

Cobertura de Agua Tratada por Entidad		
Nº	Estado	Porcentaje
1	Aguascalientes	100.00
2	Nuevo León	100.00
3	Baja California	99.70
4	Tamaulipas	84.60
5	Guerrero	82.40
6	Nayarit	79.10
7	Sinaloa	76.60
8	Chihuahua	74.20
9	Durango	71.20
10	Quintana Roo	67.10
11	Baja California Sur	60.90
12	San Luis Potosí	60.50
13	Puebla	55.20
14	Guanajuato	53.20
15	Tlaxcala	53.00
16	Colima	52.50
17	Coahuila	47.40
18	Querétaro	46.00
19	Veracruz	41.70
20	Oaxaca	41.00
21	Jalisco	36.80
22	Sonora	35.90
23	Michoacán	31.00
24	Morelos	27.70
25	México	27.40
26	Zacatecas	24.30
27	Tabasco	21.80
28	Chiapas	21.50
29	Distrito Federal	15.10
30	Hidalgo	14.50

31	Campeche	7.80
32	Yucatán	2.70
--	Nacional	46.50

Tabla 6 Cobertura de Agua Tratada año 2011

Las tablas mostradas anteriormente con los porcentajes mencionados reflejan un enfoque global de los servicios que prestan los Organismos Operadores de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de todos los municipios de los Estados.

En México, uno de los principales problemas que presentan los organismos operadores es la vulnerabilidad del marco jurídico que regula y garantiza su funcionamiento. Esta debilidad está presente en todo tipo y tamaño de organismos operadores, incluso en aquellos que se pudieran considerar más eficientes a nivel nacional. Las carencias de los marcos jurídicos aunados a la ausencia de políticas nacionales en materia de agua potable y saneamiento se traduce en falta de continuidad en las acciones y políticas locales, el caso de los operadores privados en las incertidumbres que se reflejan en los sobre costos, que se trasladan al servicio que se prestan (Martínez, 2007).

La falta de una política nacional en materia de agua potable y saneamiento se traducen en las necesidades reales que enfrentan a día los organismos operadores:

- Insuficiencia presupuestal
- Subsidio tarifarios cruzados
- Ausencia de tarifas reales
- Falta de planeación a largo plazo
- Fijación de tarifas influidas por factores políticos
- Carencia de modelos organizacionales y administrativos orientados hacia el servicio al cliente
- Falta de profesionalización de los funcionarios y empleados por los cambios de administración en los ayuntamientos
- Asimetría entre organismos operadores de un mismo estado

Las carencias antes mencionadas para el sector agua potable, hacen que la prestación de los servicios bajo su responsabilidad se lleve a cabo en un ámbito de incertidumbre para

el usuario así como para el mismo organismo operador. Dejando a los esfuerzos por realizar planeación como trabajos sin mucho significado ya que los periodos administrativos son muy cortos que inhiben la continuidad de proyectos o el planteamiento de éstos a largo plazo.

No obstante la falta de planeación que existe en general en los organismos operadores, se han desarrollado indicadores que miden el desempeño de estas organizaciones identificando su estado actual y oportunidades de mejora a través del establecimiento de metas. Estos sistemas de medición de desempeño, son esfuerzos a nivel federal y estatal que han tenido como propósito incentivar y promover la mejora de los servicios urbanos de abastecimiento de agua, alcantarillado y saneamiento. Sin embargo, a pesar que algunos indicadores han sido medidos por más de quince años, no se han empleado como herramienta para toma de decisiones, simplemente para reportar información.

Los indicadores se comportan como dedos índices que, con claridad apuntan en dirección que hay que seguir o muestra algo donde se debería dar prioridad, pueden ser señales numéricas o de algún otro tipo que ayuden a hacer comparaciones y diagnosticar situaciones como: de alerta, normalidad, extrañas entre otras, son formas de resumir datos relativamente complicados, para que resulten más fáciles de entender, comparar y estandarizar a un OOAPAS como competitivo.

Hay una variedad de indicadores que se han implementado para conocer el estado actual de los organismos operadores, el documento de “Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento” Edición 2012, publicado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tomaron unos indicadores que fueron proporcionados por las entidades operadoras de agua potable de las capitales de los estados y localidades con población mayor a 500 mil personas.

La tabla siguiente muestra los indicadores publicados por la CONAGUA en el año 2012.

INDICADOR	DEFINICIÓN
Dotación	Se determina como el volumen promedio diario producido en fuentes de abastecimiento entre la población atendida.
Macro medición	Este indicador se midió en las fuentes de abastecimiento con el caudal medido dividido entre el caudal producido en esas mismas fuentes.
Micro medición	Se calcula dividiendo el número de medidores instalados entre el número de tomas registradas.
Empleados por cada mil tomas	Es el número de empleados dividido entre los millares de tomas registradas por el prestador del servicio.
Eficiencia física	El volumen de agua facturado entre el volumen de agua producido.
Eficiencia comercial	Es el importe recaudado dividido entre el importe del agua facturada por el suministro del agua.
Eficiencia global	La eficiencia global se define como el producto de las eficiencias físicas y globales.
Costos de producción y precios de venta	El costo unitario de producción se obtiene del cociente de los egresos totales entre el volumen total de agua producida en el año, el ingreso unitario promedio, resulta de dividir los ingresos por la prestación de los servicios entre el volumen total producido en el año.

Tabla 7 Indicadores publicados por Conagua, 2012

Estos indicadores fueron utilizados para comparar el estado con el que los organismos operadores ofrecen los servicios de agua potable y se evalúa una parte del estado financiero con el que se encuentran cada uno, la tabla siguiente muestra un ejemplo de ciudades con los indicadores de eficiencia física, comercial y global.

CIUDAD	EFICIENCIAS		
	GLOBAL	FISICA	COMERCIAL
TECATE	86	91	95
MEXICALI	77	86	90
ENSENADA	73	81	90
COZUMEL	72	79	91
DELICIAS	72	80	89
MONTERREY	71	77	91
TIJUANA	69	77	89
GUADALUPE	65	72	90
VERACRUZ	64	74	86
CABO	30	68	89
AGUASCALIENTES	58	63	93
CULIACAN	58	65	89
TLAXCALA	55	63	88
QUERÉTARO	49	54	91
TORREÓN	46	54	87
HERMOSILLO	46	65	70
CHILPANCINGO	41	61	68
CHIMALHUACAN	41	67	62
MÉRIDA	40	46	88
COLIMA	39	61	64
REYNOSA	37	66	57

Tabla 8 Eficiencias, ciudades mayores a 500 mil habitantes. Conagua 2012

En la tabla anterior se presentan algunas ciudades con sus respectivas eficiencias físicas, económicas y globales, donde se puede observar la diferencia que hay entre cada una, donde puede representar su estado económico de los Organismos Operadores de Agua Potable para ser más eficiente al dar su servicio.

4.2 LOS ORGANISMOS OPERADORES ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los problemas que presentan actualmente los sistemas operadores pueden considerarse como de operación y administración, pero debido a la falta de planeación, se descartan factores externos al organismo tales como; aspectos macroeconómicos del país que pueden interferir en la capacidad de pago del usuario, o variaciones del clima que influyen

en la disponibilidad del agua. En los últimos 15 años, México ha tenido una estabilidad económica que ha evitado fuertes fluctuaciones de la inflación que han evitado el ascenso inesperado de precios que originen un incremento de las tarifas de agua con igual proporción. En el caso de las variaciones climáticas, donde en años recientes han tenido lugar las secuencia de desastres de origen hidrometeorológico con graves daños a la población, los ciclos inundaciones-sequias se han convertido en una constante que requiere grandes cantidades de dinero para permitir a las regiones afectadas regresar a su estado “normal”. El clima ha sido un factor indispensable que determina el éxito o el fracaso de muchas actividades económicas, las sequias, inundaciones, frentes fríos, ondas de calor u otro evento que afecte la actividad regional, todas las regiones son vulnerables ante cualquier efecto del cambio climático. México presenta diferentes grados de vulnerabilidad ante efectos de cambio climático, por ejemplo el norte del país es más vulnerable ante una sequía que a una inundación, diferente al sur del país que el caso sería lo contrario (Landa R. , 2008).

Estas alteraciones han sido acumulativas en el tiempo y en la naturaleza, generando impactos en los ecosistemas, modificando los procesos de provisión y existencia de distintos bienes y servicios ambientales tales como la regulación del clima en la atmósfera, la infiltración de agua, la existencia de recursos bióticos entre otros, que a su vez generan impactos en los diferentes sectores económicos de la sociedad (Camacho H. D., 2013).

El abordaje del tema del cambio climático puede desarrollarse a partir de dos enfoques; el bottom-up y el top-down; la figura 2 muestra los enfoques para el estudio del Cambio Climático. Ambas visiones buscan realizar políticas o generar información futura del cambio climático a partir de la información disponible. En el enfoque bottom-up, se parte de información local donde el interesado emplea datos obtenidos a través de fuentes propias; es decir, realiza mediciones, registra y evalúa parámetros que le permitan generar modelos para proyectar la evolución de este fenómeno y sus efectos para la zona donde recopila la información, de tal manera que cuente con elementos precisos que le lleven a desarrollar una planeación con base a los resultados del modelo planteado. El top-down se inicia con la información que se genera en gran escala, con información de

ciertos indicadores que consideran generales para los estudios de proyección de los efectos del cambio climático, la información es retomada por instituciones que normalizan los datos y la generalizan para zona de grandes dimensiones. Esta técnica genera incertidumbre ya que no se cuenta con información específica del lugar donde se pretende hacer el estudio y para los estudios del nivel de riesgo de organismos operadores de agua potable ante los efectos del cambio climático es recomendable utilizar la técnica bottom-up, porque es más específica la información, generando menos incertidumbre.

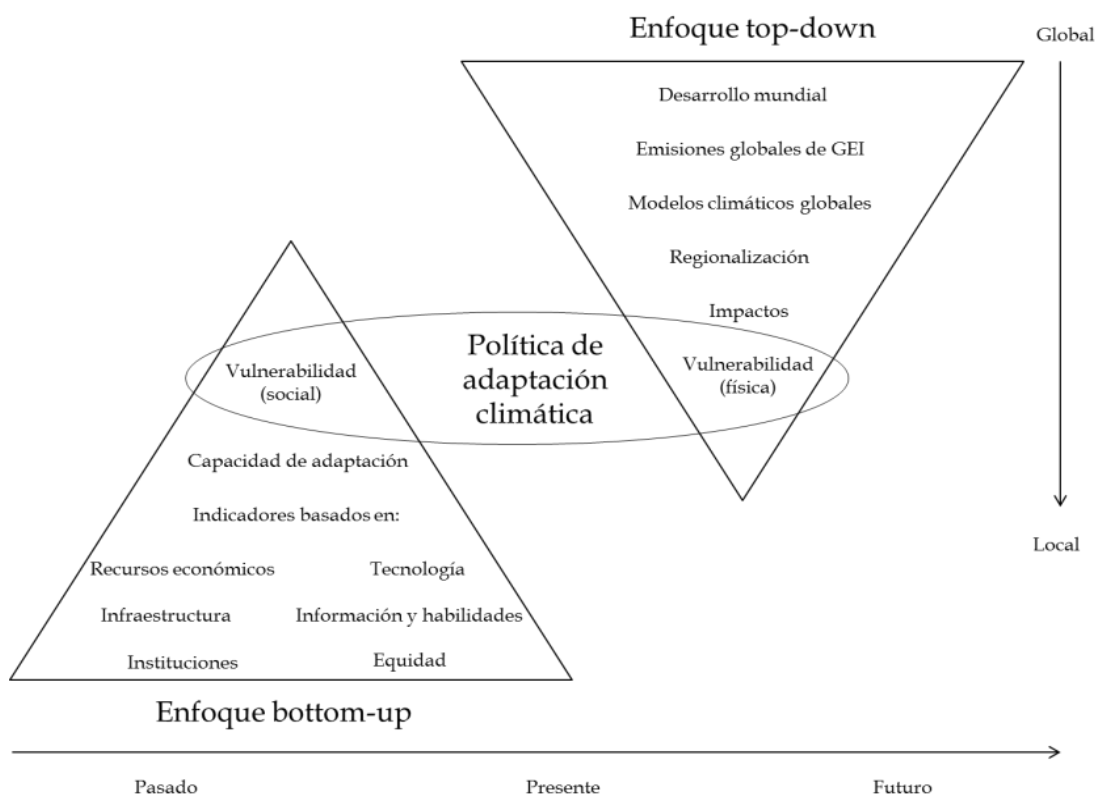


Figura 2 enfoque para el estudio del Cambio Climático

El Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático creado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) “enfoque tipo Top-down” tiene diferentes proyecciones de los impactos del cambio climático en el sector hídrico. Donde en el estudio se estimaron 23 modelos atmosféricos de circulación general, consideraron dos escenarios de cambio climático más probables y tres horizontes de tiempo (2030,

2050 y 2100), en la figura siguiente se puede observar como fue el comportamiento del clima durante el periodo 1961-1990 (Martinez, 2010).



Figura 3 Temperatura anual media 1961-1990 (Martinez, 2010)

El trabajo del IMTA señala (en una de sus proyecciones) que la variación de la temperatura media anual en el país alcanzará 3.5°C más en el periodo 2061-2090 (figura 3), respecto del promedio registrado en 1961-1990, mientras que la precipitación se reducirá en promedio un 15%. Asimismo, indica que dada la distribución heterogénea de los recursos hídricos en México, los efectos del cambio climático contrastan, puesto que existen diferencias entre las regiones. Se espera que los estados que más calentamiento experimenten sean Colima, Chiapas y Sonora, con valores por arriba de 3.5 °C, en tanto que Yucatán, Quintana Roo y Baja California Sur experimentarán menor incremento de temperatura: alrededor de 2.5°C. (Martinez, 2010)



Figura 4 Proyección de anomalías de Temperatura 2061-2090 escenario A2 (Martinez, 2010)

La figura 3 es un escenario al año 2061-2090 del cambio de temperatura comparada con la Figura 4 que es el comportamiento de la temperatura de 1961 a 1990, se ve la proyección de incremento de temperatura. Los datos citados muestran que el cambio climático es un fenómeno real y que resulta evidente la necesidad de incrementar la capacidad de adaptación ante un escenario que pondrá a prueba el equilibrio de los sistemas ambientales y humanos. El cambio climático traerá consigo un cambio en el ciclo hidrológico que repercutirá directamente en la cantidad y la calidad del agua disponible para satisfacer las demandas humanas y ambientales. Estas alteraciones implican impactos para todos los sectores de la economía, una de las principales que se ven afectadas son los sistemas de agua potable de las comunidades (Camacho H. D., 2013). En otras palabras, el cambio climático es un fenómeno donde los complejos procesos ambientales que se generan en la biósfera se han visto alterados por acción del hombre a través de su actividad social y económica (contaminación).

5. METODOLOGIA PARA EL ANALISIS DE RIESGO

El objetivo de este proyecto de investigación es contribuir con una propuesta metodológica para la evaluación del riesgo ante el cambio climático en los sistemas operadores de agua potable; la metodología propuesta se implementará en un caso de estudio.

Como lo puntualiza el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (CENAPRED, 2006), un riesgo sucede en presencia de un agente perturbador, ya sea por un fenómeno natural o uno generado por el hombre. En la metodología propuesta el agente perturbador es el incremento o decremento de la temperatura provocada por el cambio climático. En este sentido, el agente está ligado con la probabilidad de ocasionar daños o deterioros a un sistema afectable (en el presente estudio los organismos operadores de agua potable), tales como asentamientos humanos, infraestructura, agricultura, etc. en un grado tal, que constituye una afectación importante o incluso un desastre. De esta forma la ocurrencia de un fenómeno natural no constituye un riesgo por sí mismo, sino que para ser considerado como un riesgo, sus efectos deben tener un impacto en factores donde intervenga el humano, ya que de lo contrario no puede considerarse una afectación o incluso un desastre (CENAPRED, 2006).

El proceso de diagnóstico e identificación de sectores, regiones o grupos sociales en condición de vulnerabilidad y riesgo ante cambio climático ofrece una perspectiva de cómo prevenir impactos negativos mediante la adaptación. La prevención se convierte así, en política de trabajo en diversos sectores y regiones, tratando de priorizarla por encima de la respuesta y prevención de un desastre. Una buena gestión de riesgo preventiva se traducirá en seguridad de las personas y en mejores condiciones para el desarrollo (Magaña V. , 2013).

El abordaje del riesgo actual y riesgo futuro es lo mismo sólo en concepto, pero difiere del método de estimación. Es igual en concepto porque parten de la misma expresión de riesgo, utilizan indicadores semejantes como base del análisis y el esquema de relación de indicadores. Sin embargo, existen limitantes para el cálculo del riesgo futuro que hacen variar el método. En cuanto a la estimación de vulnerabilidad, resulta complicado realizar proyecciones a futuro, ya que algunos indicadores tales como los socioeconómicos tienden a ser cambiantes en corto plazo. Esto quiere decir que los indicadores que se lleguen a seleccionar deben de ser aquellos que se cuenten con información histórica de su comportamiento y así considerar que a cierto tiempo que se llegue a proyectar deben ser constantes (Instituto Meteorológico Nacional , 2005). De esta forma se puede reducir la incertidumbre que las proyecciones futuras de nuestras sociedades y del clima presentan. En este sentido, la construcción de escenarios futuros de clima a través de proyecciones climáticas intentan ser estimaciones confiables de cómo un sistema podría manifestarse en un horizonte de tiempo dado. De esta forma la evaluación del riesgo ante el cambio climático en los sistemas operadores de agua potable, se realiza a través de un estudio del riesgo climático futuro basado en la estimación de un posible y verosímil nuevo régimen del clima que puede afectar al sistema operador. La estimación del nuevo régimen de clima parte del conocimiento de los riesgos climáticos actuales para luego caracterizar cómo cambiarían debido al clima futuro y a cambios posibles en el entorno socioeconómico (MINAET, 2011).

5.1 METODOLOGÍAS PARA EL ANALISIS DE RIESGO

Las metodologías que se han aplicado para un análisis de riesgo, tienen por lo regular una misma estructura, sin embargo, los diferencia su alcance y los tipos de indicadores a tomar para evaluar el riesgo. Para definir Riesgo, algunos autores utilizan métodos cuantitativos para evaluarlo, mientras que otros sólo buscan identificar los riesgos para dar recomendaciones a través de métodos cualitativos.

El CENAPRED (2006) define el riesgo en términos cualitativos como “la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por

personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores”. Esta probabilidad de ocurrencia constituye una amenaza, definida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores. En el caso de las afectaciones ante el cambio climático a los sistemas operadores, una de las amenazas más importantes a considerar es el aumento de la temperatura, es por ello que en la metodología propuesta en este trabajo se considera a la temperatura como la amenaza. De forma cuantitativa el CENAPRED (2006) indica que una de las definiciones más aceptadas del riesgo está en función de tres factores:

1. La probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino (peligro)
2. La vulnerabilidad
3. El valor de los bienes expuestos.

En la siguiente ecuación expresa matemáticamente esta función:

$$R = f(P, V, E)$$

en donde:

P=peligro, definido como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino, de cierta intensidad, y en un sitio dado.

V=vulnerabilidad, definida como la susceptibilidad de los sistemas expuestos a ser afectados o dañados por el efecto de un fenómeno perturbador (grado de pérdidas esperadas).

E=grado de exposición, definido como la cantidad de personas, bienes y sistemas que se encuentran en el sitio y que son factibles de ser dañados.

En el estudio de los peligros es importante definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos para definirlos numéricamente y asociarlos con los efectos del fenómeno sobre los bienes expuestos. El CENAPRED (2006) indica que en la mayoría de

los fenómenos pueden distinguirse dos medidas, una de magnitud y otra de intensidad, sin embargo, para algunos fenómenos, esta distinción no es tan clara. Para llevar a cabo el estudio del peligro se requiere la construcción de escenarios mediante la adecuada representación de los efectos del fenómeno en la región de interés y una posibilidad consiste en la representación mediante un enfoque probabilístico del fenómeno.

La vulnerabilidad se puede clasificar en dos tipos: la vulnerabilidad física y la vulnerabilidad social. La primera es más factible de cuantificarse en términos físicos (por ejemplo la resistencia que ofrece una construcción ante las fuerzas provocadas por sismo) y la segunda puede valorarse cualitativamente y generalmente está relacionada con aspectos económicos, educativos, culturales, así como el grado de preparación de las personas. La vulnerabilidad física es una probabilidad de daño de un sistema expuesto y generalmente se puede expresar a través de una función matemática o matriz de vulnerabilidad con valores entre cero y uno. En donde el cero implica que el daño sufrido ante un evento de cierta intensidad es nulo, y uno, implica que este daño es igual al valor del bien expuesto. El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo y se encuentra ligado al crecimiento, desarrollo de la población y su infraestructura. Se pueden emplear valores como porcentajes para cierto tipo de construcción o el número de personas que son susceptibles a verse afectadas. En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto, mayor será el riesgo que se enfrenta, del mismo modo si el valor de lo expuesto es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro (CENAPRED, 2006).

Hiete (2009) también expresa al Riesgo en función de los tres factores (Peligro, Vulnerabilidad y Exposición) y define y evalúa el riesgo **R** como la probabilidad de que ocurra un evento producto de una exposición "**E**" definida como la cantidad de veces que un elemento se encuentra frente una amenaza; una vulnerabilidad "**V**" descrita como la predisposición de un elemento a ser susceptible o verse afectado ante un evento; y finalmente la amenaza "**A**" o (peligro **P**) que es el evento que tiende a perjudicar a ciertos elementos. Matemáticamente es el producto de las variables descritas como se indica a continuación:

$$R = E \times A \times V$$

Esta metodología se implementa para empresas que se encuentran expuestas ante amenazas externas de su alcance productivo, tales como huracanes, tormentas, sequías entre otros fenómenos naturales que afecte indirectamente a la productividad de ellos (Hiete, 2009).

Otros autores emplean el concepto de riesgo, como la combinación del peligro y la vulnerabilidad (Magaña V. , 2013), (MINAET, 2011), (Landa R. , 2008), entre otros. Un ejemplo de lo antes comentado es la aplicación realizada por el Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones de Costa Rica (MINAET), quien realizó un estudio sobre el riesgo en el sistema hídrico de Costa Rica ante los impactos hidrometeorológicos extremos (MINAET, 2011), donde señala que el riesgo es la interacción de la amenaza por la vulnerabilidad, matemáticamente expresada como:

$$\text{Riesgo} = f(\text{amenaza} \times \text{vulnerabilidad})$$

De tal forma que el nivel de riesgo está determinado por su grado de vulnerabilidad y amenaza; un nivel de un nivel de riesgo alto puede estar determinado debido a que se compone mayormente por la vulnerabilidad o por la amenaza. Sin embargo, reducir el componente de amenaza ante el cambio climático es complicado, dando como resultado que el margen de trabajo se reduce a disminuir la vulnerabilidad (MINAET, 2011).

El documento de “Agua y clima: elementos Para la adaptación al cambio climático” (Landa R. , 2008), cuyo objeto es incidir en el espacio de vinculación entre los actores que generan el conocimiento y quienes diseñan y aplican política pública, definen el riesgo como el resultado de una amenaza y la vulnerabilidad en la que se encuentra expuesto. El riesgo se puede considerar como los eventos hidrometeorológicos que representan una amenaza y llevan a un riesgo intolerable existe una condición de vulnerabilidad.

5.1.1 RIESGO EN SISTEMAS DE AGUA POTABLE

Los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento pueden ser considerados sistemas vulnerables que tienden a presentar algún nivel de riesgo ante cualquier amenaza, ya sea económica, social o ambiental, debido al servicio que ofrece a la población, donde el riesgo es el resultado de un proceso dinámico y continuo que se construye paralelamente a los procesos de desarrollo social. La gestión de riesgo dentro de los OOAPAS está dirigida a la transformación de sus condiciones de riesgo preexistentes con la finalidad de reducir (de manera progresiva) su impacto negativo de futuros desastres, siendo un proceso de evaluación constante, toma de decisión y planificación, sobre la base del conocimiento de los riesgos existentes que permite a los involucrados analizar su entorno, tomar de manera consciente decisiones y desarrollar propuestas de intervención concertadas a prevenir, mitigar o reducir los riesgos existentes, y en esta medida, encaminarse hacia un proceso de desarrollo eficiente ante cualquier amenaza.

La aplicación de un análisis de riesgo varía dependiendo del enfoque con el que se analice, es decir, la relevancia de las áreas o sectores del objeto de estudio en cuestión. Para efectos del presente trabajo; los organismos operadores pueden seccionarse en áreas como la operativa, administrativa, técnica; y dentro de ellas se produce información de distintas variables que puede ser de utilidad para dar el enfoque esperado. Sin embargo, la disponibilidad histórica y actual de la información es un punto crítico para determinar la orientación cualitativa o cuantitativa por aplicar, considerando que el objetivo del análisis de riesgos implica obtener una descripción de la situación actual y posteriormente su proyección futura bajo criterios razonables.

Lo anterior toma relevancia para el sector agua potable en México, ya que no se cuenta con una base de datos totalmente confiable que reúna la información histórica de los distintos sistemas de agua municipal del país. El sistema de indicadores de gestión PIGOO, cuenta con información que ayuda a dar una referencia de las condiciones históricas de algunos organismos operadores, no obstante que esta plataforma es una referencia oficial, no cuenta con una validación de la validación de la información que voluntariamente otorgan los organismos operadores. Por ello, la ejecución de un análisis

de riesgo en el sector agua potable de México, debe ser realizado (preferentemente) con información obtenida directamente de los organismos operadores, aunque no debe desecharse la validación de los datos recolectados por parte del analista.

5.2 PROPUESTA METODOLÓGICA

La propuesta metodológica para la evaluación de riesgo ante el cambio climático se basa en el concepto de riesgo, como la combinación del peligro y la vulnerabilidad (Magaña V. , 2013). La metodología propuesta considera la interacción de factores internos de un organismo operador (vulnerabilidad) contra un efecto del cambio climático (Amenaza) como factor externo que implica un impacto a los organismos operadores de agua potable y alcantarillado. De esta forma en la metodología propuesta el Riesgo se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$R = A \times V$$

En donde

A= es la amenaza, definida como la probabilidad de ocurrencia de un peligro o amenaza para el organismo operador.

V= es la vulnerabilidad del organismo operador de agua.

Con base en la expresión anterior, la propuesta metodológica para la evaluación del riesgo ante el cambio climático en los sistemas operadores de agua potable consta de dos elementos principalmente que son análisis de vulnerabilidad y el análisis de probabilidad de ocurrencia de la amenaza (Figura 5).



Figura 5. Etapas para la evaluación del riesgo ante el cambio climático en los sistemas operadores de agua potable.

5.2.1 ANALISIS DE VULNERABILIDAD

De acuerdo con Camacho (2014a), los análisis de vulnerabilidad en México se han enfocado al estudio y evaluación de aspectos críticos y tendencias del agua en diversas regiones (Kirshen, 2000), así como el análisis orientado a evaluar los efectos del cambio climático en la disponibilidad del agua de acuerdo a factores de disponibilidad, presión, contaminación, temperatura y precipitación (INE, 2008). En el año 2009 Galindo desarrollo el estudio “La Economía del Cambio Climático” en donde estima un índice de vulnerabilidad de acuerdo al efecto de los cambios de temperatura y precipitación en la disponibilidad natural y demanda de agua. A fin de obtener un rango de variación del posible incremento del índice, de acuerdo a las variaciones entre el escenario del año 2007 y los escenarios de los años 2050 y 2100 que se encuentran bajo cambio climático (Camacho H. , 2014a). Bajo este contexto, Camacho (2013) menciona que un análisis de vulnerabilidad que integre las proyecciones climáticas y el enfoque cuantitativo (en el marco de recursos hídricos), permitirá estimar el efecto de los impactos del cambio climático; logrando evaluar las diferentes índices de problemas en la operación de los organismos operadores que pueden incrementar la vulnerabilidad a este fenómeno atmosférico. El análisis de vulnerabilidad que propone Camacho (2013) forma parte de los tres elementos fundamentales en la metodología que propone para la evaluación de costos de adaptación al cambio climático en organismos operadores de

agua. La metodología consta de tres elementos fundamentales: un índice de vulnerabilidad, una función de demanda que incorpora como variables independientes la tarifa, el ingreso, la temperatura y la precipitación; y el cálculo de los costos asociados a los dos primeros elementos. En los párrafos siguientes se presentan la metodología para la determinación de factores de vulnerabilidad que propone Camacho (2013), sin embargo, para una descripción más detallada se sugiere consultar directamente a la fuente (Camacho H. , Evaluación de costos de adaptación al cambio climático en organismos operadores de agua, 2013)

La determinación de factores de vulnerabilidad para el análisis de riesgo ante los efectos del cambio climático en los sistemas operadores de agua, se centra en una evaluación de la vulnerabilidad, que comprende el análisis de un conjunto de variables sensibles a la variabilidad natural del clima y el cambio climático. Aunque evaluar los efectos en el sector de agua potable, alcantarillado y saneamiento ante la respuesta del medio hidrológico al cambio climático es complejo, en este sentido el análisis de vulnerabilidad permite valorar y determinar la capacidad de un organismo operador para adaptarse a dichos efectos. La determinación de los factores de vulnerabilidad para el análisis de riesgo propuesto en este trabajo, se basa en la metodología presentada por Camacho (2013). La metodología de Camacho, se fundamenta en la definición de vulnerabilidad planteada por el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático; definida como el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático (IPCC, 2007) y depende de tres factores:

- **Grado de exposición:** Carácter y grado en que un sistema está expuesto a variaciones climáticas importantes, haciendo referencia a la magnitud y escala de variación según el clima del que se trate.
- **Sensibilidad:** Grado en que un sistema resulta afectado (susceptibilidad), negativa o ventajosamente, por estímulos relativos al clima.
- **Capacidad de adaptación:** Capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluso a la variabilidad del clima y a los fenómenos extremos) de modo de mitigar posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias.

Considerando estos tres factores (exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación) Camacho (2013) genera un índice que permite evaluar de forma individual el grado de vulnerabilidad en un organismo operador basado en la agregación lineal y ponderada de dichos factores. De esta forma el factor de la vulnerabilidad queda definido por la siguiente expresión:

$$Iv = GE + SE + CA$$

Donde **Iv** es el índice de vulnerabilidad, **GE** es el grado de exposición, **SE** es la sensibilidad y **CA** es la capacidad de adaptación.

Para determinar cada uno de los factores se requiere llevar a cabo las etapas mostradas en la Figura 6.

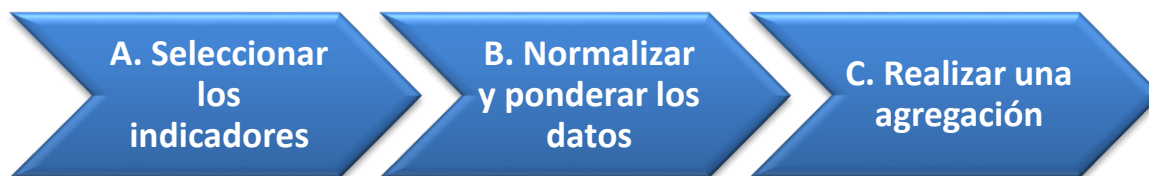


Figura 6. Etapas para determinar los factores de vulnerabilidad

Etapa A. Seleccionar los indicadores

De acuerdo a los indicadores que plantea el IPCC, se determina el conjunto de variables que permiten evaluar cada uno de los indicadores. En donde se considera que el grado de exposición se refiere a la magnitud y escala de variación del clima al cual se está expuesto, la sensibilidad es el nivel de susceptibilidad de un sistema a los efectos del cambio climático y la capacidad de adaptación es la habilidad de un sistema para ajustarse a diversos efectos del cambio climático con el propósito de aprovechar potenciales beneficios o bien, afrontar los retos que se impongan (Camacho H. , 2013).

Con la información del PIGOO se pueden seleccionar las variables y los indicadores para el cálculo de la vulnerabilidad. Sin embargo, es importante tener en cuenta que existen organismos operadores con diferente desarrollo de capacidades para generar información, es por ello que la selección de las variables para elaborar los indicadores se basa en la relevancia, calidad y disponibilidad de la información de un conjunto de 14 organismos operadores del país que presentaron homogeneidad en los datos. La siguiente tabla muestra las variables e indicadores asociados a cada factor de vulnerabilidad.

Factores de vulnerabilidad	Variables	Indicador
A) Grado de exposición	A1.Temperatura	Temperatura promedio anual (°C)
B) Sensibilidad	B1.Población/Ingreso/Precio (Demanda)	Consumo (l/h/d)
	B2.Confiabilidad de infraestructura	Grado de confiabilidad: Gastos de mtto./Ingreso total
	B3.Relación Demanda-Oferta	Demanda/Oferta
	B4.Presión hídrica	Grado de presión (%): Vol. Concesionado/Agua renovable
	B5.Eficiencia económica	Tarifa/Costos de producción
c) Capacidad de adaptación	C1.Desempeño	Eficiencia física (%)
		Eficiencia comercial (%)

Tabla 9 Selección de Indicadores de vulnerabilidad

Fuente: Camacho (2013)

En los párrafos siguientes se describe cada uno de los indicadores seleccionados, así como su importancia en la evaluación de vulnerabilidad. Es importante mencionar que para cada caso de estudio se pueden seleccionar otros indicadores

A) Grado de exposición. Se seleccionó a la temperatura como variable y como indicador a la Temperatura promedio anual (°C).

A1. Temperatura: El incremento de la evaporación debido a las altas temperaturas causará efectos sustanciales en la disponibilidad del recurso y en la calidad de agua, lo que implicaría aumento de costos de operación y generaría dificultad para satisfacer las crecientes demandas de agua.

B) Sensibilidad. Se seleccionaron cinco variables con sus respectivos indicadores:

B1. Consumo: Representa el consumo doméstico medido del que dispone una persona para sus necesidades diarias. Considerando el resultado de los futuros cambios climáticos, un incremento de la demanda de agua se traduce en mayores costos de operación que sumados a la problemática de escasez de agua y crecimiento de la población incrementan el grado de presión sobre los recursos hídricos y por consiguiente el nivel de vulnerabilidad del organismo operador.

B2. Grado de confiabilidad: Representa los gastos de mantenimiento en relación al ingreso total del organismo operador. Considerando que las redes e infraestructura requieren mantenimiento y rehabilitación apropiada. Si estas medidas no son efectivas y rutinariamente implementadas, el periodo de vida de la infraestructura y redes será excedida de forma que bajo fenómenos como el cambio climático resultaran desproporcionados y constantes incrementos en los costos de mantenimiento.

B3. Demanda/Oferta: Representa una relación entre el consumo y la capacidad instalada en las fuentes de abastecimiento, de forma que es un indicativo de la disponibilidad del recurso. Bajo un escenario de disminución de los suministro de agua superficial y la recarga de acuíferos por descenso de las precipitaciones se dificulta la capacidad de un organismo operador para cubrir los consumos mínimos requerimientos por la población. Esta variable es producto de dos elementos, la intención es observar el equilibrio de estos dos rubros.

B4. Grado de presión: Representa una relación entre el aprovechamiento del agua para diferentes usos (agrícolas, industriales, humanos) respecto a la

disponibilidad superficial y subterránea por región, lo que indica el grado de presión que se ejerce sobre los recursos hídricos. Bajo un escenario de cambio en la disponibilidad, se intensificaría la competencia entre los distintos usos lo que podría aumentar el grado de presión de los recursos y generar deficiencias en el suministro de agua. En lo concerniente a la variable presión hídrica, esta se conforma de dos rubros: asignación de volúmenes de agua del municipio y disponibilidad de agua en la cuenca.

B5. Tarifa/Costos de producción: Representa una relación entre las tarifas de agua y el costo que tiene proporcionar esa cantidad de agua (costos de mantenimiento, operación y administración). 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.

3) Capacidad de adaptación. Se seleccionaron dos variables con sus respectivos indicadores:

C1. Eficiencia física: Representa el cociente entre el volumen de agua facturado entre el volumen de agua producido, 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. La CONAGUA define la eficiencia física como: “el cociente del volumen de agua facturada entre el volumen de agua producido, en porcentaje”. El propósito de este indicador es determinar el volumen de agua que no se cuantifica, es decir que no se factura.

C2. Eficiencia comercial: Representa el cociente del primer importe recaudado dividido entre el importe del agua facturada por el suministro del agua, es el indicador simple que de manera más cercana valora el desempeño total de los

organismos operadores, tanto en dimensiones administrativas, como físicas. De acuerdo a la CONAGUA, la eficiencia comercial se define como: “el cociente del volumen de agua cobrada entre el volumen de agua facturado, en porcentaje” . El objetivo de este indicador (comercial) es determinar el volumen de agua que el organismo logra cobra en contraste con el volumen que factura.

Etapa B. Normalizar y ponderar los datos

Debido a que los indicadores seleccionados para la construcción del índice tienen escalas de valores diferentes, es necesario normalizar la información para que sea posible su agregación de manera comparable. La normalización de datos consiste en transformar los resultados de los indicadores en una nueva escala empleando la distancia entre los valores máximos y mínimos que el indicador adquiere y se obtiene con la siguiente ecuación.

$$Vn = \frac{(Vo - Vmin) * (Qmax - Qmin)}{(Vmax - Vmin)} + Qmin$$

En donde Vn es el valor normalizado, Vo es el valor original, $Vmax$ es el valor máximo original, $Vmin$ es el valor mínimo original, $Qmax$ es el valor máximo del nuevo intervalo y $Qmin$ es el valor mínimo del nuevo intervalo. El intervalo propuesto corresponde a una escala de 1 a 10, en donde 10 corresponde al valor del indicador que representa un mayor grado de vulnerabilidad y 1 representa el valor con menor grado de vulnerabilidad.

Estos valores normados suponen la necesidad de establecer diferentes factores de peso que den cuenta de la importancia relativa de cada indicador sobre el índice. El peso de cada indicador varía de acuerdo a las condiciones del organismo operador, Camacho (2013) asigna la misma jerarquía a todos los indicadores a fin de ver reflejada su importancia una vez calculado el índice. Sin embargo, Camacho (2013) define 3 rangos de ponderación para representar y dar importancia a la escala obtenida para cada indicador. Los rangos representan diferentes niveles de vulnerabilidad y tienen un efecto

diferente en el cálculo del índice, es por ello que Camacho (2013) definió una ponderación para cada rango dependiendo del grado de vulnerabilidad que represente (Tabla 10).

Ponderación	Grado de vulnerabilidad
1	Bajo
2	Medio
3	Alto

Tabla 10 Niveles de ponderación

Fuente: Camacho (2013)

Este análisis de vulnerabilidad, desde la propuesta de los indicadores, la normalización y su ponderación ayuda a tener una mejor comprensión de estos factores, ya que la vulnerabilidad ayuda a ver el estado actual de un OOAPAS y su posible estado en una proyección.

Etapas C. Realizar una agregación

Una vez determinada la normalización y ponderación se procede a agregar todos los indicadores para generar el índice de vulnerabilidad. El método utilizado representa una agregación lineal ponderada que consiste en una suma de los valores ponderados obtenidos de cada indicador (es la suma del grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de acuerdo a las características de cada organismo operador). El índice de vulnerabilidad se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Iv = \sum_{i=1}^N Wi * Vni$$

En donde *Iv* es el índice de vulnerabilidad, *W* es la ponderación del indicador *i* y *Vn* es el valor normalizado del indicador *i*.

5.2.2 ANALISIS DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA AMENAZA

Una vez que se determina la vulnerabilidad es necesario llevar a cabo la etapa del análisis de probabilidad de ocurrencia de la amenaza, que tiene como objetivo estimar la severidad y probabilidad de que se produzca un daño para el sistema operador de agua causado por la amenaza del cambio climático. En la metodología propuesta, para determinar la probabilidad de ocurrencia de la amenaza es necesario establecer: a) el horizonte temporal, b) el grado de la amenaza, c) las observaciones utilizadas, d) la probabilidad de ocurrencia de la amenaza, así como la valoración histórica y futura de la amenaza (SP, 2005).

- a) **Horizonte temporal:** es el periodo comprendido desde el escenario actual hasta el o los escenarios futuros para los cuales se estima la probabilidad de ocurrencia de la amenaza del aumento de temperatura provocada por el cambio climático para el organismo operador de agua.
- b) **Grado de la amenaza:** es la probabilidad de que el intervalo estimado contenga la amenaza del aumento de temperatura provocada por el cambio climático para el organismo operador de agua. Por ejemplo, cuando se escoge que la amenaza se presenta cuando el clima rebasa los 45°C, se determina la probabilidad de ocurrencia de que la temperatura sea mayor a este valor.
- c) **Observaciones utilizadas (población):** debe tomarse en cuenta la cantidad de observaciones utilizadas (también llamado población) para determinar el horizonte de los escenarios así como la distribución de probabilidad de la amenaza. En este sentido, Morgan y Henrion (1990) indican que la probabilidad no sólo depende del evento (la amenaza) en sí mismo, sino del nivel de información disponible acerca del mismo. Las series de datos largos permiten obtener distribuciones de probabilidad con un ajuste adecuado siempre y cuando la siguiente etapa se realice adecuadamente.
- d) **Probabilidad de ocurrencia de la amenaza:** La probabilidad de ocurrencia puede considerarse como el grado de la amenaza (también llamado nivel o grado de confiabilidad) que se establece de que ocurrirá un evento (la amenaza), tomando en cuenta toda la información disponible y conocida. La caracterización

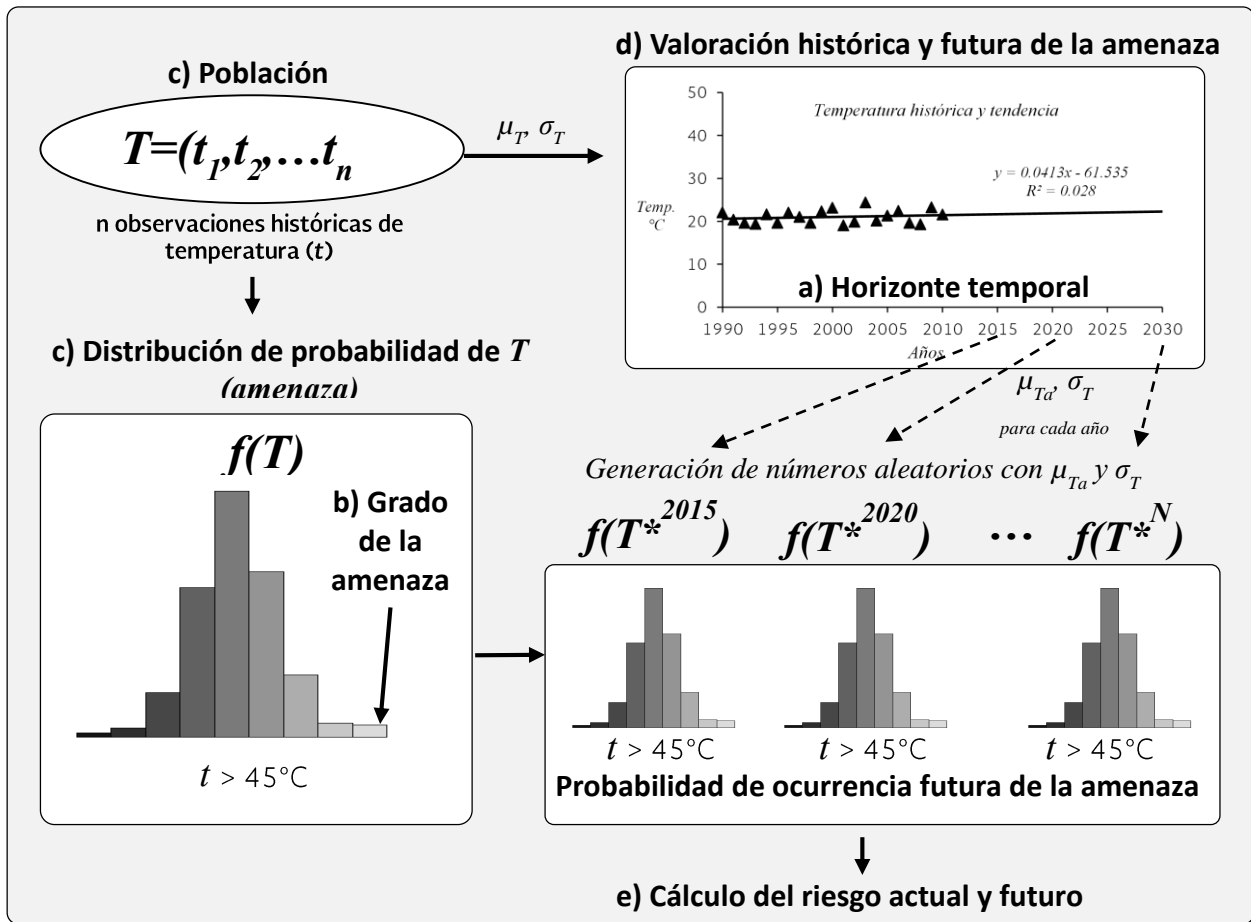
de grupos de información se lleva a cabo a través de la caracterización de una distribución de probabilidad y para llevar a cabo la selección de la distribución se debe realizar un análisis de la información disponible y de la variable que se está describiendo (Delgadillo, 2008). Un paso fundamental para la caracterización de la distribución de probabilidad consiste en determinar si el parámetro es discreto o continuo y tratar de entender el mecanismo subyacente. En este sentido la estadística inferencial tiene como problema general establecer las propiedades de un fenómeno aleatorio y para ello se requiere conocer la distribución de probabilidad de la variable aleatoria que se está estudiando. Aunque conocer la distribución de probabilidad puede resultar complicado, existen numerosos modelos de probabilidad que pueden ser usados para describir el comportamiento de las variables aleatorias que son estudiadas en las ciencias naturales (OAC, SF). Delgadillo (2008) indica que existen varias técnicas para caracterizar una distribución de probabilidad como son: técnicas gráficas, funciones empíricas y métodos de estimación como las pruebas de bondad de ajuste, entre otros. Las pruebas de bondad y ajuste (Xi-cuadrada, Shapiro Wilk y Anderson-Darling, entre otras) permiten determinar si una distribución corresponde a los datos.

- e) **Valoración histórica y futura de la amenaza:** la valoración histórica y se basa en los métodos conocidos como Monte Carlo y Simulación Histórica (SP, 2005). De acuerdo con Rivera-García (2010), el primero consiste en la simulación repetitiva de un proceso aleatorio para una variable de interés (amenaza, aumento de temperatura) creando un gran rango de posibles situaciones y los escenarios que son creados son valores que se generan a partir de la distribución de probabilidad de las variables que se suponen conocidas. El método de simulación histórica consiste en crear un conjunto de posibles situaciones futuras para una variable aleatoria a partir del comportamiento pasado de esa misma variable aleatoria; el método supone que las propiedades estocásticas de la variable aleatoria serán en el futuro las mismas que fueron en el pasado (SP, 2005). Para determinar la valoración histórica y futura de la amenaza (basada en los métodos de simulación histórica y simulación Monte Carlo), se requiere

obtener previamente un modelo de regresión lineal. El modelo se basará en las observaciones anteriores de la amenaza, así como en su distribución de probabilidad para estimar la variación de la amenaza a futuro. Ya obtenido el modelo de regresión lineal se lleva adelante la simulación histórica para obtener la probabilidad de ocurrencia de la amenaza de acuerdo al grado de la amenaza previamente establecido en el punto b de esta metodología.

5.2.3 CÁLCULO DEL RIESGO ACTUAL Y FUTURO

La siguiente figura muestra gráficamente la metodología para determinar la probabilidad de ocurrencia de la amenaza.



$t_1, t_2, \dots, t_n =$ observaciones históricas de temperatura media, mínima y

$\mu_T =$ media poblacional

$\sigma_T =$ desviación estándar poblacional

$\mu_{Ta} =$ estimación de temperatura futura por regresión lineal

Figura 7. Etapas para determinar la probabilidad de ocurrencia de la amenaza.

Fuente: Elaboración propia

Considerando al incremento de temperatura (T) como la amenaza para los sistemas operadores de agua potable debido al cambio climático, la distribución de probabilidad de esta amenaza se calcula para cada mes, debido que valores de temperatura varían mensualmente y consecuentemente la probabilidad de ocurrencia y el riesgo. En el siguiente capítulo se presenta un ejemplo de la implementación de la metodología del cálculo del riesgo para un sistema operador de agua potable debido al cambio climático.

6. IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA: CASO DE MEXICALI.

En este apartado se implementa la metodología propuesta para el análisis de riesgo de efectos del cambio climático en el organismo operador de agua de la Ciudad de Mexicali al Noroeste de México en el estado de Baja California Norte. La ciudad se ubica entre las coordenadas 30° 57' 40" - 32° 43' 00" de latitud norte y 115° 21' 50" - 115° 40' 20" de longitud oeste; que limita al norte con el Estado de California (E.U.), al noreste con el Estado de Arizona (E.U.) y con el Estado de Sonora, al este con el Golfo de California; al sur con el municipio de Ensenada y al oeste con los municipios de Ensenada y Tecate. Su división política comprende 14 delegaciones municipales: Colonia Progreso, Hechicera, Ciudad Morelos, Bataquez, Cerro Prieto, Colonia Venustiano Carranza, Colonias Nuevas, San Felipe, Los Algodones, Estación Delta, Guadalupe Victoria, Benito Juárez, González Ortega y Hermosillo.

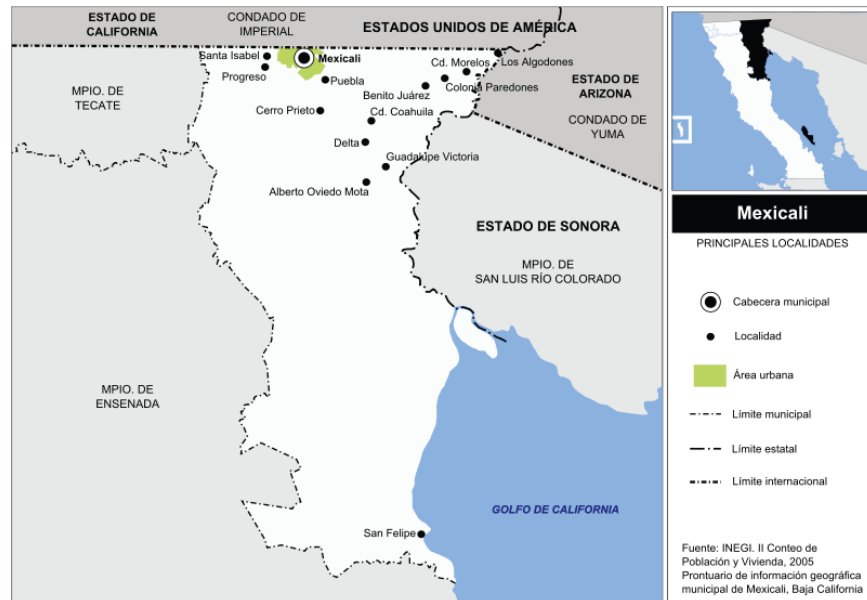


Figura 8 Ubicación de la ciudad de Mexicali

En el municipio de Mexicali, el volumen poblacional, según el censo de población y vivienda realizado por el INEGI en el 2010, alcanzaba los 936,826 habitantes, (50.51% población masculina y 49.49% población femenina), lo que representa cerca del 30% de la población total del estado (Camacho H. D., 2013). La figura 8 muestra la localización de la Ciudad de Mexicali.

La ciudad de Mexicali se abastece de agua del río Colorado de acuerdo al Tratado Sobre la Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de Norte América, relativo a la utilización de las aguas de los ríos Colorado, Tijuana y Bravo, firmado en Washington, D. C. el 3 de febrero de 1944, con el interés de los dos países para disponer de las aguas de estos tres ríos.

El agua del río Colorado se capta en México en la estructura derivadora presa Morelos que se encuentra en el poblado fronterizo de Los Algodones, B.C. El agua fluye por los canales del Distrito de Riego 014, donde el canal Benassini abastece a dos de las tres plantas potabilizadoras de la ciudad, en total las plantas en su conjunto tienen la capacidad para potabilizar 5550 litros por segundo (lps). Mientras que los permisos

concesionados para explotación de agua superficial y subterránea para la zona urbana suman 3413 litros por segundo.

La ciudad cuenta con una cobertura del servicio de agua potable mayor al 99%, lo que significa 2,888.2 kilómetros lineales de tubería que forman la red del sistema que abastece de agua la mancha urbana y un total de 335,835 tomas, de las cuales, el 93.4% corresponden a tomas domésticas y el resto comercial e industrial, prestando un servicio a una población de 785,102 habitantes.

En los siguientes puntos se describe la implementación de la propuesta metodológica para la evaluación del riesgo ante el cambio climático en el sistema operador de agua en el organismo operador de agua de la Ciudad de Mexicali. Como un primer paso se realiza el análisis de vulnerabilidad, posteriormente el análisis de probabilidad de ocurrencia de la amenaza para finalmente determinar el riesgo.

6.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD

Para realizar el análisis de vulnerabilidad se requiere llevar a cabo tres etapas: A) Seleccionar los indicadores, B) Normalizar y ponderar los datos y C) Realizar una agregación.

6.1.1 Etapa A. Seleccionar los indicadores

Considerando estos los tres factores: 1) exposición, 2) sensibilidad y 3) capacidad de adaptación, se genera un índice que permite evaluar de forma individual el grado de vulnerabilidad en el organismo operador de agua de la Ciudad de Mexicali. La vulnerabilidad de Mexicali fue analizada con los siguientes indicadores:

- Grado de Exposición: Temperatura.

- Sensibilidad: Consumo, Grado de Confiabilidad, Demanda/Oferta, Grado depresión, Tarifa /costos de producción.
- Capacidad de Adaptación: Eficiencia Física, Eficiencia Comercial.

Con base en la selección de Indicadores de vulnerabilidad propuesta por Camacho (2013), para este caso de estudio se consideraron dos índices de vulnerabilidad con sus respectivas condiciones de variables para dos escenarios de vulnerabilidad propuestos.

6.1.2 Etapa B. Normalizar y ponderar los datos

Como se describe en la sección 5.2.1, los indicadores seleccionados para la construcción del índice tienen escalas de valores diferentes por este motivo es necesario normalizar la información para que sea posible su agregación de manera comparable. El proceso y las fórmulas para realizar el proceso de la normalización y ponderación de los datos se describe en la sección 5.2.1 y los resultados de este proceso para el sistema operador de agua de la Ciudad de Mexicali se muestra en la Tabla 11 y la Tabla 12.

Factores de vulnerabilidad	Indicador	Rango		Ponderación
		Real	Normalizado	
Grado de exposición	Temperatura promedio anual (°C)	20.00-29.90	1.00 – 4.56	1
		29.90 – 38.00	4.56-7.48	2
		38.00 – 45.00	7.48 - 10.00	3
Sensibilidad	Consumo (l/h/d)	100 – 150	1.00 - 2.29	1
		150 - 300	2.29 - 6.14	2
		300 - 450	6.14 -10.00	3
	Grado de confiabilidad: Gastos de mtto./Ingreso total	0 - 0.15	10.00 – 7.00	3
		0.15 - 0.30	7.00 – 4.00	2
		0.30 - 0.45	4.00 – 1.00	1
	Demanda/Oferta	0.20 - 0.40	1.00 – 3.25	1
		0.40 - 0.70	3.25 – 6.63	2
		0.70 – 1.0	6.63 – 10.00	3
	Grado de presión (%): Vol. Concesionario/Agua	0 - 20	1.00 - 2.50	1
		20 - 40	2.50 – 4.00	2
40 - 120		4.00 - 10.00	3	

	renovable			
	Tarifa/Costos de producción	0 - 1.0	10.00 – 6.40	3
		1.0 – 1.75	6.40 – 3.70	2
1.75 – 2.50		3.70 – 1.00	1	
Capacidad de adaptación	Eficiencia física (%)	0.40- 0.50	10.00 – 8.50	3
		0.50 – 0.70	8.50 – 5.50	2
		0.70 – 1.00	5.50 – 1.00	1
	Eficiencia comercial (%)	0.40- 0.50	10.00 – 8.50	3
		0.50 – 0.70	8.50 – 5.50	2
		0.70 – 1.00	5.50 – 1.00	1

Tabla 11 Normalización y ponderación de rangos

6.1.3. Etapa C Realizar una agregación

Una vez determinada la normalización y ponderación se procede a agregar todos los indicadores para generar el índice de vulnerabilidad. El proceso y la fórmula para realizar el proceso de agregación se describe en la sección 5.2.1 y los resultados de este proceso para el sistema operador de agua de la Ciudad de Mexicali se muestra en la Tabla 12. De acuerdo a la información proporcionada por la Comisión Estatal del Agua de Baja California, se evaluó el grado de susceptibilidad del sistema a de agua potable, alcantarillado y saneamiento de la ciudad de Mexicali a través del índice de vulnerabilidad. Los valores de los indicadores de vulnerabilidad presentados en la tabla siguiente corresponden a datos para la ciudad de Mexicali en el periodo correspondiente al 2010.

Factores de vulnerabilidad	Indicador	Rango		Ponderación (Grado de vulnerabilidad)	Mexicali 2010	
		Real	Normalizado		Valor normalizado	Valor ponderado
Grado de exposición	Temperatura promedio anual (°C)	20.00-29.90	1.00 – 4.56	1	5.32	10.64
		29.90 – 38.00	4.56-7.48	2		
		38.00 – 45.00	7.48 - 10.00	3		
Sensibilidad	Consumo (l/h/d)	100 – 150	1.00 - 2.29	1	6.38	19.14
		150 - 300	2.29 - 6.14	2		
		300 - 450	6.14 -10.00	3		
	Grado de	0 - 0.15	10.00 – 7.00	3	9.11	27.32

	confiabilidad: Costos de mto./Ingreso total	0.15 - 0.30	7.00 - 4.00	2	5.57	11.14			
		0.30 - 0.45	4.00 - 1.00	1					
	Demanda/ Oferta	0.20 - 0.40	1.00 - 3.25	1					
		0.40 - 0.70	3.25 - 6.63	2					
		0.70 - 1.0	6.63 - 10.00	3					
	Grado de presión (%): Vol.	0 - 20	1.00 - 2.50	1			6.50	19.49	
		20 - 40	2.50 - 4.00	2					
	Concesionado/Agua renovable	40 - 120	4.00 - 10.00	3					
		Tarifa/Costos de producción	0 - 1.0	10.00 - 6.40			3	3.45	3.45
			1.0 - 1.75	6.40 - 3.70			2		
1.75 - 2.50	3.70 - 1.00		1						
Capacidad de adaptación	Eficiencia física (%)	0.40 - 0.50	10.00 - 8.50	3	2.89	2.89			
		0.50 - 0.70	8.50 - 5.50	2					
		0.70 - 1.00	5.50 - 1.00	1					
	Eficiencia comercial (%)	0.40 - 0.50	10.00 - 8.50	3	4.19	4.19			
		0.50 - 0.70	8.50 - 5.50	2					
		0.70 - 1.00	5.50 - 1.00	1					
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD						98.27			

Tabla 12 Índice de vulnerabilidad (2010). Mexicali

Con la tabla anterior, se puede ver que peso tienen los indicadores contra el total del valor de la vulnerabilidad acumulada, esto es para fines de practicidad si se desea tomar medidas de adaptación para poder disminuir el valor de los indicadores. Una vez encontradas las vulnerabilidades se procede a realizar el análisis de probabilidad de la amenaza.

6.2 ANÁLISIS DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE LA AMENAZA

La ciudad de Mexicali es una de las zonas urbanas con un alto nivel de desarrollo humano, lo cual se refleja en la calidad del servicio de abastecimiento de agua potable que reciben sus habitantes. No obstante el alto desempeño del sistema de agua municipal, el cambio climático es un fenómeno natural extremo que puede causar efectos negativos en la prestación de los servicios del organismo operador y aunque se

cuenta con capacidades de afrontar eventualidades que ponen a prueba la operación de la infraestructura de captación, potabilización y distribución del agua potable, efectos tales como cambios en la calidad del agua, disminución en la disponibilidad, temperaturas extremas; pueden ocasionar temporalmente fallas en la operación con repercusiones en los costos de producción-entrega así como de las insatisfacciones de los usuarios. Estos efectos serán los que representen las amenazas que se originan por el cambio climático, y las cuales pueden ser analizadas a partir de los registros históricos de ocurrencia para con ello, efectuar una proyección a futuro que aproxime a una predicción de la posibilidad de que se presente en años posteriores.

6.2.1 Horizonte temporal

El horizonte temporal es el periodo comprendido desde el escenario actual hasta el o los escenarios futuros para los cuales se estima la probabilidad de ocurrencia de la amenaza del aumento de temperatura provocada por el cambio climático para el organismo operador de agua. En el caso de estudio del sistema operador de agua de la Ciudad de Mexicali se establecen dos escenarios, el escenario base y el escenario con cambio climático.

Escenario 1 (escenario base)

Crece las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, la tarifa permanece constante y no hay inversión económica en ninguna de las variables que intervienen en el cálculo del índice, por lo que es de esperarse que la vulnerabilidad aumente al igual que los costos de operación que deberán satisfacer el incremento de la demanda.

Escenario 2 Cambio Climático

Crece las variables: nivel de precios, PIB y población a las tasas esperadas, de acuerdo a los escenarios proyectados la temperatura aumenta con respecto a la climatología base (1961-1990). No se considera inversión económica en ninguna de las variables que

intervienen en el cálculo del índice por lo que es de esperarse que la vulnerabilidad aumente. Así mismo, se considera que se satisface la demanda por lo que aumentan los costos de operación. Se analiza el riesgo ante el cambio climático en un escenario donde no existe la variación de temperatura contra un escenario donde se proyectan las variaciones de temperatura.

6.2.2 Grado de la amenaza

El grado de la amenaza es la probabilidad de que el intervalo estimado contenga la amenaza del aumento de temperatura provocada por el cambio climático para el organismo operador de agua. Para el caso de estudio del organismo operador de agua de la Ciudad de Mexicali, se determina que la amenaza se presenta cuando el clima rebasa los 45°C. Con base a este criterio se determina la probabilidad de ocurrencia de que la temperatura sea mayor a este valor.

Resiliencia

Al efectuar un análisis de predicción que considere el disturbio de un componente del sistema y su interacción con el resto de componentes; es necesario considerar el concepto de resiliencia (Melillo, 1991).

La cual algunos autores definen como: “la capacidad de un sistema a estar sometido a un disturbio y mantener sus funciones y controles”. Otros autores la definen como: “la habilidad del sistema de resistir un disturbio y la proporción con la cual regresa al equilibrio anterior al disturbio”. (Carpenter, 2001)

La resiliencia presenta tres propiedades básicas:

La cantidad de cambio que el sistema puede soportar (e implícitamente, por lo tanto, la cantidad de fuerza extrínseca que el sistema puede sostener) y aún permanecer en el mismo dominio (es decir, retener el mismo control sobre las funciones y la estructura).

El grado al cual el sistema es capaz de auto-organizarse (en contraste con falta de organización u organización forzada por factores externos).

El grado al cual el sistema puede construir su capacidad de aprender y adaptarse. La capacidad adaptativa es un componente de la resiliencia que refleja el aspecto de aprendizaje del comportamiento del sistema en respuesta al disturbio. A diferencia de la sustentabilidad, la resiliencia puede ser deseable o indeseable.

Es importante señalar, que las especificaciones cuantitativas de la resiliencia están sujetas a aspectos de escala temporal, espacial y social en la cual están insertas.

De acuerdo al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) se pueden señalar tres tipos de resiliencias: (Carpenter, 2001)

Resiliencia ecológica: “cantidad de cambio que un sistema puede soportar y aún mantener el mismo estado o dominio de atracción, ser capaz de auto-organizarse y poder adaptarse a las condiciones cambiantes”.

Resiliencia de ingeniería: “una medida de la proporción a la cual el sistema se acerca a un estado estable después de una perturbación, también medido como el inverso del tiempo de regreso”.

Resiliencia social: “habilidad de las comunidades humanas de aguantar choques externos o perturbaciones a su infraestructura, como la variabilidad ambiental o social y sublevaciones económicas o políticas y reponerse de estas perturbaciones”.

Es importante señalar, que la vulnerabilidad es el concepto opuesto a la resiliencia, por lo tanto, cuando un sistema social o ecológico pierde resiliencia se vuelve vulnerable al cambio que previamente podría absorber. Por lo tanto, un sistema con amplia capacidad de resiliencia, tiene el potencial de crear oportunidades para el desarrollo o resistir los embates de un cambio. En contraparte, un sistema vulnerable, incluso los cambios más pequeños pueden ser devastadores.

En el caso de estudio, se consideraron puntos de resiliencia de la variable de Temperatura donde fueron considerados los datos correspondientes a los meses de julio del periodo

2000-2010. Este mes tuvo la temperatura promedio más alta, en contraste con el resto de meses en el mismo período.

La temperatura promedio proveniente de los meses de julio corresponde a 43.68°C y una desviación estándar de 2.32°C .

Por ende, para la creación del punto de resiliencia se consideró la temperatura promedio de ese mes, aunado a la desviación estándar. Lo que resultó en un punto de resiliencia de 45°C .

Como se señaló previamente en este capítulo se un comportamiento de esta variable por los próximos 20 años. Debe señalarse que en este caso el número aleatorio corresponde a un valor entre 0 y 1 grados, donde a las observaciones obtenidas se les adicionará un número aleatorio correspondiente a un valor entre 0 y 1 grados. La interpretación de este incremento en la temperatura, son las proyecciones descritas en el Atlas de Vulnerabilidad Hídrica 2012.

En el comportamiento de la temperatura se efectuará el cálculo probabilístico donde se hará a través de funciones de densidad probabilística y el punto de resiliencia será la guía para efectuar el cálculo de la probabilidad.

Como se señaló previamente este factor está asociado a exposiciones climáticas significativas, en el caso de referencia se considera la temperatura como la amenaza a la que es susceptible el sistema; para fines de este estudio la amenaza de temperatura se representa como la temperatura máxima registrada en el día. La cual fue obtenida por datos provenientes del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC), interfaz que facilita la extracción de la información contenida en la base de datos CLICOM (programa de la Organización Mundial Meteorológica) y el banco de datos histórico nacional del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

33.4°C (Tabla 13). La figura 10 muestra histograma de las temperaturas media, mínima y máxima históricas de todos los meses para los datos del periodo 1990-2010.

Temperaturas históricas (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	18.1	Media	31.8	Media	16.4
Máxima	38.5	Máxima	52.0	Máxima	33.4
Mínima	-1	Mínima	9.00	Mínima	-2.00
Varianza	59.4	Varianza	81.9	Varianza	58.8
Desv. Est.	7.71	Desv. Est.	9.05	Desv. Est.	7.67

Tabla 13 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima de la estación N° 2033 para el período 1990-2010

Fuente: Elaboración propia con datos correspondientes a la estación N° 2033, año 2014.

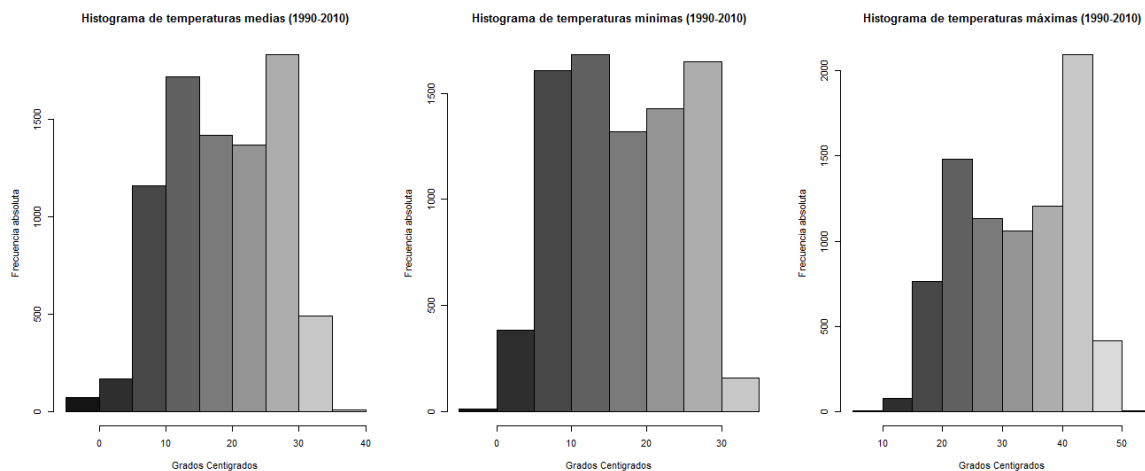


Figura 10 Histograma de temperatura media, mínima y máxima de la estación N° 2033 para el período 1990-2010

Fuente: Elaboración propia con datos correspondientes a la estación N° 2033, año 2014.

Los resultados del el histograma muestran que la mayor temperatura media histórica oscila alrededor de 31.00° C. Los datos de temperatura de la Ciudad de Mexicali muestran que las grandes diferencias de temperatura se presentan en las épocas de primavera-verano, en contraste, con la temporada otoño-invierno. Debido a que existen marcadas diferencias de temperatura en cada una de las temporadas, se realiza un

análisis estadístico para cada mes. Con la intención de observar la diferencia de promedios en cada uno de los meses y observar su comportamiento.

1) ENERO

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de enero de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

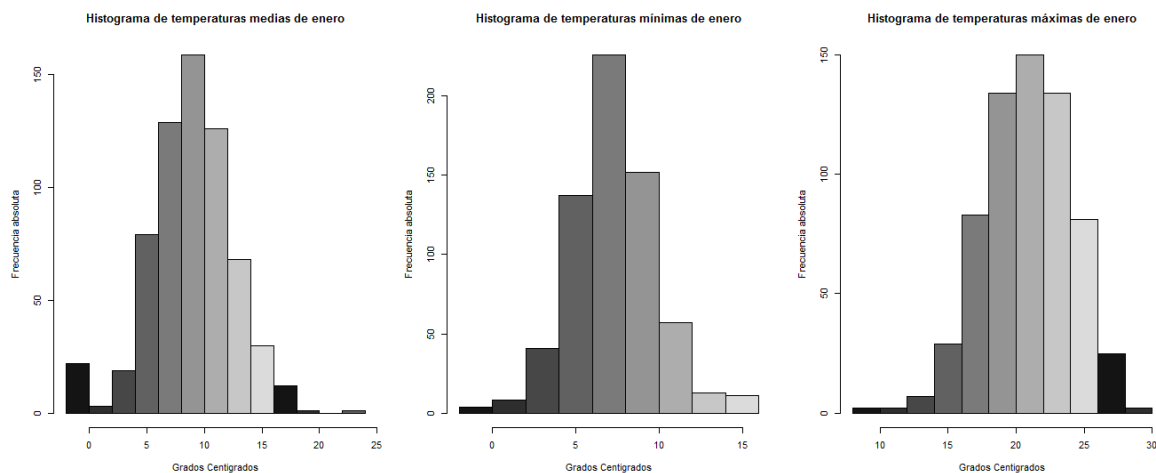


Figura 11 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de enero de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de enero (1990-2010)						
	Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	8.00		Media	21.00	Media	7.00
Máxima	23.00		Máxima	29.50	Máxima	16.00
Mínima	-1.00		Mínima	9.00	Mínima	-2.00
Varianza	12.17		Varianza	10.11	Varianza	6.57
Desv. Est.	3.49		Desv. Est.	3.18	Desv. Est.	2.56

Tabla 14 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de enero de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de enero muestran que la temperatura media máxima histórica es de 21.00° C, el valor máximo 29.50 °C y el valor mínimo 9.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	9.53	6.53	22.07
1991	12.49	6.81	20.38
1992	11.51	6.12	19.65
1993	14.02	8.58	19.39
1994	9.61	7.08	21.62
1995	9.95	8.11	19.61
1996	9.28	7.51	22.02
1997	10.02	8.42	21.02
1998	8.13	7.39	19.62
1999	8.35	7.54	22.31
2000	2.08	7.29	23.15
2001	7.19	6.31	19.04
2002	7.21	6.79	19.88
2003	10.93	9.95	24.35
2004	7.92	6.97	20.14
2005	10.04	9.54	21.29
2006	9.23	7.58	22.40
2007	6.78	5.44	19.61
2008	7.70	6.28	19.27
2009	9.90	8.60	23.23
2010	9.48	8.74	21.55

Tabla 15 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de enero de la estación N° 2033, período 1990-2010

2) FEBRERO

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de febrero de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

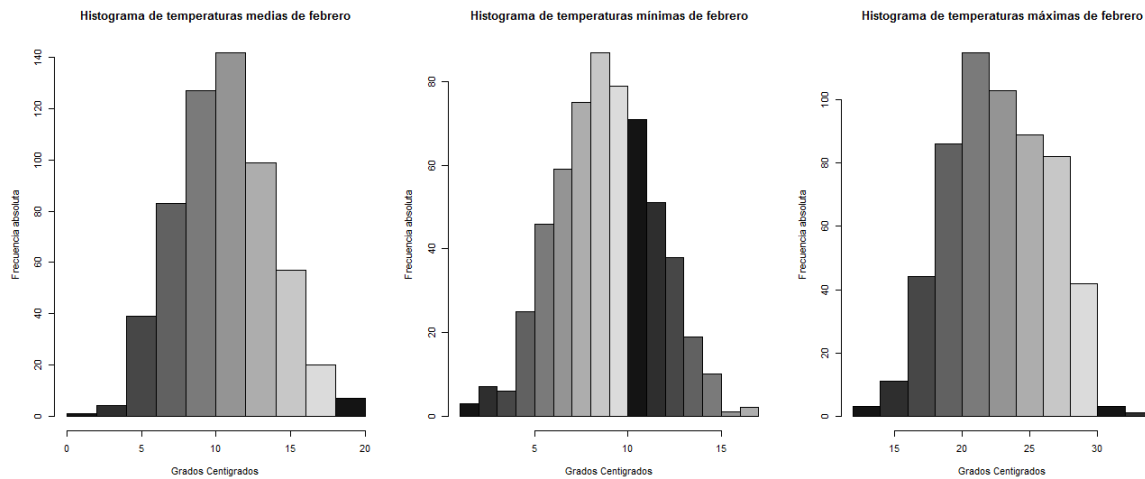


Figura 12 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de febrero de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de febrero (1990-2010)						
	Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	10.00		Media	20.00	Media	9.00
Máxima	20.00		Máxima	32.20	Máxima	16.70
Mínima	1.40		Mínima	12.50	Mínima	1.30
Varianza	9.84		Varianza	13.16	Varianza	6.98
Desv. Est.	3.14		Desv. Est.	3.63	Desv. Est.	2.64

Tabla 16 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de febrero de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de febrero muestran que la temperatura media máxima histórica es de 20.00° C, el valor máximo 32.20 °C y el valor mínimo 12.50 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	9.98	5.73	20.73
1991	15.70	10.82	26.55
1992	14.61	9.59	24.16
1993	12.06	9.31	20.08
1994	10.56	7.74	20.78
1995	12.94	11.11	25.86
1996	12.39	11.37	24.55
1997	9.25	7.83	22.85
1998	9.64	8.84	19.33
1999	9.17	8.49	23.36
2000	10.14	9.58	23.63
2001	9.13	8.07	20.57
2002	8.20	7.52	23.59
2003	10.66	10.11	21.10
2004	8.76	7.86	22.45
2005	11.08	9.99	22.00
2006	9.84	8.84	25.13
2007	11.14	9.41	24.40
2008	10.08	8.63	23.38
2009	10.14	9.01	23.13
2010	11.12	10.00	22.76

Tabla 17 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de febrero de la estación N° 2033, período 1990-2010

3) MARZO

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de marzo de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

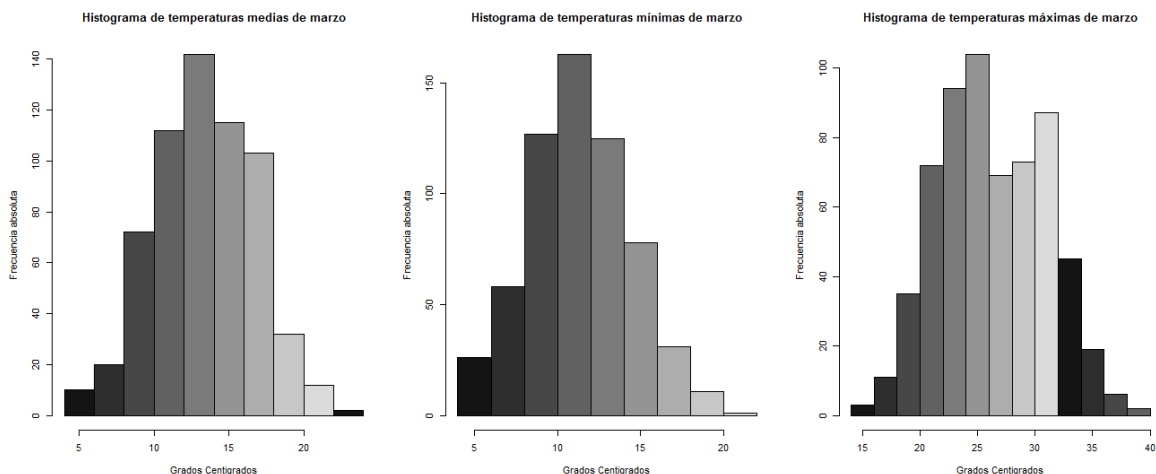


Figura 13 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de marzo de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de marzo (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	12.00	Media	24.00	Media	12.00
Máxima	23.00	Máxima	39.50	Máxima	22.00
Mínima	4.40	Mínima	14.50	Mínima	4.00
Varianza	11.23	Varianza	21.27	Varianza	9.65
Desv. Est.	3.35	Desv. Est.	4.61	Desv. Est.	3.11

Tabla 18 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de marzo de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de marzo muestran que la temperatura media máxima histórica es de 24.00° C, el valor máximo 39.50 °C y el valor mínimo 14.50 °C.

Comparando estos datos con los del mes anterior se observan incrementos significativos en las variables de temperatura promedio y máxima. No así el caso de la temperatura mínima que es similar. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	14.32	9.64	24.83
1991	14.19	7.99	21.54
1992	16.15	11.58	25.51
1993	15.92	12.92	27.64

2014, Año de Octavio Paz

1994	16.38	12.78	25.07
1995	14.60	12.40	26.75
1996	13.17	12.02	28.25
1997	13.05	11.54	29.93
1998	11.98	11.00	24.81
1999	11.24	10.44	25.43
2000	11.32	10.46	26.83
2001	13.33	12.25	26.39
2002	11.59	10.52	25.28
2003	13.47	12.63	26.25
2004	16.85	15.50	32.65
2005	13.97	12.02	26.83
2006	12.15	10.36	23.27
2007	14.65	13.03	29.33
2008	13.85	12.15	28.00
2009	13.11	11.52	26.86
2010	12.50	11.15	25.84

Tabla 19 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de marzo de la estación N° 2033, período 1990-2010

4) ABRIL

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de abril de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

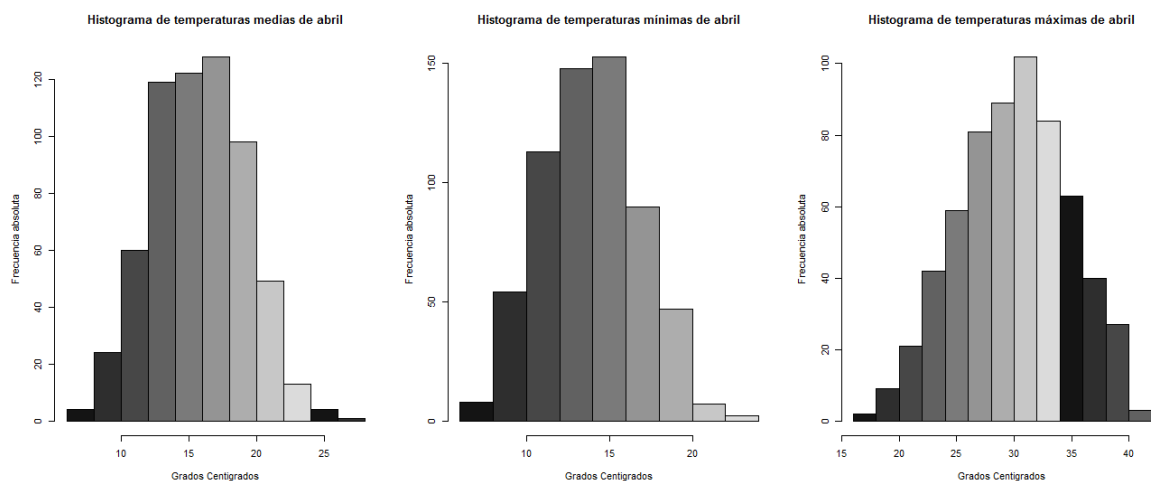


Figura 14 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de abril de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de abril (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	14.00	Media	31.00	Media	15.00
Máxima	26.20	Máxima	41.00	Máxima	24.00
Mínima	7.00	Mínima	17.00	Mínima	6.50
Varianza	11.51	Varianza	22.71	Varianza	8.73
Desv. Est.	3.39	Desv. Est.	4.77	Desv. Est.	2.95

Tabla 20 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de abril de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de abril muestran que la temperatura media máxima histórica es de 31.00° C, el valor máximo 41.00 °C y el valor mínimo 17.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	17.77	15.22	29.11
1991	17.54	12.20	28.88
1992	20.97	16.39	31.42
1993	18.09	15.27	30.49
1994	17.84	15.03	30.97
1995	14.97	12.72	29.43
1996	16.68	15.49	32.54
1997	15.54	14.23	31.08
1998	13.93	12.52	27.87
1999	13.30	12.38	27.81
2000	15.78	14.42	33.63
2001	14.76	13.54	29.12
2002	16.44	15.54	30.74
2003	14.39	13.20	27.44
2004	16.39	15.17	31.98
2005	15.70	14.29	31.17
2006	14.92	13.55	28.94
2007	16.10	14.51	31.57
2008	15.84	13.73	31.38
2009	15.40	13.72	30.35
2010	14.43	13.54	28.42

Tabla 21 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de abril de la estación N° 2033, período 1990-2010

5) MAYO

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de mayo de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

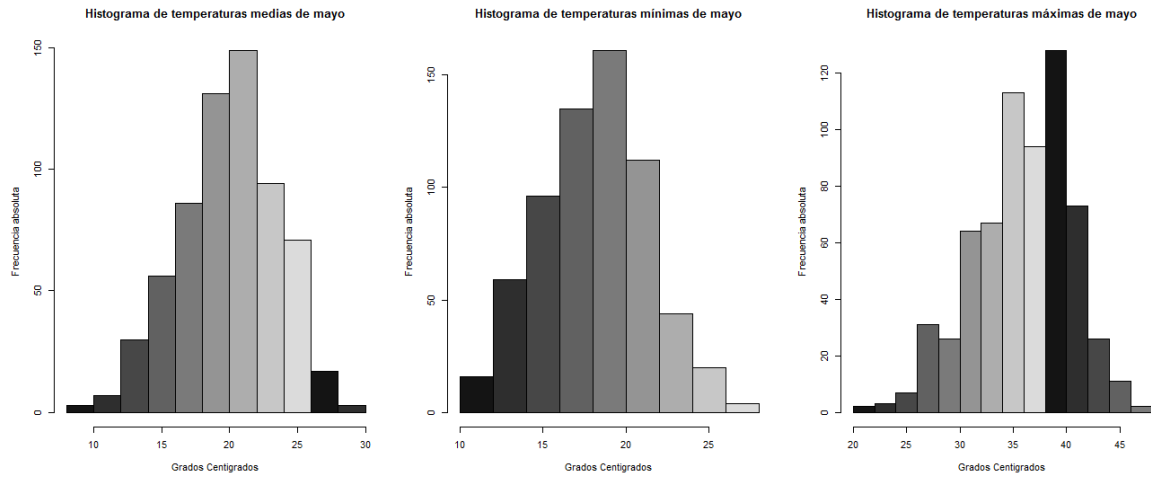


Figura 15 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de mayo de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de mayo (1990-2010)					
	Media	Mínima		Máxima	
Media	20.00	Media	35.00	Media	20.00
Máxima	29.00	Máxima	47.00	Máxima	27.50
Mínima	9.00	Mínima	20.00	Mínima	9.00
Varianza	12.69	Varianza	20.38	Varianza	10.47
Desv. Est.	3.56	Desv. Est.	4.51	Desv. Est.	3.24

Tabla 22 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de mayo de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de mayo muestran que la temperatura media máxima histórica es de 35.00° C, el valor máximo 47.00 °C y el valor mínimo 20.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio
-----	----------------------

2014, Año de Octavio Paz

	Med	Min	Max
1990	19.89	16.76	34.53
1991	22.25	16.73	32.88
1992	23.63	19.19	36.88
1993	21.99	19.02	35.36
1994	20.70	16.77	34.23
1995	17.24	15.74	31.81
1996	20.31	18.81	38.59
1997	22.24	21.44	39.76
1998	16.91	15.65	31.98
1999	17.88	16.78	35.66
2000	21.16	19.75	39.36
2001	22.32	21.14	39.42
2002	19.09	17.75	35.84
2003	20.22	19.62	35.45
2004	21.10	19.24	37.90
2005	20.63	19.22	36.38
2006	20.05	18.81	37.14
2007	19.90	18.90	36.53
2008	18.79	16.87	33.77
2009	22.46	20.66	39.16
2010	17.88	16.39	33.59

Tabla 23 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de mayo de la estación N° 2033, período 1990-2010

6) JUNIO

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de junio de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

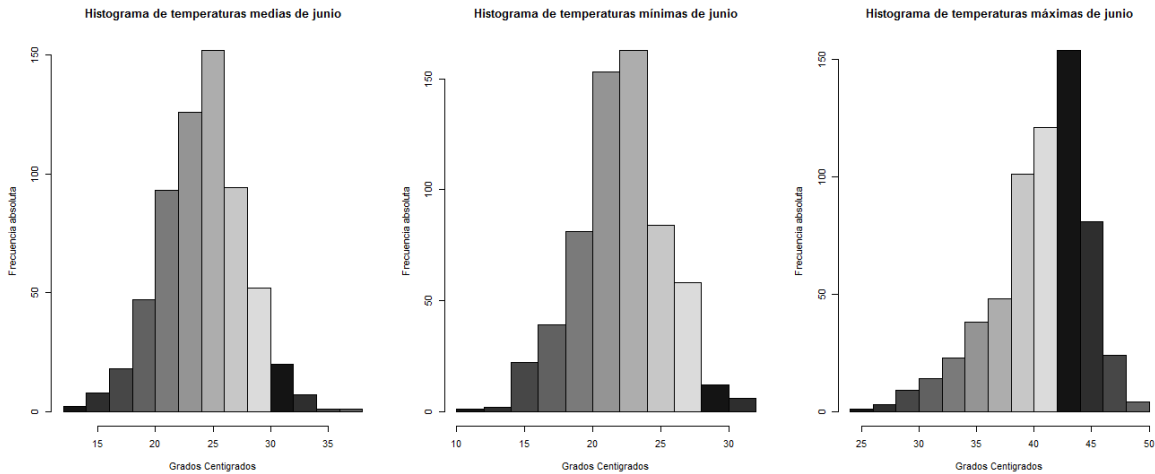


Figura 16 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de junio de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de junio (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	25.00	Media	42.00	Media	22.00
Máxima	37.00	Máxima	49.10	Máxima	32.00
Mínima	13.00	Mínima	25.00	Mínima	11.80
Varianza	12.32	Varianza	16.37	Varianza	10.60
Desv. Est.	3.51	Desv. Est.	4.05	Desv. Est.	3.26

Tabla 24 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de junio de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de junio muestran que la temperatura media máxima histórica es de 42.00° C, el valor máximo 49.10 °C y el valor mínimo 25.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	25.87	21.45	40.60
1991	26.59	22.38	38.26
1992	26.36	22.48	39.64
1993	25.83	22.97	39.35
1994	29.38	24.84	43.77
1995	22.67	20.70	39.11

2014, Año de Octavio Paz

1996	23.02	21.97	42.53
1997	22.04	20.74	40.06
1998	20.86	19.50	38.32
1999	22.44	21.69	39.87
2000	25.16	23.31	41.66
2001	25.08	24.12	42.40
2002	24.59	23.42	42.66
2003	23.39	22.65	40.70
2004	23.04	21.65	40.86
2005	23.45	21.62	40.17
2006	26.93	24.80	42.59
2007	23.14	22.12	41.42
2008	25.60	23.74	42.32
2009	23.38	21.59	38.31
2010	23.24	22.06	40.48

Tabla 25 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de junio de la estación N° 2033, período 1990-2010

7) JULIO

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de julio de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

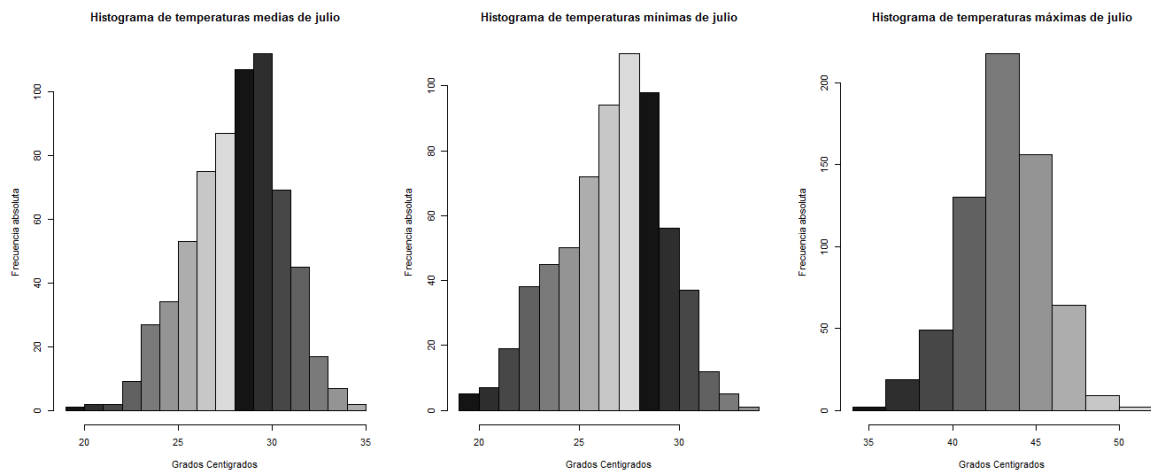


Figura 17 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de julio de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de julio (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	29.00	Media	43.00	Media	28.00

Máxima	35.00	Máxima	52.00	Máxima	33.40
Mínima	19.60	Mínima	35.00	Mínima	19.00
Varianza	6.05	Varianza	6.31	Varianza	6.66
Desv. Est.	2.46	Desv. Est.	2.51	Desv. Est.	2.58

Tabla 26 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de julio de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de julio muestran que la temperatura media máxima histórica es de 43.00° C, el valor máximo 52.00 °C y el valor mínimo 35.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	9.53	6.53	22.07
1991	31.43	28.10	42.85
1992	28.28	24.82	40.99
1993	29.40	26.47	42.23
1994	27.98	25.71	41.85
1995	30.19	27.50	44.40
1996	27.18	25.42	43.90
1997	28.93	28.18	43.65
1998	25.17	24.17	42.66
1999	28.35	27.38	43.23
2000	27.50	26.62	41.95
2001	26.93	25.35	43.63
2002	26.56	26.08	43.00
2003	28.22	27.52	43.88
2004	29.00	28.54	43.22
2005	27.61	26.56	43.84
2006	28.19	27.25	44.89
2007	30.37	29.36	43.90
2008	28.35	27.23	43.07
2009	28.03	26.79	42.55
2010	29.23	28.26	45.05

Tabla 27 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de julio de la estación N° 2033, período 1990-2010

8) AGOSTO

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de eneroagosto de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

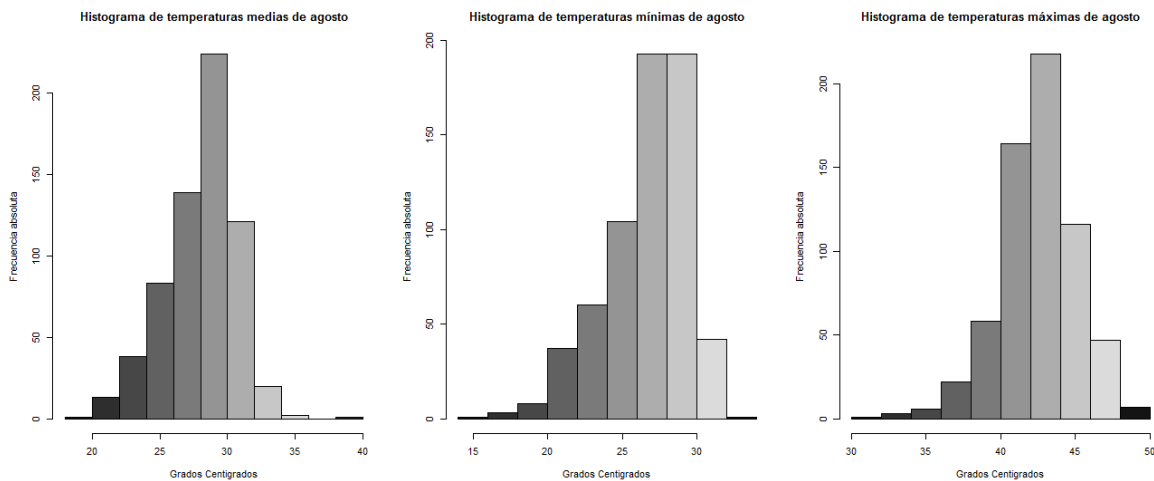


Figura 18 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de agosto de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de agosto (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	30.00	Media	42.00	Media	28.00
Máxima	38.50	Máxima	49.20	Máxima	32.50
Mínima	18.50	Mínima	31.00	Mínima	14.50
Varianza	6.94	Varianza	6.97	Varianza	7.97
Desv. Est.	2.63	Desv. Est.	2.64	Desv. Est.	2.82

Tabla 28 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de agosto de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de agosto muestran que la temperatura media máxima histórica es de 42.00° C, el valor máximo 49.20 °C y el valor mínimo 31.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

2014, Año de Octavio Paz

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	28.48	25.74	41.26
1991	29.15	26.55	43.40
1992	29.99	25.48	44.12
1993	27.94	26.91	40.59
1994	30.68	26.87	43.65
1995	29.46	28.68	44.16
1996	27.81	26.78	43.45
1997	28.88	28.17	42.89
1998	29.10	28.04	42.37
1999	26.56	25.74	42.11
2000	28.77	28.07	42.44
2001	28.09	27.46	42.57
2002	26.62	25.79	42.28
2003	28.77	28.06	40.90
2004	26.92	25.80	43.17
2005	27.97	26.71	42.95
2006	27.40	26.55	42.59
2007	29.01	27.99	43.22
2008	28.05	26.81	41.70
2009	27.42	26.14	43.06
2010	27.30	26.14	42.47

Tabla 29 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de agosto de la estación N° 2033, período 1990-2010

9) SEPTIEMBRE

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de septiembre de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

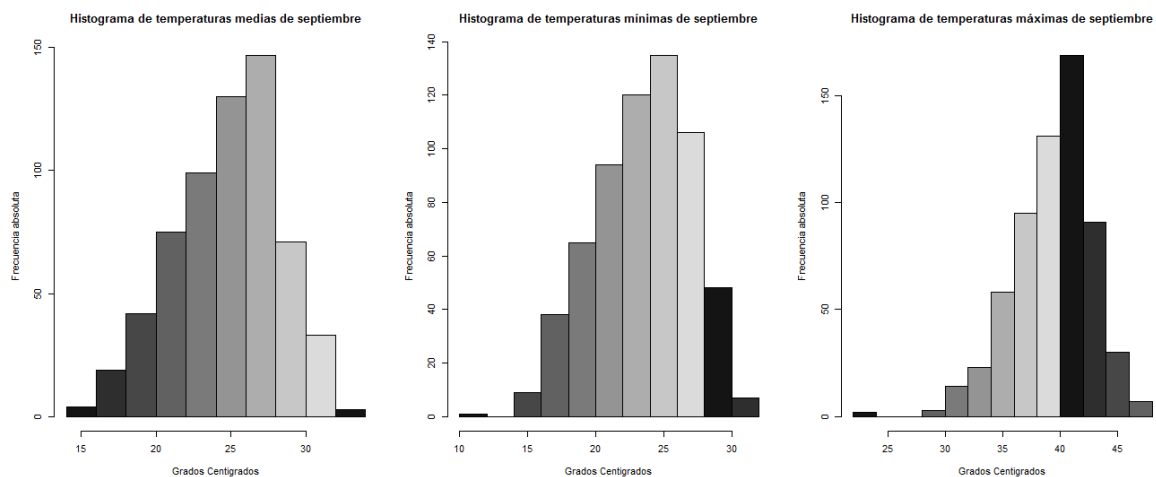


Figura 19 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de septiembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de septiembre (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	27.00	Media	41.00	Media	26.00
Máxima	33.00	Máxima	47.10	Máxima	31.30
Mínima	15.00	Mínima	23.00	Mínima	8.00
Varianza	12.10	Varianza	11.83	Varianza	12.77
Desv. Est.	3.48	Desv. Est.	3.44	Desv. Est.	3.57

Tabla 30 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de septiembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de septiembre muestran que la temperatura media máxima histórica es de 41.00° C, el valor máximo 47.10 °C y el valor mínimo 23.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	25.48	23.81	39.15
1991	27.47	23.28	39.70
1992	27.18	22.05	39.98
1993	24.56	21.70	38.21
1994	25.73	24.20	39.66
1995	26.60	25.55	41.69
1996	24.21	23.59	38.38
1997	26.28	25.44	38.58
1998	24.13	23.11	37.09
1999	24.86	23.63	39.10
2000	24.47	23.78	38.77
2001	25.69	24.93	39.91
2002	24.76	23.89	38.85
2003	25.82	25.12	39.60
2004	23.27	22.34	40.24
2005	22.78	22.18	39.68
2006	23.94	23.03	39.00
2007	23.83	22.92	38.34
2008	25.42	24.30	40.65
2009	25.43	24.56	41.27
2010	24.23	23.34	41.05

Tabla 31 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de septiembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

10) OCTUBRE

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de octubre de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

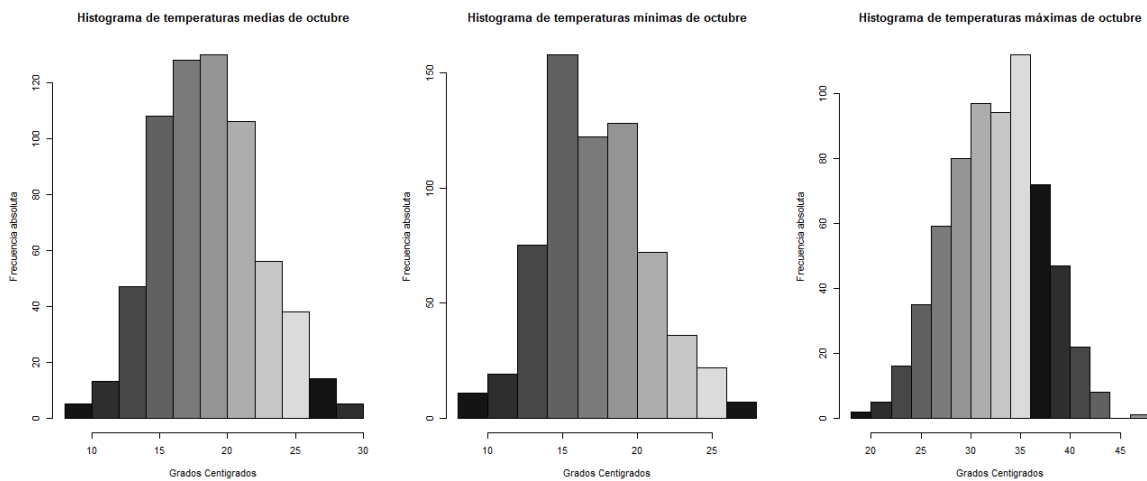


Figura 20 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de octubre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de octubre (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	16.00	Media	32.00	Media	15.00
Máxima	29.30	Máxima	47.40	Máxima	27.00
Mínima	9.00	Mínima	19.90	Mínima	8.00
Varianza	13.48	Varianza	21.44	Varianza	12.08
Desv. Est.	3.67	Desv. Est.	4.63	Desv. Est.	3.48

Tabla 32 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de octubre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de octubre muestran que la temperatura media máxima histórica es de 32.00° C, el valor máximo 47.40 °C y el valor mínimo 19.90 °C.

La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	19.09	16.17	33.10
1991	24.63	21.71	36.30
1992	21.30	18.81	33.57
1993	20.79	18.50	32.41
1994	17.97	16.68	31.05
1995	17.90	16.95	33.49
1996	17.57	16.76	32.43
1997	16.81	16.00	30.46
1998	17.03	15.96	31.21
1999	18.77	17.86	35.52
2000	17.80	16.94	29.57
2001	20.06	19.01	33.90
2002	17.58	16.80	30.32
2003	21.78	21.26	35.14
2004	17.21	16.47	32.92
2005	17.98	17.06	32.83
2006	17.83	17.04	31.50
2007	17.85	16.55	32.55
2008	18.73	17.60	34.41
2009	17.04	15.83	31.87
2010	18.73	17.78	30.83

Tabla 33 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de octubre de la estación N° 2033, período 1990-2010

11) NOVIEMBRE

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de noviembre de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

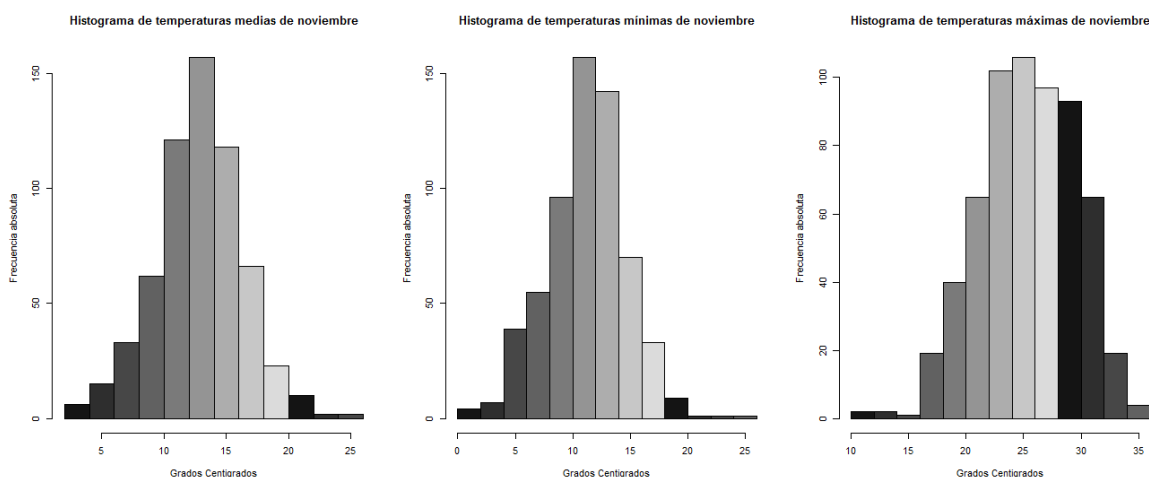


Figura 21 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de noviembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de noviembre (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	14.00	Media	23.00	Media	12.00
Máxima	25.50	Máxima	36.00	Máxima	25.50
Mínima	2.00	Mínima	11.00	Mínima	0.00
Varianza	12.28	Varianza	17.14	Varianza	11.90
Desv. Est.	3.50	Desv. Est.	4.14	Desv. Est.	3.45

Tabla 34 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de noviembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de noviembre muestran que la temperatura media máxima histórica es de 23.00° C, el valor máximo 36.00 °C y el valor mínimo 11.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	14.80	9.50	26.89
1991	17.31	13.12	25.20
1992	16.56	15.57	25.27
1993	13.09	10.06	23.04
1994	10.82	7.87	21.23
1995	13.64	13.02	28.01

2014, Año de Octavio Paz

1996	12.40	10.78	25.37
1997	13.02	12.14	25.45
1998	11.48	10.72	24.51
1999	12.14	11.14	27.74
2000	9.10	7.83	21.78
2001	14.88	14.16	25.96
2002	12.43	11.83	25.26
2003	11.84	10.80	22.49
2004	10.96	10.02	25.12
2005	13.12	11.83	26.96
2006	13.93	12.83	27.80
2007	14.17	12.80	27.61
2008	14.75	13.39	28.17
2009	12.90	11.57	27.01
2010	12.49	11.07	25.21

Tabla 35 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de noviembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

12) DICIEMBRE

La siguiente figura muestra los histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de diciembre de la estación N° 2033 en el período 1990-2010 y la siguiente tabla muestra los estadísticos básicos.

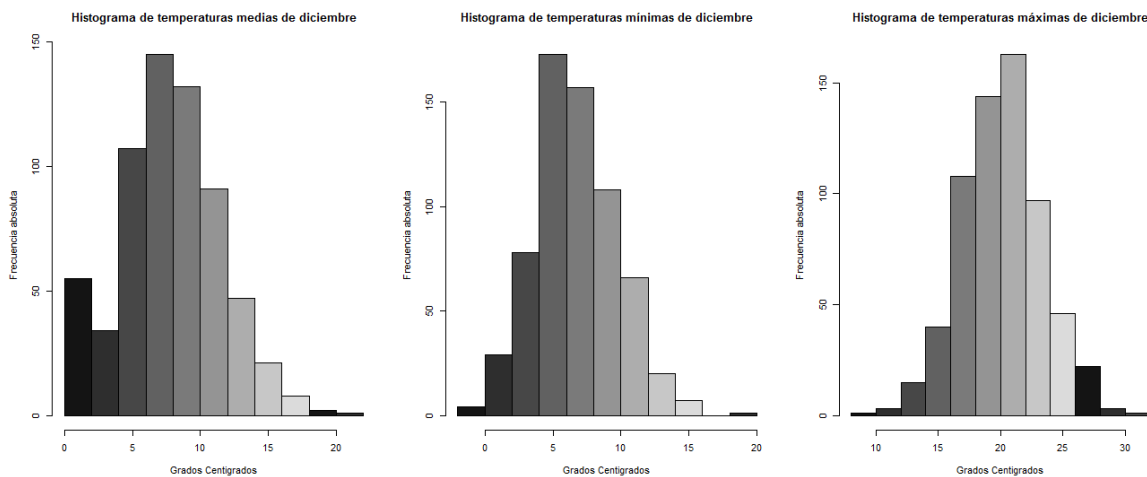


Figura 22 Histogramas de la temperatura media, mínima y máxima del mes de diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Temperaturas históricas del mes de diciembre (1990-2010)					
Media °C		Máxima °C		Mínima °C	
Media	0.00	Media	21.00	Media	5.00
Máxima	21.00	Máxima	30.50	Máxima	18.80
Mínima	0.00	Mínima	9.00	Mínima	-0.50
Varianza	14.64	Varianza	10.16	Varianza	8.98
Desv. Est.	3.83	Desv. Est.	3.19	Desv. Est.	3.00

Tabla 36 Estadísticos de temperatura media, máxima y mínima del mes de diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Los estadísticos correspondientes al mes de diciembre muestran que la temperatura media máxima histórica es de 21.00° C, el valor máximo 30.50 °C y el valor mínimo 9.00 °C. La tabla siguiente muestra el promedio anual de las temperaturas medias, mínimas y máximas para el periodo 1990-2010.

Año	Temperatura promedio		
	Med	Min	Max
1990	10.35	3.39	19.23
1991	11.63	7.51	19.39
1992	#¡DIV/0!	6.39	18.74
1993	9.41	6.99	20.54
1994	8.72	6.53	19.50
1995	9.50	8.37	21.62
1996	8.45	7.07	21.00
1997	6.81	5.65	17.46
1998	3.12	7.32	20.31
1999	6.50	5.81	21.70
2000	8.99	7.81	21.63
2001	7.24	5.80	18.75
2002	7.92	7.19	19.81
2003	8.47	7.36	20.09
2004	8.50	7.48	22.46
2005	8.78	7.64	22.27
2006	7.33	6.69	20.93
2007	7.45	6.10	18.70
2008	9.03	8.03	20.21
2009	8.35	7.24	19.68
2010	10.76	9.69	22.16

Tabla 37 Promedio histórico de la temperatura media, máxima y mínima del mes de diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

6.2.5 Valoración histórica y futura de la amenaza

En esta etapa se busca determinar cuantitativamente la valoración histórica y futura de la amenaza y para ello se realiza un análisis un análisis para cada mes de los estadísticos anuales históricos de las observaciones de temperatura. Para determinar la valoración futura de la amenaza, se analiza la información histórica para cada uno de los meses y mediante regresión lineal simple se estima la tendencia de la temperatura máxima así como la probabilidad de ocurrencia de la amenaza. Para la estimación de la probabilidad de ocurrencia de temperaturas mayores a 45°C, primero se establece la distribución de probabilidad de las observaciones de las temperaturas máximas históricas. Con base al análisis de la forma de la distribución mostrada por los histogramas mensuales de la temperatura máxima histórica, podemos asumir que la distribución que siguen las temperaturas máximas para cada uno de los meses es una distribución parecida a la normal (figura 25). La figura 23 y 24 muestran los histogramas, un resumen de los principales estadísticos y los resultados del test de normalidad Anderson-Darling de las observaciones de la temperatura máxima de los meses de enero a diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010.

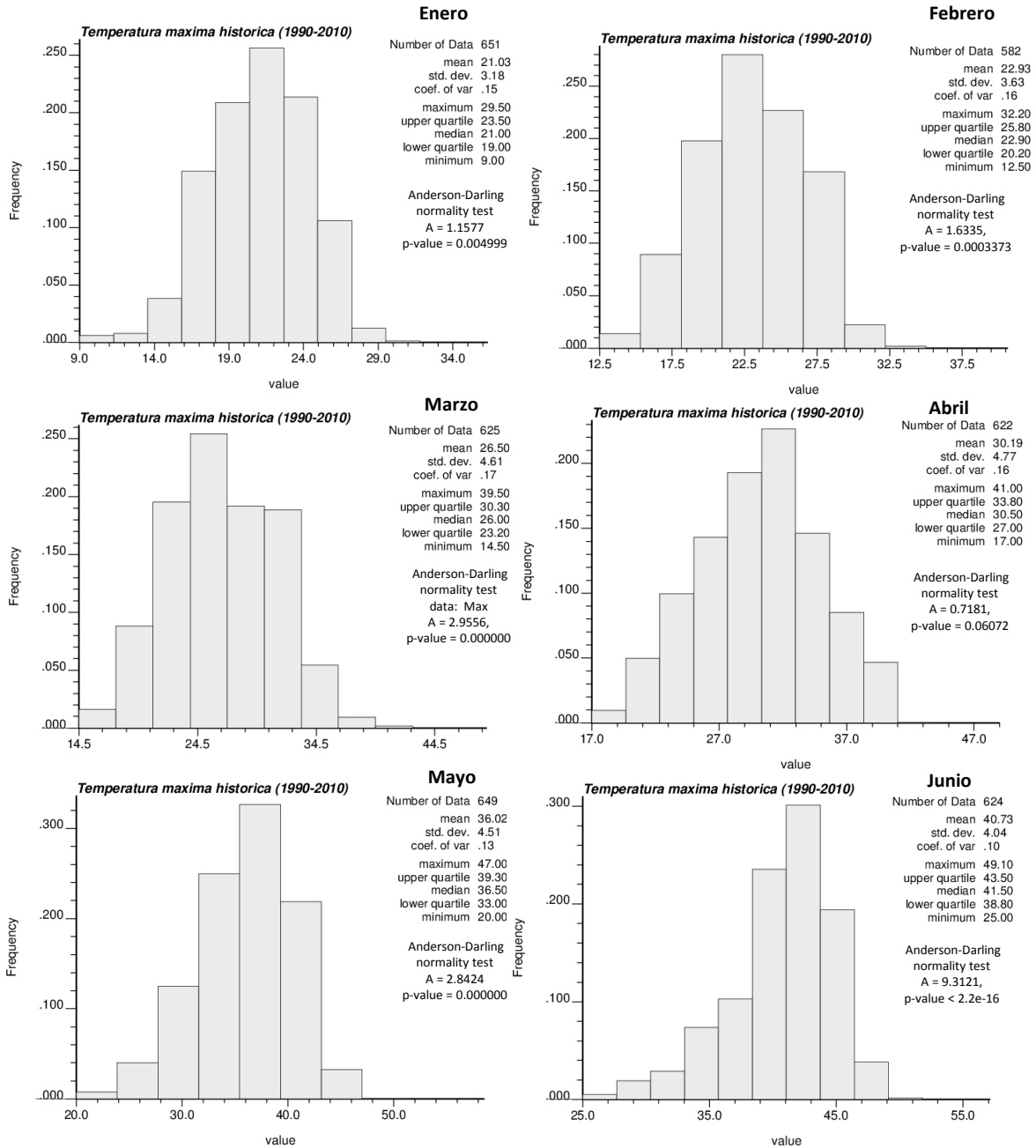


Figura 23 Histogramas de la temperatura máxima de los meses de enero a junio de la estación N° 2033, período 1990-2010

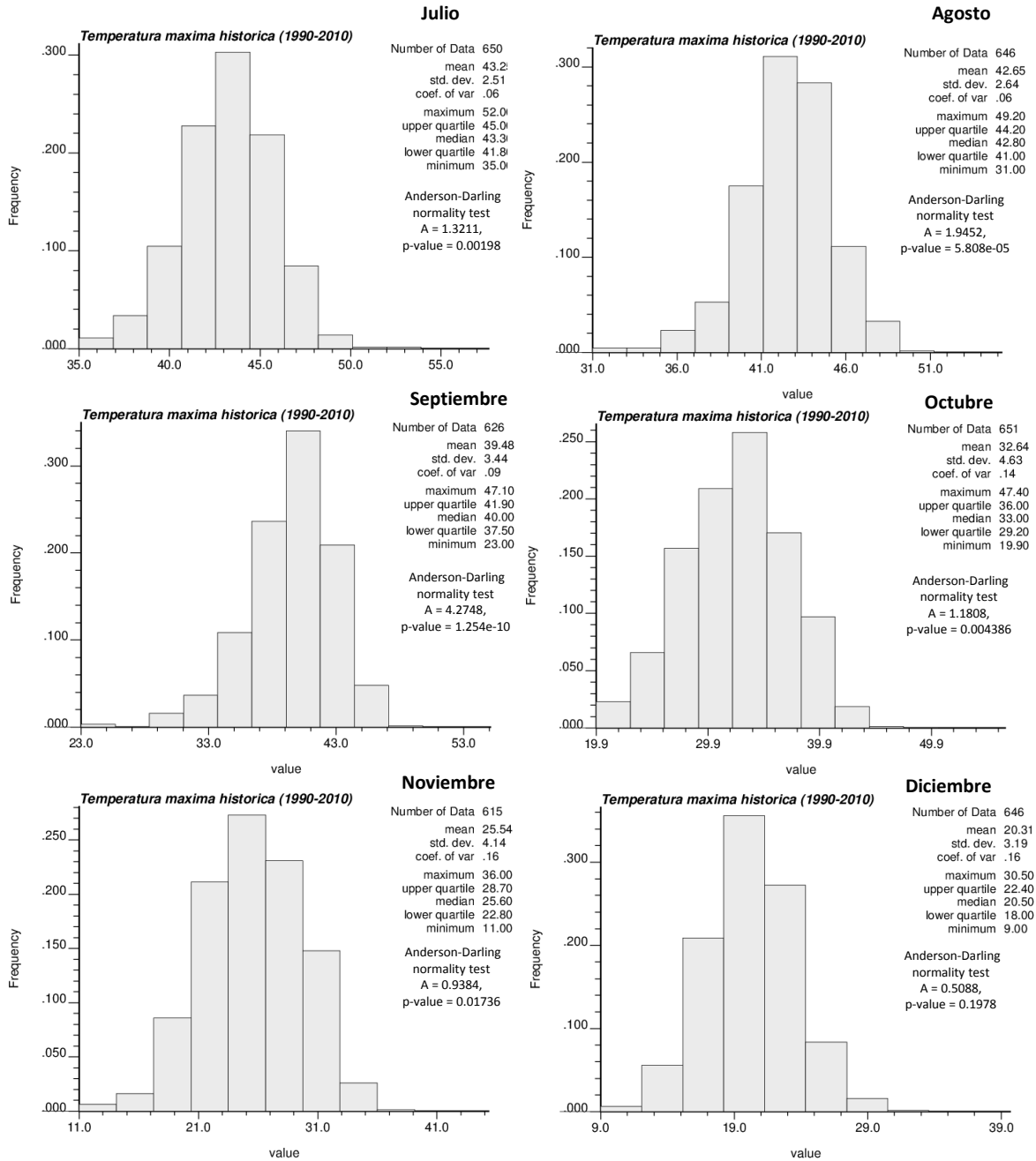


Figura 24 Histogramas de la temperatura máxima de los meses de julio a diciembre de la estación N° 2033, período 1990-2010

Al observar esta distribución de frecuencia de los histogramas, podemos definir la distribución de probabilidad a partir del mismo comportamiento.

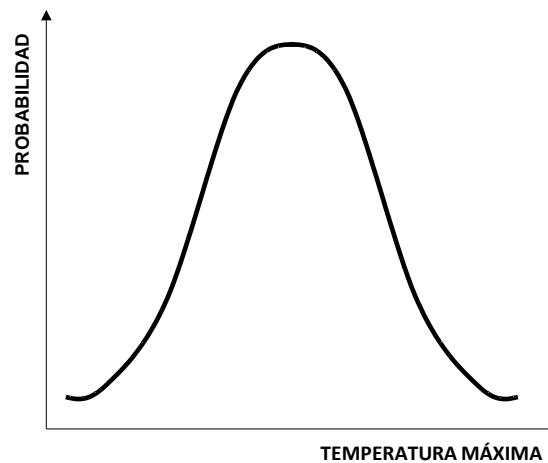
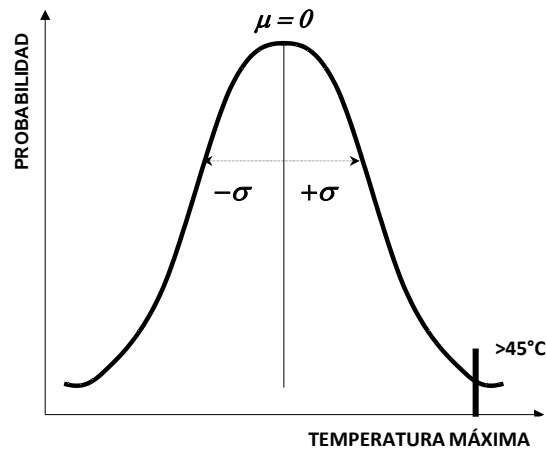


Figura 25 Distribución de probabilidad normal

Distribución Normal

La Distribución Normal es una Distribución de Probabilidad definida por una curva simétrica en forma de campana, determinada por una media y una desviación estándar. La curva de la normal se dispersa simétricamente de su media en la medida de su desviación estándar, generando dos colas que se extienden una hacia menos infinito y otra hacia el infinito, de forma asintótica. Asumiendo que la temperatura máxima mensual en la Ciudad de Mexicali se aproxima a un comportamiento similar a la distribución normal, a partir de su análisis se puede establecer las probabilidades de ocurrencia de temperaturas máximas a 45°C.



Distribución Normal con Media = $\mu=0$ y Desviación Estándar = $\sigma=1$

Figura 26 Distribución de probabilidad normal

La distribución normal es la distribución continua más aplicada y se debe a que parece describir adecuadamente el comportamiento de varias poblaciones.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Al definir una distribución normal estándar, caracterizada por una media 0 y una desviación estándar de 1, aproximadamente el 68.3% del área bajo la curva normal se encuentra dentro de $\pm 1\sigma$ respecto a la media; el 95.5% dentro de $\pm 2\sigma$ y el 99.7% dentro de $\pm 3\sigma$ ¹. Asumiendo que los datos siguen una distribución normal, es posible definir la probabilidad de obtener temperaturas máximas dentro de cierto rango al determinar el área bajo la curva correspondiente al rango definido, a través de la integración de la fórmula correspondiente a la curva normal o aplicando las tablas estadísticas correspondientes a la distribución normal estándar. Para ello se requiere estandarizar los valores a través de la siguiente fórmula:

$$z = \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

¹ Regla de Tchebychev.

Donde z es variable estandarizada que representa el número de desviaciones estándar respecto de la media, x_i es la observación i de la temperatura máxima mayor a 45°C , μ es la media histórica de la temperatura máxima y σ es la desviación estándar histórica de la temperatura máxima.

Para determinar la probabilidad de ocurrencia de las temperaturas máximas futuras mayores a 45°C se emplea el método de simulación histórica. Este método consiste en crear un conjunto de posibles situaciones futuras para una variable aleatoria a partir del comportamiento pasado de esa misma variable aleatoria. Con la estimación futura realizada mediante regresión lineal para las temperaturas máximas medias anuales, considerando el tipo de distribución y con el método de simulación, para cada mes y año se generan 10,000 números aleatorios para cada año de temperatura máxima futura. El principio es si la temperatura máxima anual para un cierto año aumenta o decrece (temperatura obtenida por regresión lineal) y considerando que la desviación de la distribución permanece constante, el efecto en la distribución de las temperaturas máximas será un desplazamiento a la derecha.

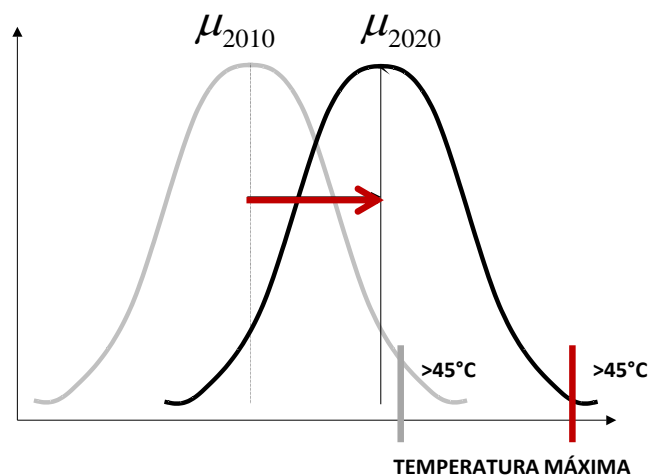


Figura 27 Efecto de un incremento de la temperatura máxima en la distribución

Bajo este principio y para cada año y mes, se generan 10,000 número aleatorios con distribución normal con media y desviación estándar conocidos (para cada año 2011-2030) y se determina la probabilidad de ocurrencia de tener temperaturas mayores a 45°C. Es importante mencionar que existen otro tipo de criterios para determinar la probabilidad de ocurrencia de la amenaza. En los siguientes párrafos se muestran los resultados de este proceso para cada uno de los meses.

1) Enero

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de enero en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 se muestra en la siguiente figura ($y = 0.0413x - 61.535$, $R^2 = 0.028$) y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

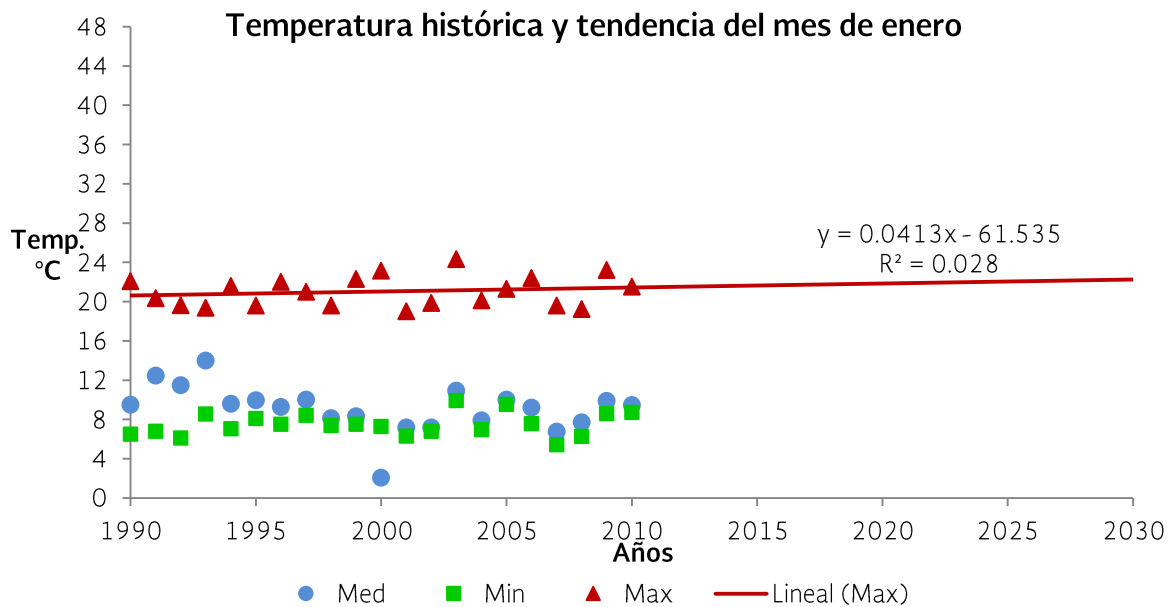


Figura 28 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de enero

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	20.38	0.00
1992	19.65	0.00
1993	19.39	0.00
1994	21.62	0.00
1995	19.61	0.00
1996	22.02	0.00
1997	21.02	0.00
1998	19.62	0.00
1999	22.31	0.00
2000	23.15	0.00
2001	19.04	0.00
2002	19.88	0.00
2003	24.35	0.00
2004	20.14	0.00
2005	21.29	0.00
2006	22.40	0.00
2007	19.61	0.00
2008	19.27	0.00
2009	23.23	0.00
2010	21.55	0.00
2011*	21.52	0.00
2012*	21.56	0.00
2013*	21.60	0.00
2014*	21.64	0.00
2015*	21.68	0.00
2016*	21.73	0.00
2017*	21.77	0.00
2018*	21.81	0.00
2019*	21.85	0.00
2020*	21.89	0.00
2021*	21.93	0.00
2022*	21.97	0.00
2023*	22.01	0.00
2024*	22.06	0.00
2025*	22.10	0.00
2026*	22.14	0.00
2027*	22.18	0.00
2028*	22.22	0.00
2029*	22.26	0.00
2030*	22.30	0.00

Tabla 38 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de enero.

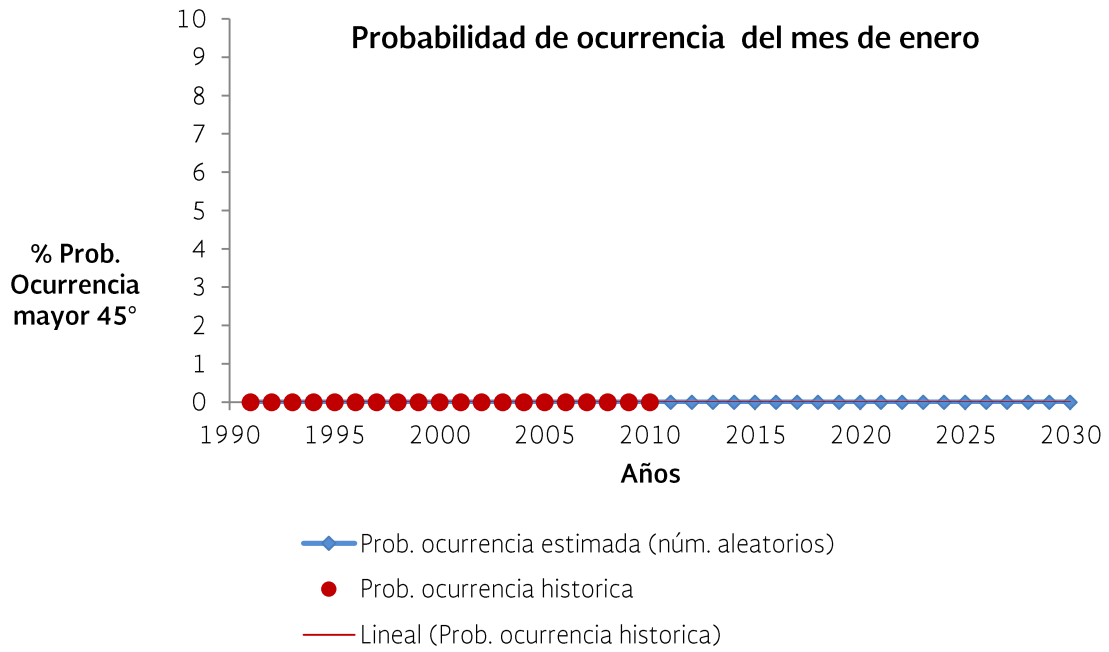


Figura 29 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de enero.

2) Febrero

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de febrero en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.0162x - 9.5254$, $R^2 = 0.0027$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

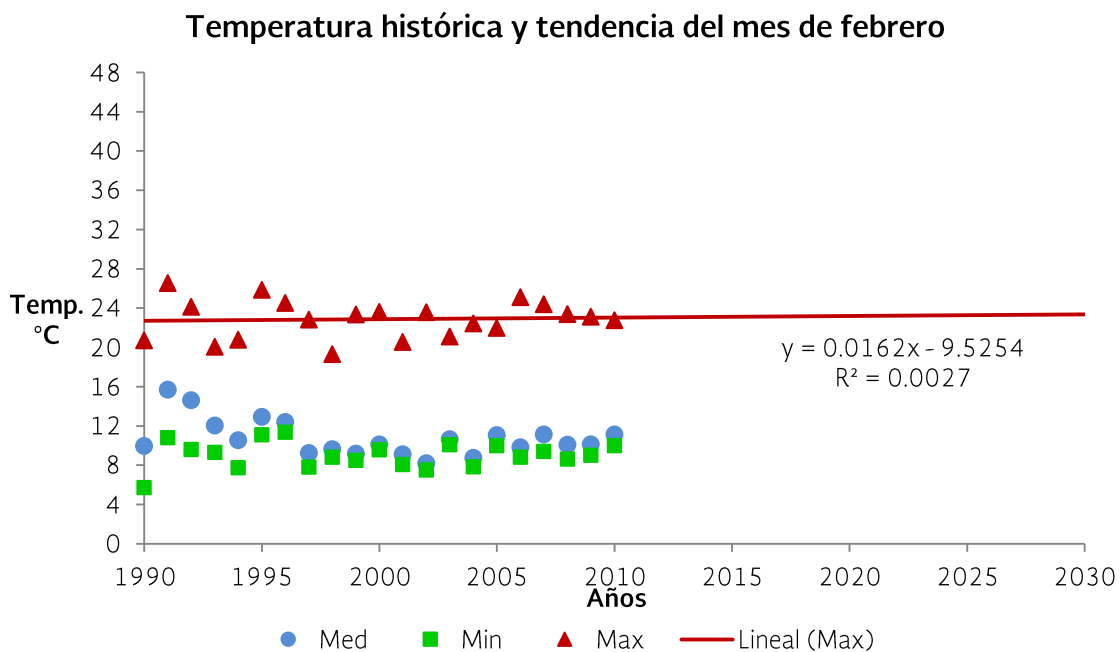


Figura 30 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de febrero.

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	26.55	0.00
1992	24.16	0.00
1993	20.08	0.00
1994	20.78	0.00
1995	25.86	0.00
1996	24.55	0.00
1997	22.85	0.00
1998	19.33	0.00
1999	23.36	0.00
2000	23.63	0.00
2001	20.57	0.00
2002	23.59	0.00
2003	21.10	0.00
2004	22.45	0.00
2005	22.00	0.00
2006	25.13	0.00
2007	24.40	0.00
2008	23.38	0.00
2009	23.13	0.00
2010	22.76	0.00
2011*	23.05	0.00
2012*	23.07	0.00
2013*	23.09	0.00
2014*	23.10	0.00
2015*	23.12	0.00
2016*	23.13	0.00
2017*	23.15	0.00
2018*	23.17	0.00
2019*	23.18	0.00
2020*	23.20	0.00
2021*	23.21	0.00
2022*	23.23	0.00
2023*	23.25	0.00
2024*	23.26	0.00
2025*	23.28	0.00
2026*	23.30	0.00
2027*	23.31	0.00
2028*	23.33	0.00
2029*	23.34	0.00
2030*	23.36	0.00

Tabla 39 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de febrero.

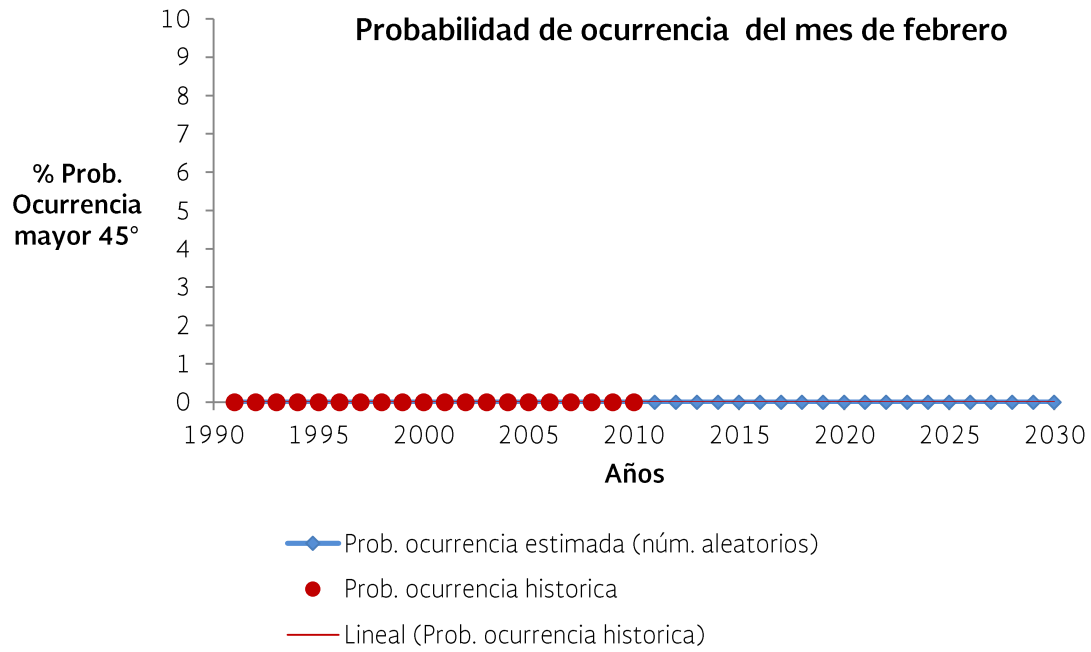


Figura 31 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de febrero.

3) Marzo

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de marzo en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.1141x - 201.66$, $R^2 = 0.0899$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

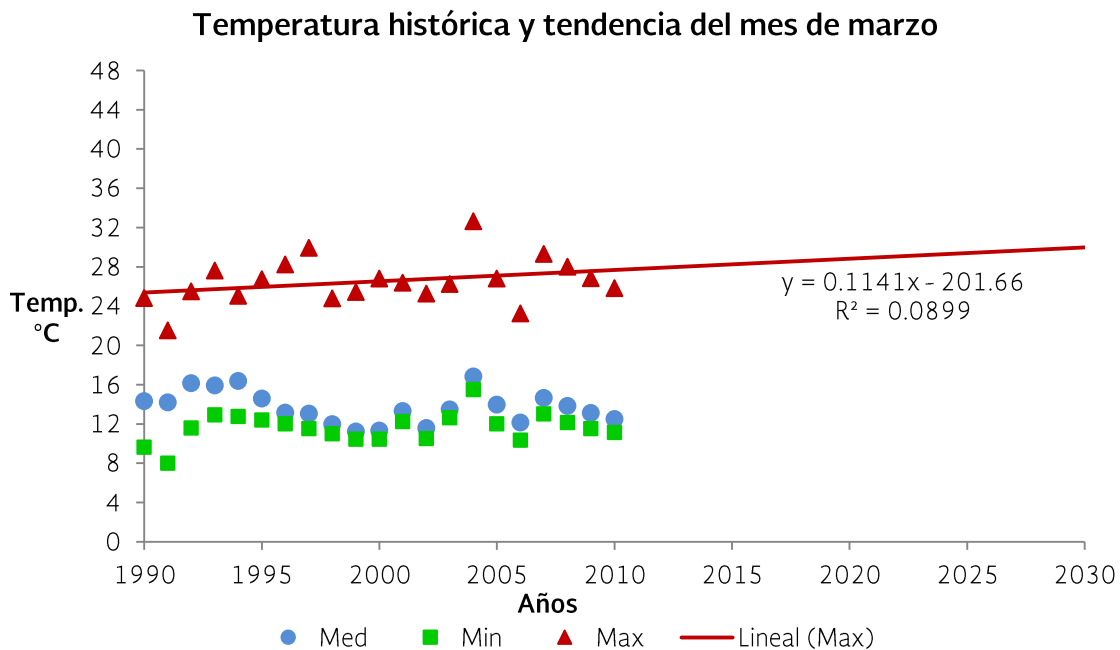


Figura 32 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de marzo

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	21.54	0.00
1992	25.51	0.00
1993	27.64	0.01
1994	25.07	0.00
1995	26.75	0.00
1996	28.25	0.01
1997	29.93	0.06
1998	24.81	0.00
1999	25.43	0.00
2000	26.83	0.00
2001	26.39	0.00
2002	25.28	0.00
2003	26.25	0.00
2004	32.65	0.38
2005	26.83	0.00
2006	23.27	0.00
2007	29.33	0.03
2008	28.00	0.01
2009	26.86	0.00
2010	25.84	0.00
2011*	27.80	0.00
2012*	27.91	0.01
2013*	28.02	0.01
2014*	28.14	0.01
2015*	28.25	0.04
2016*	28.37	0.00
2017*	28.48	0.01
2018*	28.59	0.00
2019*	28.71	0.04
2020*	28.82	0.02
2021*	28.94	0.01
2022*	29.05	0.05
2023*	29.16	0.04
2024*	29.28	0.01
2025*	29.39	0.06
2026*	29.51	0.03
2027*	29.62	0.06
2028*	29.73	0.06
2029*	29.85	0.06
2030*	29.96	0.08

Tabla 40 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de marzo.

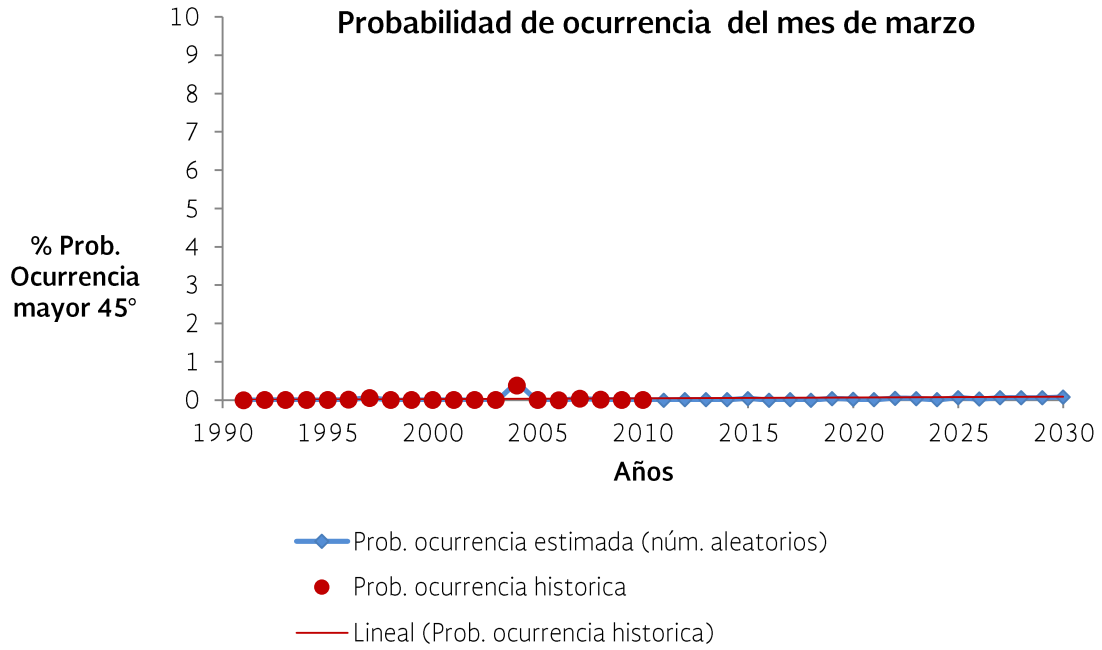


Figura 33 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de marzo.

4) Abril

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de abril en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.0052x + 19.744$, $R^2 = 0.0004$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

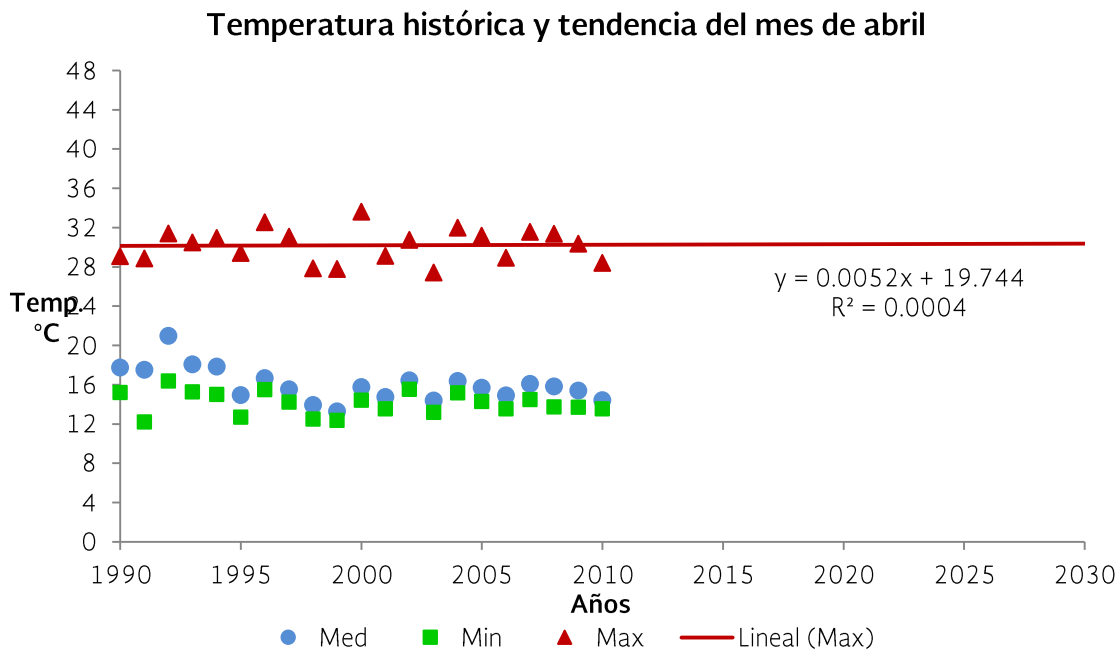


Figura 34 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de abril

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	28.88	0.04
1992	31.42	0.22
1993	30.49	0.12
1994	30.97	0.16
1995	29.43	0.05
1996	32.54	0.45
1997	31.08	0.18
1998	27.87	0.02
1999	27.81	0.02
2000	33.63	0.86
2001	29.12	0.04
2002	30.74	0.14
2003	27.44	0.01
2004	31.98	0.32
2005	31.17	0.19
2006	28.94	0.04
2007	31.57	0.24
2008	31.38	0.21
2009	30.35	0.11
2010	28.42	0.03
2011*	30.20	0.06
2012*	30.21	0.08
2013*	30.21	0.13
2014*	30.22	0.11
2015*	30.22	0.12
2016*	30.23	0.12
2017*	30.23	0.21
2018*	30.24	0.05
2019*	30.24	0.14
2020*	30.25	0.07
2021*	30.25	0.09
2022*	30.26	0.09
2023*	30.26	0.05
2024*	30.27	0.11
2025*	30.27	0.11
2026*	30.28	0.06
2027*	30.28	0.07
2028*	30.29	0.13
2029*	30.29	0.11
2030*	30.30	0.17

Tabla 41 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de abril.

Temperatura histórica y tendencia del mes de abril

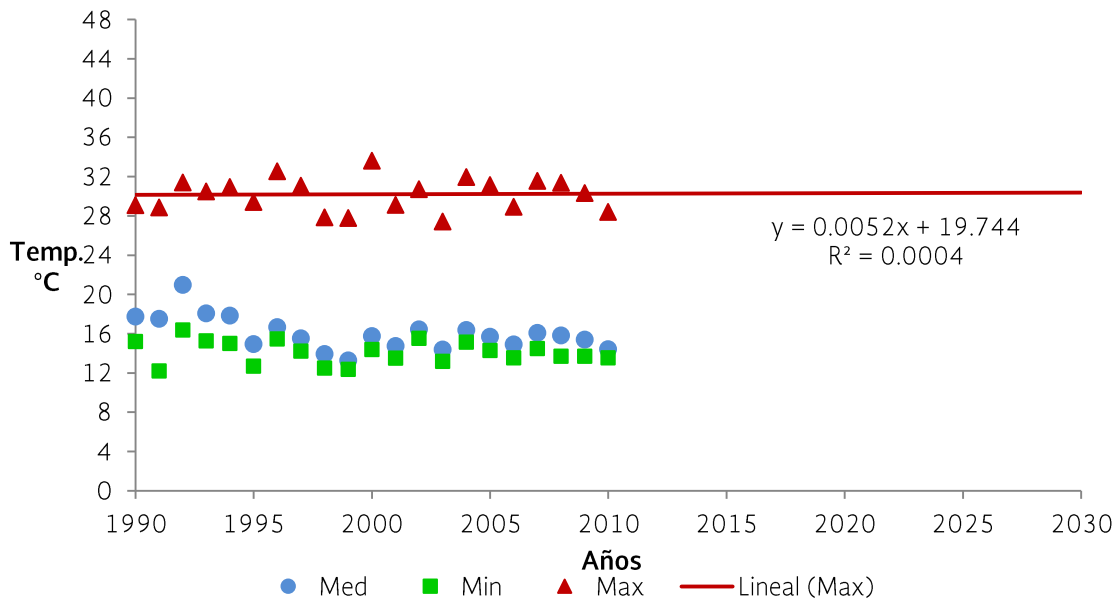


Figura 35 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de abril.

5) Mayo

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de mayo en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.0863x - 136.64$, $R^2 = 0.0477$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

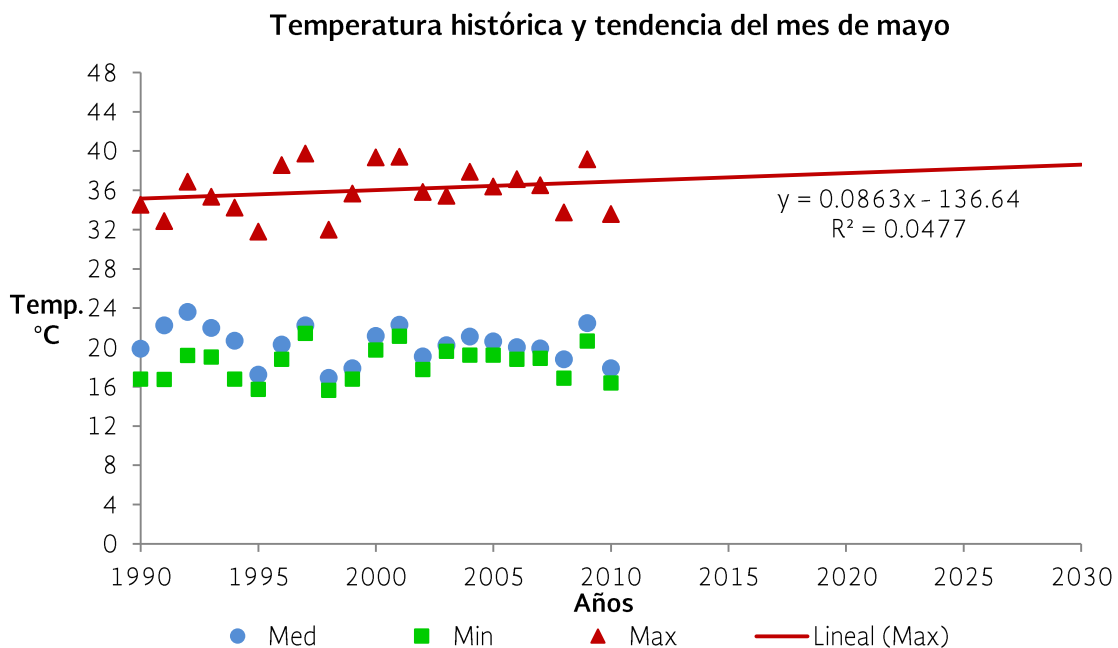


Figura 36 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de mayo

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	32.88	0.36
1992	36.88	3.61
1993	35.36	1.65
1994	34.23	0.86
1995	31.81	0.18
1996	38.59	7.80
1997	39.76	12.33
1998	31.98	0.20
1999	35.66	1.94
2000	39.36	10.59
2001	39.42	10.85
2002	35.84	2.13
2003	35.45	1.73
2004	37.90	5.80
2005	36.38	2.83
2006	37.14	4.09
2007	36.53	3.04
2008	33.77	0.65
2009	39.16	9.83
2010	33.59	0.58
2011*	36.91	3.70
2012*	37.00	4.07
2013*	37.08	4.15
2014*	37.17	3.90
2015*	37.25	4.15
2016*	37.34	4.67
2017*	37.43	4.92
2018*	37.51	4.91
2019*	37.60	4.90
2020*	37.69	5.21
2021*	37.77	5.33
2022*	37.86	5.27
2023*	37.94	5.81
2024*	38.03	6.06
2025*	38.12	6.20
2026*	38.20	6.68
2027*	38.29	7.18
2028*	38.38	7.24
2029*	38.46	7.44
2030*	38.55	7.76

Tabla 42 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de mayo.

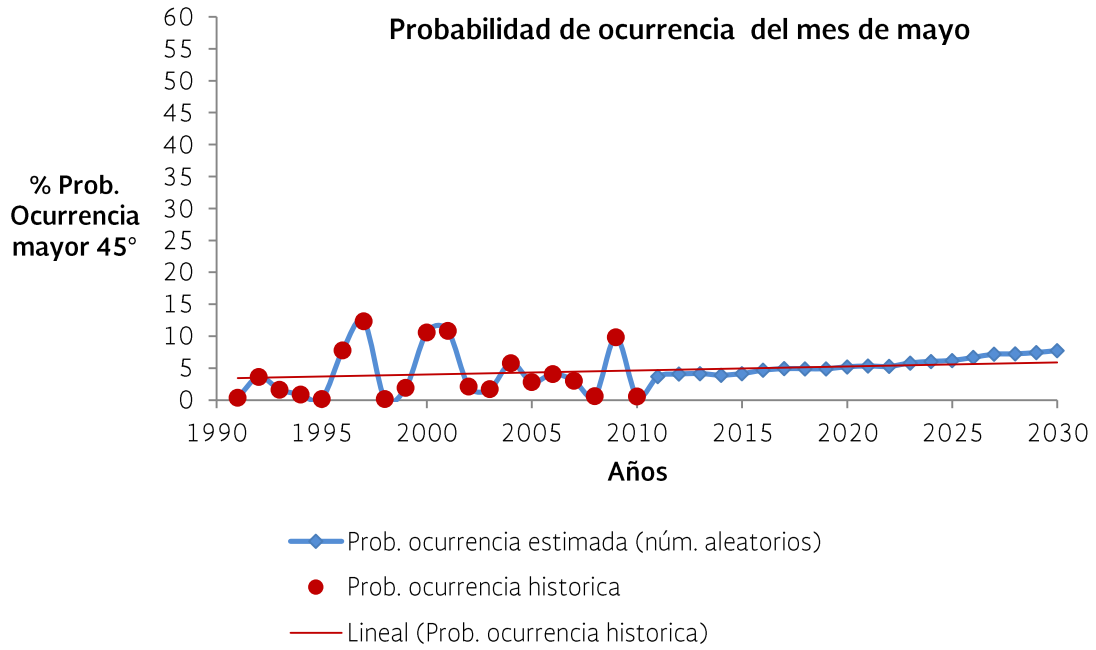


Figura 37 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de mayo.

6) Junio

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de junio en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.0519x - 63.159$, $R^2 = 0.0404$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

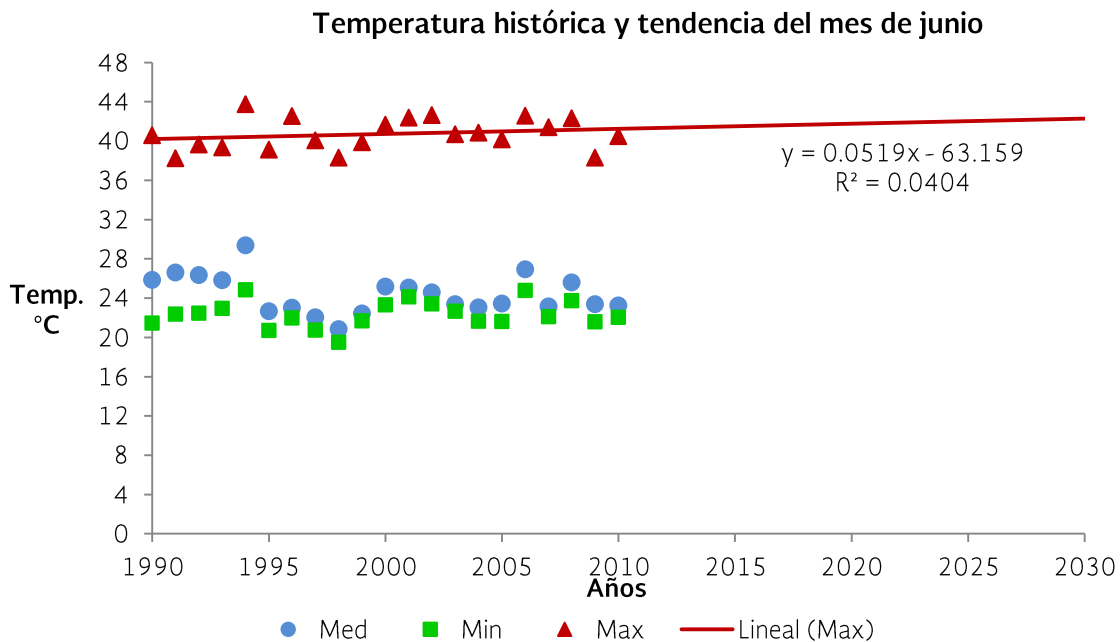


Figura 38 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de junio

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	38.26	4.79
1992	39.64	9.25
1993	39.35	8.12
1994	43.77	38.03
1995	39.11	7.28
1996	42.53	27.11
1997	40.06	11.09
1998	38.32	4.95
1999	39.87	10.26
2000	41.66	20.43
2001	42.40	26.00
2002	42.66	28.15
2003	40.70	14.42
2004	40.86	15.33
2005	40.17	11.62
2006	42.59	27.55
2007	41.42	18.82
2008	42.32	25.39
2009	38.31	4.92
2010	40.48	13.22
2011*	41.21	17.48
2012*	41.26	17.82
2013*	41.32	18.73
2014*	41.37	17.77
2015*	41.42	19.29
2016*	41.47	18.81
2017*	41.52	19.42
2018*	41.58	19.84
2019*	41.63	20.05
2020*	41.68	20.32
2021*	41.73	21.18
2022*	41.78	21.68
2023*	41.83	21.61
2024*	41.89	22.28
2025*	41.94	22.91
2026*	41.99	22.66
2027*	42.04	22.81
2028*	42.09	24.07
2029*	42.15	23.29
2030*	42.20	23.76

Tabla 43 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de junio.

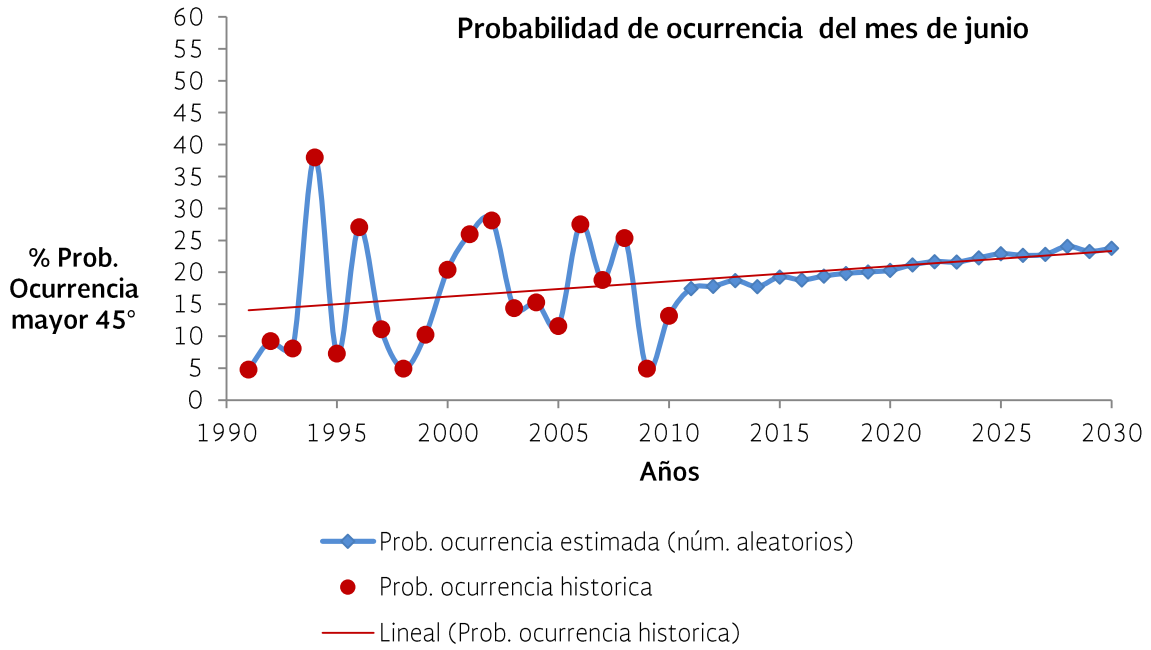


Figura 39 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de junio.

7) Julio

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de julio en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.0786x - 113.94$, $R^2 = 0.2369$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

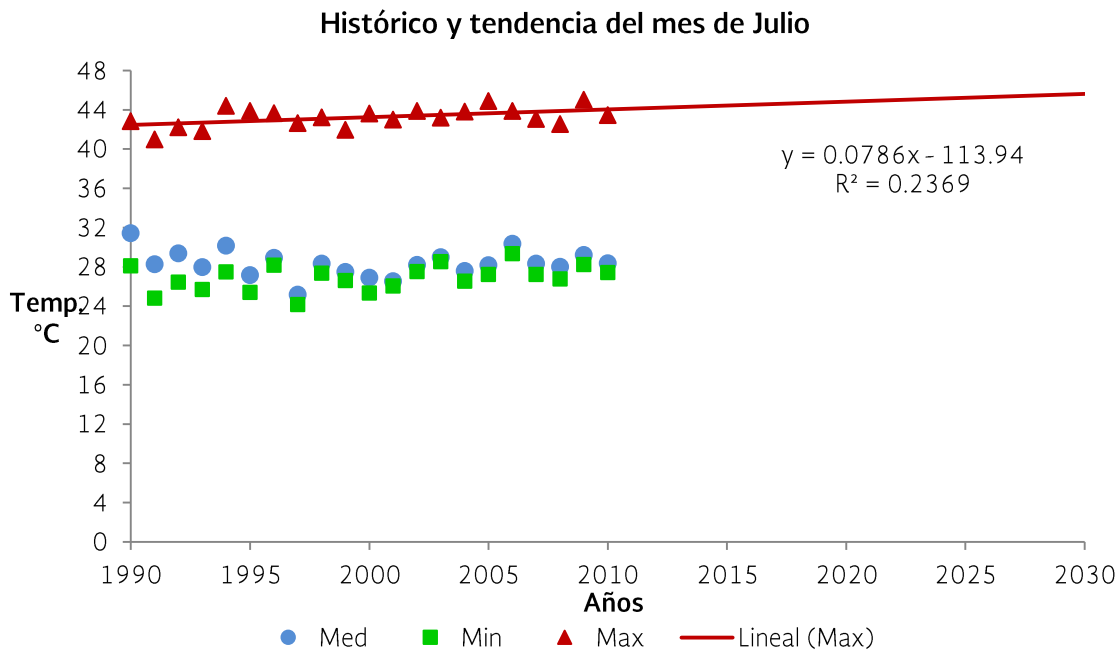


Figura 40 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de julio

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	20.38	0.00
1992	40.99	5.50
1993	42.23	13.52
1994	41.85	10.48
1995	44.40	40.56
1996	43.90	33.07
1997	43.65	29.61
1998	42.66	17.55
1999	43.23	24.03
2000	41.95	11.26
2001	43.63	29.25
2002	43.00	21.29
2003	43.88	32.79
2004	43.22	23.87
2005	43.84	32.14
2006	44.89	48.26
2007	43.90	33.02
2008	43.07	22.08
2009	42.55	16.41
2010	45.05	50.72
2011*	43.48	27.21
2012*	44.12	36.12
2013*	44.20	37.88
2014*	44.28	38.51
2015*	44.36	39.95
2016*	44.44	41.78
2017*	44.52	42.06
2018*	44.60	44.45
2019*	44.67	45.88
2020*	44.75	46.81
2021*	44.83	47.26
2022*	44.91	48.56
2023*	44.99	50.17
2024*	45.07	50.98
2025*	45.15	51.46
2026*	45.23	52.53
2027*	45.30	55.03
2028*	45.38	55.88
2029*	45.46	57.43
2030*	45.54	58.12

Tabla 44 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de julio.

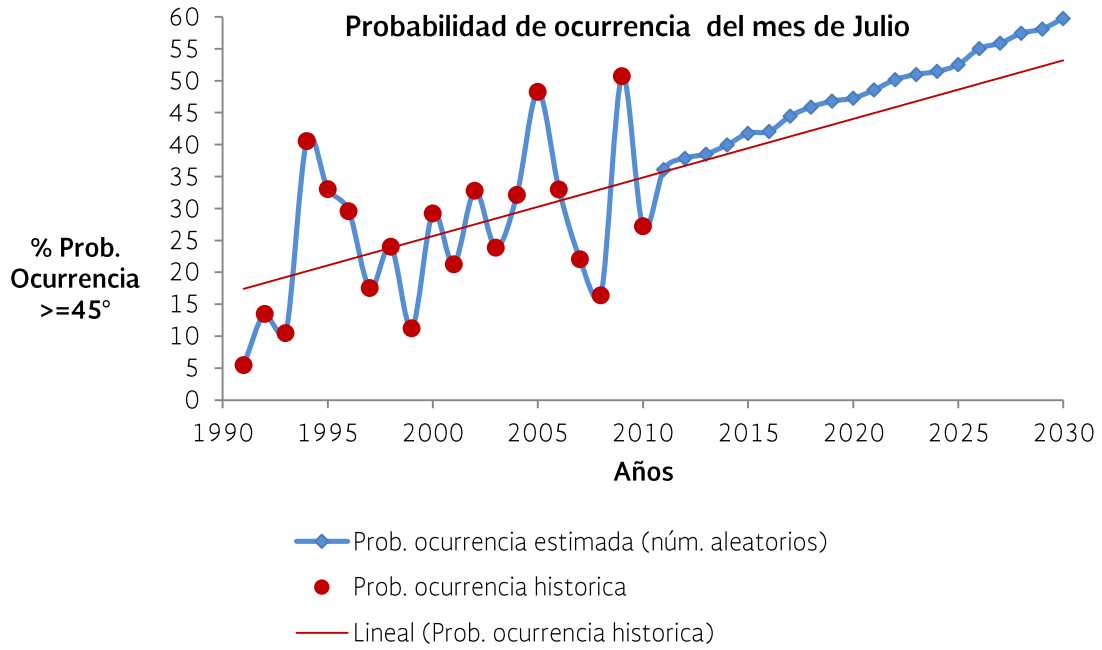


Figura 41 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de julio.

8) Agosto

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de agosto en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = -0.0144x + 71.48$, $R^2 = 0.0088$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

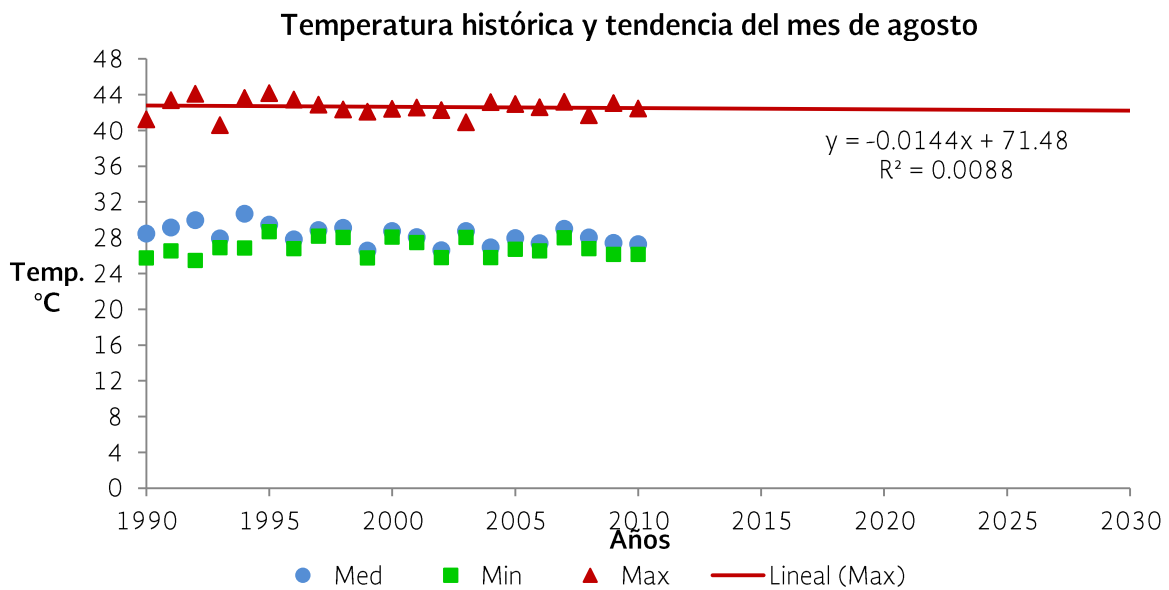


Figura 42 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de agosto.

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	43.40	26.97
1992	44.12	36.76
1993	40.59	4.51
1994	43.65	30.26
1995	44.16	37.31
1996	43.45	27.51
1997	42.89	20.91
1998	42.37	15.58
1999	42.11	13.30
2000	42.44	16.25
2001	42.57	17.49
2002	42.28	14.83
2003	40.90	5.77
2004	43.17	24.06
2005	42.95	21.48
2006	42.59	17.75
2007	43.22	24.69
2008	41.70	10.26
2009	43.06	22.85
2010	42.47	16.53
2011*	42.52	17.23
2012*	42.51	17.33
2013*	42.49	17.24
2014*	42.48	16.15
2015*	42.46	16.18
2016*	42.45	16.41
2017*	42.44	16.03
2018*	42.42	15.91
2019*	42.41	15.84
2020*	42.39	15.91
2021*	42.38	15.31
2022*	42.36	15.71
2023*	42.35	15.61
2024*	42.33	15.28
2025*	42.32	14.71
2026*	42.31	14.70
2027*	42.29	14.76
2028*	42.28	14.73
2029*	42.26	14.52
2030*	42.25	14.36

Tabla 45 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de agosto.

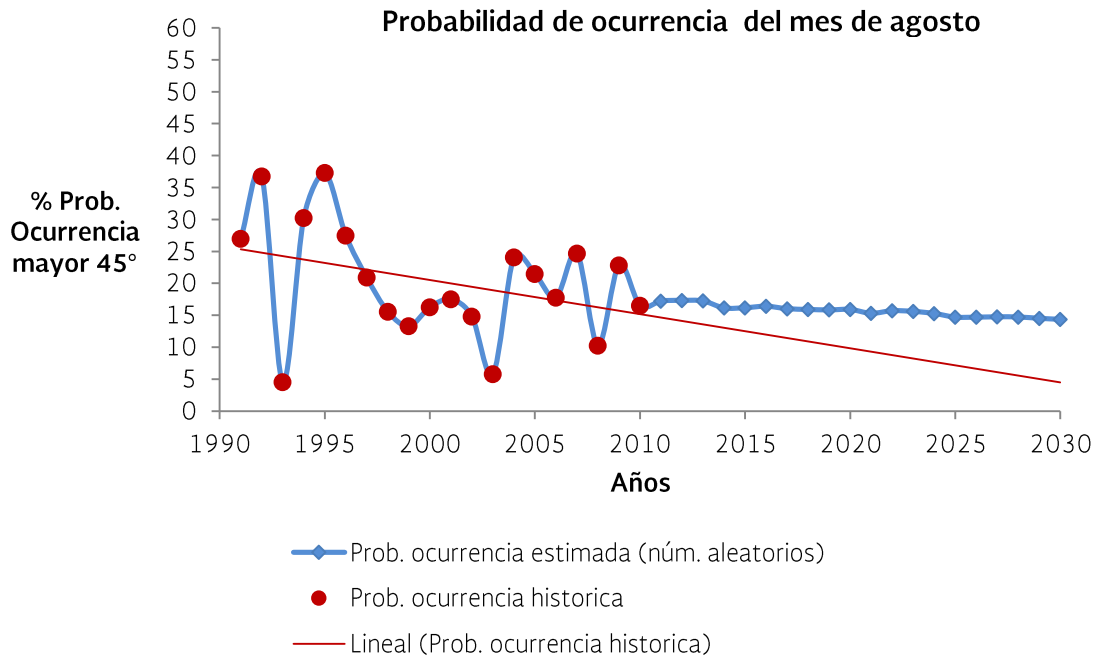


Figura 43 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de agosto.

9) Septiembre

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de septiembre en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.0524x - 65.237$, $R^2 = 0.084$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

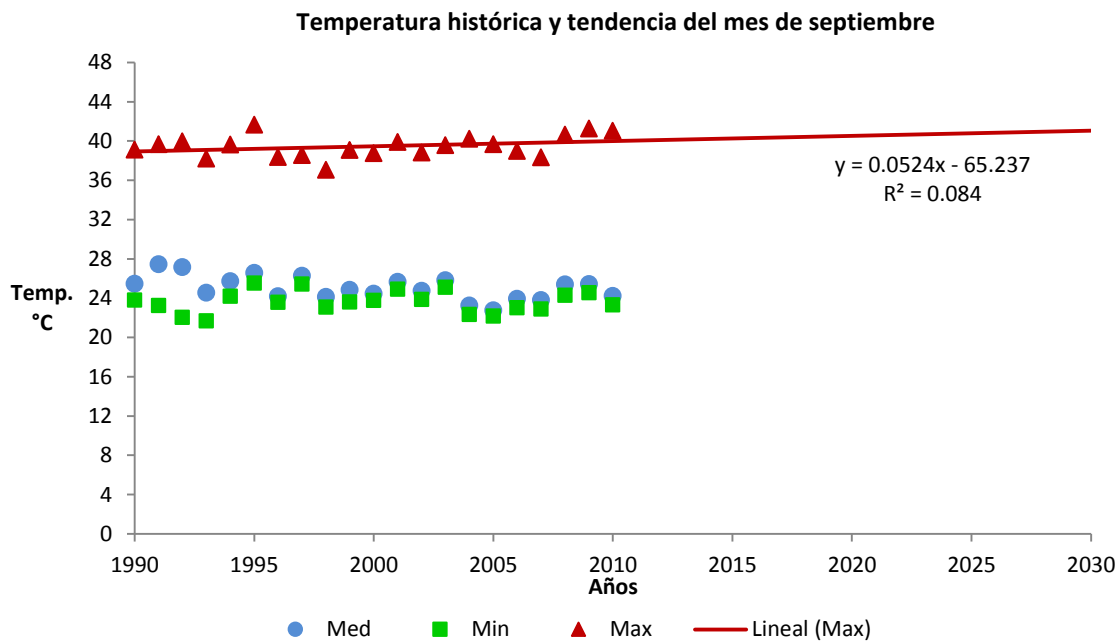


Figura 44 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de septiembre

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	39.70	6.17
1992	39.98	7.21
1993	38.21	2.41
1994	39.66	6.00
1995	41.69	16.75
1996	38.38	2.70
1997	38.58	3.09
1998	37.09	1.07
1999	39.10	4.30
2000	38.77	3.49
2001	39.91	6.94
2002	38.85	3.67
2003	39.60	5.82
2004	40.24	8.29
2005	39.68	6.08
2006	39.00	4.05
2007	38.34	2.63
2008	40.65	10.28
2009	41.27	13.91
2010	41.05	12.52
2011*	40.14	7.70
2012*	40.19	8.62
2013*	40.24	7.89
2014*	40.30	8.63
2015*	40.35	8.92
2016*	40.40	9.14
2017*	40.45	10.12
2018*	40.51	9.43
2019*	40.56	9.05
2020*	40.61	10.04
2021*	40.66	10.33
2022*	40.72	10.93
2023*	40.77	11.66
2024*	40.82	11.12
2025*	40.87	11.60
2026*	40.93	12.16
2027*	40.98	11.41
2028*	41.03	12.41
2029*	41.08	13.23
2030*	41.14	13.03

Tabla 46 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de septiembre.

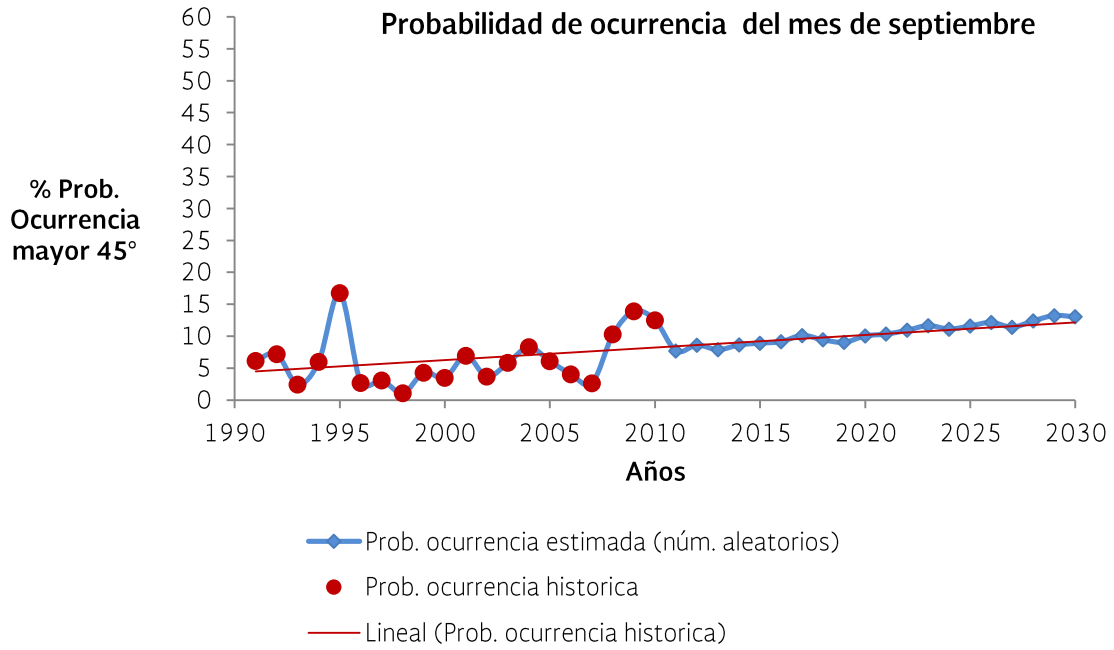


Figura 45 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de septiembre.

10) Octubre

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de octubre en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = -0.0557x + 143.96$, $R^2 = 0.0373$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

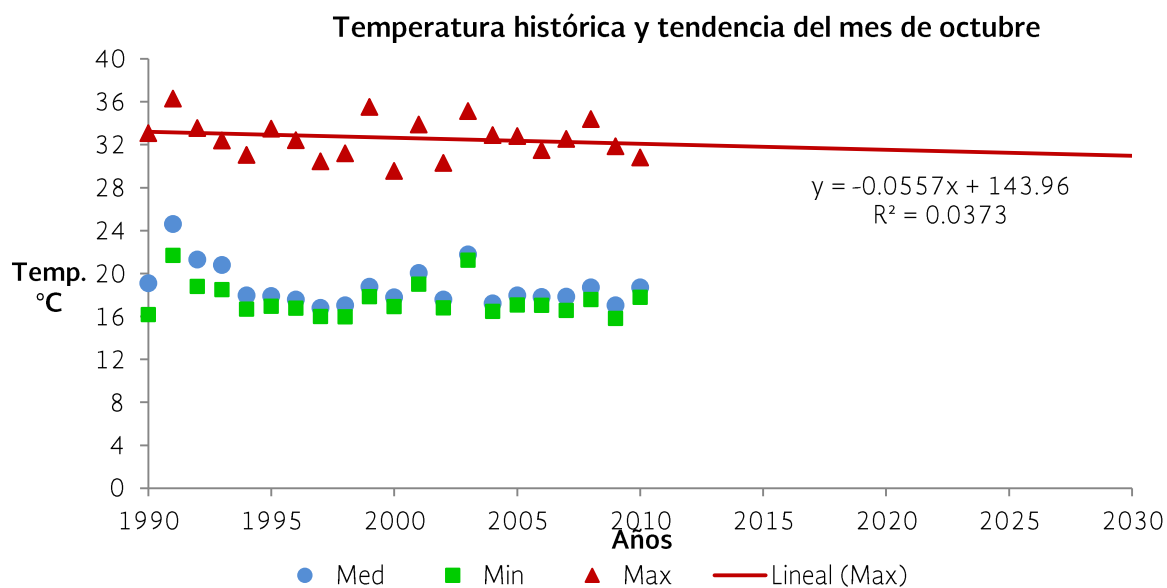


Figura 46 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de octubre

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	36.30	3.01
1992	33.57	0.68
1993	32.41	0.33
1994	31.05	0.13
1995	33.49	0.65
1996	32.43	0.33
1997	30.46	0.08
1998	31.21	0.14
1999	35.52	2.03
2000	29.57	0.04
2001	33.90	0.83
2002	30.32	0.08
2003	35.14	1.66
2004	32.92	0.45
2005	32.83	0.43
2006	31.50	0.18
2007	32.55	0.36
2008	34.41	1.11
2009	31.87	0.23
2010	30.83	0.11
2011*	31.95	0.17
2012*	31.89	0.19
2013*	31.84	0.21
2014*	31.78	0.27
2015*	31.72	0.24
2016*	31.67	0.29
2017*	31.61	0.19
2018*	31.56	0.13
2019*	31.50	0.28
2020*	31.45	0.16
2021*	31.39	0.19
2022*	31.33	0.16
2023*	31.28	0.16
2024*	31.22	0.20
2025*	31.17	0.14
2026*	31.11	0.16
2027*	31.06	0.08
2028*	31.00	0.07
2029*	30.94	0.12
2030*	30.89	0.09

Tabla 47 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de octubre.



Figura 47 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de octubre.

11) Noviembre

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de noviembre en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.1023x - 179.08$, $R^2 = 0.0966$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

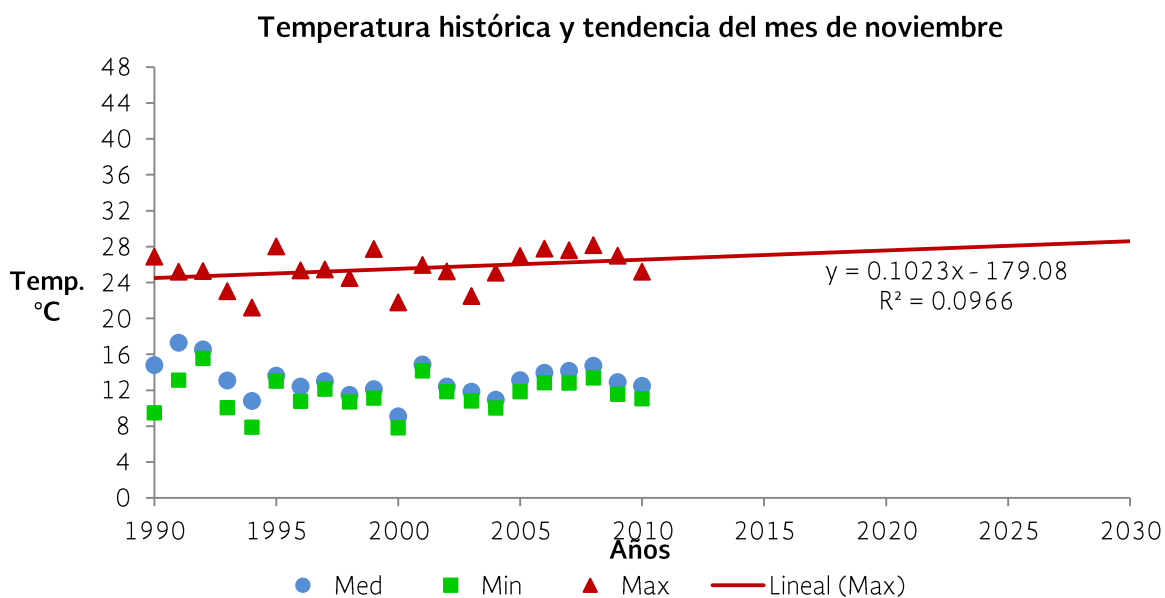


Figura 48 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de noviembre

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	25.20	0.00
1992	25.27	0.00
1993	23.04	0.00
1994	21.23	0.00
1995	28.01	0.00
1996	25.37	0.00
1997	25.45	0.00
1998	24.51	0.00
1999	27.74	0.00
2000	21.78	0.00
2001	25.96	0.00
2002	25.26	0.00
2003	22.49	0.00
2004	25.12	0.00
2005	26.96	0.00
2006	27.80	0.00
2007	27.61	0.00
2008	28.17	0.00
2009	27.01	0.00
2010	25.21	0.00
2011*	26.65	0.00
2012*	26.75	0.00
2013*	26.85	0.00
2014*	26.95	0.00
2015*	27.05	0.00
2016*	27.16	0.00
2017*	27.26	0.00
2018*	27.36	0.00
2019*	27.46	0.00
2020*	27.57	0.01
2021*	27.67	0.01
2022*	27.77	0.00
2023*	27.87	0.00
2024*	27.98	0.00
2025*	28.08	0.00
2026*	28.18	0.00
2027*	28.28	0.01
2028*	28.38	0.00
2029*	28.49	0.00
2030*	28.59	0.00

Tabla 48 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de noviembre.

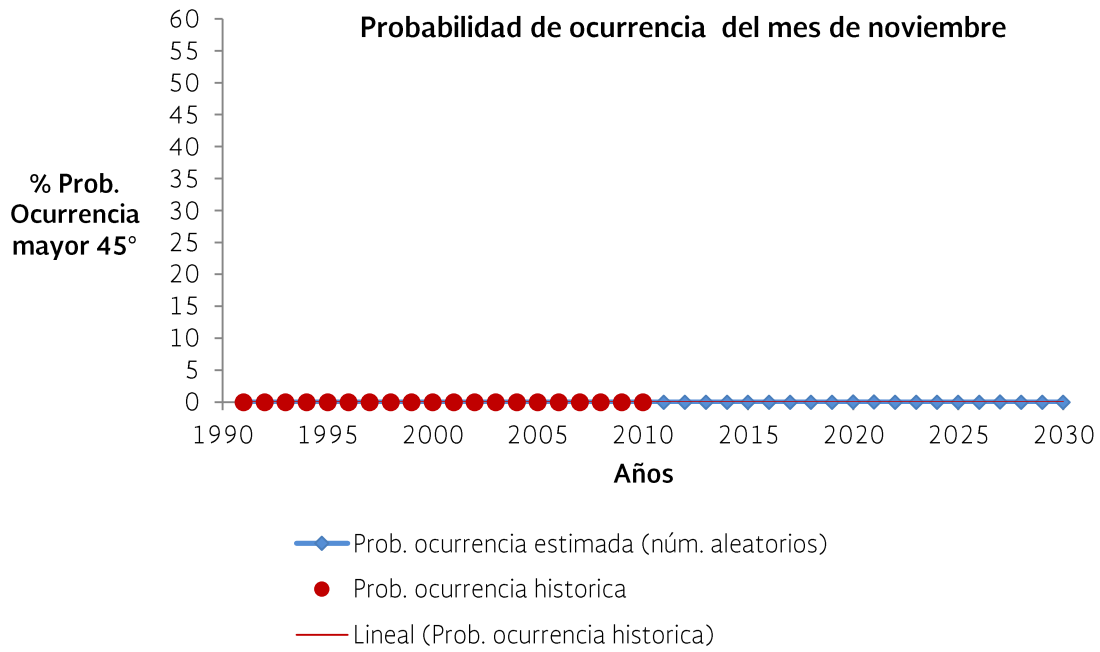


Figura 49 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de noviembre.

12) Diciembre

La siguiente figura muestra la gráfica de los promedios anuales de la temperatura media, mínima y máxima del periodo 1990-2010, así como la tendencia de la temperatura máxima anual estimada para el mes de diciembre en el periodo 2011-2030. La estimación de la temperatura se lleva a cabo mediante un análisis de regresión lineal simple, la ecuación ajustada así como el estimador R^2 ($y = 0.0682x - 116.15$, $R^2 = 0.0963$) se muestra en la siguiente figura y los valores estimados en el periodo 2011-2030 se muestra en la tabla siguiente. La tabla también muestra la probabilidad de ocurrencia de obtener una temperatura máxima anual mayor a 45°C para este mes.

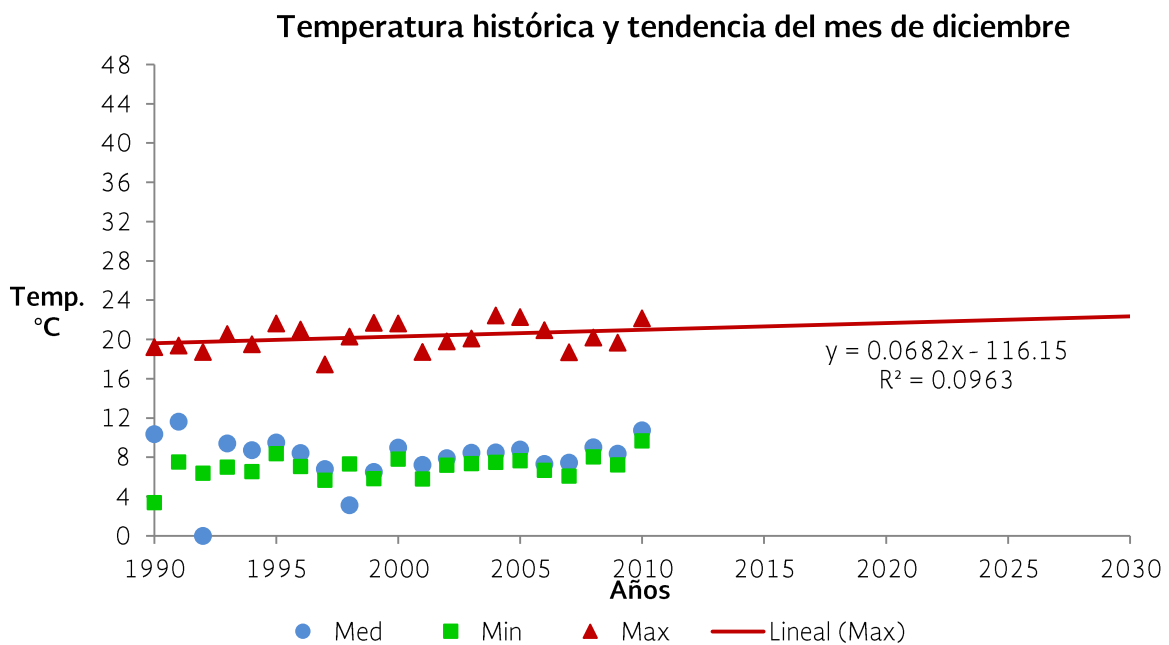


Figura 50 Temperatura media, mínima y máxima histórica (1990-2010) y tendencia de la temperatura máxima (2011-2030) del mes de diciembre.

Año	Temp. Max.	Probabilidad de ocurrencia (Temp. Max. mayor a 45°)
1991	19.39	0.00
1992	18.74	0.00
1993	20.54	0.00
1994	19.50	0.00
1995	21.62	0.00
1996	21.00	0.00
1997	17.46	0.00
1998	20.31	0.00
1999	21.70	0.00
2000	21.63	0.00
2001	18.75	0.00
2002	19.81	0.00
2003	20.09	0.00
2004	22.46	0.00
2005	22.27	0.00
2006	20.93	0.00
2007	18.70	0.00
2008	20.21	0.00
2009	19.68	0.00
2010	22.16	0.00
2011*	21.00	0.00
2012*	21.07	0.00
2013*	21.14	0.00
2014*	21.20	0.00
2015*	21.27	0.00
2016*	21.34	0.00
2017*	21.41	0.00
2018*	21.48	0.00
2019*	21.55	0.00
2020*	21.61	0.00
2021*	21.68	0.00
2022*	21.75	0.00
2023*	21.82	0.00
2024*	21.89	0.00
2025*	21.96	0.00
2026*	22.02	0.00
2027*	22.09	0.00
2028*	22.16	0.00
2029*	22.23	0.00
2030*	22.30	0.00

Tabla 49 Promedio de temperatura máxima histórica, tendencia y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayor a 45° C del mes de diciembre.

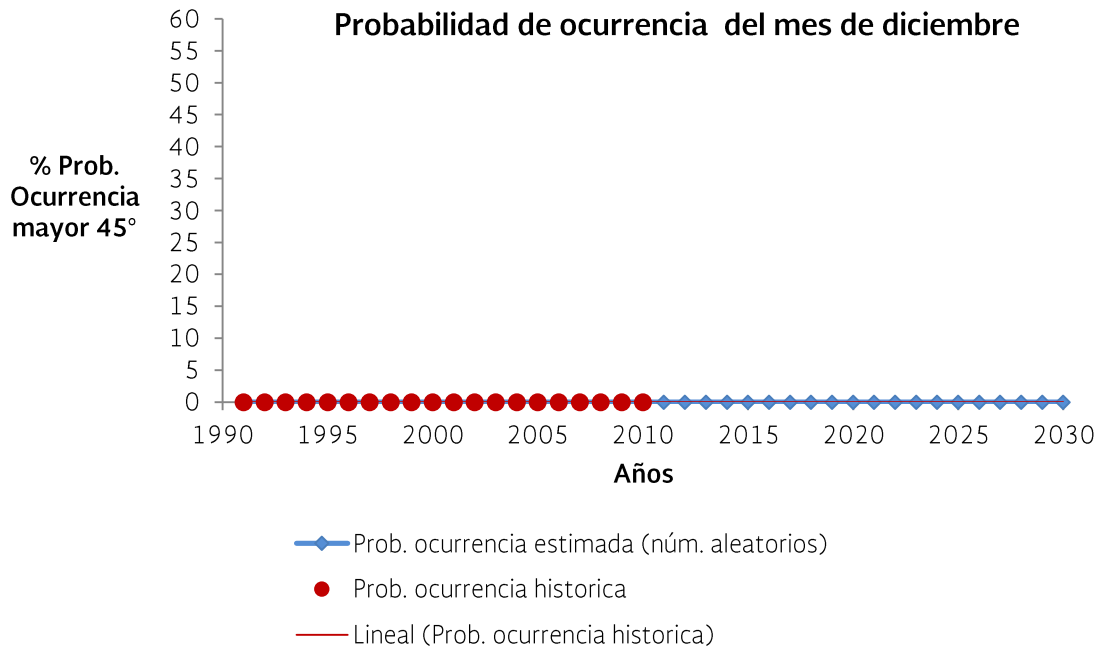


Figura 51 Probabilidad de ocurrencia histórica (1990-2010) y tendencia (2011-2030) del mes de diciembre.

La tabla siguiente muestra un resumen de la temperatura anual media máxima histórica (1990-2010) y estimación futura para 2011-2030 y la

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1991	20.4	26.5	21.5	28.9	32.9	38.3	41.0	43.4	39.7	36.3	25.2	19.4	7.81
1992	19.6	24.2	25.5	31.4	36.9	39.6	42.2	44.1	40.0	33.6	25.3	18.7	11.87
1993	19.4	20.1	27.6	30.5	35.4	39.3	41.9	40.6	38.2	32.4	23.0	20.5	4.60
1994	21.6	20.8	25.1	31.0	34.2	43.8	44.4	43.7	39.7	31.0	21.2	19.5	19.33
1995	19.6	25.9	26.7	29.4	31.8	39.1	43.9	44.2	41.7	33.5	28.0	21.6	15.88
1996	22.0	24.5	28.2	32.5	38.6	42.5	43.7	43.4	38.4	32.4	25.4	21.0	15.92
1997	21.0	22.9	29.9	31.1	39.8	40.1	42.7	42.9	38.6	30.5	25.5	17.5	10.88
1998	19.6	19.3	24.8	27.9	32.0	38.3	43.2	42.4	37.1	31.2	24.5	20.3	7.66
1999	22.3	23.4	25.4	27.8	35.7	39.9	42.0	42.1	39.1	35.5	27.7	21.7	7.19
2000	23.2	23.6	26.8	33.6	39.4	41.7	43.6	42.4	38.8	29.6	21.8	21.6	13.49
2001	19.0	20.6	26.4	29.1	39.4	42.4	43.0	42.6	39.9	33.9	26.0	18.7	13.91
2002	19.9	23.6	25.3	30.7	35.8	42.7	43.9	42.3	38.8	30.3	25.3	19.8	13.63
2003	24.4	21.1	26.2	27.4	35.5	40.7	43.2	40.9	39.6	35.1	22.5	20.1	8.88
2004	20.1	22.4	32.6	32.0	37.9	40.9	43.8	43.2	40.2	32.9	25.1	22.5	14.46
2005	21.3	22.0	26.8	31.2	36.4	40.2	44.9	42.9	39.7	32.8	27.0	22.3	15.15
2006	22.4	25.1	23.3	28.9	37.1	42.6	43.9	42.6	39.0	31.5	27.8	20.9	14.45
2007	19.6	24.4	29.3	31.6	36.5	41.4	43.1	43.2	38.3	32.5	27.6	18.7	11.98
2008	19.3	23.4	28.0	31.4	33.8	42.3	42.5	41.7	40.7	34.4	28.2	20.2	10.72
2009	23.2	23.1	26.9	30.4	39.2	38.3	45.0	43.1	41.3	31.9	27.0	19.7	17.09
2010	21.5	22.8	25.8	28.4	33.6	40.5	43.5	42.5	41.1	30.8	25.2	22.2	11.70
2011*	21.5	23.1	27.8	30.2	36.9	41.2	44.1	42.5	40.1	31.9	26.6	21.0	13.74
2012*	21.6	23.1	27.9	30.2	37.0	41.3	44.2	42.5	40.2	31.9	26.7	21.1	14.33
2013*	21.6	23.1	28.0	30.2	37.1	41.3	44.3	42.5	40.2	31.8	26.8	21.1	14.48
2014*	21.6	23.1	28.1	30.2	37.2	41.4	44.4	42.5	40.3	31.8	27.0	21.2	14.47
2015*	21.7	23.1	28.3	30.2	37.3	41.4	44.4	42.5	40.3	31.7	27.1	21.3	15.12
2016*	21.7	23.1	28.4	30.2	37.3	41.5	44.5	42.4	40.4	31.7	27.2	21.3	15.25
2017*	21.8	23.2	28.5	30.2	37.4	41.5	44.6	42.4	40.5	31.6	27.3	21.4	15.89
2018*	21.8	23.2	28.6	30.2	37.5	41.6	44.7	42.4	40.5	31.6	27.4	21.5	16.03
2019*	21.8	23.2	28.7	30.2	37.6	41.6	44.8	42.4	40.6	31.5	27.5	21.5	16.19
2020*	21.9	23.2	28.8	30.2	37.7	41.7	44.8	42.4	40.6	31.4	27.6	21.6	16.50
2021*	21.9	23.2	28.9	30.3	37.8	41.7	44.9	42.4	40.7	31.4	27.7	21.7	16.84
2022*	22.0	23.2	29.1	30.3	37.9	41.8	45.0	42.4	40.7	31.3	27.8	21.8	17.34
2023*	22.0	23.2	29.2	30.3	37.9	41.8	45.1	42.3	40.8	31.3	27.9	21.8	17.65
2024*	22.1	23.3	29.3	30.3	38.0	41.9	45.1	42.3	40.8	31.2	28.0	21.9	17.75
2025*	22.1	23.3	29.4	30.3	38.1	41.9	45.2	42.3	40.9	31.2	28.1	22.0	18.04
2026*	22.1	23.3	29.5	30.3	38.2	42.0	45.3	42.3	40.9	31.1	28.2	22.0	18.58
2027*	22.2	23.3	29.6	30.3	38.3	42.0	45.4	42.3	41.0	31.1	28.3	22.1	18.71
2028*	22.2	23.3	29.7	30.3	38.4	42.1	45.5	42.3	41.0	31.0	28.4	22.2	19.36
2029*	22.3	23.3	29.8	30.3	38.5	42.1	45.5	42.3	41.1	30.9	28.5	22.2	19.48
2030*	22.3	23.4	30.0	30.3	38.5	42.2	45.6	42.2	41.1	30.9	28.6	22.3	19.84

Tabla 50 Temperatura anual media máxima histórica (1990-2010) y estimación futura para 2011-2030

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1991	0.00	0.00	0.00	0.04	0.36	4.79	5.50	26.97	6.17	3.01	0.00	0.00	3.90
1992	0.00	0.00	0.00	0.22	3.61	9.25	13.52	36.76	7.21	0.68	0.00	0.00	5.94
1993	0.00	0.00	0.01	0.12	1.65	8.12	10.48	4.51	2.41	0.33	0.00	0.00	2.30
1994	0.00	0.00	0.00	0.16	0.86	38.03	40.56	30.26	6.00	0.13	0.00	0.00	9.67
1995	0.00	0.00	0.00	0.05	0.18	7.28	33.07	37.31	16.75	0.65	0.00	0.00	7.94
1996	0.00	0.00	0.01	0.45	7.80	27.11	29.61	27.51	2.70	0.33	0.00	0.00	7.96
1997	0.00	0.00	0.06	0.18	12.33	11.09	17.55	20.91	3.09	0.08	0.00	0.00	5.44
1998	0.00	0.00	0.00	0.02	0.20	4.95	24.03	15.58	1.07	0.14	0.00	0.00	3.83
1999	0.00	0.00	0.00	0.02	1.94	10.26	11.26	13.30	4.30	2.03	0.00	0.00	3.59
2000	0.00	0.00	0.00	0.86	10.59	20.43	29.25	16.25	3.49	0.04	0.00	0.00	6.74
2001	0.00	0.00	0.00	0.04	10.85	26.00	21.29	17.49	6.94	0.83	0.00	0.00	6.95
2002	0.00	0.00	0.00	0.14	2.13	28.15	32.79	14.83	3.67	0.08	0.00	0.00	6.82
2003	0.00	0.00	0.00	0.01	1.73	14.42	23.87	5.77	5.82	1.66	0.00	0.00	4.44
2004	0.00	0.00	0.38	0.32	5.80	15.33	32.14	24.06	8.29	0.45	0.00	0.00	7.23
2005	0.00	0.00	0.00	0.19	2.83	11.62	48.26	21.48	6.08	0.43	0.00	0.00	7.57
2006	0.00	0.00	0.00	0.04	4.09	27.55	33.02	17.75	4.05	0.18	0.00	0.00	7.22
2007	0.00	0.00	0.03	0.24	3.04	18.82	22.08	24.69	2.63	0.36	0.00	0.00	5.99
2008	0.00	0.00	0.01	0.21	0.65	25.39	16.41	10.26	10.28	1.11	0.00	0.00	5.36
2009	0.00	0.00	0.00	0.11	9.83	4.92	50.72	22.85	13.91	0.23	0.00	0.00	8.55
2010	0.00	0.00	0.00	0.03	0.58	13.22	27.21	16.53	12.52	0.11	0.00	0.00	5.85
2011*	0.00	0.00	0.00	0.06	3.70	17.48	36.12	17.23	7.70	0.17	0.00	0.00	6.87
2012*	0.00	0.00	0.01	0.08	4.07	17.82	37.88	17.33	8.62	0.19	0.00	0.00	7.17
2013*	0.00	0.00	0.01	0.13	4.15	18.73	38.51	17.24	7.89	0.21	0.00	0.00	7.24
2014*	0.00	0.00	0.01	0.11	3.90	17.77	39.95	16.15	8.63	0.27	0.00	0.00	7.23
2015*	0.00	0.00	0.04	0.12	4.15	19.29	41.78	16.18	8.92	0.24	0.00	0.00	7.56
2016*	0.00	0.00	0.00	0.12	4.67	18.81	42.06	16.41	9.14	0.29	0.00	0.00	7.63
2017*	0.00	0.00	0.01	0.21	4.92	19.42	44.45	16.03	10.12	0.19	0.00	0.00	7.95
2018*	0.00	0.00	0.00	0.05	4.91	19.84	45.88	15.91	9.43	0.13	0.00	0.00	8.01
2019*	0.00	0.00	0.04	0.14	4.90	20.05	46.81	15.84	9.05	0.28	0.00	0.00	8.09
2020*	0.00	0.00	0.02	0.07	5.21	20.32	47.26	15.91	10.04	0.16	0.01	0.00	8.25
2021*	0.00	0.00	0.01	0.09	5.33	21.18	48.56	15.31	10.33	0.19	0.01	0.00	8.42
2022*	0.00	0.00	0.05	0.09	5.27	21.68	50.17	15.71	10.93	0.16	0.00	0.00	8.67
2023*	0.00	0.00	0.04	0.05	5.81	21.61	50.98	15.61	11.66	0.16	0.00	0.00	8.83
2024*	0.00	0.00	0.01	0.11	6.06	22.28	51.46	15.28	11.12	0.20	0.00	0.00	8.88
2025*	0.00	0.00	0.06	0.11	6.20	22.91	52.53	14.71	11.60	0.14	0.00	0.00	9.02
2026*	0.00	0.00	0.03	0.06	6.68	22.66	55.03	14.70	12.16	0.16	0.00	0.00	9.29
2027*	0.00	0.00	0.06	0.07	7.18	22.81	55.88	14.76	11.41	0.08	0.01	0.00	9.36
2028*	0.00	0.00	0.06	0.13	7.24	24.07	57.43	14.73	12.41	0.07	0.00	0.00	9.68
2029*	0.00	0.00	0.06	0.11	7.44	23.29	58.12	14.52	13.23	0.12	0.00	0.00	9.74
2030*	0.00	0.00	0.08	0.17	7.76	23.76	59.77	14.36	13.03	0.09	0.00	0.00	9.92

Tabla 51 Probabilidad de ocurrencia de temperatura mayores a 45°C periodo 1990-2010 y estimación futura periodo 2011-2030

Una vez encontradas las vulnerabilidades con y sin cambio climático, y viendo las probabilidades de ocurrencia de incrementos de temperatura durante hasta el año 2030, se puede encontrar el riesgo mensual y anual.

Debido que en los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Octubre, Noviembre y Diciembre no presentan una probabilidad de Ocurrencia de que se presenten temperaturas mayor o igual a nuestro punto de resiliencia 45°C, no presentan riesgo alguno ante este escenario.

6.3 CÁLCULO DEL RIESGO ACTUAL Y FUTURO

Una vez encontradas las probabilidades de ocurrencia y las vulnerabilidades con y sin cambio climático se procede a encontrar el riesgo, recordando que para ser evaluado es la interacción de la vulnerabilidad contra la probabilidad de Ocurrencia de que se presente una amenaza (Temperatura). En los casos de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Octubre, Noviembre y Diciembre los riesgos se consideran cero, debido a que en los meses mencionados, la probabilidad de que se presenten temperaturas mayores o igual a 45° C es Cero, el Riesgo no Existe. Las Tablas 52 y 53 muestran los resultados de Riesgo mensual considerando vulnerabilidad sin y con Cambio Climático así como la probabilidad de ocurrencia de temperatura mayores a 45°C (periodo 1990-2010) y en la estimación futura (periodo 2011-2030), respectivamente.

La figura 47 y 48 muestra las gráficas del Riesgo mensual considerando vulnerabilidad sin y con Cambio Climático para el periodo 2011-2030, y la figura 49 muestra una comparación del riesgo mensual considerando vulnerabilidad con y sin Cambio Climático para el mismo periodo.

AÑO	Vulnerabilidad sin Cambio Climático	Riesgo=Vulnerabilidad*Prob. Ocurr												Promedio
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2010	98.2668	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.08	2.23	1.35	1.03	0.01	0.00	0.00	5.749
2011	98.3134	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	1.43	2.96	1.41	0.63	0.01	0.00	0.00	6.756
2012	98.4038	0.00	0.00	0.00	0.01	0.33	1.46	3.11	1.42	0.71	0.02	0.00	0.00	7.052
2013	98.4958	0.00	0.00	0.00	0.01	0.34	1.54	3.16	1.42	0.65	0.02	0.00	0.00	7.130
2014	98.5847	0.00	0.00	0.00	0.01	0.32	1.46	3.28	1.33	0.71	0.02	0.00	0.00	7.130
2015	98.6703	0.00	0.00	0.00	0.01	0.34	1.59	3.44	1.33	0.73	0.02	0.00	0.00	7.459
2016	98.7525	0.00	0.00	0.00	0.01	0.38	1.55	3.46	1.35	0.75	0.02	0.00	0.00	7.530
2017	98.8313	0.00	0.00	0.00	0.02	0.41	1.60	3.66	1.32	0.83	0.02	0.00	0.00	7.853
2018	98.9064	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	1.64	3.78	1.31	0.78	0.01	0.00	0.00	7.925
2019	98.9774	0.00	0.00	0.00	0.01	0.40	1.65	3.86	1.31	0.75	0.02	0.00	0.00	8.010
2020	99.0436	0.00	0.00	0.00	0.01	0.43	1.68	3.90	1.31	0.83	0.01	0.00	0.00	8.171
2021	99.1062	0.00	0.00	0.00	0.01	0.44	1.75	4.01	1.26	0.85	0.02	0.00	0.00	8.342
2022	99.1674	0.00	0.00	0.00	0.01	0.44	1.79	4.15	1.30	0.90	0.01	0.00	0.00	8.599
2023	99.2267	0.00	0.00	0.00	0.00	0.48	1.79	4.22	1.29	0.96	0.01	0.00	0.00	8.758
2024	99.2839	0.00	0.00	0.00	0.01	0.50	1.84	4.26	1.26	0.92	0.02	0.00	0.00	8.813
2025	99.3390	0.00	0.00	0.00	0.01	0.51	1.90	4.35	1.22	0.96	0.01	0.00	0.00	8.962
2026	99.3919	0.00	0.00	0.00	0.00	0.55	1.88	4.56	1.22	1.01	0.01	0.00	0.00	9.234
2027	99.4428	0.00	0.00	0.00	0.01	0.59	1.89	4.63	1.22	0.95	0.01	0.00	0.00	9.303
2028	99.4919	0.00	0.00	0.00	0.01	0.60	2.00	4.76	1.22	1.03	0.01	0.00	0.00	9.629
2029	99.5396	0.00	0.00	0.00	0.01	0.62	1.93	4.82	1.20	1.10	0.01	0.00	0.00	9.696
2030	99.5861	0.00	0.00	0.01	0.01	0.64	1.97	4.96	1.19	1.08	0.01	0.00	0.00	9.877
Promedio mensual		0.00	0.00	0.00	0.01	0.43	1.69	3.88	1.30	0.86	0.01	0.00	0.00	8.189

Tabla 52 Riesgo mensual considerando vulnerabilidad sin Cambio Climático y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayores a 45°C periodo 1990-2010 y estimación futura periodo 2011-2030

AÑO	Vulnerabilidad con Cambio Climático	Riesgo=Vulnerabilidad*Prob. Ocurr												Promedio
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
2010	98.2668	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	1.08	2.23	1.35	1.03	0.01	0.00	0.00	5.749
2011	99.6309	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	1.45	3.00	1.43	0.64	0.01	0.00	0.00	6.846
2012	99.8482	0.00	0.00	0.00	0.01	0.34	1.48	3.15	1.44	0.72	0.02	0.00	0.00	7.156
2013	99.7116	0.00	0.00	0.00	0.01	0.34	1.56	3.20	1.43	0.66	0.02	0.00	0.00	7.218
2014	100.6478	0.00	0.00	0.00	0.01	0.33	1.49	3.35	1.35	0.72	0.02	0.00	0.00	7.279
2015	100.6506	0.00	0.00	0.00	0.01	0.35	1.62	3.50	1.36	0.75	0.02	0.00	0.00	7.609
2016	100.8525	0.00	0.00	0.00	0.01	0.39	1.58	3.53	1.38	0.77	0.02	0.00	0.00	7.690
2017	101.1531	0.00	0.00	0.00	0.02	0.41	1.64	3.75	1.35	0.85	0.02	0.00	0.00	8.037
2018	101.1052	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	1.67	3.87	1.34	0.79	0.01	0.00	0.00	8.101
2019	101.2911	0.00	0.00	0.00	0.01	0.41	1.69	3.95	1.34	0.76	0.02	0.00	0.00	8.197
2020	100.9770	0.00	0.00	0.00	0.01	0.44	1.71	3.98	1.34	0.84	0.01	0.00	0.00	8.331
2021	101.0151	0.00	0.00	0.00	0.01	0.45	1.78	4.09	1.29	0.87	0.02	0.00	0.00	8.503
2022	101.9853	0.00	0.00	0.00	0.01	0.45	1.84	4.26	1.34	0.93	0.01	0.00	0.00	8.844
2023	101.7270	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	1.83	4.32	1.32	0.99	0.01	0.00	0.00	8.979
2024	102.2461	0.00	0.00	0.00	0.01	0.52	1.90	4.38	1.30	0.95	0.02	0.00	0.00	9.076
2025	102.0609	0.00	0.00	0.01	0.01	0.53	1.95	4.47	1.25	0.99	0.01	0.00	0.00	9.208
2026	101.6445	0.00	0.00	0.00	0.01	0.57	1.92	4.66	1.25	1.03	0.01	0.00	0.00	9.443
2027	102.1750	0.00	0.00	0.01	0.01	0.61	1.94	4.76	1.26	0.97	0.01	0.00	0.00	9.558
2028	102.0308	0.00	0.00	0.01	0.01	0.62	2.05	4.88	1.25	1.06	0.01	0.00	0.00	9.875
2029	101.8337	0.00	0.00	0.01	0.01	0.63	1.98	4.93	1.23	1.12	0.01	0.00	0.00	9.919
2030	101.9446	0.00	0.00	0.01	0.01	0.66	2.02	5.08	1.22	1.11	0.01	0.00	0.00	10.111
Promedio mensual		0.00	0.00	0.00	0.01	0.44	1.72	3.97	1.32	0.88	0.01	0.00	0.00	8.368

Tabla 53 Riesgo mensual considerando vulnerabilidad con Cambio Climático y probabilidad de ocurrencia de temperatura mayores a 45°C periodo 1990-2010 y estimación futura periodo 2011-2030

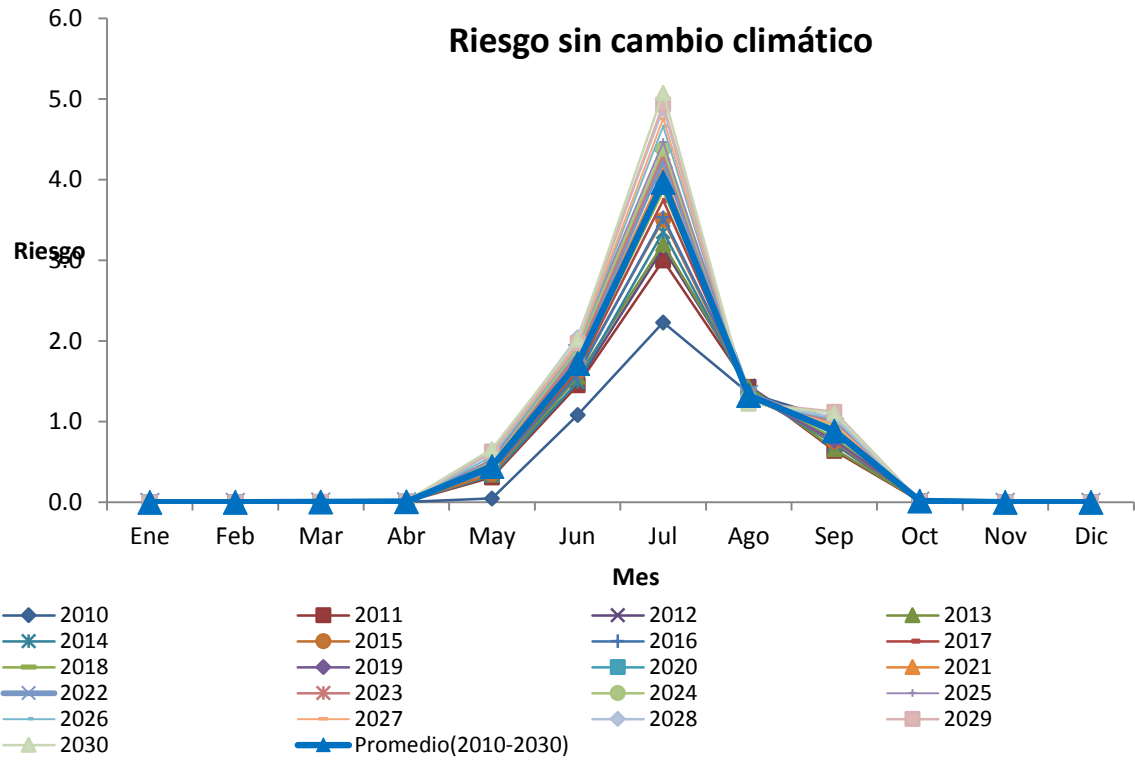


Figura 52. Riesgo mensual considerando vulnerabilidad sin Cambio Climático periodo 2011-2030

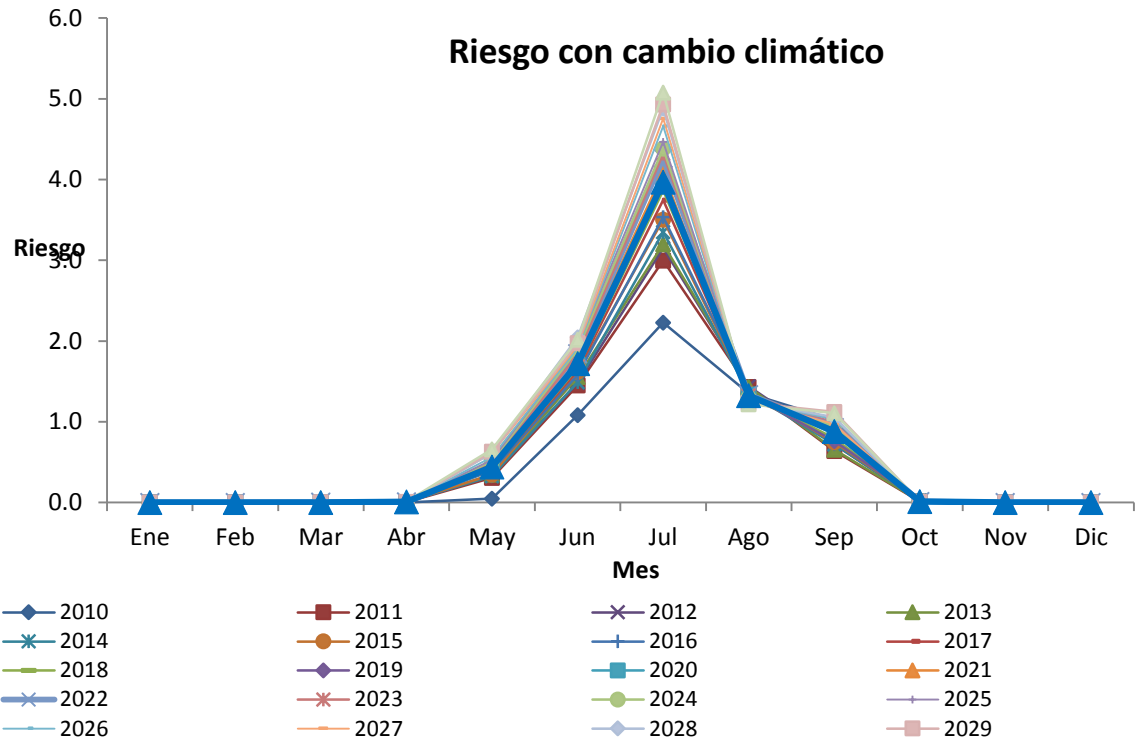


Figura 53. Riesgo mensual considerando vulnerabilidad con Cambio Climático periodo 2011-2030

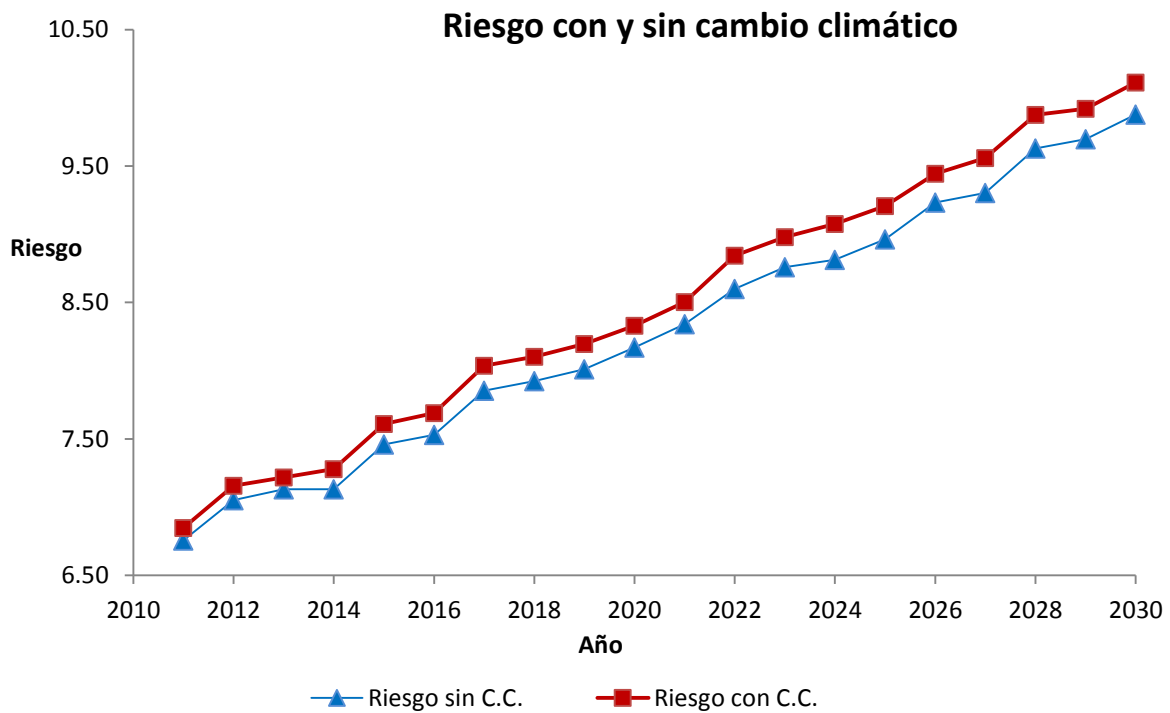


Figura 54. Riesgo mensual considerando vulnerabilidad con y sin Cambio Climático periodo 2011-2030

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las diferencias entre los riesgos con y sin cambio climático tienden a ser lineales, esto quiere decir que el escenario con cambio climático eleva el riesgo paralelamente con el escenario sin cambio climático en la línea del tiempo.

El análisis de riesgo es una técnica útil para advertir sobre amenazas potenciales que puedan afectar a un sistema, pero para ello se requiere de información precisa que permita identificar y priorizar los peligros que pueden afectar el abastecimiento de agua a una ciudad.

El análisis de riesgo se puede considerar, debido que cumple con su objeto de diseño debido que la vulnerabilidad fue evaluada con datos internos del organismo operador de Mexicali se actualizan anualmente contra la amenaza que se tiene información puntual del lugar del estudio. Con esta metodología se puede tener calcular un riesgo general contra cualquier amenaza de los efectos del cambio climático, considerando obtener toda la información necesaria para que se pueda considerar una evaluación eficaz.

No existe un método universal para llevar a cabo la cuantificación del riesgo que produzca resultados generales precisos y realistas, pues siempre existen limitantes en cuanto a la cantidad de información que se puede obtener, ya sea por restricciones de tiempo, de recursos o por un conocimiento científico insuficiente. En este sentido hay que mencionar que la información que se puede obtener de los sistemas de agua potable municipales es escasa y requiere validación debido a las inconsistencias que puede tener. El análisis de vulnerabilidad presentado puede ser una técnica para elaborar un diagnóstico de los sistemas de agua enfocado a algún fenómeno; esto implica la identificación y priorización de amenazas que afecten alguna componente de la operación o todo el sistema. En este sentido, el fenómeno del cambio climático puede

ser una variable discutible para insertarse en la planeación de los sistemas de agua debido a la incertidumbre de los efectos negativos.

De ningún modo puede pretenderse que el análisis de riesgo planteado es una técnica que llega a una conclusión correcta, no es más que una herramienta que sirve para tomar decisiones y obtener conclusiones en base a la información empleada. El análisis de riesgo como herramienta de análisis cuantitativo proporciona una orientación al operador de un sistema de agua, pero no puede sustituir su juicio personal.

BIBLIOGRAFÍA

- Instituto Nacional de Defensa Civil del Peru. (2006). *Manual Basico para la Estimación del Riesgo*. Lima, Peru.
- Camacho, H. (2013). *Evaluación de costos de adaptación al cambio climático en organismos operadores de agua*. Jiutepec, Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Libro electrónico disponible en http://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/evaluacion-costos-accooa/files/assets/basic-html/page4.html.
- Camacho, H. (2014a). EVALUACIÓN DE COSTOS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ORGANISMOS OPERADORES. *XXI / I Congreso Nacional de Hidráulica*. Puerto Vallarta, Jalisco, México: Asociación Mexicana de Hidráulica.
- Camacho, H. D. (2013). *Evaluación de costos de adaptación al cambio climático en organismos operadores de agua*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Carpenter. (2001). *Gestión del riesgo de inundación*.
- CENAPRED. (2006). *Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos*. México: Centro Nacional de Prevención de Desastres: Distrito Federal.
- CEPAL, C. E. (2011). *Efectos de Cambio Climático en las Costas de América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- CICC, C. I. (2012). *Adaptación al Cambio Climático*. México, DF: México, DF.
- CONAGUA. (2011). *Estadísticas del Agua en México, edición 2011*. México: SEMARNAT.
- CSAC, C. S. (2011). *Guía para la reducción de la vulnerabilidad en Sistemas de Agua Potable y Saneamiento*. Nicaragua: Nicaragua.

- Delgadillo, E. (2008). *Metodología Para El Análisis De Riesgos Ambientales. Impacto Social En La Población Del Municipio De Ecatepec, Estado De México. Tesis de maestría* . Centro de Investigaciones Económicas, Administrativas y Sociales, Instituto Politécnico Nacional.
- GALINDO, L. M. (2009). *La Economía del Cambio Climático en México. Síntesis*. México: SHCP, SEMARNAT.
- Ganoulis, J. (2007). *Risk Analysis of Water Pollution*.
- Hashimoto, T. (1982). *Reliability, Resiliency and Vulnerability Criteria For Water Resource System*. New York.
- Hiete, M. (2009). An Indicator Framework to Assess the Vulnerability. *Indicator Framework for the Assessment of Indirect* (págs. 1-10). Gothenburg, Sweden: Gothenburg, Sweden.
- IMTA. (2009). *Programa de Indicadores de Gestión de Organismos Operadores*. Recuperado el 25 de Junio de 2012, de Instituto Mexicano de Tecnología del Agua: <http://www.pigoo.gob.mx>
- IMTA, I. M. (30 de 08 de 2013). *Programa de Indicadores de Gestión de Organismos operadores del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*. Recuperado el 11 de 09 de 2014, de <http://www.pigoo.gob.mx/index.php>
- INDECI, I. N. (2006). *ESTUDIOS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS*. PERU: PERU.
- INE. (2008). *Evaluación de la afectación de la calidad del agua en cuerpos de agua superficiales y subterráneos por efecto de la variabilidad y el cambio climático y su impacto en la biodiversidad, agricultura, salud, turismo e industria*. México: . México: INE-IMTA-SEMARNAT.
- INECC, I. N. (2012). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático*. Recuperado el 04 de Agosto de 2014, de Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático: <http://www.inecc.gob.mx/>

- Instituto Meteorológico Nacional . (2005). *Fomento de las capacidades para la etapa II de adaptación al cambio climático en Centroamérica, México y Cuba. Estimación del riesgo futuro del sistema hidrico de las zona noroeste de la Gran Area Metropolitana de Costa Rica ante el cambio climático*. San Jose, Costa Rica: MINAET-IMN-PNUD-GEF-CATHALAC. Plantillas de análisis para la proyección de indicadores socioeconómicos.
- IPCC. (2007). *Cambio Climático 2007, Informe de síntesis*. Ginebra, Suiza.: Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.
- IPCC. (2014). *PAGINA DEL IPCC*. Recuperado el 04 de Agosto de 2014, de https://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml#1
- IPCC, P. I. (2001). *Cambio Climático 2001: Informe de síntesis*. Wembley, Reino Unido: IPCC.
- Kansas, D. o. (2013). *Simplified Vulnerability Assessment Tool for Drinking Water*. Kansas, USA: KDHE-BOW.
- Kirshen, P. (2000). *Climate's Long-term Impacts on Urban Infrastructures and Services: The Case of Metro Boston. año 2000, págs. 191-255*. En R. M. Kirshen, K. Donaghy, & H. P., Responses, Climate Change and Variability.
- Landa, R. (2008). *Agua y Clima: Elementos para la adaptación al cambio climático*. México, DF.: SEMARNAT.
- Landa, R. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*. México: México.
- LGCC. (Art. 2). *Ley General del Cambio Climático*. México, DF: México, DF.
- LGCC, L. G. (Art. 7). México DF: México DF.
- Lindhe, A. (2008). *Integrated and Probabilistic Risk Analysis of Drinking Water Systems* . Sweden.
- LP, L. d. (Art. 1). *Artículo 1*. Mexico: Mexico.

- Magaña, v. (2013). *Guía Metodologica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climatico*. MEXICO, DF: INECC.
- Magaña, V. (2013). *Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climatico*. Mexico, DF: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climatico.
- Martínez Austria, P. F., & Patiño Gómez, C. (2010). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Jiutepec, Morelos: IMTA_SEMARNAT.
- Martinez, J. M. (2010). *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Martínez, P. F. (2007). *Gestión y Regularización de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento*. Jiutepec, Morelos: IMTA.
- Maskrey, A. (1993). *Los desastres no son naturales*. Perú: la RED.
- Melillo, A. &. (1991). *Gestón del Riesgo de inundaciones*.
- MINAET, M. d. (2011). *Análisis de Riesgo Actual del Sector Hídrico de Costa Rica ante el Cambio Climatico*. Costa Rica.
- Morgan, M., & Henrion, M. (1990). *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Validity and Agreement Among Risk Managers*. Society for Risk Analysis.
- OAC. (SF). *Observatorio Astronómico de Cordova*. Recuperado el 18 de diciembre de 2014, de Astrometría I: Probabilidad y Estadística Parte 1: <http://www.oac.uncor.edu/documentos/materias/clases.pdf>
- PND, P. N.-2. (2013). *plan Nacional de Desarrollo*. Mexico, DF.
- RAE, R. A. (2014). <http://www.rae.es/>. Recuperado el 01 de Octubre de 2014, de <http://www.rae.es/>: <http://www.rae.es/>
- Rivera-Garcia, D. (2010). *Valor en Riesgo: Metodologías para su estimación. Tesis de licenciatura*. Chapingo, Texcoco, Edo. de México: DEPARTAMENTO DE ESTADÍSTICA MATEMÁTICA Y CÓMPUTO, DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO.

- Rodríguez, I. N. (2010). *Desarrollo de un instrumento para valorar los niveles de gestión institucional de riesgo mediante el uso de indicadores*. Venezuela: CIDIAT.
- Rodríguez, N. L. (2010). *Desarrollo de un instrumento para valorar los niveles de gestión institucional de riesgo mediante el uso de indicadores*. Venezuela: CIDIAT.
- SEMARNAT-INE-Gobierno de Baja California. (2012). *Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Baja California*. Baja California: SEMARNAT-INE-Gobierno de Baja California.
- SP. (Agosto de 2005). *VALOR EN RIESGO: EL MÉTODO DE SIMULACIÓN HISTÓRICA*. Costa Rica: Nota técnica N°2005-01, SuperIntendencia de Pensiones.
- Turrubiates, D. G. (2010). *Metodología para valorar índices de vulnerabilidad ante el cambio climático y acciones de compensación en las costas de Tamaulipas*. Tamaulipas.
- Vega, M. V. (2004). *Cadenas de Markov de tiempo continuo y aplicaciones*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República.