

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIHUAHUA**

**FACULTAD DE ZOOTECNIA Y ECOLOGÍA**

**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

---



**INDICADORES BASE DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA  
CIUDAD DE CHIHUAHUA**

**POR:**

**ARQ. ANA IVONNE MARTINEZ ORTIZ**

**TESINA PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRÍA EN ECOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**OPCIÓN: ORDENAMIENTO ECOLÓGICO TERRITORIAL**

**CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO**

**FEBRERO 2022**



Indicadores base de adaptación al cambio climático en la ciudad de Chihuahua. Tesina presentada por Ana Ivonne Martínez Ortiz como requisito parcial para obtener el grado de Maestría Profesional en Ecología y Medio Ambiente, ha sido aprobada y aceptada por:

---

Ph.D. Carlos Ortega Ochoa  
Director de la Facultad de Zootecnia y Ecología

---

D.Ph. Agustín Corral Luna  
Secretario de Investigación y Posgrado

---

Ph.D. Iván Adrián García Galicia  
Coordinador Académico

---

D.Ph. Carmelo Pinedo Álvarez  
Presidente

*FEBRERO 11 DEL 2022.*

---

Fecha

Comité:  
Dra. Marusia Rentería Villalobos.  
Dr. Guadalupe Nelson Aguilar  
Palma.  
D.Ph. Alfredo Pinedo Álvarez

© Derechos Reservados AUTOR: ANA IVONNE MARTÍNEZ ORTIZ DIRECCIÓN: PERIFÉRICO FRANCISCO R. ALMADA KM.1, CHIHUAHUA, CHIH., MÉXICO C.P. 31453 FEBRERO 2022
--

## **AGRADECIMIENTOS**

Por el esfuerzo, apoyo y la dedicación brindada que me ayudo a llegar al momento en el que me encuentro.

Porque más allá del deber y la responsabilidad propia, acepto el reto de romper el prototipo y guiarme con mis diferentes competencias profesionales.

Toda mi gratitud y respeto a mi asesor D. Ph. Carmelo Pinedo Álvarez.

Gracias por que en este mundo cambiante hay que permanecer siempre con la capacidad de transformarse.

## **DEDICATORIA**

A mis padres que son mi mejor ejemplo de lucha y perseverancia.

A mi familia que es parte de la formación de mi carácter y disciplina.

A mis antepasados que son el principio de lo que soy y de lo que seré.

A todos los que han descubierto lo maravilloso del conocimiento y aprendizaje.

Todo valió la pena.

## CURRÍCULUM VITAE

El autor nació el 3 de junio de 1984, en la ciudad de Chihuahua, Chihuahua, México.

2002 - 2007	Estudios de Licenciatura en Arquitectura con Especialidad en Arquitectura Regional en el Instituto Tecnológico de Chihuahua II.
2007 - 2011	Arquitecto Proyectista en el área de nuevos proyectos de fraccionamientos, vivienda, reserva territorial, gestiones y autorizaciones en Grupo Ruba.
2011 - 2012	Coordinador de Proyectos y Gestoría de Vivienda, urbanización de fraccionamientos de la Cd. de Chihuahua, Chih. y de Cd. Reynosa, Tamaulipas, en Brasa Desarrollos.
2015 - a la fecha	Trámite y Gestión ante los diferentes niveles de gobierno de proyectos Urbanos, elaboración de MIA e IP en TDU Diseño.

## RESUMEN

### INDICADORES BASE DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CIUDAD DE CHIHUAHUA

POR:

ARQ. ANA IVONNE MARTINEZ ORTIZ

Maestría en Ecología y Medio Ambiente

Secretaría de Investigación y Posgrado

Facultad de Zootecnia y Ecología

Universidad Autónoma de Chihuahua

Presidente: D. Ph. Carmelo Pinedo Álvarez

La rápida expansión urbana y poblacional, el crecimiento industrial y la variabilidad climática afectan la sostenibilidad de los ambientes urbanos. Este estudio se enfocó a identificar los factores de riesgo y categorizar las acciones necesarias para desarrollar indicadores de adaptación protocolaria al Cambio Climático (CC) para la ciudad de Chihuahua. El límite de población urbana y el límite urbano 2018 comprendieron el área de estudio. Se realizó una revisión extensa de bases bibliográficas, revistas periódicas y compendios de protocolos de literatura para identificar los factores de riesgo ante el CC urbano. Los indicadores relevantes con opciones de adaptación se relacionaron con las condiciones de factores de riesgo y se expresaron en una matriz. Para algunos indicadores carentes de información se construyó su línea base de datos. El cambio de uso del suelo identificó 6 problemáticas, la variabilidad climática y el suministro de recursos hídricos 9 cada uno. Los cambios de uso del suelo y consumos de agua doméstico están asociados al crecimiento lineal geo

demográfico. En el período 2002 - 2018, el área urbana se incrementó en un 23 % a costa de la vegetación natural y áreas agrícolas. El déficit de agua aumentó en forma lineal con valores de 26.9 a 39.0 %. Las ondas frías y de calor se presentan en rangos de -15 y hasta 45 °C con impactos en la inversión térmica, salud humana e infraestructura urbana. Estos problemas conformaron la base para la propuesta de 8 protocolos de adaptación de línea base al CC para la ciudad de Chihuahua.

## **ABSTRACT**

### **BASE INDICATORS OF ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE IN THE CITY OF CHIHUAHUA**

**BY**

**ANA IVONNE MARTINEZ ORTIZ**

Rapid urban and population expansion, industrial growth, and climate variability affect the sustainability of urban environments. This study focused on identifying risk factors and categorizing the actions necessary to develop indicators of protocol adaptation to climate change (CC) for the city of Chihuahua. The urban population limit and the 2018 urban limit comprised the study area. An extensive review of bibliographic databases, periodicals and compendia of literature protocols was carried out to identify risk factors for urban CC. Relevant indicators with adaptation options were related to risk factor conditions and expressed in a matrix. For some indicators lacking information, their construction was necessary to support the indicator. The change in land use identified 6 problems, 9 climate variability and 9 problems for the supply of water resources. Changes in land use and domestic water consumption are associated with linear geo-demographic growth. The urban area increased by 23 % at the expense of natural vegetation and agricultural areas. The water deficit increased linearly with values from 26.9 to 39.0 %. Cold and heat waves in the human environment occur in ranges down to -15 and 45 °C with impacts on thermal inversion, human health and urban infrastructure. These problems formed the basis for the proposal of 8 baseline adaptation protocols to the CC for the city of Chihuahua.



## CONTENIDO

	Página
RESUMEN.....	vi
ABSTRACT.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	xii
LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Crecimiento Geo demográfico.....	3
Demografía.....	3
Expansión urbana.....	4
Cambios de Uso del Suelo Urbano.....	5
Cambio Climático en el Entorno Urbano.....	6
Variabilidad Climática y Cambio Climático.....	7
Adaptación Urbana al Cambio Climático.....	8
Indicadores y Protocolos.....	9
MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
Descripción del Área de Estudio.....	11
Localización.....	11
Clima.....	11
Fisiografía.....	11

Identificación de los Factores de Riesgo al CC.....	11
Datos de Indicadores Disponibles.....	13
Generación de Datos de Indicadores No Disponibles.....	13
Usos del suelo y vegetación.....	13
Variabilidad climática.....	14
Sequia meteorológica.....	15
Requerimientos de agua.....	16
Identificación y Priorización de Acciones de Adaptación.....	16
Indicadores Base para los Protocolos de Adaptación.....	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
Factores de Riesgo Urbano.....	19
Cambios de Uso del Suelo Urbano.....	23
Variabilidad Climática en el Entorno Urbano.....	27
Ondas de calor.....	28
Ondas de frío.....	31
Sequia.....	35
Suministro de Recursos Hídricos.....	37
Consumo de agua <i>per cápita</i> .....	37
Implicaciones en la relación geo demografía-consumo de agua.....	39
Implicaciones del CC en las Medidas de Adaptación Urbana...	39
Opciones de Adaptabilidad de la ciudad de Chihuahua al CC..	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46

LITERATURA CITADA.....	48
APÉNDICE 1.....	52
APÉNDICE 2.....	58
APÉNDICE 3.....	74
APÉNDICE 4.....	95

## LISTA DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Factores de riesgo y problemas asociados a diferentes escalas: mundial, nacional, estatal y municipal.....	20
2	Principales usos del suelo y vegetación y sus tasas de cambio en el área urbana de la ciudad de Chihuahua en el periodo 1998-2014.....	24
3	Consumo de agua, suministro de agua ( $225 \text{ lt d}^{-1}$ ), demanda total y déficit de agua para la ciudad de Chihuahua en un periodo de 30 años.....	38
4	Objetivos adaptativos y sus opciones de adaptabilidad urbana como sustento para instrumentar la línea base de los protocolos de adaptación al CC de la ciudad de Chihuahua.....	42

## LISTA DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro		Página
5	Sectores, amenazas e impactos. Actualización 2019 del PACMUN Chihuahua .....	53
6	Indicadores base para cambios de uso de suelo urbano.....	58
7	Indicadores base para variabilidad climática.....	74
8	Indicadores base para suministro de recursos hídricos.....	94

## LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Limites urbano y periurbano de la ciudad de Chihuahua.....	12
2	Cambios de uso de suelo en la ciudad de Chihuahua durante el periodo 1998-2018.....	26
3	Ecuación de regresión de TMAXMAX durante el periodo 1963-2003.....	29
4	Umbrales de TMAXMAX en la ciudad de Chihuahua durante el periodo 1963-2003.....	30
5	Ecuación de regresión de TMI durante el periodo 1963-2003	33
6	Umbrales de TMI en la ciudad de Chihuahua durante el periodo 1963-2003.....	34
7	Tendencia histórica de la sequía en el entorno semiárido de la ciudad de Chihuahua.....	36

## LISTA DE ABREVIACIONES

<b>CC</b>	Cambio Climático
<b>CMCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>C&amp;I</b>	Criterios e Indicadores
<b>CIPD</b>	Conferencia Internacional sobre Población y Desarrollo
<b>INECC</b>	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
<b>INEGEI</b>	Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
<b>IP</b>	Informe Preventivo
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>IT</b>	Inversión Térmica
<b>LGCC</b>	Ley General de Cambio Climático
<b>MDE</b>	Modelo Digital de Elevación
<b>MIA</b>	Manifiesto de Impacto Ambiental
<b>NADM</b>	North American Drought Monitor
<b>PACMUN</b>	Plan de Acción Climática Municipal de Chihuahua
<b>PECC</b>	Programa Estatal de Cambio Climático
<b>PIB</b>	Producto Interno Bruto
<b>POET</b>	Programas de Ordenamiento Ecológico Territorial
<b>PPA</b>	Precipitación Pluvial Anual

<b>SMN</b>	Servicio Meteorológico Nacional
<b>SPI</b>	Standardized Precipitation Index
<b>TMA</b>	Temperatura Media Anual
<b>TMAXMAX</b>	Temperatura Máxima de Máxima
<b>TMI</b>	Temperatura Mínima Invernal
<b>TMINMIN</b>	Temperatura Mínima de Mínima
<b>TMMA</b>	Temperatura Mínima Media Anual
<b>UHI</b>	Urban Heat Islands
<b>UNISDR</b>	Reducción de Desastres de las Naciones Unidas



## INTRODUCCIÓN

Las sociedades humanas en desarrollo se han estado adaptando a sus entornos ambientales a lo largo de la historia. Hogar de más de la mitad de la población mundial y con un aporte mayor al 80 % del PIB, las ciudades enfrentan desafíos que amenazan la calidad de vida de las personas y los medios del sustento.

La continua expansión geo demográfica y su relación con algunos impactos antrópicos y eventos relacionados con el clima, como la precipitación pluvial y las temperaturas extremas tienen fuertes impactos en los entornos urbanos. Como ejemplo, las ondas de calor y los procesos de inversión térmica requieren de plantear nuevos enfoques para la sostenibilidad de los ambientes urbanos, de tal forma, que permitan que las especies humanas y no humanas se adapten a estos mayores riesgos (Hamin y Gurrán, 2009).

Ante el cambio climático (CC), las ciudades se enfrentan a un desafío clave en términos de aspectos como la seguridad alimentaria, ecológica y energética. Las ciudades están integrando cada vez más las prioridades de adaptación climática en las políticas y planes de sus desarrollos. Sin embargo, continúa la brecha en la comprensión y aplicación de soluciones de adaptación urbana que puedan conducir a un cambio más transformador a mediano y largo plazo (Arbuthnott *et al.*, 2019).

La deficiente aplicación de un plan de ordenamiento territorial urbano y la inadecuada planeación del crecimiento de la infraestructura urbana, influyen en los cambios de uso del suelo y el incremento de los Gases Efecto Invernadero (GEI). Por citar algunos, estos factores acrecientan la vulnerabilidad y los riesgos

para la vida urbana, provocan una sobreexplotación de los recursos naturales y afectan su desarrollo sustentable. En el impacto de estos factores juega un papel crucial el CC.

El conocimiento de factores relacionados al impacto climático contribuirá a explicar el ambiente complejo de estos entornos para adoptar las medidas de mitigación y adaptación pertinentes al CC en entornos urbanos. En este sentido, se requiere de la disponibilidad de instrumentos de gestión que hagan frente a las contingencias ambientales generadas por el CC en una zona ya edificada y con escasas de zonas de amortiguamiento de los impactos ambientales. La disponibilidad de protocolos de adaptación brindará la oportunidad de establecer planes con la suficiente capacidad de respuesta para atenuar los impactos, minimizar los daños y prever el daño a nivel urbano y municipal.

En el caso particular de la ciudad de Chihuahua, la priorización de los factores de riesgo y su problemática asociada facilitaría el seleccionar y aplicar una metodología que mejoraría los atlas de riesgo municipal y urbano, para lograr en corto plazo, aplicar formalmente protocolos de adaptación como un instrumento de apoyo a las políticas públicas de mitigación y adaptación al CC. En este contexto, este estudio tuvo como objetivo principal identificar los factores de riesgo y categorizar las acciones necesarias para desarrollar indicadores de adaptación protocolaria al CC para la ciudad de Chihuahua.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Crecimiento Geo demográfico

**Demografía.** El rápido crecimiento de la población ejerce presión sobre las capacidades de un país o región para proporcionar los bienes y servicios adecuados para sus habitantes. En el año 2015 se contabilizaron más de 7300 millones de habitantes, con una proyección de crecimiento al 2030 de 8500 millones de habitantes de acuerdo al Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (ONU, 2020). Este continuo crecimiento tiene implicaciones desde el punto de vista económico, social y ambiental. Conforme al Programa de Acción de la Conferencia Internacional sobre Población y Desarrollo (CIPD, 2014), el aumento poblacional se relaciona con la pobreza, la dificultad para acceder a los recursos, la obtención de estándares de producción insostenibles y el creciente consumo de insumos sobre todo en zonas ecológicamente vulnerables. Por ello, la Agenda 21 identifica el crecimiento de la población como uno de los elementos cruciales que afectan la sostenibilidad a mediano y largo plazo. Se espera que, en las próximas décadas la mayor parte del crecimiento demográfico para el mundo se concentrará en las áreas urbanas de las regiones menos desarrolladas (ONU, 2003).

Predicciones relacionadas con el número de habitantes en áreas urbanas previeron aumentos de un 80 % al pasar de 3.5 billones en 2010 a 6.3 billones en el 2050 (Moss y Neil, 2012). Estos rápidos crecimientos están relacionados con problemas que enfrentan las ciudades en el mundo, debido a que un gran número de personas de áreas rurales pretenden obtener mejores condiciones de trabajo y vivienda debido al crecimiento económico (Malarvizhi *et al.*, 2016).

En el caso de la ciudad de Chihuahua, durante el periodo de 1900 al 2018 el crecimiento de la población presentó una tendencia lineal al pasar de 30,405 a 913,173 habitantes. A partir de 1970 este crecimiento fue mayor debido a la migración de los habitantes del medio rural hacia las ciudades (Nevárez *et al.*, 2019).

**Expansión urbana.** Las causas del rápido crecimiento urbano incluyen altas tasas de aumento natural (exceso de nacimientos sobre muertes) en áreas urbanas, la migración de áreas rurales a urbanas y la transformación de asentamientos rurales en lugares urbanos (Kuchay *et al.*, 2016). El desarrollo de las economías globales y regionales incide en los polos de desarrollo urbano, como una respuesta a la creciente expansión de la población, principalmente de habitantes de zonas rurales que emigran a medianas y grandes ciudades. Estas tendencias de crecimiento acelerado provocan efectos importantes en la alteración del medio ambiente a diferentes escalas: local, regional y global (Rocha y Delgado, 2010).

Estudios relacionados con el crecimiento de la ciudad de Chihuahua en diferentes periodos muestran una tendencia generalmente lineal. Nevárez *et al.* (2019) documentaron la mayor tasa de anual de crecimiento urbano (12.1 %) en el periodo 1984 – 1990 con relación a todos los periodos estudiados (1984, 1990, 2000, 2010 y 2018). En estos períodos, el área de crecimiento urbano promedio por año fue de 7.82 km<sup>2</sup>. Rodríguez (2000) midió el crecimiento urbano de la ciudad de Chihuahua con un conjunto de seis imágenes del satélite Landsat entre 1975 y 1997; se encontró una tasa de crecimiento urbano promedio de 4.2 km<sup>2</sup> por año.

## **Cambios de Uso del Suelo Urbano**

El crecimiento urbano es un indicador clave en el análisis de problemáticas asociadas a los estándares de sustentabilidad, sobre todo cuando se evalúan los impactos de los cambios de uso de suelo (Dávila *et al.*, 2016). Los cambios de usos del suelo son un efecto de la urbanización y, por consecuencia, del incremento de causas de problemas urbanos medioambientales. Esto refleja la interacción directa o indirecta entre el medio ambiente y las actividades de los humanos (Basawaraja *et al.*, 2011).

El crecimiento urbano ha resultado en la conversión de suelo para usos urbanos sin ningún plan de desarrollo sistemático y sin una inversión correspondiente en infraestructura. Las malas gestiones de los usos del suelo en áreas urbanas inducen a la disposición de servicios e infraestructura inadecuados y la correspondiente falta de accesibilidad, que puede resultar muy costoso de resolver en el futuro (Gupta y Sen, 2008). Por lo tanto, es necesario estudiar y comprender estas tendencias de expansión urbana, ya que es una de las amenazas potenciales para el desarrollo sostenible. Este conocimiento apoya la planificación urbana que conduce a la utilización efectiva de los recursos y la asignación de iniciativas de infraestructura que ayudarían en la planificación eficaz del uso del suelo en zonas urbanas (Saravanan e Ilangovan, 2010).

La urbanización es uno de los principales impulsores del cambio de la cobertura terrestre y afecta el paisaje biofísico y socioeconómico (Grimm *et al.*, 2008). Se estima que para 2030, el 60 % de la población mundial vivirá en áreas urbanas (Naciones Unidas, 2005). El desarrollo humano se está expandiendo rápidamente en los límites de las áreas urbanas y consecuentemente el aumento

de la urbanización induce a una mayor competencia por el espacio en las ciudades, lo que dificultará el mantenimiento de hábitats que apoyen la biodiversidad (Lin *et al.*, 2015).

Investigaciones locales relacionadas con los impactos de cambios de usos de suelo urbano y conurbado documentaron la tasa de cambio de 7.19 % para la zona metropolitana de la ciudad de Chihuahua (Dávila *et al.*, 2016). Este crecimiento urbano disminuyó las coberturas de cultivos agrícolas y vegetación natural, principalmente matorral micrófilo. Nevárez *et al.* (2019) documentaron un crecimiento urbano para la ciudad de Chihuahua preponderantemente horizontal con impactos negativos en la cobertura de vegetación natural y otros usos del suelo como agricultura de riego y temporal.

### **Cambio Climático en el Entorno Urbano**

En su artículo 1, la CMCC concibe el CC como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 2001). La CMCC establece una distinción entre CC atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y variabilidad climática que se atribuye principalmente a actividades naturales (IPCC, 2007).

Existe un acuerdo generalizado de que las condiciones climáticas están cambiando, independientemente de la causa, y que tales cambios probablemente continuarán en las próximas décadas, de manera que se prevé que el calentamiento global significativo ocurrirá más rápidamente que en los últimos 100 años (Christensen *et al.*, 2007).

En relación con las sequías, Bravar y Kavvas (1991) señalaron que estas se producen en prácticamente todas las zonas climáticas, con mucha y poca precipitación y están relacionadas principalmente con la reducción en la cantidad de precipitación recibida durante un período de tiempo prolongado, como una temporada o un año. Las sequías producen una compleja red de impactos que abarcan muchos sectores de la sociedad, incluida la economía, y que puede extenderse mucho más allá del área que experimenta una sequía (Kogan, 1997).

En junio del 2012 se creó en México la Ley General de Cambio Climático (LGCC) orientada a construir los cimientos que mejoren la capacidad de respuesta del cambio climático en las ciudades del país. En este contexto, Chihuahua implementó el Programa Estatal de Cambio Climático el cual contempla acciones que tiendan a disminuir el impacto ambiental que se generan por las diversas actividades (PECC, 2014). En enero del 2015 se presentó el Plan de Acción Climática Municipal Chihuahua (PACMUN) como herramienta para lograr el mejor cuidado del medio ambiente y la calidad de vida por medio del conocimiento del entorno en el municipio de Chihuahua.

### **Variabilidad Climática y Cambio Climático**

La temperatura de la tierra está determinada por el equilibrio entre la energía que entra y la que sale. El CC surge en gran medida de los cambios al equilibrio de calor del planeta (Parmesan, 2006). Muchos factores pueden influir en esto, tanto los inducidos por procesos naturales (geológicos, hidrometeorológicos) como por los antropogénicos (químico-tecnológicos, sanitario-ecológicos o socio-organizativos; Dawson y Spannagle, 2009).

El IPCC (2007) sostiene que en el sistema global se está aumentando el

calentamiento de manera que es probable que se produzca un calentamiento adicional y otros cambios climáticos (aumentos de temperatura media y sequías) a medida que aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero inducidas por el hombre. El CC está alterando el ciclo hidrológico mundial y se espera que tenga efectos sustanciales y diversos sobre los patrones de precipitación en diferentes regiones (Keller *et al.*, 2004). Las predicciones incluyen el aumento de la intensidad de los eventos de precipitación en todo el mundo, el aumento de los días de lluvia a altas latitudes y el aumento de la sequía en muchos interiores continentales de latitudes medias (McCollum, *et al.*, 2012).

### **Adaptación Urbana al Cambio Climático**

Con respecto al concepto de adaptación al CC, el IPCC (2007) lo refiere como ajustes en los sistemas tanto urbanos como naturales: esto como una respuesta al comportamiento temporal y dinámico del clima. Su propósito es mitigar y adaptarse a los efectos actuales o esperados orientado a moderar los impactos y los daños. Un concepto asociado a la adaptación climática es la resiliencia al CC. Esto se define como la habilidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a resistir riesgos, acomodar y recobrase del efecto de estos riesgos de una manera eficiente y a tiempo, que incluye la preservación y restauración de sus funciones y estructuras básicas esenciales (UNISDR, 2012).

Dados los crecientes riesgos e incertidumbre, la atención hacia la adaptación al CC ha ido creciendo en las últimas dos décadas. Aunque el término se usó por primera vez en la década de 1990, cobró impulso en parte debido a la definición del IPCC (Glick *et al.*, 2009). Recientemente en su cuarta evaluación, la adaptabilidad se concibió como un "ajuste en sistemas naturales o humanos



en respuesta real a los estímulos climáticos esperados que moderan el daño” (IPCC, 2007). Aunque el CC es un problema global que a menudo se discute en la escala nacional, cada vez más se considera que las zonas urbanas tienen un papel diferente en la agenda climática en términos de mitigación y adaptación (Carter *et al.*, 2015; Doherty *et al.*, 2016). Además de los desastres globales, las áreas urbanas tienen riesgos climáticos únicos; por ejemplo, islas de calor urbana, inadecuados suministros de agua potable, superficies impermeables que agravan las inundaciones, entre otras (Gill *et al.*, 2007; Smith *et al.*, 2009).

Existen diversas metodologías para analizar el impacto del CC en ciudades. La metodología de adaptación utilizada para Seattle, Washington, EE. UU se basa en tres pasos. En el primero se establece la necesidad de adaptación mediante la identificación y categorización de las opciones de adaptación, que consideren para cada opción la cantidad de peligros climáticos a futuro. Un segundo paso incluye analizar y estudiar los esfuerzos que se han realizado, a través del acopio y revisión de documentos relevantes del plan de adaptación. Finalmente se identifica la brecha que hay entre los existentes esfuerzos de adaptación y la necesidad de adaptación (Chen *et al.*, 2016).

### **Indicadores y Protocolos**

Los indicadores son herramientas para evaluar decisiones políticas prácticas con definiciones operativas. La información procedente de modelos de comportamiento del consumidor, huellas ecológicas y formas de consumo sostenibles son un ejemplo de cómo es científicamente factible determinar indicadores para medir el nivel de sostenibilidad (Herrera *et al.*, 2003). Los

criterios e indicadores (C&I) son un marco diseñado para proporcionar una comprensión común de lo que se entiende por ordenación sostenible del territorio y para estructurar el proceso de monitoreo temporal para conocer su estado de salud (Siddig *et al.*, 2016). Sin embargo, el término criterios e indicadores se usan comúnmente para describir las jerarquías de monitoreo, el número de niveles en la jerarquía, las definiciones e interpretaciones de los términos y las jerarquías generales que varían considerablemente (Sherbinin *et al.*, 2013).

Los indicadores preferidos deben reflejar atributos que tengan características ecológicas de gestión, relevancia y significado estético (Merigliano, 1990). La selección de indicadores debe tener como objetivo identificar indicadores que se desempeñen bien con respecto a todos los criterios. Si ninguno de los indicadores funciona bien con respecto a todos los criterios, entonces el conjunto de indicadores seleccionados debe equilibrar las fortalezas y debilidades de modo que se cubran todos los criterios (Rice y Rochet, 2005).

Con respecto a la selección de indicadores, Haggan y Whitman (2007) mencionan algunos aspectos claves: cuanto mayor sea la escala espacial, más difícil será tener una conversación social sobre los valores diversos. Los indicadores a nivel nacional, o incluso los indicadores a nivel estatal, pueden no resonar en el público porque la escala de relevancia es mayor de lo que a la mayoría de la gente le importa o siente que puede hacer algo al respecto. La mayoría de las personas tienden a preocuparse por el lugar donde viven y trabajan (por ejemplo, un radio de 50 millas).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del Área de Estudio

**Localización.** La identificación y evaluación de las prioridades de adaptación al CC estableció como base de estudio los polígonos del límite de población urbana y el límite urbano 2018 de la ciudad de Chihuahua. El primer polígono fue obtenido de la oficina de catastro urbano del municipio de Chihuahua mientras que el límite urbano fue digitalizado a través de una escena de Google Earth de diciembre 2018. En su ubicación geográfica, el área urbana central se localiza entre las coordenadas geográficas -106.083 O y 28.674 N (Figura 1). Con una población estimada al año 2018 de 913,000 habitantes, las actividades económicas principales se centran en la industria manufacturera y el comercio.

**Clima.** Los datos de cinco estaciones meteorológicas interpolados a un modelo digital de elevación (MDE) escala 1:50,000 arrojaron valores medios de temperatura media anual (TMA) y precipitación pluvial anual (PPA) de 17.3 °C y 420 mm respectivamente (Nevárez *et al.*, 2019).

**Fisiografía.** En cuanto a su relieve, la ciudad de Chihuahua se ubica en un subsistema de topoformas de valles planos, bajadas y lomeríos rodeada por las cordilleras del Sacramento, Santa Eulalia, Pastorías y El Cuervo (Maldonado y Megaw, 1983).

### Identificación de los Factores de Riesgo al CC

Como un proceso previo a la identificación de prioridades de adaptación al CC, fue necesario primero una revisión extensa de bases bibliográficas, revistas periódicas y protocolos de literatura que sustentaron las bases para identificar los factores de riesgos sobre los cuales se basó la selección de las

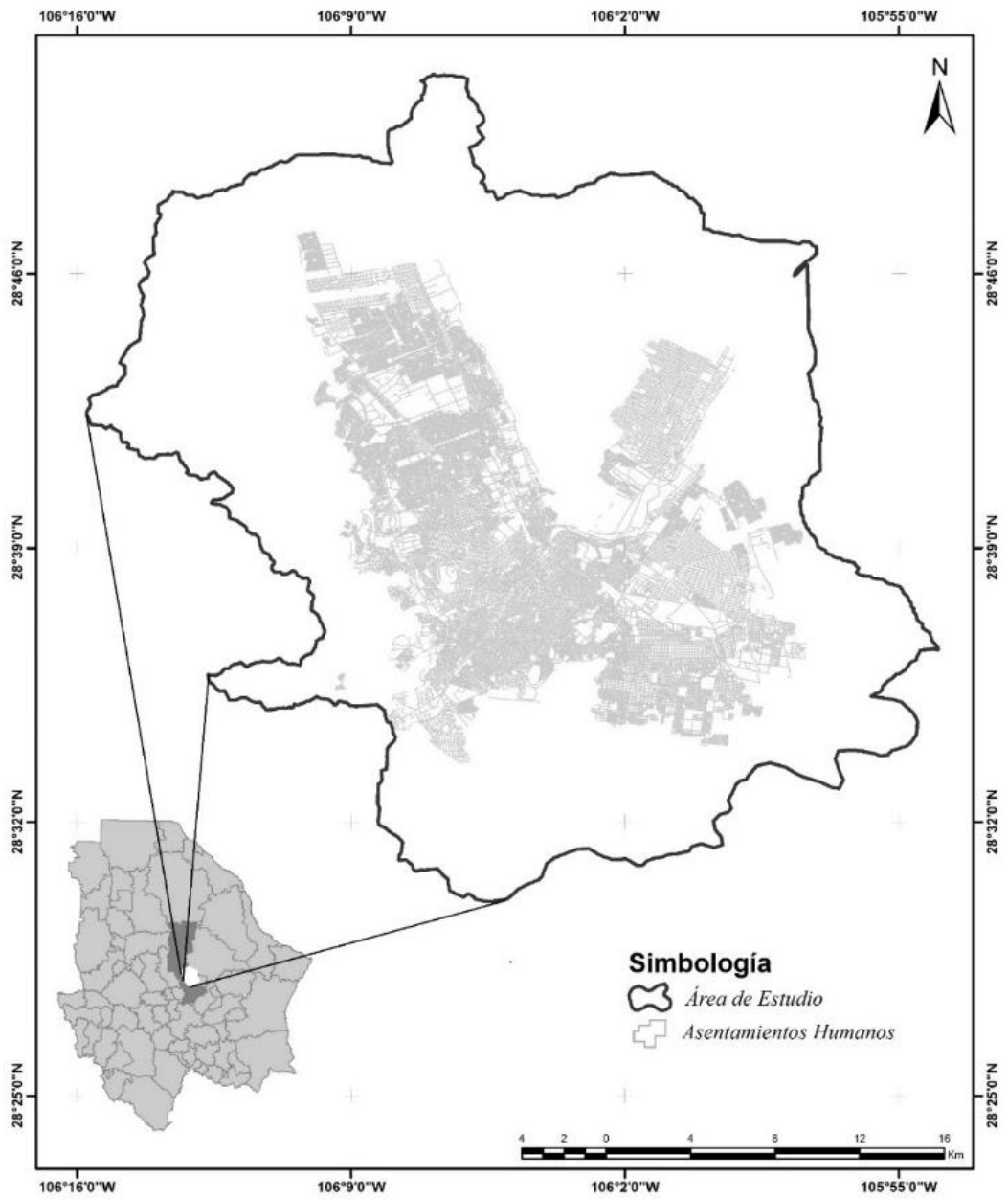


Figura 1. Límites urbano y periurbano de la ciudad de Chihuahua.

medidas de adaptación. Esta revisión documental se realizó a escalas global y nacional. En el ámbito regional y locales se revisaron los factores de riesgo identificados en el PECC del estado de Chihuahua, los POET de los municipios de Juárez y Chihuahua, así como el PACMUN del municipio de Chihuahua. Para cada factor de riesgo, se seleccionaron los principales problemas o amenazas que presentaron datos o atributos medibles para su administración como un indicador.

### **Datos de Indicadores Disponibles**

Para identificar y seleccionar los indicadores socioeconómicos y ambientales con disponibilidad de datos de línea base, primero se identificó una lista inicial de indicadores provenientes de diversas fuentes; nacionales, regionales y locales. Posteriormente, se presentó esta lista con agentes claves locales en el tema, mismos que propusieron aquellos indicadores que fueran importantes conforme a su relación con el CC. Esta lista se ajustó conforme a los resultados de las medidas de adaptación propuestas por el Programa de Actualización 2019 de PACMUN Chihuahua y el PECC Chihuahua. En estos procesos se eliminaron aquellos indicadores que no se asociaron a las condiciones ambientales del entorno urbano, los que presentarían dificultad para obtener la línea base, en cambio se integraron aquellos que presentaron similitud.

### **Generación de Datos de Indicadores No Disponibles**

**Usos del suelo y vegetación.** Se utilizaron los conjuntos de datos vectoriales de dos series; III y VI de Uso de Suelo y Vegetación escala 1:250,000 de INEGI (2020). Las coberturas de estas series comprenden los periodos 1998 - 2014. Los datos de cobertura vegetal y uso del suelo de estas series, se

sustentan en archivos digitales que contienen los datos de cobertura de uso de suelo y vegetación generados mediante percepción remota (usualmente, fotografías aéreas e imágenes de los satélites Landsat TM, Landsat OLI8 y Spot) en conjunción con el uso de cartografía temática. Estas variables se utilizaron para mostrar las transiciones, deterioros, ganancias y pérdidas en los tipos de vegetación y agricultura por impacto del crecimiento geo demográfico de la ciudad de Chihuahua. El análisis de cambios de las coberturas de uso de suelo se realizó mediante las herramientas de análisis espacial con el uso del soporte lógico ArcGis versión 10.5. En este proceso, se agruparon las claves de cada serie, se realizó el cruce cartográfico de las dos series de tiempo analizadas y se hizo la representación de los procesos espacio-temporales. Este proceso facilitó la obtención de los productos informativos cartográficos que expresaron los cambios de usos de suelo y vegetación en las dos series de tiempo.

**Variabilidad climática.** Para establecer los protocolos de adaptación relacionados con los golpes de calor y frío a causa de temperaturas extremas, fue necesario generar los umbrales en los mapas para interpretar sus impactos. Como variables extremas de temperatura, se utilizaron la temperatura máxima de máxima de verano (TMAXMAX) y la temperatura mínima de mínima invernal (TMI). Estas variables comprendieron los registros del promedio de los meses de verano (junio, julio y agosto) y el promedio de los meses más fríos (diciembre, enero y febrero). Los datos bajo análisis abarcan un periodo de 40 años (1963 – 2003) y se compilaron del compendio de Estadísticas Climatológicas del Estado de Chihuahua a partir de 12 estaciones climatológicas circundantes a la ciudad de Chihuahua (INIFAP, 2005; Medina *et al.*, 2006). La base de datos se organizó

en Excel y se exportó a MINITAB para su análisis estadístico. Se utilizaron técnicas de regresión lineal simple para correlacionar los datos de TMAXMAX y TMI con la variable altitud derivada del MDE. El coeficiente de determinación R con un valor mayor al 0.6 (60 %) se utilizó como parámetro para integrar la ecuación de regresión al Sistema de Información Geográfica (SIG). Los valores de intercepto y pendiente contenidos en las ecuaciones de regresión de TMAXMAX y TMI se escalaron en el módulo de álgebra de mapas de ArcMap para la obtención de los mapas de los indicadores correspondientes.

**Sequía meteorológica.** Para generar el protocolo correspondiente, se utilizó la información derivada del estudio “Diagnóstico Actual y Sustentabilidad de los Pastizales del estado de Chihuahua ante el Cambio Climático” (Pinedo *et al.*, 2013). En este estudio, las estimaciones del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI por sus siglas en inglés) se obtuvieron de la base CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) con base en 22 estaciones climatológicas que presentaron datos homogéneos y de calidad durante los periodos de 1963 al 2003. Para configurar el comportamiento de la sequía, fue necesario disponer de al menos 3 periodos interdecadales. En este sentido, no se consideraron los registros actualizados al 2020 dado que se está operando con nuevas estaciones ubicadas en distintas áreas geográficas. La ecorregión del semidesierto se utilizó como escala geográfica con base a la ubicación de la ciudad de Chihuahua. El análisis de Mann-Kendall se utilizó para evaluar si la sequía presentó un significativo incremento (humedad) o decremento (sequia) en dos periodos: el primero de 1960 a 1990 y el segundo de 1991 a 2012. Los indicadores cartográficos de salida para este periodo, se validaron con los mapas

de salida proporcionadas por el Monitor de Sequía de América del Norte (NADM), con acceso en línea (CONAGUA, 2020). Esta página en línea es el resultado de intercambios de información climática y otros rubros de cooperación técnica entre expertos de sequía de México, Estados Unidos y Canadá. El propósito fundamental de este programa cooperativo es el de describir las condiciones de sequía en América del Norte para fechas predeterminadas.

**Requerimientos de agua.** Se utilizó el enfoque de crecimiento de la población y área de expansión urbana para estimar los requerimientos de agua de uso residencial. Para lo anterior, se utilizó el consumo *per capita* de agua (lt/per/d) como un indicador que mide la cantidad de litros de agua consumida por habitante al día (lt d<sup>-1</sup>) en la ciudad. Rodríguez (2000) aplicó dos valores de demanda de agua: 350 y 450 lt d<sup>-1</sup>, este último para el verano, con base en requerimientos de agua de la ciudad en el periodo 1956 – 1998. En este análisis, se aplicó un valor estimado de 375 lt d<sup>-1</sup>, referido como un consumo básico deseable de agua potable para beber, vestimenta, preparación de alimentos y baño. Debido a las dificultades para mantener los suministros originales, a partir del año 2000, los valores de consumo se ajustaron a 225 lt d<sup>-1</sup> de acuerdo a la ejecución de tandeos hacia las diferentes colonias de la ciudad realizado por la Junta Municipal de Agua y Saneamiento.

### **Identificación y Priorización de Acciones de Adaptación**

Una vez identificados y generados en su caso, los indicadores relacionados con los factores de riesgo, se seleccionaron las listas de opciones de adaptación con los enfoques de acciones específicas para cada uno de los factores de riesgo. Como apoyo a este proceso, se revisaron fuentes de



información diversas como documentos gubernamentales y no gubernamentales, investigación por internet y literatura clave científica enfocada a prioridades de adaptación en grandes ciudades del mundo. Las primeras fuentes de revisión fueron las listas de acciones u opciones propuestas por diversas instituciones locales, nacionales e internacionales. Como documento de referencia base también se documentaron las políticas de mitigación de cambio climático del Programa Estatal de Cambio Climático (PECC, 2015). En un enfoque local, se integraron la identificación de impactos y las principales amenazas para ocho sectores estudiados en la actualización 2019 del PACMUN Chihuahua.

En la etapa de priorización se aplicó un proceso para categorizar las opciones de adaptación considerando la magnitud del peligro, la escala de trabajo y la urgencia de las medidas a tomar expresadas en una matriz. Esta matriz de opciones de adaptabilidad se apoyó en los resultados de los talleres participativos publicados por PECC y PACMUN Chihuahua. En este proceso se eliminaron aquellas acciones que no se relacionaron con las condiciones de los tres factores de riesgo o bien aquellos que podrían presentar dificultades para obtener su línea base.

### **Indicadores Base para los Protocolos de Adaptación**

El esquema de construcción de los protocolos de adaptación se sustentó en la documentación de cuatro procesos: revisión complementaria de literatura, selección de indicadores obtenidos de la matriz de factores de riesgo, rastreo de indicadores sustentados en el PECC y PACMUN Chihuahua y generación de indicadores clave en los cuales no existió información.

El Cuadro 5 del apéndice presenta los sectores, amenazas e impactos

identificados para el municipio de Chihuahua identificados por PACMUN Chihuahua. En la revisión narrativa de literatura, se realizaron búsquedas de artículos en Scopus y Web of Science con el propósito de priorizar indicadores relevantes al entorno urbano. En el rastreo de indicadores se analizaron aquellos con capacidad adaptativa y potencialmente aplicables. La estructura del protocolo de adaptación contempló los siguientes elementos: nombre del indicador, descripción breve, unidad de medición, pertinencia política, normas recomendadas, métodos de medición, limitaciones del indicador, datos necesarios para compilar el Indicador y referencias de búsqueda.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Factores de Riesgo Urbano

El análisis documental y su jerarquización identificó tres principales factores de riesgo; cambios de uso del suelo urbano, variabilidad climática y suministro de recursos hídricos. El Cuadro 1a, b y c presenta los factores de riesgos y los problemas/amenazas en las escalas utilizadas; mundial, nacional y estatal - municipal. También se integró la información documentada en las revistas científicas.

El cambio de uso del suelo identificó 6 problemas, la variabilidad climática 9 y 9 problemas para el suministro de recursos hídricos. Las emisiones GEI, la expansión urbana y el déficit de áreas verdes fueron los problemas más recurrentes debido a los cambios de usos del suelo. En menor medida se relacionaron la deforestación urbana y la pérdida de biodiversidad y salud del ecosistema urbano.

Para el factor de riesgo variabilidad climática, la contaminación del aire, las islas de calor urbano y el estrés térmico se asociaron a las principales amenazas en el entorno urbano; en menor medida los impactos a la seguridad alimentaria y los daños en la infraestructura por clima extremo. Con respecto al suministro de recursos hídricos, la escasez de agua para consumo humano, la calidad y cantidad disponible de agua dulce y la sequía se identificaron como los problemas y/o amenazas principales relacionadas con este factor de riesgo.

Landauer *et al.* (2013) encontraron en su revisión sistemática de literatura, que el entorno urbano y comunitario son una escala importante de investigación relacionada con sus impactos por CC en comparación a las escalas globales,

Cuadro 1a. Factores de riesgo y problemas asociados a diferentes escalas: mundial, nacional, estatal y municipal

Factores de Riesgo	Problemas Asociados	Mundial	
		The Global Risks Report 2019	Panel Intergubernamental Cambio Climático (IPCC)
Cambios Usos del Suelo Urbano	Inundación		
	Expansión urbana		
	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	X	X
	Deforestación		X
	Pérdida de biodiversidad y salud del ecosistema	X	X
Variabilidad Climática	Déficit de áreas verdes		
	Desastres Naturales	X	
	Daños a la infraestructura por clima extremo		X
	Impactos en seguridad alimentaria		X
	Estrés térmico en la salud humana		X
	Contaminación de aire		X
	Seguridad Humana		X
	Crisis Económica		X
	Pobreza		X
	Islas de calor urbano		X
Disponibilidad Hídrica	Participación ciudadana en el cuidado del agua		
	Calidad y cantidad disponible de agua dulce	X	X
	Sistemas de riego ineficientes		
	Manejo integral de cuencas hidrológicas		
	Sequia	X	
	Escasez de agua de consumo humano	X	X
	Estrés hídrico		X
	Reducción de productividad		X
Inundación (superficies impermeables)			

Cuadro 1b. Factores de riesgo y problemas asociados a diferentes escalas: mundial, nacional, estatal y municipal

Factores de Riesgo	Problemas Asociados	Nacional	
		Programa Especial de Cambio Climático (PECC) 2013-2018	Estrategia Nacional de Cambio Climático 10-20-40
Cambios Usos del Suelo	Inundación	X	X
	Expansión Urbana	X	
	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	X	
	Deforestación		
	Pérdida de biodiversidad y salud del ecosistema		
	Déficit de Áreas Verdes	X	
Variabilidad Climática	Desastres naturales		
	Daños a la infraestructura por clima extremo		
	Impactos en seguridad alimentaria		X
	Estrés térmico en la salud humana		X
	Contaminación de aire		
	Seguridad Humana		
	Crisis Económica		
	Pobreza		
	Islas de calor urbano	X	
Disponibilidad Hídrica	Participación ciudadana en el cuidado del agua		
	Calidad y cantidad disponible de agua dulce	X	
	Sistemas de riego ineficientes		
	Manejo integral de cuencas hidrológicas		
	Sequia	X	
	Escasez de agua de consumo humano	X	
	Estrés hídrico		
	Reducción de productividad		X
	Inundación (superficies impermeables)	X	

Cuadro 1c. Factores de riesgo y problemas asociados a diferentes escalas: mundial, nacional, estatal y municipal

Factores de Riesgo	Problemas Asociados	Estatal	Municipal	Publicación Científica
		Programa Estatal de Cambio Climático (PECC)	Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN)	
Cambios Usos del Suelo	Inundación			
	Expansión Urbana		X	X
	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	X		X
	Deforestación urbana	X		
	Pérdida de biodiversidad y salud del ecosistema		X	X
Variabilidad Climática	Déficit de Áreas Verdes	X	X	X
	Desastres naturales			X
	Daños a la infraestructura por clima extremo		X	
	Impactos en seguridad alimentaria.	X		
	Estrés térmico en la salud humana	X		X
	Contaminación de aire	X	X	
	Seguridad Humana			
	Crisis Económica			
	Pobreza			
	Islas de calor urbano		X	X
Disponibilidad Hídrica	Participación ciudadana en el cuidado del agua			
	Calidad y cantidad disponible de agua dulce		X	
	Sistemas de riego ineficientes	X		
	Manejo integral de cuencas hidrológicas	X	X	
	Sequia			X
	Escasez de agua de consumo humano		X	X
	Estrés hídrico			
	Reducción de productividad			
Inundación (superficies impermeables)			X	

nacionales y regionales. En sus estudios del impacto de la urbanización y cambio climático sobre las temperaturas urbanas, Chapman *et al.* (2017) encontraron que las áreas urbanas también tendieron a experimentar noches de estrés por calor más peligrosas que las áreas rurales, debido a un mayor estrés por el incremento de la temperatura actual. Patra *et al.* (2018) documentaron que la tasa cambiante de precipitación y temperatura, junto con el crecimiento del área urbanizada, ha afectado negativamente al nivel freático del agua durante el período anterior y posterior al monzón en el estado indio de West Bengal.

La mayor ponderación de los problemas inherentes a cada factor de riesgo, exigió la búsqueda de los datos de línea base para la construcción de su protocolo de adaptación correspondiente. Para algunos de ellos, fue necesario generar su línea base de datos.

### **Cambios de Usos del Suelo Urbano**

El Cuadro 2 presenta las principales coberturas de uso del suelo de las series III y VI y los cambios que presentan en el entorno urbano en el periodo comprendido entre las dos series (1998-2014). El análisis espacio temporal evidenció un cambio significativo del área urbana al presentar un 23 % de crecimiento en su cobertura (6658.5 ha). Este incremento se debió a la pérdida de áreas con cobertura de la vegetación de matorral desértico micrófilo, así como a las áreas agrícolas de riego - temporal y pastizales naturales. En este contexto, estas coberturas presentaron un decremento de 22.5 %. La vegetación de matorral desértico micrófilo y los pastizales naturales están representadas por la asociación de gramíneas, arbustos y árboles medianos.

Las ciudades están creciendo rápidamente en tamaño y densidad, de tal

Cuadro 2. Principales usos de suelo y vegetación y sus tasas de cambio en el área urbana de la ciudad de Chihuahua en el periodo 1998-2014

Clases de Cobertura	Serie III (ha)	Serie VI (ha)	Diferencia (ha)
Área Desprovista de Vegetación	0	61	61
Área Urbana	18532.3	25190.8	6658.5
Bosque de Galería	0	15.7	15.7
Cuerpos de Agua	6.9	1.7	-5.3
Matorral Desértico Micrófilo	7087.4	2052.3	-5035
Pastizal Natural	11.9	8.0	-3.9
Agricultura	3879.46	2188.80	-1691



manera que causan profundos impactos en los ecosistemas forestales urbanos. No obstante que, en algunos casos, la urbanización requiere de coberturas de vegetación, la deforestación reduce los servicios de los ecosistemas que benefician tanto a los habitantes de las ciudades como a la biodiversidad (Nguyen *et al.*, 2020). Estos procesos y sus implicaciones no son excluyentes en el crecimiento geo demográfico de la ciudad de Chihuahua.

Para valorar el impacto del crecimiento urbano en las coberturas de uso del suelo, la Figura 2 muestra los polígonos urbanos de los años 2002 y 2018, sobre puestos en las coberturas de uso de suelo y vegetación de la serie III. Es notorio la expansión urbana en todas direcciones, principalmente hacia el norte de la llanura hacia donde se expande la ciudad. Este crecimiento tiene implicaciones en la pérdida de biodiversidad y salud del ecosistema urbano y en el déficit de áreas verdes con implicaciones en la contaminación del aire, tasas de emisiones de gases de efecto invernadero, presencia recurrente de islas de calor y desabasto de agua para consumo humano.

PECC Chihuahua (2015) identificó la expansión urbana y el déficit de áreas verdes como problemas asociados a los cambios de uso del suelo en el entorno urbano. Además, Dávila *et al.* (2018) documentaron tasas de cambio de 7.19 % en el suelo urbano de la ciudad de Chihuahua con impactos en la disminución de la vegetación natural y pérdida de coberturas de cultivos agrícolas. Prieto *et al.* (2016) determinaron las transiciones de uso del suelo que ocurrieron en las áreas urbanas y periféricas de la ciudad de Chihuahua, para el período 1989-2014. En estos estudios, los pastizales y los matorrales fueron los usos fueron los usos de suelo que experimentaron las mayores presiones para

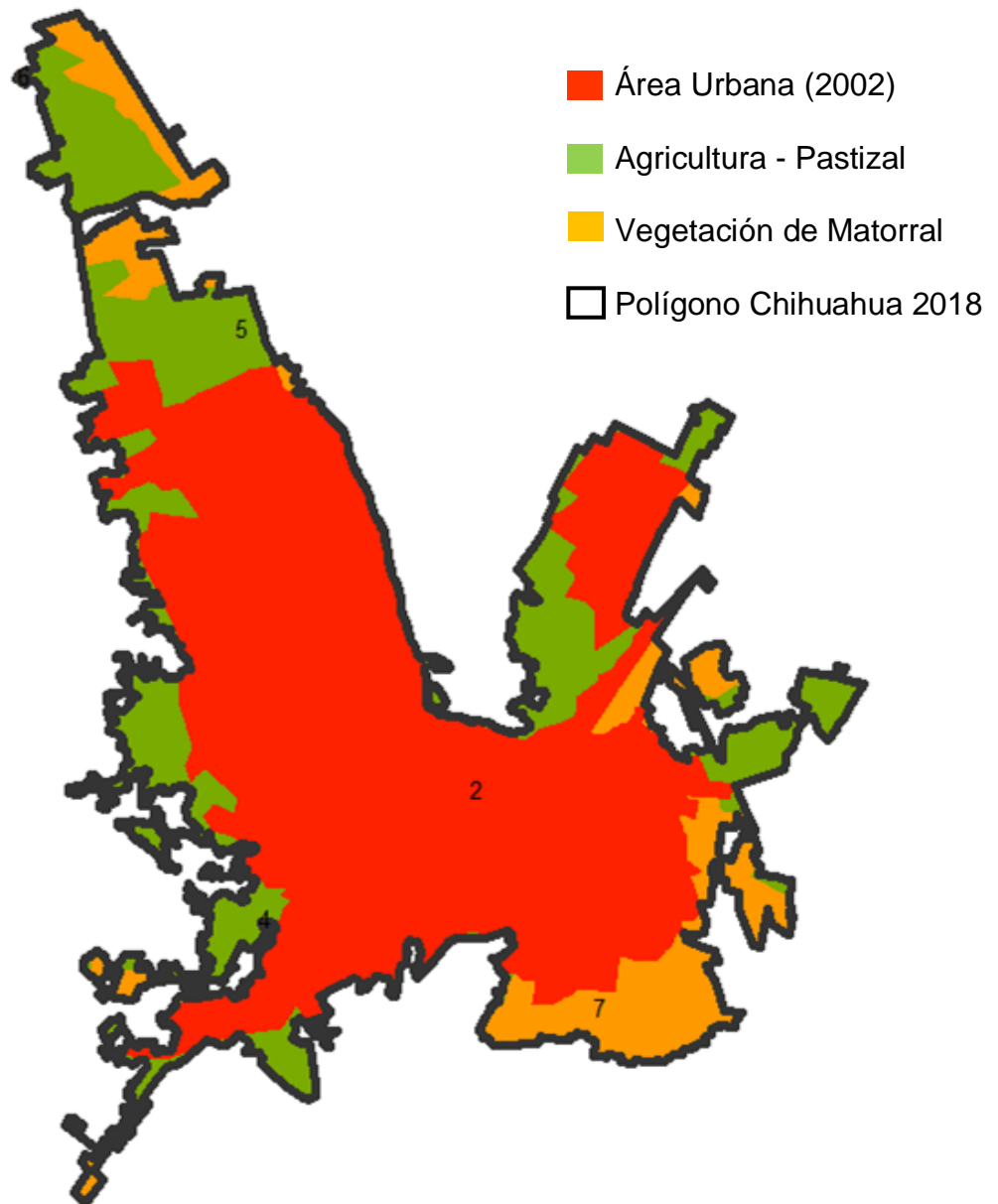


Figura 2. Cambios de uso de suelo en la ciudad de Chihuahua durante el periodo 1998-2018.

este indicador. En contraste, el área urbana aumentó del 13.6 % al 28.6 % del área total estudiada.

La comprensión de los patrones espaciales y temporales de los cambios de la vegetación asociados con la urbanización es, por tanto, un componente vital del futuro desarrollo urbano sostenible. Autores diversos (Ulrich, 1984; Cecily, 2009; Van Den Berg y Custers, 2010; Declét *et al.*, 2013) reportan una gama notable de beneficios para el bienestar humano bajo planes correctos de la planeación del suelo urbano. Argumentan que con la conservación de espacios verdes urbanos se tienen efectos positivos en la mitigación del efecto de las islas de calor urbano (UHI por sus siglas en inglés). Además, los espacios verdes atenúan la amenaza para la salud humana, se disminuye el estrés, se presenta un aumento de la autoestima y se mejora la capacidad cognitiva.

### **Variabilidad Climática en el Entorno Urbano**

El análisis de la implicaciones de la variabilidad climática para la construcción de protocolos de adaptación de los entornos urbanos al CC son un proceso fundamental. Las ondas extremas de temperatura (calor y frío) evaluadas en el ámbito urbano de la ciudad de Chihuahua, fueron concordantes con los impactos documentados en otras ciudades del mundo. En general, las ondas de calor urbano, la inversión térmica y la contaminación del aire y suelo están determinados por las temperaturas máximas y mínimas extremas que permean el entorno urbano (Vandentorren *et al.*, 2004; Diaz *et al.*, 2005; Arbutnott *et al.*, 2016). Sin embargo, el comportamiento de estas variables son consecuencia del rápido crecimiento demográfico, el desarrollo de la infraestructura urbana y los cambios de uso de suelo urbano y periurbano. A

pesar de que los impactos de la seguridad alimentaria son un efecto del CC, el análisis de este problema no se consideró dado que tiene un efecto indirecto en el análisis urbano de este estudio.

**Ondas de calor.** El umbral alcanzado por TMAXMAX influyó en forma importante en la presentación de las ondas de calor. La Figura 3 presenta una tendencia lineal inversa que muestra la contribución de la altitud del relieve en el comportamiento de TMAXMAX. El valor del coeficiente de determinación ( $R^2=79\%$ ) en la ecuación  $T_{maxmax} = 56.17 + (-0.0093) \text{ altitud}$ ; determinó la importancia que tiene el relieve en el comportamiento de TMAXMAX. La pendiente del modelo explicó un incremento aproximado de  $0.9\text{ }^\circ\text{C}$  en un periodo de 40 años. La Figura 4 muestra la distribución de los umbrales TMAXMAX en el límite urbano de la ciudad de Chihuahua. El  $56\%$  del área de límite urbano presenta rangos de temperatura entre  $42$  a  $45\text{ }^\circ\text{C}$  y un  $37\%$  para rangos entre  $40$  a  $42\text{ }^\circ\text{C}$ .

La continuación de este evento puede conducir a un aumento de riesgos a la salud humana y del ecosistema urbano, sobre todo si esta exposición está acompañada de un alto nivel de vulnerabilidad (IPCC, 2012). Además de los efectos directos en la salud humana, aparece un espacio de alto riesgo en la morbilidad de la mala calidad del aire como consecuencia del estrés térmico estival (Michelozzi *et al.*, 2006). Algunas investigaciones documentan como los niveles altos de contaminación y el incremento de las temperaturas diurnas asociados con las islas de calor urbano pueden afectar el confort y la salud humana al contribuir a la presencia de dificultades respiratorias, calambres, y agotamiento, golpes de calor no mortal y la mortalidad relacionada por el calor (Center for Disease Control and Prevention, 2006; Fernandez, 2007).

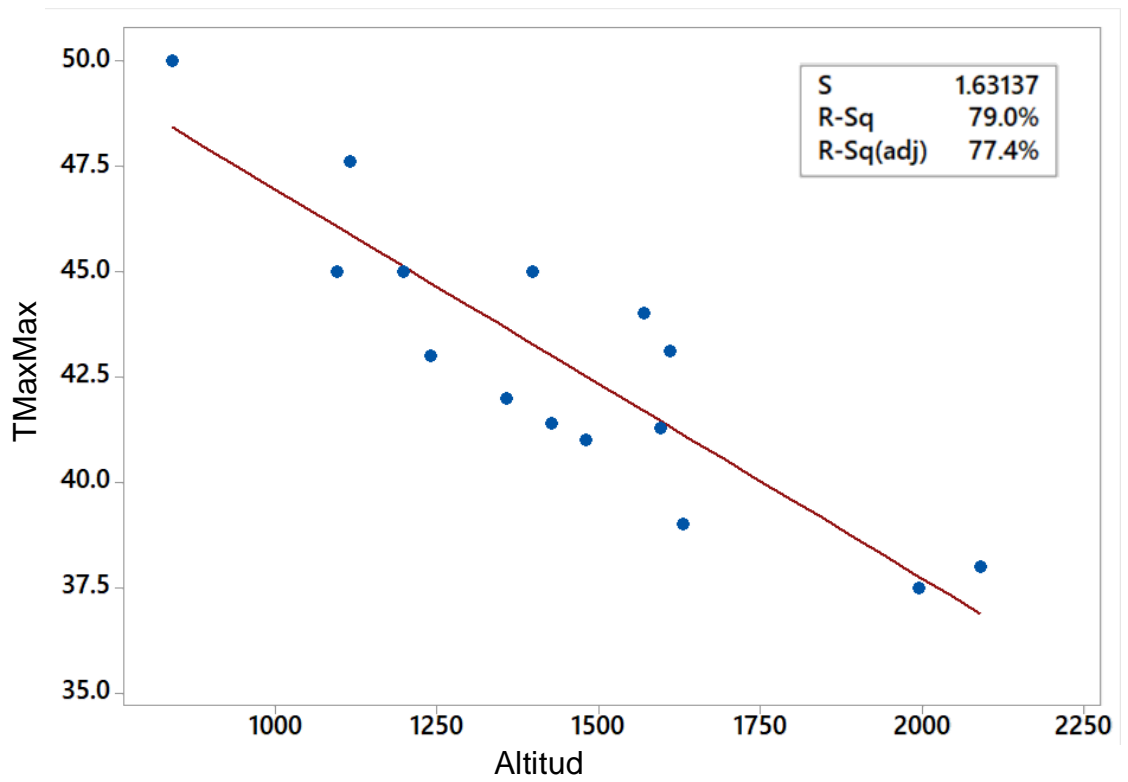


Figura 3. Ecuación de regresión de TMAXMAX durante el periodo 1963-2003.

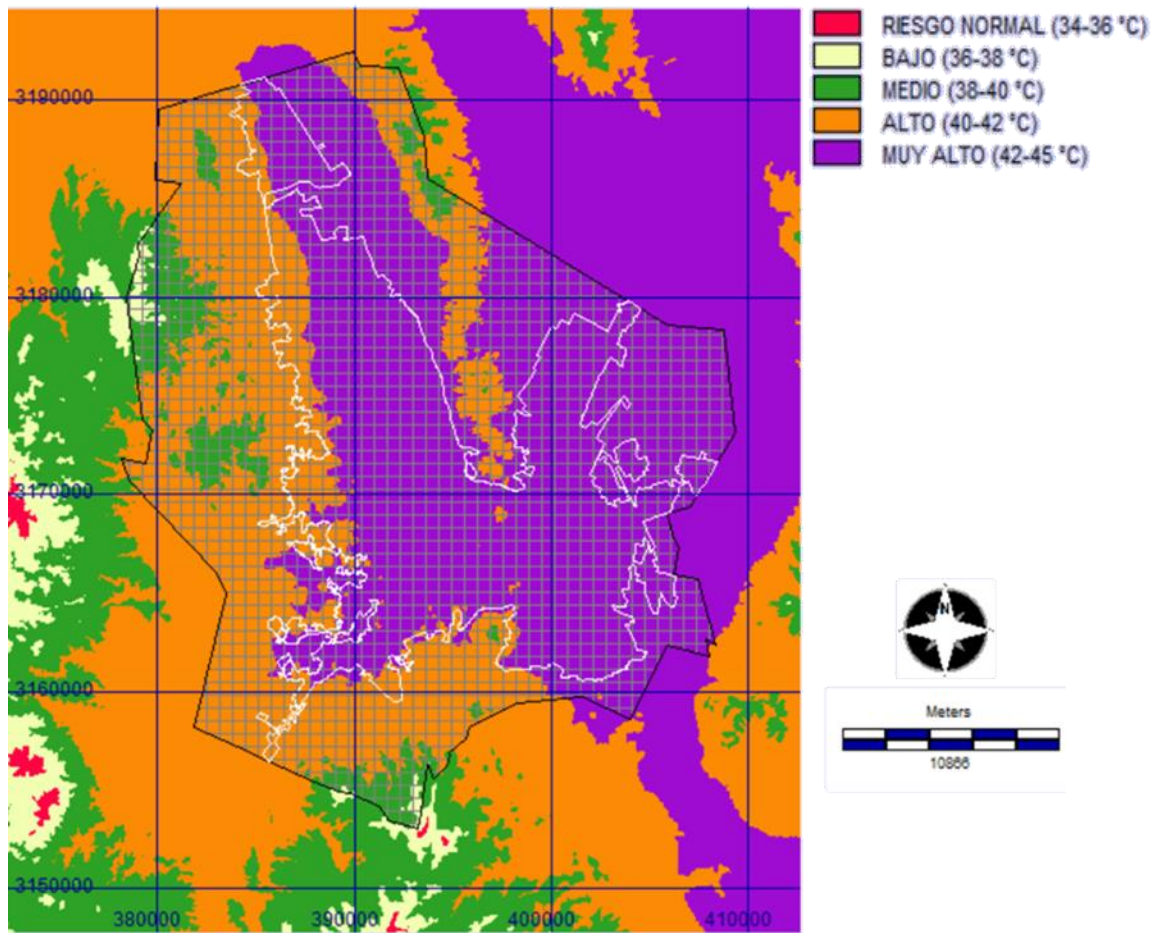


Figura 4. Umbrales de TMAXMAX en la ciudad de Chihuahua durante el periodo 1963 - 2003.

En su publicación *Calor extremo: ¿Esta preparado Estados Unidos para enfrentarlo?*, El Guardián menciona que tan solo once ciudades de las 30 ciudades mas grandes de Estados Unidos tienen politicas para ayudar a la poblaciòn vulnerable al calor extremo. En el 2050, 90 millones de habitantes estarán expuestos a 30 o mas días anuales con temperaturas superiores a los 40 °C, en comparaciòn al millon de habitantes actual. Este mismo documento menciona que los períodos de calor extremo representan un riesgo para la salud de las personas como ancianos y enfermos crónicos.

Los mapas de vulnerabilidad espacial brindan informaciòn para abordar los riesgos para la salud relacionados con el calor al ayudar a los asesores de políticas, planificadores urbanos y profesionales de la salud a desarrollar planes de preparaciòn para la ola de calor a escala local (Loughman *et al.*, 2012).

**Ondas de frío.** Este fenómeno se ha presentado con regularidad en las últimas décadas y debe considerarse como parte de un sistema de variabilidad climática. Sus impactos en la salud humana, infraestructura física y producciòn sectorial, le proporcionan los méritos para ser incluido como un indicador relevante en los protocolos de adaptabilidad.

La Figura 5 presenta los valores de intercepto y pendiente de la ecuaciòn de regresiòn;  $TMI = 16.92 + (-0.0049) \text{ altitud}$  bajo un coeficiente de determinaciòn de  $R^2=75\%$ . La altitud representada por el MDE muestra su influencia predictora en TMI. El area urbana de la ciudad de Chihuahua se ubica en rangos de -5.0 a -9.0 °C en su mayor superficie (Figura 6). Este comportamiento de TMI es con base en valores que comprenden un periodo de 40 años. Sin embargo, el problema se agudiza con la ocurrencia de ondas de frio extremas con valores de

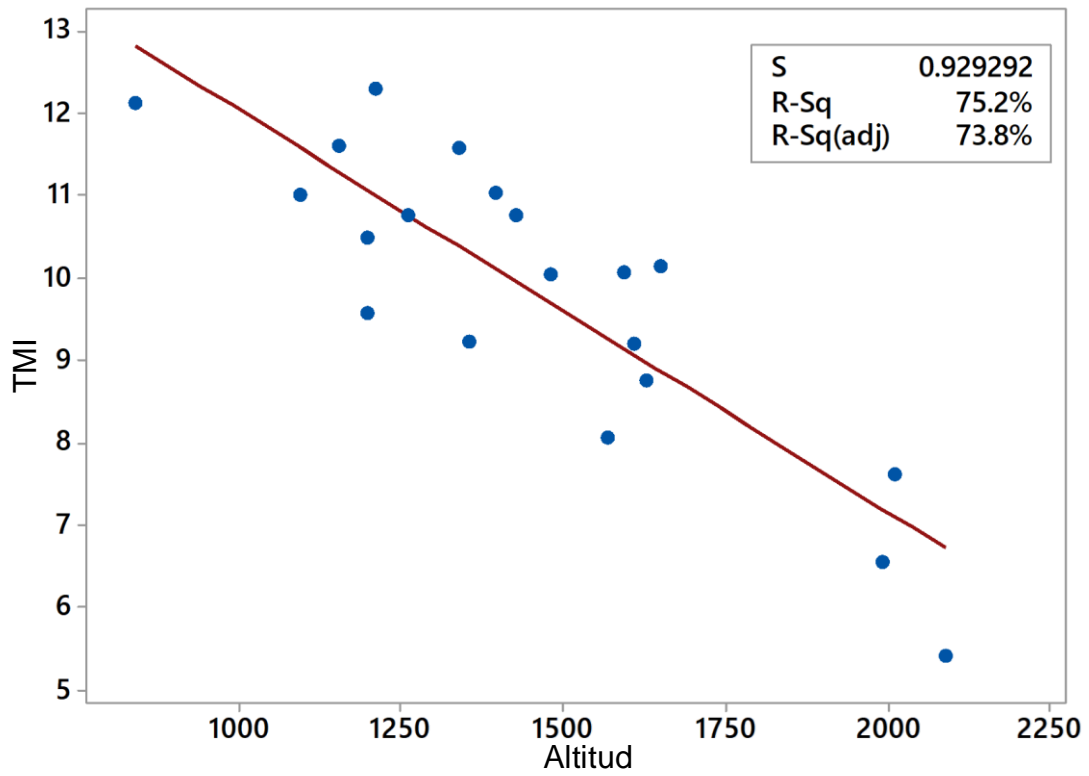


Figura 5. Ecuación de regresión de TMI durante el periodo 1963-2003.



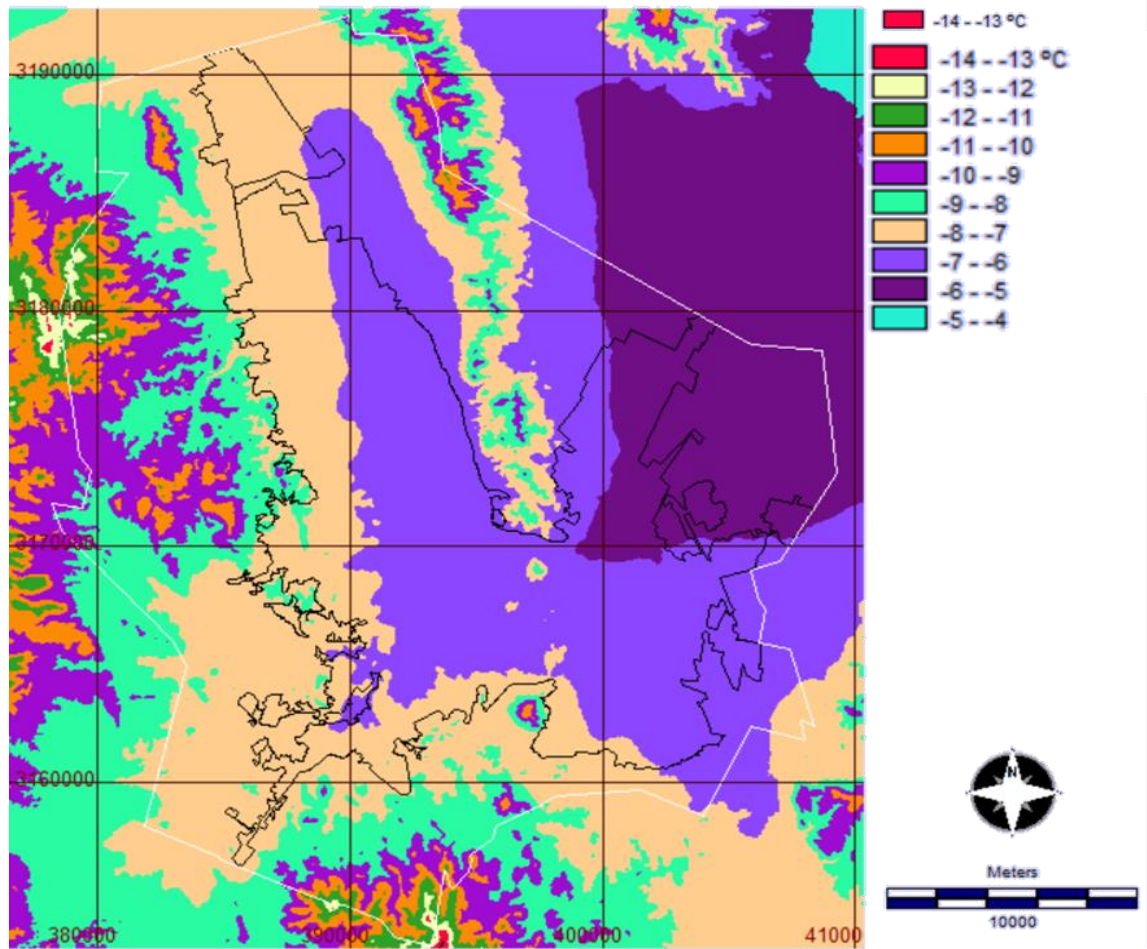


Figura 6. Umbrales de TMI en la ciudad de Chihuahua durante el periodo 1963 - 2003.

temperaturas de hasta -15 °C.

Las ondas de frío ocupan gran cantidad de la atmósfera urbana y se distinguen de las heladas o enfriamientos locales, donde el origen es de tipo radiativo, comprometiendo los límites atmosféricos de las capas (Romero y Mendoza, 2010); los impactos se denotan en la presencia de presiones atmosféricas anormalmente altas, cielos despejados, variaciones en la precipitación, períodos divergentes de heladas y alta variabilidad en las temperaturas, tanto alta como bajas.

Estas amenazas climáticas extremas tienen implicaciones importantes en la salud humana y en la infraestructura urbana. En el caso de salud humana, la presentación de ese evento repercute en la población con problemas respiratorios complicándose con la presencia de procesos de inversión térmica (Pradhan *et al.*, 2019). Las repercusiones en los humanos son notorias ya que afectan la salud y bienestar de las personas, se aíslan los pueblos y ciudades, aumentan las muertes y enfermedades causadas por hipotermia, enfermedades respiratorias y pérdidas de ganado y cultivos y crisis energética (Romero y Mendoca, 2010). Las concentraciones de bioxido de carbono aumenta la variabilidad en las temperaturas extremas frías que tienen especial repercusión en la salud de la población aunado a problemas respiratorios debido a complicaciones por procesos de inversión térmica (PECC, 2015).

En este sentido, es importante identificar las áreas de riesgo potencial a temperaturas mínimas extremas debido a la aparición de brotes de influenza estacional. La proyección de crecimiento de la ciudad de acuerdo al Límite de Crecimiento Urbano contempla expansiones territoriales hacia áreas de TMI más

extremas lo cual determina la necesidad de implementar políticas para que la población vulnerable enfrente este evento climático extremo.

**Sequía.** La Figura 7 presenta el comportamiento de la sequía en dos periodos 1960-1990 y 1990-2012. En el primer período se aprecia la presencia de 7 eventos de sequía conforme a su ubicación por debajo de la línea base (0.00). Sin embargo, en el período de 1990-2012, se presentó un incremento importante tanto en la frecuencia de sequías (12 eventos) como en su magnitud, esta con valores de  $SPI > 1.5$ , umbral clasificado como condición de sequía severa a extrema. Las tendencias del SPI marcan una disminución de la precipitación lo que trae consigo sequías más severas. Esta información es esencial para apoyar a los diferentes gobiernos los cuales deberán establecer medidas protocolarias enfocadas a la prevención y mitigación de fenómenos climáticos extremos.

La disponibilidad de agua para uso doméstico, está sujeta a su disponibilidad espacial y temporal en el suelo y sus entornos naturales. El cambio climático tiene efectos sustanciales en el aprovisionamiento y la regulación del consumo doméstico pero los efectos específicos del cambio climático en dicha disponibilidad, dependerá de la magnitud de los cambios espaciales y temporales en el ciclo del agua y de la capacidad adaptativa de la región según su contexto social y biofísica (Chang y Bonette, 2016). Esto es notorio cuando se evidencia la disminución del caudal de los arroyos y el aumento concomitante de las temperaturas en los entornos que amenazan no solo el suministro de agua de los seres humanos sino también a los ecosistemas que dependen de este recurso (Hoyer y Chang, 2014).

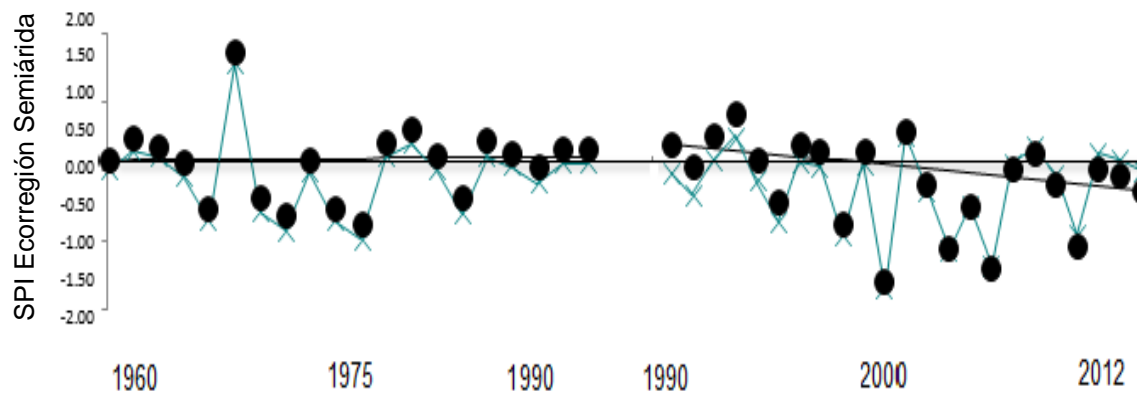


Figura 7. Tendencia histórica de la sequía en el entorno semiárido de la ciudad de Chihuahua.

## **Suministro de Recursos Hídricos**

El CC tiene y mantendrá efectos sustanciales en el suministro y regulación del agua a través de cambios en su distribución y valor en el tiempo y el espacio (Chang y Bonnette, 2016). La combinación de temperaturas más altas, las sequías recurrentes y el decremento de los patrones de precipitación aumentan el estrés hídrico en las subcuencas hidrológicas que proporcionan el agua a la ciudad de Chihuahua. Este problema aumenta conforme a la expansión urbana y de la población.

El volumen de extracción total calculado en el acuífero Chihuahua-Sacramento en el año 2010, fue de 67.2 hm<sup>3</sup> anuales. De este volumen, el 78 % (52.4 hm<sup>3</sup>) se utilizaron para el abastecimiento de agua potable para la ciudad de Chihuahua, 10 hm<sup>3</sup> (15 %) para uso agrícola y los 4.8 hm<sup>3</sup> restantes (7 %) para otros usos diversos (Orduño, 2015).

**Consumo de agua *per capita*.** El Cuadro 3 presenta los valores de consumo de agua, la demanda total y el déficit con base en el crecimiento de la población en el periodo 1990 – 2020. Conforme a esta variable, el déficit de agua aumentó en forma lineal con valores de 26.9 a 39.0 % durante el periodo 2000 – 2020. Rodríguez (2000) documenta como el uso y suministro de agua se incrementó entre 1956 -1998 como consecuencia del crecimiento de la población y porcentaje de gente con servicio de agua en sus casas. Durante el periodo de 1992 – 1995 el suministro de agua fue incapaz de mantener la demanda de agua requerida de los habitantes de la ciudad de Chihuahua, lo anterior debido al crecimiento de la población y a la demanda del creciente sector comercial-industrial. Además de establecer tandeos para establecer el suministro de agua

Cuadro 3. Consumo de agua, suministro de agua de 225 l d<sup>-1</sup>, demanda total y déficit de agua para la ciudad de Chihuahua en un periodo de 30 años

Año	Población	Consumo <i>per capita</i> de agua (lt d <sup>-1</sup> )	Demanda total agua (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	Suministro total de agua (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	Déficit de agua urbana (m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	Deficit de agua (%)
1990	516,153	375	193,557	193,557	0	0
2000	646,595	375	242,472	145,461*	97,011	26.9
2010	819,543	375	307,328	184,397*	122,931	34.1
2020	936,577	375	351,216	210,729*	140,487	39.0

a las diferentes colonias de la ciudad, la Junta Central de Aguas como agencia de gobierno del estado, aplica una cuota de suministro de 225 l d<sup>-1</sup>.

Los consumos *per capita* de agua varían en el mundo. En México, estos consumos varían según el nivel de industrialización de cada ciudad. Rodríguez (2000) documentó consumos de 363 l d<sup>-1</sup> para la Ciudad de México, 297 l d<sup>-1</sup> para Monterrey y 235 l d<sup>-1</sup> para Guadalajara. Las crisis de suministro del agua son una parte integral en la historia de la ciudad de Chihuahua. Tanto Duran (1995) como Rodríguez (2000) proporcionan una breve historia sobre los dilemas en el suministro de agua que ha pasado la ciudad de Chihuahua a través del tiempo.

**Implicaciones en la relación geodemografía-consumo de agua.** Esta relación tiene implicaciones tanto en las coberturas de suelo como en el suministro de agua. El cambio de uso de suelo urbano, proporciona indicadores de crecimiento y rapidez de una ciudad relacionada al incremento del suelo urbano existente (Seto *et al.*, 2002). Por ello, es importante encontrar un balance entre el ambiente natural y el construido por el hombre (Congedo y Macchi, 2015). En el ordenamiento ecológico del municipio de Juárez, se documentó el efecto de la expansión urbana en detrimento de áreas utilizadas para la agricultura o de zonas no aptas para ser pobladas, por los peligros a que se enfrentan (Romo, 2010). En el caso de la ciudad de Chihuahua, el área urbana presentó un incremento en la tasa de cambio de suelo de 7.2 % en el periodo 2000-2010 con impactos en los suelos agrícolas y comunidades de matorral (Dávila *et al.*, 2016).

### **Implicaciones del CC en las Medidas de Adaptabilidad Urbana**

En el siglo XXI, las acciones de adaptación tienen la misma importancia que la mitigación en la lucha contra el cambio climático. La mitigación se dedica

a la reducción de la tasa de aumento y la escala de cambios de acuerdo al impacto de los factores de riesgo. La adaptación tiene como objetivo mejorar la capacidad de defensa y resistencia, lo que reduce la influencia pasiva del cambio climático (Ge *et al.*, 2009).

Las evidencias documentadas (Bravar y Kavvas, 1991; Keller *et al.*, 2004; Parmesan, 2006; Christensen *et al.*, 2007; IPCC, 2007) sugieren que hay gran probabilidad que se presente un aumento de la temperatura durante este siglo y que esta tendencia tenga un fuerte impacto en las grandes ciudades y otros asentamientos humanos.

Las proyecciones climáticas sugieren un aumento en la temperatura hacia el 2100 en un rango de entre 1 °C y 3.7 °C, con un incremento de escenarios extremos en algunas regiones del mundo de hasta 4.8 °C con referencia a la temperatura media observada de 1850 a 1900 (CEPAL, 2014).

La variabilidad climática de TMAXMAX y TMIN (42 a 45 °C; -5.0 a -9.0 °C) y sus ondas extremas de calor y frío (45 °C y -15.0 °C) alcanzadas en la ciudad de Chihuahua, expone el área urbana a la vulnerabilidad de algunos sectores. En cuanto a la disponibilidad de agua, se afecta la calidad y disminuye el consumo de agua doméstico e industrial, aumentan las implicaciones en la salud humana, disminuye la biodiversidad y salud del ecosistema urbano y se expanden los niveles de pobreza (Orduño, 2015). Los riesgos de estos impactos pueden ser mayores bajo un incremento de la Temperatura Media Anual (TMA) entre 1 °C y 2 °C para mediados de siglo. En este contexto, es fundamental desarrollar estrategias para aplicar diversas políticas públicas de mitigación y adaptación al cambio climático.



## **Opciones de Adaptabilidad de la Ciudad de Chihuahua al CC**

De acuerdo con Angrist y Pischke (2008), no es sencillo utilizar procesos e indicadores de adaptación, principalmente por la dificultad de definir una línea base de referencia o comparación para una escala regional o local. En general, la adaptación al cambio climático se define como “los ajustes en los sistemas naturales o humanos como respuesta a estímulos climáticos proyectados o reales, o sus efectos, que pueden moderar el daño o aprovechar sus aspectos beneficiosos” (IPCC, 2007).

El Cuadro 4 presenta los objetivos adaptativos y las opciones de adaptación que instrumentaron la línea base para construir los protocolos de adaptación al CC obtenidos del análisis bibliográfico. Una de las barreras para el cambio a la acción de adaptación es la incertidumbre sobre a qué nos estamos adaptando y cuánta adaptación es suficiente. Sin embargo, aplicando el criterio de Zhao *et al.* (2018), la necesidad de adaptación es clara y es necesario concentrarse en ofrecer medidas de adaptación que sean lo suficientemente flexibles para hacer frente a condiciones futuras inciertas.

Para lo anterior, se instrumentó una matriz preliminar de procesos de adaptación, en la cual se eliminaron aquellos que son ineficientes, que no presentan datos o son difíciles de construir, barreras que son claves para instrumentar y aplicar los procesos de adaptación. Estos procesos fueron instrumentados en indicadores que, complementados con la arquitectura de un protocolo, permiten disponer de la línea base de 8 Protocolos de Adaptabilidad al CC para la ciudad de Chihuahua, mismos que son presentados en el apéndice. Su propósito es buscar respuestas de forma urbana de manera que permita a los

Cuadro 4. Objetivos adaptativos y sus opciones de adaptabilidad urbana como sustento para instrumentar la línea base de los Protocolos de Adaptación al CC de la ciudad de Chihuahua

<b>Factor de riesgo</b>	<b>Objetivo adaptativo</b>	<b>Opciones de adaptación</b>
Variabilidad Climática	Instrumentar un sistema de monitoreo y evaluación de riesgos.	<p>a. Actualización periódica y mejora del sistema de alerta temprana para evaluar impactos en salud urbana y proyecciones de riesgos climáticos.</p> <p>b. Mejorar el programa de educación ambiental, incluido “Juntos contra el Cambio Climático” para preparar eficazmente a los habitantes de la ciudad de Chihuahua ante los eventos de variabilidad climática.</p> <p>c. Establecimiento y operación de estaciones meteorológicas en zonas estratégicas del entorno urbano y periurbano.</p> <p>d. Actualización periódica de la evaluación del riesgo de sequía, basada en la evaluación de la escasez de agua y las proyecciones de peligros futuros.</p>
	Mejorar las técnicas y procesos de identificación de áreas sensibles a eventos de variabilidad climática extrema.	<p>a. Identificar las áreas de riesgo potencial a temperaturas mínimas y máximas extremas para prevenir impactos en la salud urbana humana.</p> <p>b. Identificar las principales islas de calor, para implementar acciones de mitigación a través de la mejora de infraestructura</p>

		urbana y establecimiento de áreas verdes.
		c. Promover e instrumentar investigación en procesos de inversión térmica y contaminación hacia la búsqueda de alternativas de mitigación de impactos.
		d. Diseño Bioclimático en Infraestructura Urbana.
Cambios de Uso de Suelo	Mejorar el Programa de Ordenamiento Ecológico Territorial Urbano y de las subcuencas Sacramento y Chuvíscar.	<p>a. Promover mejoras en la normatividad que eviten los cambios de uso de suelo en áreas verdes y prioritarias.</p> <p>b. Promover la normatividad para evitar los cambios de uso de suelo urbano y suburbano, para disminuir la vulnerabilidad potencial a factores extremos diversos.</p> <p>c. Planificar el crecimiento de la mancha urbana para disminuir los impactos en riesgos de salud, consumo de agua y disminución de áreas verdes.</p> <p>d. Proponer un Plan de Intervención tecnológica para encauzar las actividades productivas de las subcuencas y microcuencas adyacentes para atenuar la degradación de los recursos naturales inmersos.</p>
Suministro Hídrico	Disminuir la sensibilidad del suministro de agua.	a. Aumentar la conciencia pública sobre la escasez de agua.

b. Limitar el desperdicio de agua es importante cuando el suministro de agua cae dramáticamente.

c. Reducir el estrés hídrico mediante la implementación de programas de conservación.

d. Usar un instrumento de política, por ejemplo, el precio del agua, para regular el uso del agua y controlar el desperdicio, especialmente a nivel de la industria.

---

Mejorar las capacidades para entregar agua potable de calidad en medio de la sequía. a. Garantizar la calidad de agua para consumo humano.

---

diferentes actores urbanos minimizar los conflictos. Por ejemplo, se sugiere que los planificadores desarrollen una estrategia de adaptación del entorno urbano local para una ciudad resiliente a corto plazo. Esta estrategia deberá centrarse en la vulnerabilidades detectadas en este y otros estudios (escasez de agua dulce y sequías, olas de calor y de frío, crecimiento urbano desmedido) presentando diferentes propuestas que se realicen dentro de un plan de acción estructurado.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las revisiones e investigaciones realizadas para la obtención de información no disponible, permitieron seleccionar los indicadores relevantes que conformaron los protocolos de adaptación de línea base al CC para la ciudad de Chihuahua. También se evidenció la existencia de un extenso portafolio de políticas públicas relacionadas con medidas de mitigación y adaptación al CC en entornos urbanos. Esta documentación se asocia a la creciente probabilidad de que los fenómenos climáticos aumenten en el futuro, así como sus impactos. No obstante, este estudio enfrentó barreras y desafíos para crear marcos orientados a identificar factores de riesgo, proponer acciones de adaptación y generar métricas para medir y rastrear la adaptabilidad urbana bajo escalas locales y en situaciones en donde no hubo disponibilidad de datos pertinentes para algunos indicadores.

En el contexto urbano de la ciudad de Chihuahua, como factores de riesgo se identificaron los cambios de uso del suelo, la variabilidad climática y el suministro de recursos hídricos. Los cambios de uso del suelo están asociados a la creciente expansión urbana como una consecuencia del crecimiento lineal de la población. La variabilidad climática tiene implicaciones importantes en la presencia de las islas de calor urbano e inversiones térmicas por ondas frías y diversas fuentes de contaminación con implicaciones en la salud y el bienestar humano. Para el factor de suministro de recursos hídricos, sus problemáticas están definidas por las sequías recurrentes y calidad y cantidad disponible de agua dulce para consumo humano y actividades de otros sectores. Estos problemas conformaron la base para la propuesta de 8 protocolos de adaptación

de línea base al CC para la ciudad de Chihuahua.

Las integraciones protocolarias de algunos indicadores contemplados en el PACMUN coadyuvaron a disponer de una base sólida, científica y técnica hacia los protocolos propuestos en este estudio. Los protocolos de acción de adaptación climática urbana facilitan la acción coordinada entre los actores relevantes bajo un marco adecuado y compartido. Lo anterior es fundamental para llevar a cabo intervenciones tecnológicas en planes y programas de la gestión territorial de los entornos urbanos.

Se sugiere realizar más investigaciones para comprender la mejor manera de incorporar una mayor cantidad de protocolos de adaptación en el ambiente urbano. Lo anterior identificara las compensaciones y el impacto general del CC para instrumentar estrategias de adaptación en las poblaciones vulnerables.

Las aplicaciones de estos mecanismos fortalecerán las acciones de los Programas Estatal y Municipal de Cambio Climático y contribuirán a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

## LITERATURA CITADA

- Arbuthnott, K., S. Hajat, C. Heaviside y S. Vardoulakis. 2016. Changes in population susceptibility to heat and cold over time: Assessing adaptation to climate change. *Environ. Health: A Global Access Science Source*. 15:1-33.
- Bailey, D., M. H. Schmidt-Entling, P. Eberhart, J. D. Herrmann, G. Hofer, U. Kormann y F. Herzog. 2010. Effects of habitat amount and isolation on biodiversity in fragmented traditional orchards. *J. App. Ecol.* 47:10-13.
- Bravar, L. y M. L. Kavvas. 1991. On the physics of drought. I. A conceptual framework. *J. Hydrol.* 129:281-297.
- Cecily, J. M. 2009. Promoting children's mental, emotional and social health through contact with nature: a model. *Health Education*. 109:522-543. <https://doi.org/10.1108/09654280911001185>.
- Carter, J. G., G. Cavan, A. Connell, S. Guy, J. Handley y A. Kazmierczak. 2015. Climate change and the city: building capacity for urban adaptation. *Prog. Plan.* 95:1-66.
- Center for Disease Control and Preveention. 2006. Extreme Heat: A Prevention Guide to Promote Your Personal Health and Safety. En : <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/7023>. Consultado 15 Enero 2021.
- Chang, H. y M. R. Bonnette. 2016. Climate change and water-related ecosystem services: impacts of drought in California, USA. *Ecosystem Health and Sustainability* 2:12. DOI:10.1002/ehs2.1254
- Chapman, S., E. M. J. Watson, A. Salazar, M. Tatcher y C. A. Mc Alpine. 2017. The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecol.* Springer. DOI 10.1007/s10980-017-0561-4
- Chen, Ch., M. Doherty, J. Coffee, T. Wong y J. Hellmann, 2016. Measuring the adaptation gap: A framework for evaluating climate hazards and opportunities in urban areas. *Environ. Sci. Pol.* 66:403-419.
- Christensen, J. H., B. Hewitson, A. Busuloc, AG. X. Chen, I. Held, R. Jones, R. K. Kolli, W. T. Kwon, R. Laprise, V. Magana Rueda, L. Mearns, C. G. Menendez, J. Raisanen, A. Sarr y P. Whetton. 2007. Regional Climate Projections. *In*: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. M. B. Tignor, J. Miller, H. LeRoy y Z. Chan (EDS) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 847-940.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). 2014. *La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y Desafíos del Desarrollo Sostenible*, Naciones Unidas, Santiago, Chile.



- Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2010. Índice de marginación por localidad. En: [http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Indice de Marginacion por Localidad 2010](http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010). Consultado 11 Enero 2020.
- Dávila, R. A., E. A. Z. Corona, A. A. Pinedo, G. R. Jiménez, C. A. Pinedo, R. I. C. Rojas y A. G. Ranfla. 2016. Marginación y cambio de cobertura y uso del suelo de la zona metropolitana de Chihuahua. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 67:38-45.
- Dawson, B. y M. Spannagle. 2009. *The complete guide to climate change*. Routledge Publishing, Francis and Taylor. New York.
- Declet, B. J., A. J. Brazel., C. A. Martin., W. T. L. Chow y S. L. Harlan. 2013. Creating the park cool island in an inner-city neighborhood: heat mitigation strategy for Phoenix, AZ. *Urban Ecosystem*. 16:617-635.
- Ge, Q., J. Qu, J. Zeng y X. Fang. 2009. Review on international strategies and trends for adaptation to climate change. *Adv. Clim. Chang. Res.* 5:369-375.
- Gupta, R. y A. Sen. 2008. Monitoring the physical growth of Ranchi City by using geo-informatics techniques. *ITPI J.* 5:38-48.
- Grimm, N. B. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science*. 319:756-760.
- Hoyer, W. y Chang H. 2014. Assessment of freshwater ecosystem services in the Tualatin and Yamhill basins under climate change and urbanization. *App. Geo.* 53:402-416.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Modelos Digitales de Elevación. En: <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=modelos+digitales+de+elevacion> Consultado 11 Enero 2020.
- IPCC. 2001. *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Metz, B., O.R. Davidson, R. Swart, y J. Pan (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos, 752 págs.
- IPCC. 2007. *Summary for policymakers. In Solomon S. et al. (ed.) Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge Univ. Press, New York.
- IPCC. 2012. *Informe especial sobre la gestión de riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Informe especial de los grupos de trabajo I y II de Grupo Integubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Cambridge Univ. Press, New York.

- Fernández, G. F. 2007. Impactos del cambio climático. Boletín de la Institución Libre de Enseñanza. 66-67
- Keller, K, F. M. M. Morel y D. F. Bradford. 2004. Uncertain climate thresholds and optimal economic growth. *J. Environ. Econ. Manage.* 48:723-741.
- Kogan, F. N. 1997. Global drought watch from space. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 78:621-636.
- Landauer, M., S. Juhola y M. Söderholm. 2015. Inter relationships between adaptation and mitigation: A systematic literature review. *Clim. Chang.* 131:505-517. doi:10.1007/s10584-015-1395-1.
- Lin, B. B., S. M. Philphot y S. Jha. 2015. The future of urban agriculture and biodiversity-ecosystem services: Challenges and next steps. *Basic and Applied Ecology.* <https://doi.org/10.1016/j.baae.2015.01.005>
- Loughman, M., N. Nicholls y N. J. Tapper. 2012. Mapping heat health risks in urban areas. *Int. J. Pop. Res.* <https://doi.org/10.1155/2012/518687>.
- Malarvizhi, K., S. Vasantha Kumar y P. Porchelvan. 2016. Use of high resolution Google Earth Satellite Imagery in landuse map preparation for urban related applications. *Procedia Tech.* 24:1835-1842.
- Michelozzi, P., M. De Sario y G. Accetta. 2006. Temperature and summer mortality: geographical and temporal variations in four Italian cities. *J. Epidem. Comm. Health.* 60:417-423.
- Moss, M. L. y H. O. Neil. 2012. Urban mobility in the 21 st century. NYU Rudin Center for Transportation Policy, Newyork, USA.
- Nguyen, T. T., P. Barbe, R. Harper, T. V. K. y B. Dell. 2020. Vegetation trends associated with urban development: The role of golf courses. *PLOS ONE* 15: e0228090. En: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228090>. Consultado 15 Enero 2021.
- Parmesan, C. 2006. Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Ann. Rev. Ecol, Evo. Syst.* 37:637-669.
- Patra, S., S. Sahoo, P. Mishra y S. CH. Mahapatra. 2018. Impacts of urbanization on land use /cover changes and its probable implications on local climate and groundwater level. *J. Urban Manage.* 7:70-84.
- Pinedo, C., N. S. Hernández, A. Melgoza, M. Rentería, C. Vélez, C. Morales, M. Quintana, E. Santellano y E. Esparza. 2013. Diagnóstico actual y sustentabilidad de los pastizales del estado de Chihuahua ante el cambio climático. Cuerpo Académico de Recursos Naturales y Ecología (UACH-CA16). Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Mex.

- Pradhan, B., P. Sharma y K. P. Pradhan. 2019. Impact of cold wave on vulnerable people of Tarai Region, Nepal. *Climate Change and Global Warming*. 143-156. doi:10.5772/intechopen.82201
- Programa de Acción de la Conferencia Internacional sobre Población y Desarrollo (CIPD). 2014. Fondo de población de las naciones unidas. Consultado en: [https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/ICPD\\_programme\\_of\\_action\\_es.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/ICPD_programme_of_action_es.pdf).
- Prieto, J. A., A. Pinedo, F. Villarreal, C. Pinedo, C. Morales y C. Manjarrez. 2016. Past and future spatial growth dynamics of Chihuahua City, Mexico: Pressures for Land Use. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 5:235.
- Programa Estatal de Cambio Climático (PECC). 2015. Identificación de políticas de mitigación de gases de efecto invernadero. Comisión de Cooperación Fronteriza. Border Environment Cooperation Comision. 1ª Edición. Cd. Juárez, México.
- Rodríguez, J. A. 2000. Geophysical, geochemical and remote sensing investigation of the water resources at the City of Chihuahua, México. Doctoral Dissertation. The University of Texas at El Paso, EUA.
- Romero, A. H. y M. Mendoca. 2011. Ondas de Frío registradas en invierno de 2010: Necesidad de una perspectiva regional integrada para la Climatología latinoamericana. XII Encuentro de Geógrafos Latinoamericanos. San José de Costa Rica, Costa Rica.
- Saravanan, P. y P. Ilangovan. 2010. Identification of Urban Sprawl Pattern for Madurai Region Using GIS. *Int. J. Geo. Geo-sci.* 1:141-149.
- Siddig, A. A. H., A. M. Ellison, A. Ochs y M. K. Lau. 2016. How do ecologists select and use indicators species to monitor ecological Changes? Insights from 14 years of publication in *Ecological Indicators*. *Ecol. Indicators* 60:223-230.
- Romo, A. M de L. 2010 Programa de ordenamiento ecológico territorial del municipio de Juárez. Zonificación y Ordenamiento Ecológico y Territorial del Municipio de Juárez. Colef-DRNO. Cd. Juarez, Chihuahua.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR). 2012. Making cities resilient report 2012. 2<sup>nd</sup> ed. New York.
- Ulrich, R. S. 1984. View through a window may influence recovery from surgery. *Sci.* 224:420-464. En: <https://doi.org/10.1126/science.6143402>. Consultado 15 Enero 2021.
- Van Den Berg, A. E. y M. H. G. Custers. 2010. Gardening promotes neuroendocrine and affective restoration from stress. *J. Health Psychol.* 16:3-11.
- Vandentorren, S., F. Suzan y S. Medina. 2004. Mortality in 13 French cities during the August 2003 heat wave. *Am. J. Pub. Health.* 94:1518-1520.

Zhao, Ch., Y. Yan, Ch. Wang, M. Tang, G. Wu, D. Ding y Y. Song. 2018. Adaptation and mitigation for combating climate change – from single to joint. *Eco. Health Sust.* 2332-8878. [Doi.org/10.1080/20964129.2018.1466632](https://doi.org/10.1080/20964129.2018.1466632).

## **APÉNDICE 1**

Cuadro 5. Sectores, amenazas e impactos. Actualización 2019 del PACMUN  
Chihuahua

Sector		Sector		
Sector		SERVICIOS BÁSICOS (Subsistemas vitales)		
		ECONÓMICO (Industria, Comercio y Turismo)		
Sector		RURAL PRODUCTIVO (Agricultura, Ganadería y Forestal)		
		HÍDRICO		
Sector		SALUD		
		DESARROLLO URBANO		
Sector		BIODIVERSIDAD		
Impactos	Amenaza 1: Lluvias torrenciales	Amenaza 3: Vientos extremos	Amenaza 5: Onda de calor	
	Inundaciones	Erosión eólica	Golpe de calor	
Impactos	Daños a la Infraestructura	Incremento de enfermedades	Incremento en enfermedades e intoxicaciones alimenticias	
	Erosión hídrica (deslaves)	Afectación a la infraestructura	Incendios	
Impactos	Amenaza 2: Sequia	Incendios	Daños a los cultivos y animales en confinamiento	
	Abatimiento en los niveles de manos acuíferos y cuerpos de agua	Daños a los cultivos	Evaporación de cuerpos de agua	
Impactos	Erosión (desertificación)	Amenaza 4: Onda fría	Incremento de organismos vectores	
	Incendios	Daños a la infraestructura	Incremento en la demanda de agua	
Impactos	Daños en los cultivos	Incremento en enfermedades, casos de asfixia y accidentes	Amenaza 6: Granizo	
		Daños a los cultivos	Daño en cultivos y/o animales	
Impactos			Daño patrimonial	
			Daño a la infraestructura	

Jerarquización de las medidas de adaptación

<b>No.</b>	<b>MEDIDA DE ADAPTACIÓN</b>	<b>SECTOR (ES) BENEFICIADO(S)</b>	<b>EVALUACIÓN</b>
1	Actualizar el Atlas de Riesgo Municipal y promover una amplia difusión de este.	Servicios básicos, Económico, Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.	
2	Desarrollar e implementar el Programa para la Gestión Integral de Riesgos de la Población; y fortalecer los servicios de emergencia.	Servicios básicos, Económico, Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.	
3	Promover, entre la población laboral, el conocimiento de los Programas Internos de Protección Civil de su lugar de trabajo y procurar la elaboración e implementación de Programas de Protección Civil en casa.	Servicios básicos, Económico y Salud.	
4	Adquisición, establecimiento y operación de estaciones meteorológicas en puntos estratégicos.	Servicios básicos, Económico, Rural productivo y Salud.	
5	Ejecutar obras para la protección contra avenidas, así como para la conservación de suelo y agua en la parte de las microcuencas del Municipio, pugnando porque el recurso agua pueda ser aprovechado con fines de riego, abrevadero y/o recarga de acuíferos.	Servicios básicos, Económico, Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.	
6	Incrementar la capacidad y eficiencia de los drenajes pluvial y sanitario; y, desarrollar infraestructura para aprovechar, en mayor medida posible, el agua de lluvia.	Servicios básicos, Hídrico y Desarrollo urbano.	
7	Continuar la construcción de las obras para la infiltración de agua de lluvia al subsuelo.	Hídrico, Rural productivo, Desarrollo urbano y Biodiversidad.	
8	Promover acciones ciudadanas que favorecen el uso sustentable del agua (aprovechamiento del agua de lluvia, ahorro y uso eficiente del agua, entre otros).	Económico, Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.	

9	Incrementar la cobertura de la línea morada para la utilización de aguas grises en el riego de parques y jardines.	Económico, Hídrico, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
10	Tecnificar y eficientar el uso del agua para actividades agropecuarias y en el riego de áreas verdes y jardines.	Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
11	Implementar el programa de pago por servicios ambientales hídricos.	Económico, Rural productivo, Hídrico, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
12	Realizar los estudios integrales de las microcuencas que conforman la cuenca tributaria de las cuatro presas existentes en el Municipio y los correspondientes Planes de Manejo d Cuenca de estas; así como de las de ríos y arroyos que representan riesgos de afectación a la ciudad.	Servicios básicos, Hídrico, Rural productivo, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
13	Fortalecer los programas para la reducción de fugas en la red de distribución de agua urbana.	Hídrico y Desarrollo urbano.
14	Fortalecer las acciones de limpieza y reparación de arroyos en áreas urbanas y la construcción de parques lineales con vegetación nativa en las áreas federales de las márgenes de estos.	Servicios básicos, Hídrico, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
15	Promover decretos de Áreas Naturales Protegidas y robustecer la normatividad para evitar el cambio de uso de suelo de áreas de reserva y preservación ecológica y/o de valor ambiental en las partes altas de las microcuencas y zonas de alta permeabilidad para la infiltración natural y/o inducida de lluvia al subsuelo.	Hídrico, Rural productivo, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
16	Promover decretos de Áreas Naturales Protegidas y/o prohibir el cambio de uso de suelo de aquellos polígonos urbanos y suburbanos identificados en el Atlas de Riesgo con una vulnerabilidad potencial ante eventos hidrometeoro lógicos extremos.	Servicios básicos, Hídrico, Desarrollo urbano y Biodiversidad.



17	Fortalecer los programas para la propagación de la flora nativa y su utilización en zonas urbanas y rurales.	Económico, Rural productivo, Hídrico, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
18	Desarrollar e implementar programas de extensionismo holístico, en las zonas rurales, que contemplen los temas de agricultura, ganadería, forestales y d conservación al mismo tiempo.	Económico, Rural productivo, Hídrico y Biodiversidad.
19	Mejorar la infraestructura urbana y de arbolado en áreas abiertas, con énfasis en zonas que se tienen detectadas como islas de calor.	Salud, Hídrico y Biodiversidad.
20	Implementar el Programa de Rescate y Reubicación de Flora y Fauna Silvestre en todos los proyectos de construcción que impliquen la remoción de la cobertura vegetal.	Hídrico y Biodiversidad.
21	Limitar el crecimiento de la mancha urbana favoreciendo la densificación a través del "Bono Urbano" y/o incentivos urbanos e intercalando áreas verdes con especies vegetales nativas y de bajo consumo de agua entre las edificaciones para disminuir las islas de calor.	Servicios básicos, Hídrico, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
22	Implementar programas de restauración ambiental en áreas degradadas.	Hídrico, Rural productivo y Biodiversidad.
23	Fortalecer las acciones de fumigación, limpieza permanente y todas aquellas útiles para el control de plagas y/u organismos vectores.	Salud, Rural productivo y Biodiversidad.
24	Promover y favorecer mayor investigación en el tema de control biológico de plagas y organismos vectores buscando siempre como primera instancia el control biológico.	Salud, Rural productivo y Biodiversidad.
25	Favorecer el programa de educación ambiental "Juntos contra el Cambio Climático".	Servicios básicos, Económico, Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.

26	Promover los programas de educación ambiental formal en temas de conservación de los ecosistemas, cuidado y preservación de los recursos, prevención y control de la contaminación, entre otros.	Servicios básicos, Económico, Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
27	Fortalecer los incentivos para la construcción con diseño bioclimático.	Económico, Hídrico y Desarrollo urbano.
28	Fortalecer a los organismos de inspección y vigilancia en las diferentes dependencias gubernamentales, fomentando la cooperación y coordinación entre los tres niveles de gobierno.	Servicios básicos, Económico, Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
29	Creación y aplicación de la Bitácora Ambiental Municipal a través del Sistema Integral de Monitoreo del Medio Ambiente.	Servicios básicos, Económico, Hídrico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
30	Incorporar el Reglamento de Protección al Medio Ambiente y Cambio Climático del Municipio de Chihuahua el pago por compensación ambiental por restitución de servicios ambientales.	Hídrico, Rural productivo, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
31	Fortalecer al Comité Municipal para la Prevención y Control de Incendios.	Servicios básicos, Económico, Rural productivo, Salud, Desarrollo urbano y Biodiversidad.
32	Modificar el Reglamento de Construcciones y Normas Técnicas para el Municipio de Chihuahua para que exista corresponsabilidad entre el director responsable de obra, el propietario del inmueble y la autoridad responsable.	Servicios básicos, Económico y Desarrollo urbano.

## **APÉNDICE 2**

Cuadro 6. Indicadores base para cambios de uso de suelo urbano

## TASA DE CRECIMIENTO DE LA POBLACIÓN

---

Social

Cambio poblacional

### 1. INDICADOR

**Nombre:**

Tasa crecimiento de la población

**Descripción breve:**

La tasa promedio anual de cambio del tamaño de la población durante un período específico.

**Unidad de medición:**

Generalmente expresado como un porcentaje.

### 2. PERTINENCIA POLÍTICA

**Propósito:**

La tasa de crecimiento de la población mide qué tan rápido está cambiando el tamaño de la población.

**Relevancia para el desarrollo sostenible / insostenible:**

El rápido crecimiento de la población puede ejercer presión sobre las capacidades de un país, estado o municipio para manejar una amplia gama de cuestiones de importancia económica, social y ambiental, particularmente cuando el rápido crecimiento de la población ocurre junto con la pobreza y la falta de acceso a los recursos, o con modelos de insostenibles de producción y consumo, o en zonas ecológicamente vulnerables (párrafos 3.14, 3.25 y 3.26 del Programa de Acción de la Conferencia Internacional sobre Población y Desarrollo (CIPD)). La Agenda 21 identifica el crecimiento de la población como uno de los elementos cruciales que afectan la sostenibilidad a mediano y largo plazo. Se espera que, en las próximas décadas, el crecimiento demográfico esperado para el mundo se concentrará en las áreas urbanas de las regiones menos desarrolladas (Naciones Unidas, 2003). Las causas del rápido crecimiento urbano incluyen altas tasas de aumento natural (exceso de nacimientos sobre muertes) en áreas urbanas, así como la migración de áreas rurales a urbanas y la transformación de asentamientos rurales en lugares urbanos. La velocidad y la escala de este crecimiento continúan planteando serios desafíos tanto para los países, sus regiones así como

para la comunidad mundial. Monitorear estos desarrollos y crear entornos urbanos sostenibles siguen siendo temas cruciales en la agenda internacional de desarrollo. El crecimiento de la población de la ciudad de Chihuahua durante el periodo de 1900 al 2018 presentó una tendencia lineal al pasar de 30,405 habitantes a 913,173 en el 2018 (Cuadro 1; Gráfica 1). La tasa de crecimiento interdecadal entre 1900 y 1960 fue de 20 % mientras que el periodo interdecadal de 1970 a 2018 correspondió a 30 %.

#### **Normas recomendadas:**

Ley General de Población. Cámara de Diputados Del H. Congreso de la Unión. Última reforma publicada: DOF 12-07-2018.

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICADOR**

#### **Definiciones y métodos de medición:**

La tasa de crecimiento de la población,  $r$ , entre dos puntos de tiempo,  $t_1$  y  $t_2$ , se calcula como una tasa de crecimiento exponencial, expresada convencionalmente en unidades porcentuales por año:  $r = 100 \ln (P_2 / P_1) / (t_2 - t_1)$  Donde  $P_1$  y  $P_2$  son el número de personas en los momentos  $t_1$  y  $t_2$ , respectivamente, y el intervalo de tiempo  $(t_2 - t_1)$  se expresa en años.

#### **Limitaciones del indicador:**

Los Censos de Población y Vivienda en México se realizan en forma interdecadal (cada 10 años) de manera que los censos de población interanuales se basan en estimaciones obtenidas bajo modelos de interpolación. La población estimada en periodos interanuales es una aproximación a la realidad.

### **4. FUENTES DE DATOS**

#### **Datos necesarios para compilar el Indicador:**

La tasa de crecimiento de la población se puede calcular a partir de los datos del censo o de los datos del registro civil (nacimientos y defunciones) junto con información sobre la migración. Las Naciones Unidas recomiendan que los países realicen censos cada 10 años

#### **Referencias:**

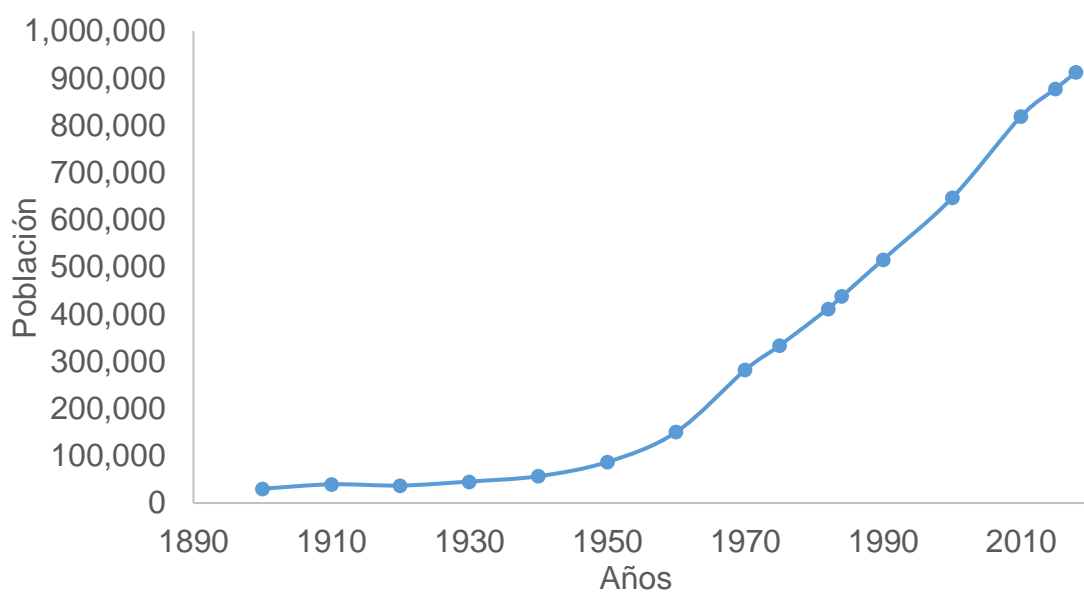
CONAPO. 2010. Consejo Nacional de Población. Índice de marginación por localidad En:

[http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Indice de Marginacion por Localidad 2010](http://www.conapo.gob.mx/en/CONAPO/Indice_de_Marginacion_por_Localidad_2010). Consultado 11 Enero 2020.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2019. Población.

Cuadro 1. Crecimiento poblacional de la ciudad de Chihuahua y su tasa decadal en el periodo 1900 al 2018

Año	Población	Variación absoluta	Tasa de crecimiento decadal
1900	30,405		
1910	39,706	9301	30.59
1920	37,078	-2628	-6.62
1930	45,595	8517	22.97
1940	56,805	11210	24.59
1950	86,961	30156	54.09
1960	150,430	63469	72.99
1970	281,937	131507	87.42
1975	333,770	51833	18.38
1982	411,713	77943	23.35
1984	437,823	26,110	6.34
1990	516153	78,330	17.89
2000	646,495	130,342	25.25
2010	819,543	173,048	26.77
2015	878,062	58,519	7.14
2018	913,173	35, 111	4.0



Gráfica 1. Distribución de la población de la ciudad de Chihuahua por período interdecadal.



## TASA DE CRECIMIENTO URBANO

---

Social

Expansión urbana

### 1. INDICADOR

**Nombre:**

Tasa crecimiento urbano.

**Descripción breve:**

La tasa promedio anual de crecimiento urbano durante un período específico.

**Unidad de medición:**

Generalmente expresado como un porcentaje, pero también puede expresarse en unidad de superficie (ha o km<sup>2</sup>).

### 2. PERTINENCIA POLÍTICA

**Propósito:**

La tasa de crecimiento de la población mide qué tan rápido está cambiando el territorio urbano a través del tiempo.

**Relevancia para el desarrollo sostenible / insostenible:**

La urbanización está avanzando en todo el mundo a un ritmo sin precedentes, especialmente en grandes ciudades en términos de su escala y velocidad. En particular, la urbanización en ciudades como México, Guadalajara, Monterrey y en los últimos años la incorporación de ciudades como Cd. Juárez, Mexicali, Tijuana, Torreón y algunas del norte de México. El desarrollo de las economías globales y regionales inciden en los polos de desarrollo urbano, como una respuesta a la creciente expansión de la población, principalmente de habitantes de zonas rurales que emigran a medianas y grandes ciudades.

Las causas del rápido crecimiento urbano incluyen altas tasas de aumento natural (exceso de nacimientos sobre muertes) en áreas urbanas, así como la migración de áreas rurales a urbanas y la transformación de asentamientos rurales en lugares urbanos. La velocidad y la escala de este crecimiento continúan planteando serios desafíos tanto para los países como para la comunidad mundial. El cambio en el uso de la tierra es el resultado de la urbanización, y al mismo tiempo es la causa de la cantidad de problemas ambientales urbanos, que reflejan las interacciones directas e indirectas entre las actividades humanas y el

medio ambiente natural. El estudio sobre los mecanismos de cambio en el uso del suelo asociados con la industrialización y la urbanización es esencial no solo para detectar el cambio ambiental global en escalas nacionales y estatales sino también para formular estrategias de desarrollo sostenible a escala local (Chang-Qing. 2006).

#### **Normas recomendadas:**

Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024. En: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5565599&fecha](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5565599&fecha). Consultado Julio de 2019.

Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Chihuahua: Visión 2040. En: <https://implanchihuahua.org/>. Consultado Julio de 2019.

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICADOR**

#### **Definiciones y métodos de medición:**

La tasa de crecimiento urbano entre dos o varios periodos de tiempo se basa en la digitalización de los límites urbanos a partir de imágenes Google Earth durante los periodos que deseen evaluarse; por ejemplo 1984, 1990, 2000, 2010 y 2018. La generación de los polígonos urbanos se obtiene en la herramienta de Agregar Polígono de Google Earth, a partir del cual se digitaliza los límites del área urbana de la ciudad de Chihuahua. Para la estimación del área urbana y la sobreposición de fechas, los polígonos digitalizados en formato kml de Google Earth son exportados al formato .shp de ArcGis v. 10.3 para la obtención de la variable: Área de Crecimiento Urbano en unidades ha y km<sup>2</sup>. Una vez obtenidos estos valores se realiza la estimación de la tasa de crecimiento urbano mediante el diferencial de los valores del área urbana actual con los valores del área urbana de la fecha anterior dividida entre el número de años de ese periodo. La última evaluación de la tasa de crecimiento urbano de la ciudad de Chihuahua mostró una tendencia generalmente lineal durante los últimos 34 años del estudio (Gráfica 1). El Cuadro 1 reporta como el área de crecimiento urbano por año fue de 7.82 km<sup>2</sup>, valor que comprendió todos los periodos evaluados (1984 – 2018). Este crecimiento se explica por el alto desarrollo de la industria de manufactura y el comercio, así como la migración de habitantes de áreas rurales al área urbana de la ciudad de Chihuahua.

#### **Limitaciones del indicador:**

A medida que avanza el proceso de urbanización, el número y la extensión de las unidades de área que califican como urbanas generalmente se expande, de modo que mantener una división urbana

versus rural a lo largo del tiempo sería inapropiado y probablemente resultaría en una gran subestimación de la proporción real de la población que vive en áreas con características urbanas.

#### 4. FUENTES DE DATOS

##### **Datos necesarios para compilar el Indicador:**

Bajo el despliegue *on line* de las imágenes de Google Earth se seleccionan las fechas de las imágenes de interés para generar los polígonos urbanos de la ciudad de Chihuahua. Para continuar con el proceso se ejecutan los pasos enunciados en la descripción Metodológica para la obtención del Indicador.

##### **Referencias:**

Chang-Qing, KE. 2006. Urban growth modeling of Jiangning through Cellular Automata. IEEE. 7:1485-1488.

Google: Google earth ver.6.0.1.2032 (beta). En <https://www.google.com/earth/>. Consultado 15 Marzo 2019.

Rodríguez, J. A. 2000. Geophysical, Geochemical and Remote Sensing Investigation of the Water Resources at the City of Chihuahua, México. Doctoral Dissertation. The University of Texas at El Paso, EUA.

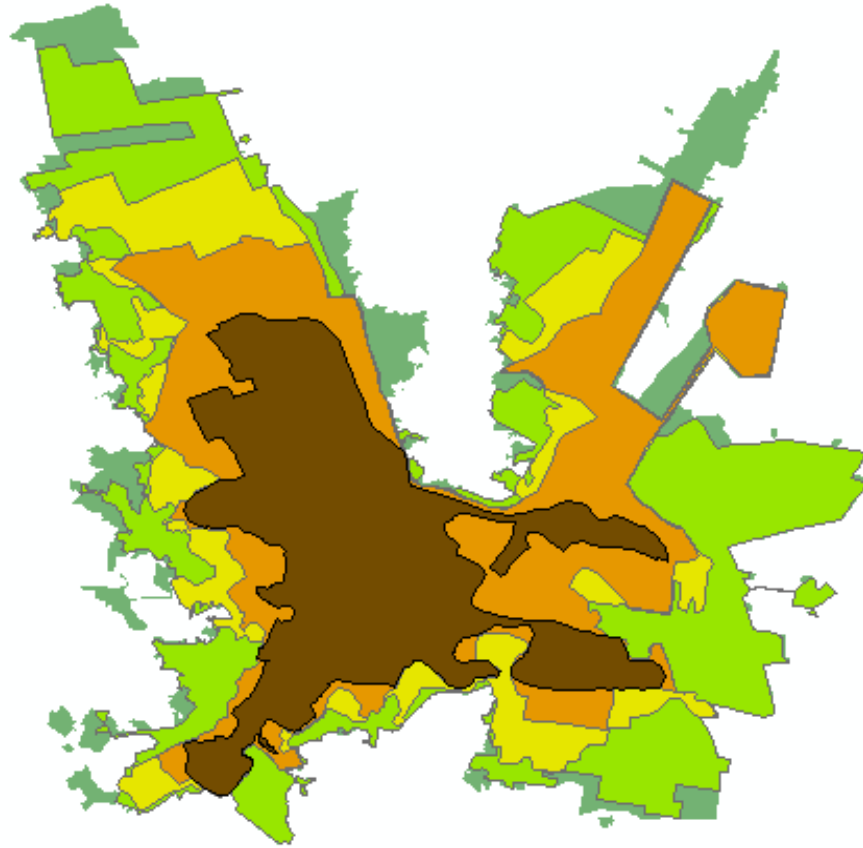


Figura 1. Crecimiento urbano de la ciudad de Chihuahua durante los períodos 1984, 1990, 2000, 2010 y 2018.

Cuadro 1. Área de crecimiento urbano de la Ciudad de Chihuahua durante el periodo 1984- 2018

Año	Área urbana (km <sup>2</sup> )	Tasa crecimiento de área urbana año <sup>-1</sup> (%) (%)
1984	75.1	
1990	147.6	12.1
2000	192.7	4.5
2010	285.5	9.3
2018	325.9	5.4

## CAMBIOS DE USOS DEL SUELO URBANO

---

Usos del suelo

Tasa de cambio

Geo demografía

### 1. INDICADOR

**Nombre:**

Cambios de Usos del Suelo Urbano.

**Descripción breve:**

Transformación de las coberturas de uso del suelo de la ciudad de Chihuahua en periodos de tiempo.

**Unidad de medición:**

De acuerdo a las clases de cobertura se mide en hectáreas y/o km<sup>2</sup>.

### 2. PERTINENCIA POLÍTICA

**Propósito:**

Para poder planificar de forma correcta el uso de la tierra es importante conocer los cambios en el uso de suelo como un indicador de la intensidad del uso de suelo urbano de tal manera que se mejoren los programas de planeación estratégica urbana.

**Relevancia para el desarrollo sostenible / insostenible:**

La ciudad de Chihuahua ha experimentado un rápido crecimiento urbano en los últimos años con impactos en los usos de los suelos. Estos impactos se reflejan en los altos niveles de contaminación, deficiente distribución hidráulica de agua potable e islas de calor con efectos en salud pública, entre otros factores. El disponer información sobre este indicador es relevante para los programas de un uso de suelo sustentable. En esta forma es posible identificar oportunidades para promover planes de protección del uso del suelo y promover a futuro programas de bienestar socio ambiental para la población.

El conocimiento de los cambios de uso de suelo en el tiempo permite conocer la degradación y sus impactos de abatimiento en los niveles de acuíferos y cuerpos de agua, daños en la infraestructura, incremento en la demanda de agua e incremento de organismos vectores entre otros. Este indicador actúa como una medida sinóptica hacia los

cambios ambientales y de la biodiversidad urbana como elementos claves para sostener algunos de los objetivos del Desarrollo Sustentable.

El crecimiento urbano es un indicador claro para identificar problemas concernientes a la sustentabilidad en los cambios de uso de suelo y de servicios eco sistémicos (Dávila *et al.*, 2016). Los cambios de usos del suelo son un efecto de la urbanización, y por consecuencia el número de causas de problemas urbanos medioambientales, reflejando la interacción directa o indirecta entre el medio ambiente y las actividades de los humanos (Basawaraja, *et al.*, 2011). Las intensidades de estos cambios en respuesta con el crecimiento poblacional son causa de estudios de los cambios medioambientales y del desarrollo sustentable (Guan *et al.*, 2011). En esta medida, la relación de suministros y consumos de agua, son elementos claves en las estrategias de planificación y desarrollo urbano (Rodríguez, 2000).

#### **Normas recomendadas:**

El Ordenamiento Ecológico urbano tiene fundamento en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, la Ley de Planeación, diversas leyes federales y locales, el Sistema Nacional de Planeación Democrática y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. En general estas leyes exigen que el Ordenamiento Ecológico del Territorio se incorpore al Plan Nacional de Desarrollo, a los programas sectoriales y a los planes de desarrollo estatal buscando la congruencia, la corresponsabilidad, y la cohesión entre ellos. En:

[http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20ordenamiento/zip/manual\\_poe\\_texto.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/Documents/documentos%20ordenamiento/zip/manual_poe_texto.pdf). Consultado: 11 Enero 2020

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICADOR**

#### **Definiciones y métodos de medición:**

Los datos sobre el cambio de uso de suelo urbano pueden derivarse del mapeo y monitoreo periódicos sobre la base de la información existente sobre la cobertura del suelo; los métodos pueden ser variados desde el uso de imágenes de satélite, datos de catastro urbano, y últimamente con imágenes provenientes de Google Earth. Es importante utilizar una clasificación uniforme del uso del suelo y su cobertura. Para lo anterior se sugiere utilizar los productos geográficos de INEGI.

Para la determinación de los usos de suelo urbano para la ciudad de Chihuahua se utilizan como insumos los archivos vectoriales del Límite de Población, los límites urbanos más recientes de la ciudad de Chihuahua (en este caso se dispone el polígono 2018) y las series de tiempo de usos

el suelo y vegetación de INEGI, Serie III y VI. Para el procesamiento de estas fuentes de datos se pueden utilizar los programas SIG, ArcMap o el software libre QGIS. Las poligonales de límite urbano y límite de la ciudad se utilizan como espacios geográficos para visualizar las coberturas de las Serie III y VI de uso de suelo y vegetación.

#### **Limitaciones del indicador:**

El indicador por sí solo no identifica las causas o presiones que conducen al cambio del uso del suelo. Bajo condiciones de este protocolo, no existen problemas de disponibilidad de datos para esta variable, así como de recurso humano asociado a esta tecnología. Esto bajo un supuesto de imágenes que pueden ser descargadas de plataformas como Landsat y Google Earth.

#### **4. FUENTES DE DATOS**

##### **Datos necesarios para compilar el Indicador:**

Imágenes de diversas plataformas satelitales como Landsat, Sentinel e imágenes provenientes de Google Earth. Los datos vectoriales sobre límites urbanos y límites de población están disponibles en catastro urbano y del Instituto Municipal de Planeación del Municipio de Chihuahua mientras los datos disponibles de INEGI Serie III y VI están disponibles en la página de internet de INEGI.

##### **Referencias:**

Basawaraja, R., K.B Chari., S.R. Mise., y S.B. Chetti. 2011. Analysis of the impact of urban sprawl in altering the land-use, land-cover pattern of Raichur City, India, using geospatial technologies. *Journal of Geography and Regional Planning*. 4: 455-462.

Dávila, R. A., E. A. Z. Corona., A. A. Pinedo., G.R. Jiménez., C. A. Pinedo., R. I. C. Rojas y, A. G. Ranfla. 2016. Marginación y cambio de cobertura y uso del suelo de la zona metropolitana de Chihuahua. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. 67:38-45.

Google: Google earth ver.6.0.1.2032 (beta). En <https://www.google.com/earth/> Consultado 3 Mayo 2018.

Guan, D., H. Li., T. Inohae., W. Su., T. Nagaie y K. Hokao. 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecolo Modell*. 222: 20 - 22.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Uso de suelo y*



vegetación.

En:

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclat/usosuelo/>

Consultado 28 Octubre 2018

Mas, J. F. 2009. La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación Ambiental*, 1: 23-39. 2009.

Rodríguez, J. A. 2000. Geophysical, Geochemical and Remote Sensing Investigation of the Water Resources at the City of Chihuahua, México. Doctoral Dissertation. The University of Texas at El Paso, EUA.

### **APENDICE 3**

Cuadro 7. Indicadores base para variabilidad climática

## IMPACTO DE TEMPERATURA MÁXIMA EXTREMA EN EL BIENESTAR HUMANO

---

Demografía

Temperatura máxima de máxima

### 1. INDICADOR

#### Nombre:

Impacto de temperatura máxima extrema en el bienestar humano.

#### Descripción breve:

Efectos de las temperaturas máximas de máximas en la salud pública y consumo de energía y disponibilidad de agua en cantidad y calidad como componentes del bienestar humano.

#### Unidad de medición:

De acuerdo a los siguientes rangos de Temperaturas Máximas de Máximas:

Riesgo normal\_ 34-36 °C

Bajo\_ 36-38 °C

Medio\_ 38-40 °C

Alto\_ 40-42 °C

Muy Alto\_ 42-45 °C

### 2. PERTINENCIA POLÍTICA

#### Propósito:

La determinación y mapeo de los rangos de Temperaturas Máximas de Máximas permite identificar el rango en el cual esta variable afecta la salud pública, consumo de energía y disponibilidad de agua en la población.

#### Relevancia para el desarrollo sostenible / insostenible:

El creciente desarrollo urbano en los últimos 30 años ha impactado la condición de las subcuencas del Chuvíscar y Sacramento que tienen influencia en el área urbana de la ciudad de Chihuahua y su población. Los esquemas para el desarrollo de la infraestructura asociados al crecimiento demográfico han provocado la creación de las islas urbanas de calor.

Una isla de calor es la una capa de aire sobre una ciudad o un área construida, más calientes que el aire de alrededor. Las temperaturas máximas extremas relacionadas con la localización geográfica, hora del día, estación, forma de la ciudad y funciones de la ciudad, aumenta la demanda de aire acondicionado, niveles de contaminación, aumentan la incidencia de enfermedades y muertes relacionadas al calor.

#### **Normas recomendadas:**

Prevención y diagnóstico del Golpe de Calor en pacientes de 19 a 59 años en el primer nivel de atención. México: Secretaría de Salud, 2012. [www.cenetec.salud.gob.mx/interior/gpc.html](http://www.cenetec.salud.gob.mx/interior/gpc.html).

Ley Estatal de Salud estado de Chihuahua. Última Reforma P.O.E. 2019.05.25/No. 42. En: <http://www.congresochihuahua2.gob.mx/biblioteca/leyes/archivosLeyes/894.pdf>. Consultado 28 Octubre 2018.

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICADOR**

#### **Definiciones y métodos de medición:**

Se utiliza una subescena del Modelo Digital de Elevación y una base histórica de temperaturas máximas de máximas (TMxMx) de 20 estaciones meteorológicas de INIFAP (2005). Los datos de TMxMx se relacionan con la altitud de la estación meteorológica para generar la ecuación predictora bajo el modelo:

$$TMxMx = B_0 + B_1 X_1$$

A  $B_0$  es la ordenada al origen y  $B_1$  es el coeficiente de regresión (indica unidades de cambio en Y por cada unidad de incremento en X).

Los valores del intercepto y la pendiente se escalan mediante el operador matemático pertinente conforme al programa SIG que se vaya a utilizar para generar el mapa preliminar de Temperaturas Máximas de Máximas. Una vez generado el mapa, es necesario utilizar un operador booleano de tipo AND para reclasificar el mapa general en rangos de clases de Temperaturas Máximas de Máximas y así facilitar el análisis.

#### **Limitaciones del indicador:**

La carencia de datos de la variable Temperaturas Máximas de Máximas en estaciones climatológicas. Se requieren datos de al menos seis estaciones climatológicas en el área de influencia de la ciudad de Chihuahua. Bajo condiciones de este protocolo, no existen problemas de disponibilidad de datos para esta variable.

#### 4. FUENTES DE DATOS

##### **Datos necesarios para compilar el Indicador:**

Bases históricas de temperaturas máximas integradas en modelos digitales de elevación (MDE) facilitan la identificación de las islas urbanas de calor. Actualmente también están disponibles modelos digitales de elevación en escala 1:20000.

##### **Referencias:**

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (inifap), 2005. Estadísticas Climatológicas. México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Modelos Digitales de Elevación. En:

<https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=modelos+digitales+de+elevacion> Consultado 11 Enero 2020.

Cuadro 1. Umbrales de TMAXMAX en diferentes estaciones de la ciudad de Chihuahua

<b>Nombre de Estación</b>	<b>Altitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>TMAXMAX</b>
Campana	1570	3214277.45	353958.715	48
Ojinaga	841	3270733.74	556505.602	50
Májala	2090	3245477.69	370543.583	38
Cd. Cuauhtémoc	2010	3144579.12	318786.945	46
Anáhuac	1994	3149972.93	328664.591	37.5
Chih. Universidad	1427	3175040.05	395802.88	41.4
L. Cárdenas	1199	3140388.8	439259.094	45
Mequí	1115	3126648.37	452593.726	47.6
P. Chihuahua	1595	3265652.07	383699.328	41.3
P. Rejón	1480	377815.255	3167827.56	41
La Mesa	1357	4056468.00	3184189.42	42
Belisario Domínguez	1610	355062.995	3115204.56	43.1
Gral. Trías	1630	367611.842	3134726.57	39
Norteña M.	2000	314415.667	3177899.45	50
Satevò	1398	390149.859	3091993.94	45
P. Fco. I. Madero	1240	434560.845	3117518.72	43
Las Burras	1096	459234.771	3156181.57	45
Lajas	1570	310170.221	3312844.51	44

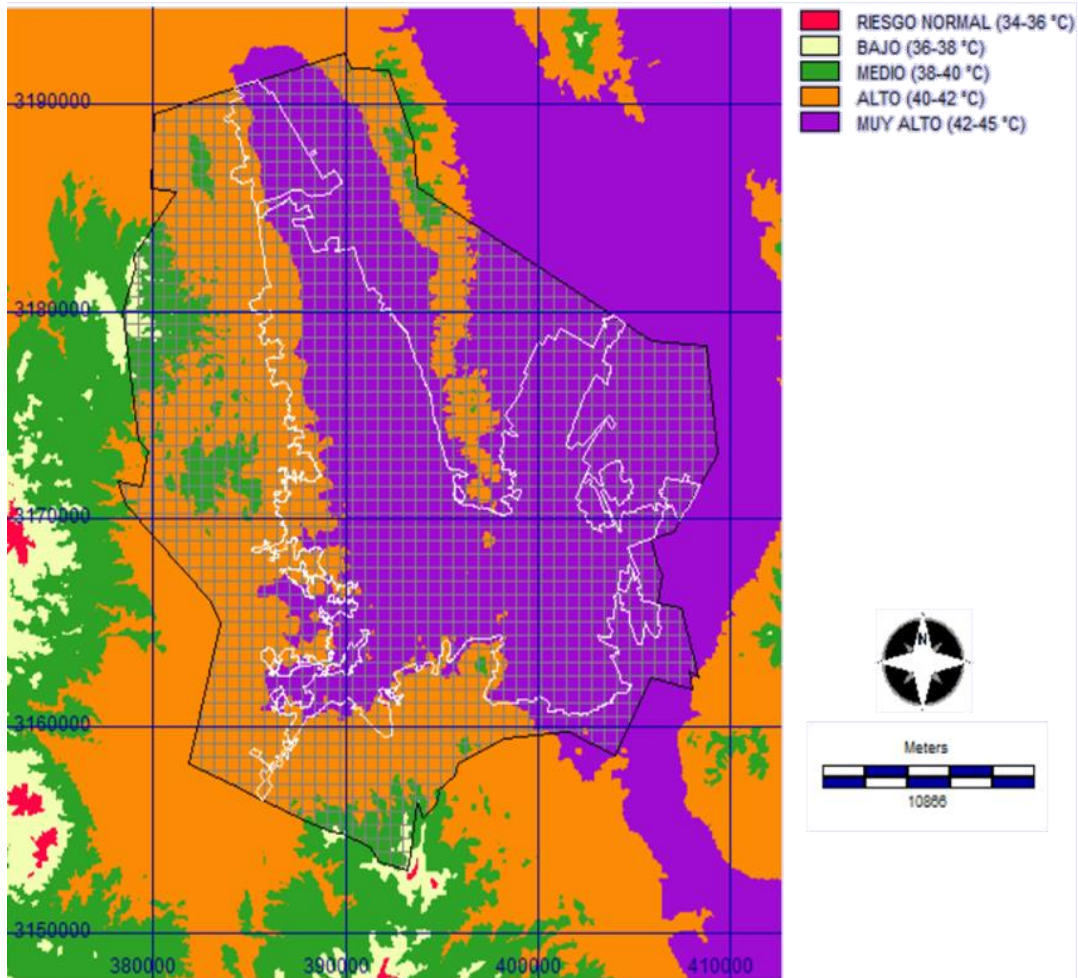


Figura 1. Umbrales de TMAXMAX en la ciudad de Chihuahua durante el periodo 1963 - 2003.

## IMPACTO DE TEMPERATURA MÍNIMA EXTREMA EN EL BIENESTAR HUMANO

Demografía

Temperatura mínima de mínima

### 1. INDICADOR

**Nombre:**

Impacto de temperatura mínima extrema en el bienestar humano.

**Descripción breve:**

Las temperaturas mínimas extremas presentes en la época invernal en la ciudad de Chihuahua tienen un impacto negativo en la salud pública y en los índices de contaminación atmosférica.

**Unidad de medición:**

De acuerdo al mapa de rangos de Temperaturas Mínimas de Mínimas para la ciudad de Chihuahua:

Riesgo Medio\_ -6 - -7 °C

Alto\_ -7 - -8 °C

Muy Alto\_ -8 - -9 °C

### 2. PERTINENCIA POLÍTICA

**Propósito:**

La disponibilidad del mapa de riesgos a la presencia de Temperaturas Mínimas de Mínimas facilita identificar las áreas de riesgo urbano de la ciudad de Chihuahua como un apoyo a los programas de planeación urbana que incluye la consideración de los elementos de salud pública y contaminación atmosférica relacionados con la presencia de ondas frías y/o fenómenos de inversión térmica.

**Relevancia para el desarrollo sostenible / insostenible:**

Las grandes ciudades y aquellas de rápido crecimiento poblacional y urbano, tienden a generar una alta densidad poblacional, un aumento en el parque vehicular y un continuo crecimiento del sector industrial y comercial. Por lo tanto, es de esperarse un aumento en los problemas ambientales, destacando la contaminación del aire y presencia de enfermedades de tipo respiratorio. Además de este crecimiento geo demográfico y de bienes de consumo, un factor meteorológico que



contribuye a ésta, son las inversiones térmicas (ITs) debido a que limitan la mezcla vertical del aire y atrapan los contaminantes debajo de la capa de inversión (Molina y Molina, 2005). En relación a ello, la cantidad de contaminantes en el aire, el espacio en el que se dispersan y los mecanismos de eliminación, son factores determinantes en el grado de contaminación (Nebel y Wright, 1999).

La inversión térmica (IT) es un fenómeno natural que se caracteriza por un cambio en la tendencia normal del aire al enfriarse con la altitud; cuando existe ésta, la temperatura aumenta con la altitud en determinado estrato atmosférico. Este aumento térmico puede producirse desde la superficie o a partir de una cierta altura. La IT se vuelve peligrosa en una zona urbana debido a que la capa de aire caliente que cubre la región impide el desarrollo de corrientes de aire ascendentes que dispersen los contaminantes. Esta situación se agrava en presencia de masas de aire de alta presión que propician una inversión prolongada durante varios días. Los contaminantes del aire en la superficie llegan a concentrarse hasta llegar a valores nocivos o letales para los seres vivos. Una IT es peligrosa porque acentúa los efectos dañinos de las islas de calor y las cúpulas de polvo que se forman sobre las áreas urbanas (Alfaro et al., 2008).

#### **Normas recomendadas:**

Ley General de Salud. Secretaría de Salud. México. Fecha de publicación 17 de agosto de 2015. En: <https://www.gob.mx/salud/articulos/ley-general-de-salud>. Consultado 11 Enero 2020.

Ley Estatal de Salud estado de Chihuahua. Última Reforma P.O.E. 2019.05.25/No. 42. En: <http://www.congresochoihuahua2.gob.mx/biblioteca/leyes/archivosLeyes/894.pdf>. Consultado 11 Enero 2020.

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICADOR**

#### **Definiciones y métodos de medición:**

Se elabora una base de datos a partir del promedio de los meses más fríos (diciembre, enero y febrero) para obtener la variable de temperatura mínima invernal (TInvernal). Los datos de esta variable se obtienen a partir de las estadísticas climatológicas básicas de los últimos 30 años editadas por INIFAP (2005). La base de datos se organiza en Excel y se exporta al programa MINITAB o cualquier otro para su análisis estadístico. Se utiliza una subescena del Modelo Digital de Elevación y la base histórica de temperaturas mínimas de mínimas (TMinMin) de al menos 15 estaciones meteorológicas. Los datos de TMinMin se relacionan

con la altitud de la estación meteorológica para generar la ecuación predictora bajo el modelo:

$$T_{\text{Invernal}} = B_0 + B_1 X_1$$

$B_0$  es la ordenada al origen y  $B_1$  es el coeficiente de regresión (indica unidades de cambio en Y por cada unidad de incremento en X).

Los valores del intercepto y la pendiente se escalan mediante el operador matemático pertinente conforme al programa SIG que se vaya a utilizar para generar el mapa preliminar de Temperaturas Mínimas de Mínimas. Una vez generado el mapa, es necesario utilizar un operador booleano de tipo AND para reclasificar el mapa general en rangos de clases de Inversión Térmica.

#### **Limitaciones del indicador:**

Bajo condiciones de este protocolo, no existen problemas de disponibilidad de datos para esta variable. Esto bajo en supuesto de la continua existencia de las estaciones climatológicas y la colecta de los valores de la variable pertinente.

## **4. FUENTES DE DATOS**

#### **Datos necesarios para compilar el Indicador:**

Bases históricas de temperaturas mínimas de mínimas integradas en Modelos Digitales de Elevación (MDE) que facilitan el mapeo de las áreas y vulnerabilidad a procesos de inversión térmica. Actualmente también están disponibles MDE en escala 1:20,000.

#### **Referencias:**

Alfaro, B., Limón R., Martínez T., Ramos, G., Reyes, A. y Tijerina, M. (2008): Ciencias del ambiente. Ed. Patria. 363 pp. México.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (inifap). 2005. Estadísticas Climatológicas. México.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Modelos Digitales de Elevación. En: <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=modelos+digitales+de+elevacion> Consultado 11 Enero 2020.

Molina L. T. y M. J. Molina (2005): La calidad del aire en la mega ciudad de México. Un enfoque integral. Fondo de Cultura Económica, 2005. 463 páginas. México.

Nebel, B. J. y R. T. Wright. 1999. Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible. Pearson – Prentice Hall. 720 páginas. México.

Cuadro 1. Umbrales de T<sub>min</sub> Inv en diferentes estaciones de la ciudad de Chihuahua

<b>Nombre de Estación</b>	<b>Altitud</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>T MinInv</b>
Campana	1570	3214277.45	353958.715	-4.37
Ojinaga	841	3270733.74	556505.602	4.07
Majalca	2090	3245477.69	370543.583	-1.67
Cd. Cuauhtémoc	2010	3144579.12	318786.945	-1.37
Anáhuac	1994	3149972.93	328664.591	-3.17
Chih.	1427	3175040.05	395802.88	2.97
Universidad				
L. Cárdenas	1199	3140388.8	439259.094	0.30
Meoquí	1115	3126648.37	452593.726	3.83
P. Chihuahua	1595	3265652.07	383699.328	2.23
P. Rejón	1480	377815.255	3167827.56	1.06
La Mesa	1357	4056468.00	3184189.42	0.73
Belisario	1610	355062.995	3115204.56	-1.83
Domínguez				
Gral. Trías	1630	367611.842	3134726.57	-0.96
Norteña M.	2000	314415.667	3177899.45	0.8
Satevò	1398	390149.859	3091993.94	0.8
P. Fco. I. Madero	1240	434560.845	3117518.72	3.23
Las Burras	1096	459234.771	3156181.57	0.80
Lajas	1570	310170.221	3312844.51	0.43

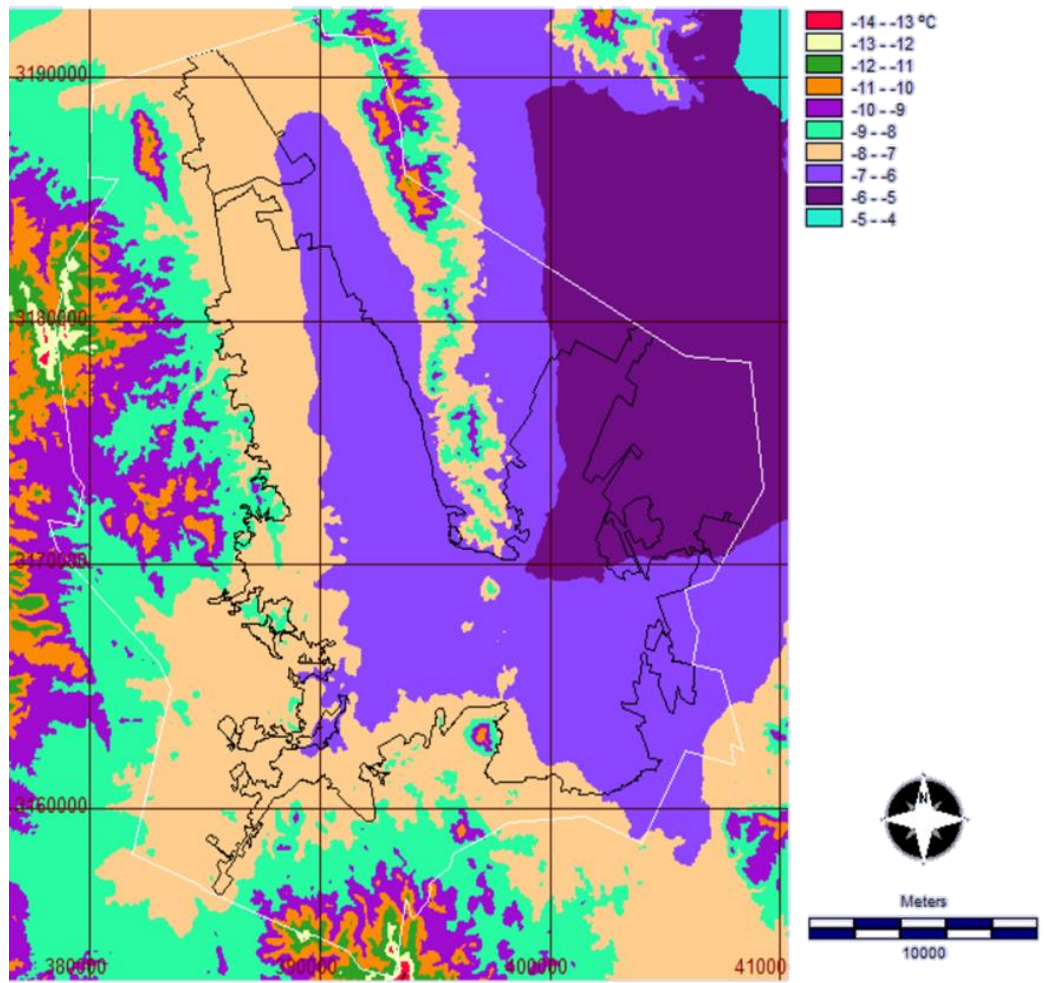


Figura 1. Umbrales de TInvernal en la ciudad de Chihuahua durante el periodo 1963-2003.

## EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO

---

Emisión de gases

Presión atmosférica

### 1. INDICADOR

#### Nombre:

Emisión de Gases Efecto Invernadero.

#### Descripción breve:

Emisiones, magnitud y la tendencia de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a la atmósfera asociada al cambio climático en la ciudad Chihuahua en periodos de tiempo.

#### Unidad de medición

Toneladas de CO<sub>2</sub> por habitante.

### 2. PERTINENCIA POLÍTICA

#### Propósito:

Para poder disminuir la vulnerabilidad ante el cambio climático ocasionado por las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera, es importante conocer su magnitud y tendencia en la ciudad de Chihuahua con el fin de generar estrategias puntuales de mitigación.

#### Relevancia para el desarrollo sostenible / insostenible:

El cambio climático se presenta como una consecuencia de las emisiones excesivas de GEI en la atmósfera, de aquí la importancia de conocer el inventario existente en la ciudad de Chihuahua, los efectos y las tendencias de la presión generada a la atmósfera por estas emisiones. El 40% de los ecosistemas terrestres aproximadamente y gran parte de los océanos han sido transformados para el servicio de los seres humanos a costa de la sobrevivencia de otras especies y de la pérdida de servicios ecosistémicos críticos (Power, 2010; Cardinale *et al.*, 2012)

Los principales GEI emitidos por las actividades antropogénicas a nivel mundial son el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Globalmente, la causa principal del incremento en las emisiones de éstos GEI son las actividades relacionadas con el sector energético que representan 26% de las emisiones, seguido del sector industrial (19%), forestal (17%), agrícola (14%), residencial y comercial (8%) y de manejo de desechos (3%) (IPCC, 2013). Se estima que en el municipio de Chihuahua las emisiones de GEI en el 2010 fueron de 14 millones 286,951.57 ton. de CO<sub>2</sub> eq. (PACMUN, 2015)

### **Normas recomendadas:**

Ley General de Cambio Climático. En: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC\\_130718.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf)

Consultado 11 Enero 2020.

Plan de Acción Climática Municipal Chihuahua. En: [https://implanchihuahua.org/IMPLAN-Datos/PDU2040/pdf/PDU2040\\_2016/MEDIO%20AMBIENTE/PACMUN%20CHIHUAHUA](https://implanchihuahua.org/IMPLAN-Datos/PDU2040/pdf/PDU2040_2016/MEDIO%20AMBIENTE/PACMUN%20CHIHUAHUA). Consultado 11 Enero 2020.

Programa Estatal de Cambio Climático. En: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164901/1ra\\_Etapa\\_PCC\\_Chih\\_Reporte\\_final\\_presentado\\_marzo\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164901/1ra_Etapa_PCC_Chih_Reporte_final_presentado_marzo_2015.pdf). Consultado 11 Enero 2020.

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICADOR**

#### **Definiciones y métodos de medición:**

Los datos sobre las emisiones de GEI pueden obtenerse del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y de la información existente de Emisiones de gases de efecto invernadero en Chihuahua y proyecciones de casos de referencia 1990-2025.

Para la determinación de emisiones de CO<sub>2</sub> por habitante en la ciudad de Chihuahua se obtiene dividiendo las emisiones totales de CO<sub>2</sub> por la población de la zona urbana de Chihuahua insumo dado por los datos de población y vivienda del INEGI

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ por habitante} = A_i/B_i$$

donde:

A<sub>i</sub> = Emisiones totales de CO<sub>2</sub> (miles de toneladas)

B<sub>i</sub> = Población total (miles de habitantes)

#### **Limitaciones del indicador:**

La escases de inventarios precisos o la inconsistencia de un monitoreo periódico de gases de efecto invernadero (GEI) y la falta de información actualizada de la población en un periodo dado se presenta como limitante para la operatividad de este protocolo.

#### 4. FUENTES DE DATOS

##### **Datos necesarios para compilar el Indicador:**

Las emisiones de gases de efecto invernadero en la ciudad de Chihuahua se pueden obtener del Programa Estatal de Cambio Climático y del Plan de Acción Climática Municipal. Como complemento a la información se puede acceder a los datos históricos disponibles en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGI). Y de los datos relacionados con la población urbana puede estimarse a través de los datos decadales del INEGI.

##### **Referencias:**

Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G. M. Mace, D. Tilman, D. A. Wardle, A. P. Kinzig, G. C. Daily, M. Loreau, J. B. Grace, A. Larigauderie, D. S. Srivastava, and S. Naeem. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59-67.

Cardinale, B. J., J. E. Duffy, A. Gonzalez, D. U. Hooper, C. Perrings, P. Venail, A. Narwani, G. M. Mace, D. Tilman, D. A. Wardle, A. P. Kinzig, G. C. Daily, M. Loreau, J. B. Grace, A. Larigauderie, D. S. Srivastava, and S. Naeem. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486: 59-67.

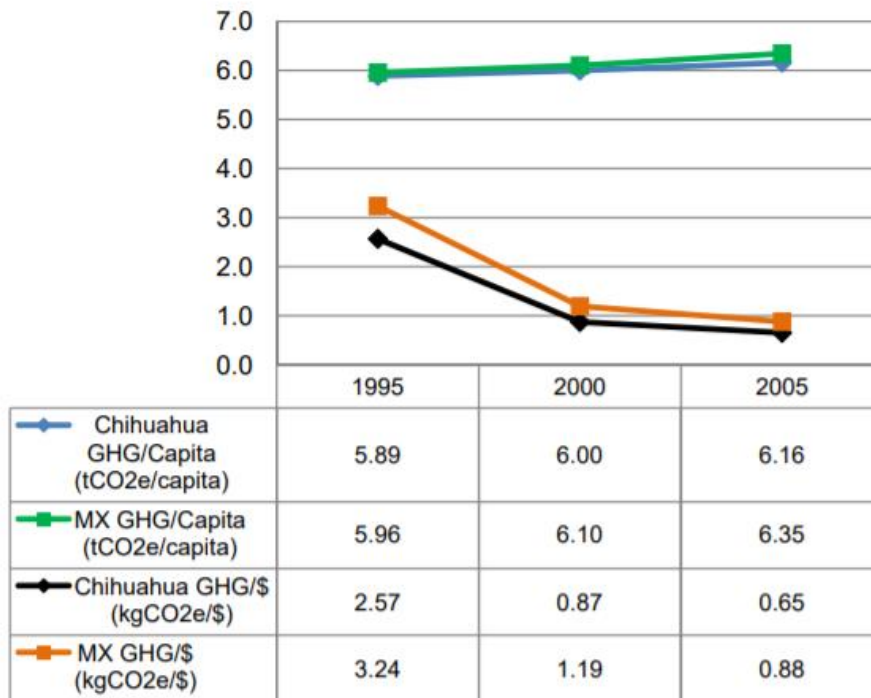
Daniel Chacón Anaya, María Elena Giner, Mario Vázquez Valles, Stephen M. Roe, Juan A. Maldonado, Holly Lindquist, Brad Strode, Rachel Anderson, Cristina Quiroz, Jackson Schreiber. 2010. Emisiones de gases de efecto invernadero en Chihuahua y proyecciones de casos de referencia 1990- 2025 / 1ª. ed. Ciudad Juárez, Chih.: Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, 127p.; 27 cm.

Emisiones de gases de efecto invernadero en Chihuahua y proyecciones de casos de referencia 1990- 2025 / Daniel Chacón Anaya, María Elena Giner, Mario Vázquez Valles, Stephen M. Roe, Juan A. Maldonado, Holly Lindquist, Brad Strode, Rachel Anderson, Cristina Quiroz, Jackson Schreiber. 1ª. ed. Ciudad Juárez, Chih.: Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza, 2010. 127p.; 27 cm.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK.

Plan de Acción Climática Municipal Chihuahua (PACMUN). 2015. Primera Edición H. Ayuntamiento de Chihuahua 2013-2016.





Tomado de: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Chihuahua y proyecciones de casos de Referencia 1990-2025.

Figura 1. Emisiones Brutas de GEI Históricas Basadas en la Producción en Chihuahua y a Nivel Nacional *per cápita* y por Unidad de Derrama Económica.

## EMISIONES DE BIÓXIDO DE CARBONO

---

Inventario de emisiones

Contaminación

### 1. INDICADOR

**Nombre:**

Impacto de las Emisiones de Bióxido de Carbono

**Descripción breve:**

La concentración de las emisiones de bióxido de carbono está teniendo un fuerte incremento en la atmosfera y sigue creciendo sin precedentes ocasionando impactos negativos en el ambiente y en la salud de los humanos.

**Unidad de medición:**

Partes por millón (ppm). Cada millón de moléculas que contiene una muestra de aire.

### 2. PERTINENCIA POLÍTICA

**Propósito:**

La disponibilidad del registro de bióxido de carbono presente en la atmosfera permitirá dar mayor importancia de la regulación de estos gases presentes y los problemas que ocasiona en la salud y al medio ambiente del entorno urbano de la ciudad d Chihuahua.

**Relevancia para el desarrollo sostenible / insostenible:**

El exceso de dióxido de carbono es el principal causante del calentamiento global, impactos en la salud humana y su influencia en la variabilidad de las condiciones climáticas presentes en la ciudad de Chihuahua como son los casos de sequía y climas extremosos. El dióxido de carbono juega un papel preponderante en el agravamiento del fenómeno del calentamiento global, y el estudio de sus determinantes ha sido en los últimos años objeto de numerosos trabajos teóricos y empíricos (Dietz y Rosa, 1997; Duro Moreno y Padilla, 2005; Ezcurra, 2006), y de otra gama de trabajos que elabora predicciones sobre la evolución de las emisiones a mediano y largo plazo (Ravallion et al., 2000; Heil and Selden, 2001; Keller, Miltich y Robinson, 2007). El aumento de las temperaturas diurnas y los niveles mas altos de contaminacion del aire asociados con

las islas de calor urbanas pueden afectar la salud y confort humanos al contribuir a la presencia de dificultades respiratorias, los calambres y al agotamiento por calor, el golpe de calor no mortal y la mortalidad relacionada por el calor (Center for Disease Control and Prevention, 2006). Las concentraciones de bioxido de carbono aumenta la variabilidad en las temperaturas extremas frías que tienen especial repercusión en la salud de la población aunado a problemas respiratorios debido a complicaciones por procesos de inversión térmica.

#### **Normas recomendadas:**

Ley Estatal de Salud estado de Chihuahua. Última Reforma P.O.E. 2019.05.25/No. 42.

<http://www.congresochihuahua2.gob.mx/biblioteca/leyes/archivosLeyes/894.pdf>. Consultado 11 Enero 2020.

Ley General de Cambio Climático.  
[http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC\\_130718.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_130718.pdf)

Plan de Acción Climática Municipal Chihuahua.  
[https://implanchihuahua.org/IMPLAN-Datos/PDU2040/pdf/PDU2040\\_2016/MEDIO%20AMBIENTE/PACMUN%20CHIHUAHUA\\_2016.pdf](https://implanchihuahua.org/IMPLAN-Datos/PDU2040/pdf/PDU2040_2016/MEDIO%20AMBIENTE/PACMUN%20CHIHUAHUA_2016.pdf)

Programa Estatal de Cambio Climático.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164901/1ra\\_Etapa\\_PE\\_CC\\_Chih\\_Reporte\\_final\\_presentado\\_marzo\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164901/1ra_Etapa_PE_CC_Chih_Reporte_final_presentado_marzo_2015.pdf)

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICADOR**

#### **Definiciones y métodos de medición:**

Para determinar cambios en la existencia de emisiones de CO<sub>2</sub> se pueden aplicar varios enfoques:

Método de la diferencia en las existencias: Este método estima la diferencia en las existencias de carbono medidas en dos momentos distintos y da lugar a las estimaciones de los niveles 1 y 2 del IPCC (Kauffman et al. 2014).

Método del aumento y de la pérdida: Este método estima la diferencia en las existencias de carbono en función de los factores de emisión de actividades específicas (por ejemplo, plantaciones, drenajes, deforestación) derivados de la literatura científica y de los datos y resultados de actividades en la ciudad y puede dar lugar a estimaciones de los niveles 2 y 3 del IPCC (IPCC 2013).

Además, medir directamente las emisiones de GEI por el Método del flujo: Este método estima el flujo de GEI entre el suelo, la vegetación y

la atmósfera/columna de agua mediante mediciones directas o por modelos de resultados en estimaciones de niveles 2 y 3.

**Limitaciones del indicador:**

La mayor dificultad se puede presentar en aquellos sectores denominados difusos como lo es el transporte y la climatización.

**4. FUENTES DE DATOS**

**Datos necesarios para compilar el Indicador:**

Las emisiones de bióxido de carbono se pueden obtener del Programa Estatal de Cambio Climático y del Plan de Acción Climática Municipal. Como complemento a la información se puede acceder a los datos históricos disponibles en el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INEGEI).

**Referencias:**

Center for Disease Control and Prevention. 2006. Extreme Heat: A Prevention Guide to Promote Your Personal Health and Safety.

Dietz, T. y E. A. Rosa. 1997. Effects of population and affluence on CO<sub>2</sub> emissions. Proceedings of the national Academy of Sciences USA 94: 175-179.

Duro, J. A. y E. R. Padilla. 2005. Análisis de los factores determinantes de las desigualdades internacionales en las emisiones de CO<sub>2</sub> *per cápita* aplicando el enfoque distributivo: una metodología de descomposición por factores de Kaya. PT 25/05, Instituto de Estudios Fiscales. Barcelona, España.

Chacón, D., M. E. Giner, M. Vázquez, S. M. Roe, J. A. Maldonado, H. Lindquist, B. Strode, R. Anderson, C. Quiroz y J. Schreiber. 2010. Emisiones de gases de efecto invernadero en Chihuahua y proyecciones de casos de referencia 1990- 2025. 1ª. ed. Ciudad Juárez, Chih.: Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza 127p.

Ezcurra, R. 2007. Is there cross-country convergence in carbon dioxide emissions? Energy Policy 35: 1363-1372.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Stocker, T. F., D. Qin, G. K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, UK.

- Keller, K., L. I. Miltich, A. Robinson y R. S. J. Tol. 2007. How Overconfident Are Current Projections of Anthropogenic Carbon Dioxide Emissions?., FNU-124, Working Papers, Research Unit Sustainability and Global Change, Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science.
- Ravallion, M., M. Heil y J. Jalan. 2000. Carbon emissions and Income Inequality. Oxford Economic Papers 2000, Oxford University Press. 52: 651-669.

## **APENDICE 4**

Cuadro 8. Indicadores base para suministro de recursos hídricos

## CONSUMO DE AGUA POTABLE SUFICIENTE PARA LA POBLACIÓN

Social

Salud

Consumo *per cápita*

### 1. INDICADOR

**Nombre:**

Consumo de agua potable suficiente para la población

**Descripción breve:**

Consumo *per cápita* de agua por los habitantes de la ciudad de Chihuahua de acuerdo a la demanda y suministro hídrico.

**Unidad de medición:**

l/día

### 2. PERTINENCIA POLÍTICA

**Propósito:**

El crecimiento acelerado de la población urbana plantea retos entre los cuales el suministro de agua y saneamiento son los más urgentes y los cuales impactan en la salud urbana de los habitantes. El monitoreo del progreso en la accesibilidad de la población a fuentes potables de agua en cantidad y calidad coadyuva en el conocimiento del comportamiento del balance hídrico determinado por la demanda y el suministro de agua *per cápita*. Este proceso determinará los posibles déficits de agua.

**Relevancia para el desarrollo sostenible / insostenible:**

La accesibilidad a fuentes de agua potable es de importancia fundamental para reducir los riesgos de salud pública, principalmente por riesgos de golpes de calor, contaminación fecal y la frecuencia de enfermedades asociadas. La falta de agua potable y saneamiento trae como consecuencia enfermedades fecal-orales, como la diarrea, y brotes de malaria y cólera. Su asociación con otras características socioeconómicas, incluida la educación y los ingresos, lo convierte en un buen indicador de desarrollo humano a escalas de un área Geoestadística Básica (AGEB) o de una colonia. Cuando se desglosa por criterios geográficos (como zonas periurbanas, rurales o urbanas), sociales o económicos, proporciona información útil sobre cuestiones de equidad. Sin embargo, este planteamiento sostenible dependerá de los posibles déficits de agua conforme a las prácticas de monitoreo.

### **Normas recomendadas:**

Ley General de Salud. Secretaría de Salud. México. Fecha de publicación 17 de agosto de 2015. En: <https://www.gob.mx/salud/articulos/ley-general-de-salud>. Consultado 11 Enero 2020.

Ley Estatal de Salud estado de Chihuahua. Última Reforma P.O.E. 2019.05.25/No. 42. En: <http://www.congresochihuahua2.gob.mx/biblioteca/leyes/archivosLeyes/894.pdf>. Consultado 11 Enero 2020.

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA PARA LA OBTENCIÓN DEL INDICADOR**

Este indicador requiere precisar algunos elementos;

**3.1. Población cubierta con el servicio.** Se refiere a la población urbana y periurbana atendida por conexiones de servicios de toma o bien sin conexiones domiciliarias, pero con acceso razonable a otras fuentes.

**3.2. Acceso razonable al agua.** En casos extremos no más de 100 metros desde la casa habitación a cualquier otra fuente mejorada de agua potable que proporcione al menos 225 litros *per cápita* por día (l/hab/día). Esta será la cantidad de agua necesaria para satisfacer los requerimientos de alimentación, higiene y usos domésticos por persona.

**3.3. Agua Segura.** El agua debe de estar libre de agentes biológicos o químicos en niveles de concentración perjudiciales para la salud conforme a las normas estatales, nacionales e internacionales como los emitidos por la OMS. Es probable que las aguas superficiales tratadas y el agua como la de perforaciones protegidas, manantiales y pozos sanitarios sean seguras. Las aguas superficiales no tratadas, como arroyos y lagos, deben considerarse seguras solo si la calidad del agua es monitoreada regularmente y considerada aceptable por los funcionarios de salud pública.

#### **Método:**

La eficiencia física es igual al volumen que se suministra menos el volumen que se pierde por fugas en la red de distribución y considerando que cada m<sup>3</sup> que se extrae o suministra a la red solo llega al usuario 600 l (60% de eficiencia física). La demanda total es igual a la dotación real requerida por el usuario para la satisfacción de sus necesidades y que va acorde a las características de la comunidad como clima, nivel socioeconómico, etc., considerando una demanda total en promedio para la ciudad de Chihuahua de 300 litros/habitante/día. El balance hídrico es la diferencia entre la demanda total y el suministro. A través de esta relación se obtiene el déficit de agua.



En el Cuadro posterior se puede observar como a lo largo de los años se ha mantenido un crecimiento poblacional que ha superado las capacidades del organismo operador de satisfacerlas demandas de agua. El año de 1975 se dispuso de una dotación a la población superior a la que establecen todas las normas (240 l/hab/día). En la década de los 80's, la población incrementó en un 50% y para los 90's se había duplicado; en los años 80's fue cuando se implementó en la ciudad zonas con horario de servicio de agua intermitente, es por eso que la dotación otorgada a la población disminuyó sustancialmente (131 l/hab/día). Además, aunado a la caída en la dotación otorgada se generaron mayores problemas ocasionados por el suministro intermitente del agua, por lo que las pérdidas físicas aumentaron llegando a establecer un consumo de 79 l/hab/día.

### **Limitaciones del indicador**

La existencia de conexión de una fuente de agua hacia una vivienda es un indicador de la disponibilidad de agua potable. Sin embargo, la existencia de una salida de agua no garantiza en sí misma que el agua siempre estará disponible o será segura, o que las personas siempre utilicen esas fuentes. El sistema de tandeos por tiempo puede considerarse como unas fuentes seguras o bien el acceso continuo a una fuente segura de agua a una distancia razonable. Cuando el acceso al agua es intermitente entre días, la disponibilidad de agua se considera como insegura. Igualmente, cuando la demanda *per cápita* mínima no es satisfecha (300 lts/día/) se considera como un déficit de agua.

## **4. FUENTES DE DATOS**

### **Datos necesarios para compilar el Indicador:**

Bases históricas del número de habitantes relacionadas con las demandas y suministros de agua de uso doméstico.

### **Referencias:**

Athié, M.L. 1987. Calidad y Cantidad de agua en México. Universo Veintiuno, A.C. México.

CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2018. Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050. En: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050> Consultado 25 Febrero 2019.

- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2019. Población. En <https://www.inegi.org.mx/temas/estructura/>. En <https://asinoticias.mx/2017/07/12/ya-somos-un-millon-en-la-capital-de-chihuahua/>). Consultado en Marzo 2019.
- Junta Central de Agua y Saneamiento (JCAS). En <http://www.chihuahua.gob.mx/jcas/>
- Ley del Agua del Estado de Chihuahua Última Reforma POE 2021.03.24/No. 2. H. Congreso del Estado Secretaría de Asuntos Legislativos y Jurídicos Biblioteca Legislativa “Carlos Montemayor Aceves”.
- Orduño, T. M. A. 2015. Análisis del estado actual del abastecimiento de agua de la Ciudad de Chihuahua como base para impulsar esquemas de utilización de agua de lluvia. Trabajo de Fin de Master. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Rodríguez, J. A. 2000. Geophysical, Geochemical and Remote Sensing Investigation of the Water Resources at the City of Chihuahua, México. Doctoral Dissertation. The University of Texas at El Paso, EUA.

Cuadro 1. Crecimiento Poblacional y consumo de agua

Año	Población	Dotación otorgada (oferta/población)	Consumo= (dotación *eficiencia física)	Demanda total	
		l/día	l/día	l/día	m <sup>3</sup> /día
1975	321315	497	298	96,394,500	96,395
1985	450603	138	83	135,180,900	135,181
1995	613722	131	79	184,116,600	184,117
2005	748518	152	91	224,555,400	224,555
2015	836400	140	84	250,920,000	250,920
2020	925762	131	79	277,728,600	277,729

Año	Suministro= Oferta			Déficit de agua urbana	Déficit de agua
	lps	l/día	m <sup>3</sup> /día	m <sup>3</sup> /día	%
1975	1850	159,840,000	159,840		
1985	1972	62,188,992	62,189	-72,992	46
1995	2548	80,353,728	80,354	-103,763	44
2005	3610	113,844,960	113,845	-110,710	51
2015	3723	117,408,528	117,409	-133,511	47
2020	3850	121,413,600	121,414	-156,315	44