



Desarrollo de Estrategias de Adaptación al Cambio Climático en Municipios Vulnerables del Noroeste de México

(2do Informe de Actividades)

Autores: Ana Lilia Magaña*, A. Eduardo Morales Santos*, Roberto A. Sánchez Rodríguez*

Afiliación institucional: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), El Colegio de la Frontera Norte (COLEF*)

Convenio No. INECC/A1-009/2014

2do informe de actividades: Análisis de clima regional e historia, escenarios de cambio climático (2015-2039 y 2070-2099, RCP 4.5 y 8.5

Fecha: 10 de noviembre de 2014









Contenido

1.	V ariabili	dad climática en la región Noroeste	l
		ografía en la Región Noroeste	
1		abilidad anual en la región Noroeste	2
	1.2.1.	Temperatura máxima y mínima promedio anual en la región Noroeste	2
	1.2.2.	Precipitación total anual en la región Noroeste	
1	.3. Var	abilidad mensual en la región Noroeste	
	1.3.1.	Temperatura promedio mensual en la región Noroeste	5
	1.3.2.	Precipitación total mensual en la Región Noroeste	
2.		dad climática en Baja California	
2	2.1. Top	ografía en el estado de Baja California	6
2	2.2. Vari	abilidad anual en Baja California	
	2.2.1.	Temperatura máxima y mínima promedio anual en Baja California	7
	2.2.2.	Precipitación total anual en Baja California	
2		abilidad mensual en Baja California	
	2.3.1.	Temperatura promedio mensual en Baja California	
	2.3.2.	Precipitación total mensual en Baja California	
3.		dad Climática en Tijuana	
3		abilidad anual en Tijuana, Baja California	
	3.1.1.	Temperatura máxima y mínima promedio anual en Tijuana, Baja California	
	3.1.2.	Precipitación total anual en Tijuana, Baja California	
3		abilidad mensual en Tijuana, Baja California	
	3.2.1.	Temperatura máxima y mínima promedio mensual en Tijuana, Baja California	
	3.2.2.	Precipitación total mensual en Tijuana, Baja California	
4.		os de Cambio Climático	
		dación modelos REA	
	4.1.1.	Validación de los datos REA de Temperatura máxima para la región Noroeste	
	4.1.2.	Validación de los datos REA de Temperatura mínima para la región Noroeste	
	4.1.3.	Validación de los datos REA de Precipitación para la región Noroeste	
2	•	vecciones de Cambio Climático para la región Noroeste	
	4.2.1.	Proyecciones de Temperatura máxima para la región Noroeste	
	4.2.2.	Proyecciones de Temperatura mínima para la región Noroeste	
_	4.2.3.	Proyecciones de Precipitación para la región Noroeste	
5.		os de Cambio Climático para Baja California	
5		dación de los Modelos REA de Temperatura Máxima para Baja California	
	5.1.1.	Validación de los Modelos REA de Temperatura Mínima para Baja California	
	5.1.2.	Validación de los Modelos REA de Precipitación para Baja California	
5		vecciones de Cambio Climático para Baja California	
	5.2.1.	Proyecciones de Temperatura máxima para Baja California	33





5.2.2.	Proyecciones de Temperatura mínima para Baja California	35
5.2.3.	Proyecciones de Precipitación para Baja California	38
5.3. Proy	vecciones espaciales de Cambio Climático para el municipio Tijuana	
5.3.1.	Proyecciones espaciales de temperatura máxima para Tijuana	42
5.3.2.	Proyecciones espaciales de temperatura mínima para Tijuana	44
5.3.3.	Proyecciones espaciales de precipitación para Tijuana	45
Referencias		47
Anexo A	: Registros diarios de temperatura en Baja California	48
Anexo a:	Temperatura Diaria en Baja California, 1961-2008	48
	: Registros diarios de precipitación en Baja California	
	Precipitación en Baja California, 1961-2008	
Anexo C	: Registros de precipitación diaria en la estación 2038 Presa Rodríguez BC	50
	Precipitación diaria en Abelardo, 1929-2011	
	: Registros de precipitación diaria en la estación 2068 Tijuana, BC	
Anexo d:	Precipitación diaria en Tijuana, 1949-1984	51
Anexo E	Estimación de las diferencias en los niveles de precipitación de la estación 2038 Presa	
Rodrígue	z BC, respecto de la estación 2068 Tijuana, BC	52
	Diferencias entre la Precipitación diaria en la estación climatológica Tijuana y la de Presa	ı
Abelardo	, 1948-1984	52

Mapas

Mapa 1. Topografía de la Región Noroeste de México	1
Mapa 2: Temperatura máxima promedio anual en la región noroeste, 1961-2008	2
Mapa 3: Temperatura mínima promedio anual en la región noroeste, 1961-2008	3
Mapa 4: Precipitación total anual en la región noroeste, 1961-2008	4
Mapa 5: Topografía del estado de Baja California	6
Mapa 6: Temperatura máxima promedio anual en Baja California*, 1961-2008	8
Mapa 7: Temperatura mínima promedio anual en Baja California*, 1961-2008	9
Mapa 8: Precipitación total anual en Baja California*, 1961-2008	.10
Mapa 9: Estaciones climatológicas seleccionadas en Tijuana, Baja California	12
Mapa 10: Proyecciones de Temperatura máxima promedio anual para la región Noroeste para el futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099) según escenarios de baja emisiones (RCP 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5)	24
Mapa 11: Proyecciones de Temperatura mínima promedio anual para la región Noroeste para el futuro	.47
cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099) según escenarios de baja emisiones (RCP 4.5) y de	
altas emisiones (RCP 8.5)	26
Mapa 12: Proyecciones de Precipitación total anual para la región Noroeste para el futuro cercano (2015	
2039) y el futuro lejano (2075-2099) según escenarios de baja emisiones (RCP 4.5) y de altas emisiones	
(RCP 8.5)	28





Mapa 13: Proyecciones de Temperatura máxima promedio anual para el estado de Baja Ca futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099) según escenarios de baja emisio de altas emisiones (RCP 8.5)	ones (RCP 4.5) y			
Mapa 14: Proyecciones de Temperatura mínima promedio anual para el estado de Baja Cal futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099) según escenarios de baja emisio de altas emisiones (RCP 8.5)	lifornia para el ones (RCP 4.5) y			
Mapa 15: Proyecciones de Precipitación total anual para el estado de Baja California para (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099) según escenarios de baja emisiones (RCP 4.5) emisiones (RCP 8.5)	y de altas41			
Mapa 16. Proyecciones de temperatura máxima para el municipio de Tijuana, Baja Califor futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075 – 2099), según escenarios de bajas em 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5).	isiones (RCP			
Mapa 17. Proyecciones de temperatura mínima para el municipio de Tijuana, Baja Californ futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075 – 2099), según escenarios de bajas em 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5).	isiones (RCP			
Mapa 18. Proyecciones de precipitación total anual para el municipio de Tijuana, Baja Cal futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075 – 2099), según escenarios de bajas em 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5).	isiones (RCP			
Graficas				
Créfice 1. Temperature premadie envel en la Decién Nercesta 1060 2000	2			
Gráfica 1. Temperatura promedio anual en la Región Noroeste, 1960-2000				
Gráfica 4: Temperatura promedio mensual en la región Noroeste, 1960-2000				
Gráfica 5: Precipitación total mensual en la región Noroeste, 1960-2000				
Gráfica 6: Temperatura máxima y mínima promedio anual en Baja California, 1961-2008.				
Gráfica 7: Precipitación total anual en Baja California, 1961-2008				
Gráfica 8: Temperatura promedio mensual en Baja California, 1961-2008				
Gráfica 9: Precipitación total mensual en Baja California, 1961-2008				
Gráfica 10: Temperatura promedio anual en la Presa Rodríguez, BC, 1929-2011				
Gráfica 11: Temperatura máxima promedio anual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs	•			
Gráfica 12: Temperatura mínima promedio anual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs I	Estación Tijuana			
Gráfica 13: Precipitación promedio anual en la Presa Rodríguez, BC, 1929-2011	15			
Gráfica 14: Precipitación promedio anual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs Estación				
Gráfica 15: Temperatura promedio mensual en la Presa Rodríguez, BC, 1929-2011				
Gráfica 16: Temperatura máxima promedio mensual 1948-1984, Estación Presa Abelardo				
Tijuana				
Tijuana				
11Juana	www.colef.mx			

Carretera Escénica Tijuana-Ensenada, km 18.5 San Antonio del Mar, 22560 Tijuana, Baja California Tel. +52 (664) 631-6301 Blvd. Abelardo L. Rodríguez No. 2925 Zona Rio, 22010 Tijuana, Baja California Tel. +52 (664) 684-2226 Dirección postal en USA P.O. Box "L", Chula Vista CA, 91912-1257, USA





Gráfica 18: Precipitación promedio mensual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs Estación Tijuana18
Gráfica 19: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de temperatura máxima promedio anual
para la región Noroeste, 1961-200019
Gráfica 20: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de temperatura máxima promedio mensual,
1961-2000
Gráfica 21: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de temperatura mínima promedio anual,
1961-2000
Gráfica 22: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de temperatura mínima promedio anual,
1961-2000
Gráfica 23: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de precipitación total anual, 1961-200021
Gráfica 24: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de precipitación total mensual, 1961-2000
Gráfica 25: Proyecciones de Temperatura máxima anual para la Región Noroeste según escenarios de altas
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)
Gráfica 26: Proyecciones de Temperatura máxima mensual para la Región Noroeste según escenarios de
altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)
Gráfica 27: Proyecciones de Temperatura mínima anual para la Región Noroeste según escenarios de altas
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)
Gráfica 28: Proyecciones de Temperatura mínima mensual para la Región Noroeste según escenarios de
altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)
Gráfica 29: Proyecciones de Precipitación total anual para la Región Noroeste según escenarios de altas
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5
Gráfica 30: Proyecciones de Precipitación total mensual para la Región Noroeste según escenarios de altas
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)
Gráfica 31: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Temperatura máxima promedio anual,
1961-2000
Gráfica 32: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Temperatura máxima promedio mensual, 1961-2000
Gráfica 33: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Temperatura mínima promedio anual,
1961-2000
Gráfica 34: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Temperatura mínima promedio mensual,
1961-2000
Gráfica 35: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de precipitación promedio anual, 1961-2000
31 C. C. C. A. A. A. A. D. D. A. A. A. D. C. C. A. A. A. A. A. D. C. C. A.
Gráfica 36: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Precipitación promedio mensual, 1961-
2000
Gráfica 37: Proyecciones de Temperatura máxima anual para Baja California según escenarios de altas
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)
Gráfica 38: Proyecciones de Temperatura máxima mensual para Baja California según escenarios de altas
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)
Gráfica 39: Proyecciones de Temperatura mínima anual para Baja California según escenarios de altas
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)36





Gráfica 40: Proyecciones de Temperatura mínima mensual para Baja California según escenarios de alta	as
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)	37
Gráfica 41: Proyecciones de Precipitación total anual para Baja California según escenarios de altas (RC	
8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)	39
Gráfica 42: Proyecciones de Precipitación total mensual para Baja California según escenarios de altas	
(RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)	40





1. Variabilidad climática en la región Noroeste

1.1. Topografía en la Región Noroeste

La topografía de la región Noroeste se aprecia en el mapa 1, donde se observa que la mayoría del territorio de la región, por estar próximo a la costa, tiene una elevación baja, en tanto que las zonas más altas se localizan en el centro del estado de Baja California y al este de Sonora y Sinaloa, donde inicia la Sierra Madre Occidental.



Mapa 1. Topografía de la Región Noroeste de México

Fuente: Elaboración propia a partir del CEM, Inegi, 2014 sobre la base de Inegi, 2010

La importancia de las características topográficas expuestas anteriormente radica en la manera en la que éstas ejercen influencia en el clima de la región. A continuación se describen las principales variables climáticas: temperatura máxima, mínima y precipitación total, observando tanto su variación anual como mensual.





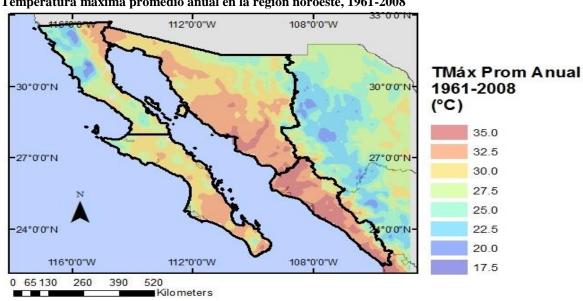
Variabilidad anual en la región Noroeste

La climatología es abordada de manera anual y mensual, de tal forma que se puedan observar las tendencias históricas de esas variables y caracterizar el comportamiento mensual de las mismas en la región.

La caracterización de la climatología anual se realiza a partir dos variables: la temperatura (máxima y mínima) y la precipitación. En el caso de la primera, ésta considera el promedio anual registrado, en tanto que la segunda variable presenta la precipitación total registrada durante todo el año.

1.2.1. Temperatura máxima y mínima promedio anual en la región Noroeste

En la región Noroeste, los lugares más cálidos se localizan en las inmediaciones del Mar de Cortés; así mismo la temperatura tiende a aumentar en las proximidades del trópico de Cáncer, motivo por el cual los registros más altos se ubican en el estado de Sinaloa; por su parte, las áreas más frescas corresponden a las Sierras de Baja California y a las proximidades de la Sierra Madre Occidental, es decir las zonas altas (ver mapa 2 y 3).

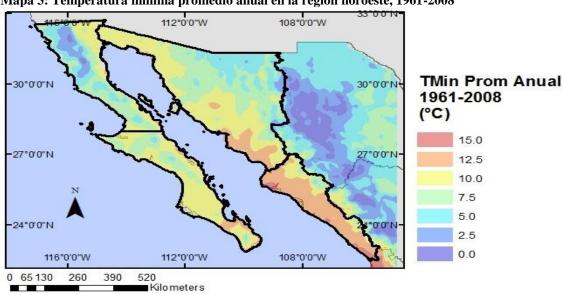


Mapa 2: Temperatura máxima promedio anual en la región noroeste, 1961-2008

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Clicom en Malla, 2014 sobre la base de Inegi, 2010





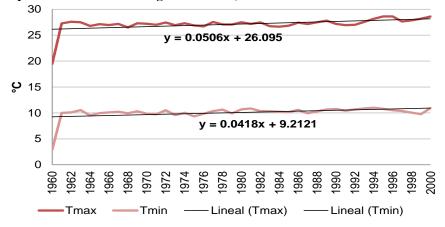


Mapa 3: Temperatura mínima promedio anual en la región noroeste, 1961-2008

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Clicom en Malla, 2014 sobre la base de Inegi, 2010

Según los registros del CLICOM, durante el periodo 1960-2000, la región Noroeste observa una temperatura máxima promedio de 27°C, con una tendencia significativa al 95 por ciento de 0.05°C al año; en el caso de la temperatura mínima, el promedio durante el periodo de análisis fue de 10°C y la tendencia fue de 0.04° significativa al 95 por ciento (ver gráfica 1).





Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Clicom en Malla, 2015





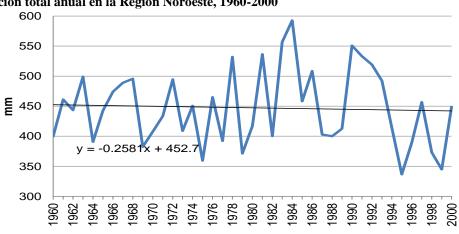
1.2.2. Precipitación total anual en la región Noroeste

En el caso de la precipitación, ésta sigue el mismo patrón geográfico registrado en el caso de la temperatura, es decir mayores niveles de precipitación en las proximidades del trópico de Cáncer y en las zonas altas (ver mapa 4). Se estima una tendencia de -0.25 mm al año, la cual no es significativa al 95 por ciento (ver gráfica 2).

112°0'0"W 108°0'0"W **Precip Total Anual** 1961-2008 -30°0'0"N 30°0'0"1 (mm) 1400 1200 -27°0'0"N 27°0'0"N 1000 800 600 400 -24°0'0"N 200 116°0'0"W 112°0'0"W 108°0'0"W 0 65 130 260 390 520

Mapa 4: Precipitación total anual en la región noroeste, 1961-2008

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Clicom en Malla, 2014 sobre la base de Inegi, 2010



Gráfica 2: Precipitación total anual en la Región Noroeste, 1960-2000

Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Clicom en Malla, 2015



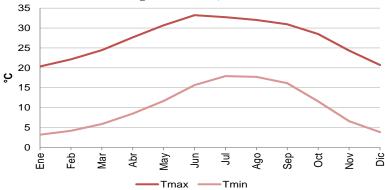


1.3. Variabilidad mensual en la región Noroeste

1.3.1. Temperatura promedio mensual en la región Noroeste

En relación a la variabilidad mensual de la temperatura en la región noroeste, tenemos que el verano (junio a septiembre) es la estación más cálida, en tanto que a partir de octubre y hasta marzo se registras bajas temperaturas (ver gráfica 3).

Gráfica 3: Temperatura promedio mensual en la región Noroeste, 1960-2000

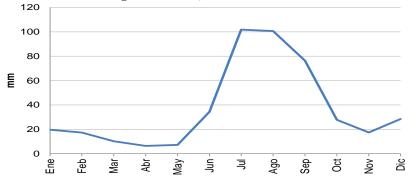


Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Clicom en Malla, 2015

1.3.2. Precipitación total mensual en la Región Noroeste

En el caso de la precipitación, se observa que las lluvias se presentan principalmente en verano, aunque también se contempla un ligero repunte de noviembre a febrero, periodo que corresponde al temporal en Baja California (ver gráfica 4).

Gráfica 4: Precipitación total mensual en la región Noroeste, 1960-2000



Fuente: Elaboración propia a partir de la información de Clicom en Malla, 2015



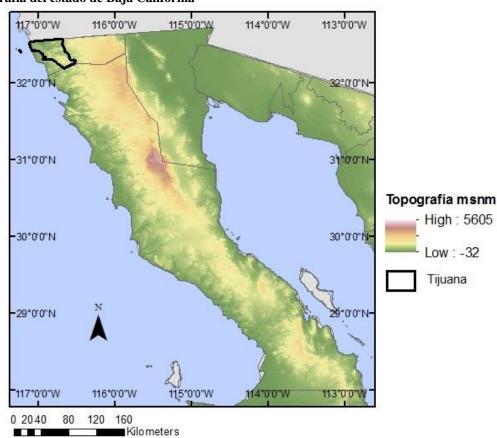


2. Variabilidad climática en Baja California

2.1. Topografía en el estado de Baja California

El estado de Baja California ofrece un paisaje muy variado que va desde las costas del Mar de Cortés en el este, hasta el Océano Pacífico en el oeste, abarcando playa, desierto e incluso serranía, como es el caso de Sierra Juárez y Sierra San Pedro Mártir. En el mapa 5, se observa que la altitud va desde -32 msnm en la zona de Mexicali, hasta 5,605 en la Sierra. Estas condiciones influyen en la climatología del estado.

En el caso de Tijuana, ésta se localiza al norte del estado, en la frontera con Estados Unidos de América; su altitud va desde el nivel del mar hasta 500 msnm en el cerro Colorado (ver mapa 5).



Mapa 5: Topografía del estado de Baja California

Fuente: Elaboración propia a partir del CEM, Inegi, 2014, sobre la base de Inegi, 2010





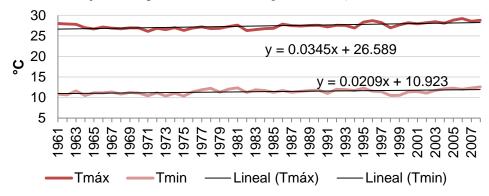
2.2. Variabilidad anual en Baja California

2.2.1. Temperatura máxima y mínima promedio anual en Baja California

Según los registros del Clicom en Malla, durante el periodo 1961-2008, en el estado de Baja California, la temperatura máxima observa un promedio de 27.4°C¹. En el año 2006, la temperatura máxima alcanza su valor más alto con un promedio anual de 29.2°C. Durante el periodo analizado, esta variable observa una tendencia creciente de 0.04°C por año significativa al 95 por ciento² (ver gráfica 5).

En cuanto a la temperatura mínima, durante el periodo 1961-2008, ésta observa un promedio anual de 11.4°C. En 1975 esta variable observa su valor más bajo con un promedio anual de 10.4°C. Al igual que la temperatura máxima, esta variable también observa una tendencia creciente de 0.02°C anuales con significancia al 95 por ciento (ver gráfica 5).

Gráfica 5: Temperatura máxima y mínima promedio anual en Baja California, 1961-2008



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014

A lo largo de Baja California se presenta una gran diversidad de condiciones climáticas. En el mapa 6 se observan de forma geográfica las condiciones promedio del estado para el periodo 1961-2008. Hacia el noreste del estado en las zonas más bajas (en el territorio correspondiente al municipio de Mexicali), se

los registros del Clicom. Si se consideran estos últimos, los niveles esperados de Tmin en el futuro cercano podrían ser entre

San Antonio del Mar, 22560 TIJUANA Tijuana, Baja California Tel. +52 (664) 631-6301 Zona Río, 22010 Tijuana, Baja California Tel. +52 (664) 684-2226 P.O. Box "L", Chula Vista CA, 91912-1257, USA

¹ Para apreciar los registros de temperatura diarios, ver Anexo A

² Implica que la tendencia observada no se debe al azar.

³ Para observar el registro diario de precipitación, ver Anexo B

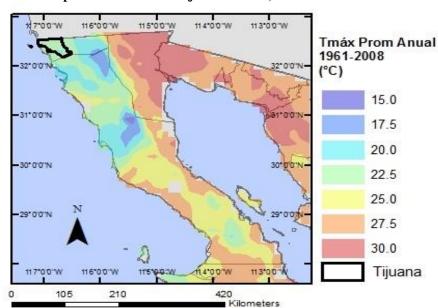
⁴ Luplica que la de relevim abservada de reservada de res

Es necesario tomar estas proyecciones con discreción, pues como se mencionó con anterioridad, los datos REA sobreestinan mx





presentan las temperaturas más altas, alrededor de los 30°C. Hacia el noroeste del estado, en los municipios de Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito y en la parte norte de Ensenada se observa condiciones más frescas, por debajo de los 25°C. En el resto del municipio de Ensenada, aproximadamente al sur de San Quintín y hacia Baja California Sur se observan condiciones de Temperatura máxima que oscilan entre los 22.5 y 27.5°C. Las zonas más frescas del estado corresponden a las zonas más altas ubicadas en el centro norte de la Península (en las serranías) donde los registros apuntan a un promedio de 15°C durante el periodo de análisis.



Mapa 6: Temperatura máxima promedio anual en Baja California*, 1961-2008

*Se resalta el municipio de Tijuana

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014, sobre la base de Inegi, 2010

Los patrones geográficos observados en la temperatura máxima, se repiten en la temperatura mínima. En el periodo 1961-2008, el territorio de Mexicali los 12.5°C, mientras que en los municipios de Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito y en la parte norte de Ensenada los mínimos fluctúan entre 0°C en las zonas más altas, hasta los 10°C. En el sur de Ensenada y hacia Baja California Sur, la temperatura mínima va de los 7.5 a los 10°C (ver mapa 7).





115"0"0"W 114"0"0"W 116"0"0"W 113°00°W Tmin Prom Anual 1961-2008 32"0'0'N (°C) 0.0 31"0"0"N 31"0'0"N 2.5 5.0 30°0'0'N 7.5 10.0 -29"0'0"N 29.003 12.5 15.0 Tijuana 117"00"W 420 105 210 Kilometers

Mapa 7: Temperatura mínima promedio anual en Baja California*, 1961-2008

*Se resalta el municipio de Tijuana

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014, sobre la base de Inegi, 2010

2.2.2. Precipitación total anual en Baja California

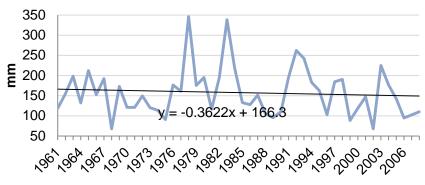
Los registro de precipitación según el Clicom en Malla indican un promedio de 157.4 mm anuales en el periodo 1961-2008³. En el periodo analizado, se presenta una tendencia decreciente del orden de -0.36 mm anuales, sin embargo ésta es no significativa al 95 por ciento. El año con mayor nivel de lluvias fue 1978 alcanzando 345.9 mm durante ese año. Otros años en los que se presentaron niveles de precipitación superiores a los 200 mm fueron: 1983, 1992, 1993, 2003, 1984 y 1965 (ver gráfica 6).

 $^{^{\}rm 3}$ Para observar el registro diario de precipitación, ver Anexo B





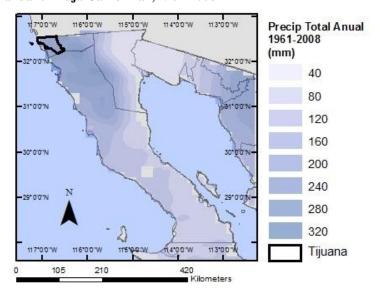
Gráfica 6: Precipitación total anual en Baja California, 1961-2008



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014

Los patrones geográficos observados en el caso de la temperatura se repiten en la precipitación, pero en este caso los sectores con mayores temperaturas (zonas bajas como el sur de Ensenada y Mexicali) tienen los registros más bajos de precipitación (por debajo de 160 mm anuales). Por su parte la región noroeste del estado (Tijuana, Tecate, Playas de Rosarito y en la parte norte de Ensenada) muestran registros por arriba de 160 mm anuales, los cuales son más altos en las regiones elevadas, llegando a los 320 mm (ver mapa 8).

Mapa 8: Precipitación total anual en Baja California*, 1961-2008



*Se resalta el municipio de Tijuana

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014 sobre la base de Inegi, 2010



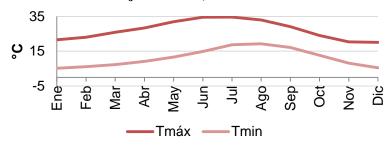


2.3. Variabilidad mensual en Baja California

2.3.1. Temperatura promedio mensual en Baja California

En el estado de Baja California, los registros mensuales de la temperatura nos señalan que la temporada de calor históricamente se presenta desde el mes de mayo y se extienda hasta septiembre, con temperaturas máximas por arriba de los 30°C y mínimas superiores a los 12°C. Por su parte la temporada de frío abarca los meses de noviembre a febrero con máximas de 22°C y mínimas que llegan hasta los 5°C (ver gráfica 7).

Gráfica 7: Temperatura promedio mensual en Baja California, 1961-2008

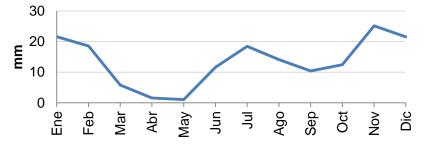


Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014

2.3.2. Precipitación total mensual en Baja California

Respecto a los registros mensuales de la precipitación, tenemos que en Baja California durante el periodo 1961-2008, se observan dos temporales de lluvias: el primero, de junio a agosto, con lluvias entre 11 y 14 mm al mes y el segundo, de noviembre a febrero, siendo este último el que concentra los mayores niveles de precipitación con niveles entre los 12 y los 25 mm al mes (ver gráfica 8).

Gráfica 8: Precipitación total mensual en Baja California, 1961-2008



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014

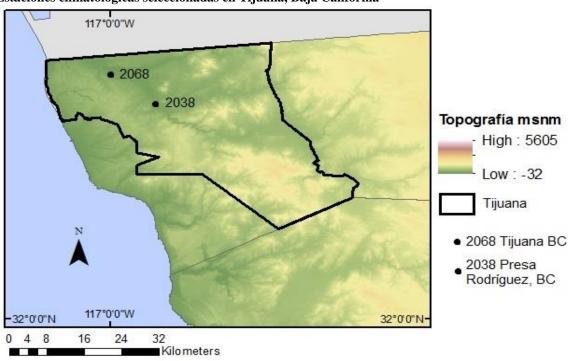




3. Variabilidad Climática en Tijuana

Para analizar la variabilidad climática en el estado de Tijuana se recurre a información de dos estaciones climatológicas en el estado que guardan el registro de más de 15 años:

- Estación 2068 Tijuana, BC. Actualmente suspendida, esta estación ofrece información de 1948 a 1984, si bien estos datos no resultan útiles para observar la variabilidad climática en las últimas décadas, nos ofrece un punto de comparación de la ciudad respecto de las condiciones registrada en la estación de la Presa Rodríguez (ver mapa 9).
- Estación 2038 Presa Rodríguez BC. Aun en operación, esta estación cuenta con información de 1929 a 2011, lo cual resulta muy benéfico para analiza la variación climática en el periodo referido (ver mapa 9).



Mapa 9: Estaciones climatológicas seleccionadas en Tijuana, Baja California

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014, sobre la base de Inegi, 2010.





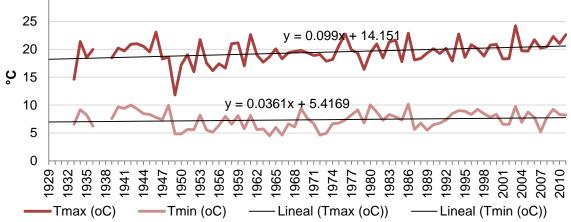
3.1. Variabilidad anual en Tijuana, Baja California

3.1.1. Temperatura máxima y mínima promedio anual en Tijuana, Baja California

Según los registros de la estación Presa Rodríguez, la temperatura máxima promedio ha sido del orden de 22.6°C, mientras que la temperatura mínima es de 11.07°C. Según es posible observar en la gráfica 9, durante el periodo analizado y al igual que en el resto del estado, la temperatura máxima y mínima observan una tendencia creciente significativa al 95 por ciento.

30 25 20

Gráfica 9: Temperatura promedio anual en la Presa Rodríguez, BC, 1929-2011



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

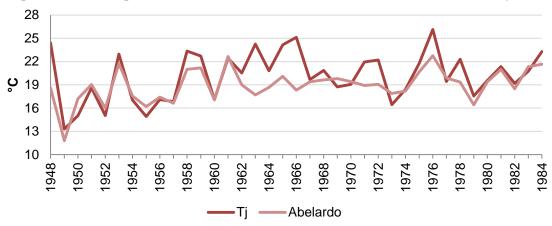
Las condiciones observada en la estación Presa Rodríguez se muestran próximas a las de la estación Tijuana, pues como se observa en las gráficas 10 y 11, durante el periodo 1948-1984 los registros son muy próximos, aunque se puede apreciar que en el caso de temperatura máxima, las condiciones de Tijuana son un poco más cálidas que las de la Presa.

www.colef.mx



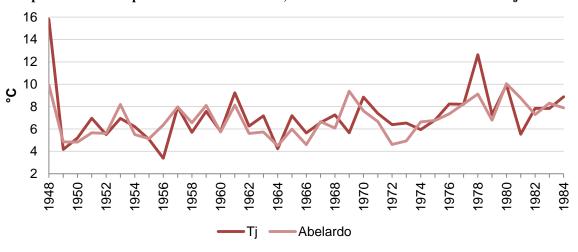


Gráfica 10: Temperatura máxima promedio anual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs Estación Tijuana



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

Gráfica 11: Temperatura mínima promedio anual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs Estación Tijuana



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

3.1.2. Precipitación total anual en Tijuana, Baja California

Según información de Clicom Estaciones, en el periodo 1929-2011 en la Presa Rodríguez se registra un promedio anual de 39.88 mm de precipitación; de igual forma se observa una tendencia creciente de 0.45 mm al año, pero a diferencia del promedio estatal, esta tendencia si es significante al 95 por ciento (ver gráfica 8).





350 300 250 200 E 150 v = 0.4503x + 20.97100 50 0 968 1989 1992 1995 1998 965 974 980 983 986 947 97, 97.

Gráfica 12: Precipitación promedio anual en la Presa Rodríguez, BC, 1929-2011

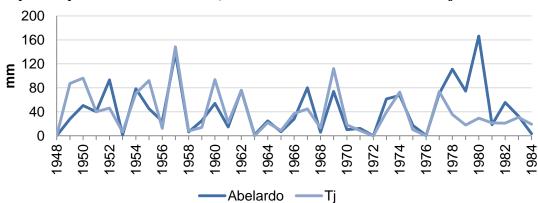
Precipitacion (mm)

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

Lineal (Precipitacion (mm))

En la gráfica 12 se puede apreciar que los años con mayor nivel de precipitación son 1993, 1980 y 1957. En el primero se alcanzaron los 315 mm de lluvia, nivel que resulta superior a la suma de la precipitación registrada en los otros dos mencionados.

En la gráfica 13 se puede observar que los niveles de precipitación tanto en la Presa Rodríguez, como en Tijuana resultan similares en el periodo 1948-1984, a excepción de los últimos siete años (1977-1984) donde en la presa llovió más que en el centro de la ciudad.



Gráfica 13: Precipitación promedio anual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs Estación Tijuana

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

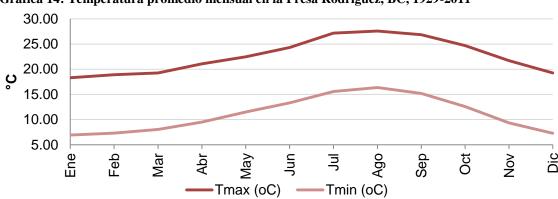




3.2. Variabilidad mensual en Tijuana, Baja California

3.2.1. Temperatura máxima y mínima promedio mensual en Tijuana, Baja California

Según la información de la estación Presa Rodríguez, en Tijuana las temperaturas son ligeramente más bajas que en el caso del promedio del estado, pues mientras en la gráfica 10 se observa que se alcanzan los 35°C en el mes de junio, en Tijuana durante ese mes la temperatura se mantiene por debajo de 25°C, en tanto que los meses más cálidos son julio y agosto, pero en ambos casos los registros arrojan un promedio alrededor de 28°C en el periodo 1929-2011 (ver gráfica 14).



Gráfica 14: Temperatura promedio mensual en la Presa Rodríguez, BC, 1929-2011

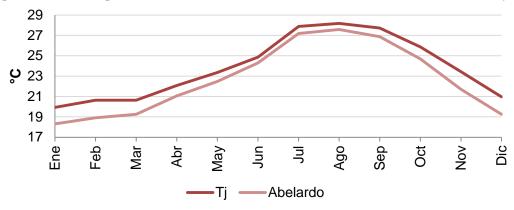
Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

Realizando la comparación de las condiciones de temperatura registradas en la estación Presa Abelardo y la estación Tijuana, se observa que la primera es un poco más fresca que la última; en el caso de la temperatura máxima, los diferenciales más importantes se observan en los meses fríos (ver gráfica 15), en tanto que con la temperatura mínima las diferencias son más marcadas en los meses cálidos (ver gráfica 16).





Gráfica 15: Temperatura máxima promedio mensual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs Estación Tijuana



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

Gráfica 16: Temperatura mínima promedio mensual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs Estación Tijuana



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

3.2.2. Precipitación total mensual en Tijuana, Baja California

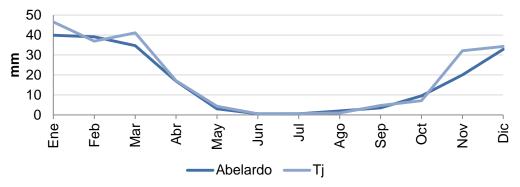
Los registros de precipitación de la Presa Rodríguez muestran una diferencia significativa respecto del resto del estado, pues en este caso el temporal se presenta en los meses de noviembre a marzo, en tanto que de mayo a septiembre es relativamente seco; ese mismo comportamiento se repite en la estación Tijuana (ver gráfica 17).

www.colef.mx





Gráfica 17: Precipitación promedio mensual 1948-1984, Estación Presa Abelardo vs Estación Tijuana



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014

4. Escenarios de Cambio Climático

4.1. Validación modelos REA

El método de ensamble ponderado sirve como base para la estimación de las proyecciones de cambio climático. Según Cavazos et al, 2014, los modelos REA se emplean con el "objetivo de dar mayor peso a los MCG5 que contengan los errores y sesgos más pequeños en comparación con las variables observadas en un punto de malla dado". Por este motivo, como antesala para abordar las proyecciones de cambio climático es menester contemplar la medida en que estos datos se corresponden con los registros climáticos observados.

4.1.1. Validación de los datos REA de Temperatura máxima para la región Noroeste

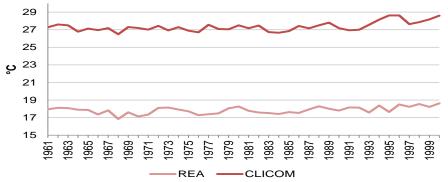
Comparando los datos REA con los del Clicom, se observa que en el caso de la variación anual existe una sobreestimación de los datos, por lo cual es menester manejar las proyecciones con discreción (ver gráfica 18). En el caso de la variación mensual, el ajuste es apropiado (ver gráfica 19).

www.colef.mx



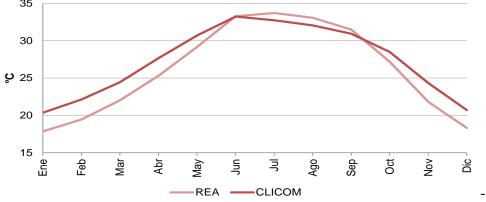


Gráfica 18: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de temperatura máxima promedio anual para la región Noroeste, 1961-2000



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en malla 2014 y Cavazos, et al, 2014

Gráfica 19: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de temperatura máxima promedio mensual, 1961-2000



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en malla 2014 y Cavazos, et al, 2014

4.1.2. Validación de los datos REA de Temperatura mínima para la región Noroeste

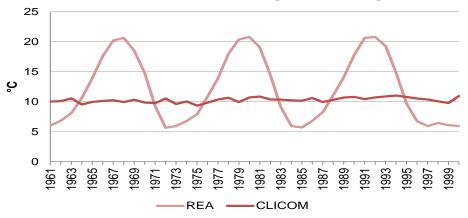
En el caso de la Tmin, al comparar la información anual del REA con el Clicom, se observa que la primera maneja una fluctuación periódica que no está presente en los datos del Clicom, sin embargo en ambos casos la tendencia es semejante (ver gráfica 20). En el caso de la variación mensual, el REA no refleja el comportamiento de la Tmin durante los meses de verano, por lo que el manejo de las proyecciones debe hacerse con discreción (ver gráfica 21).

www.colef.mx



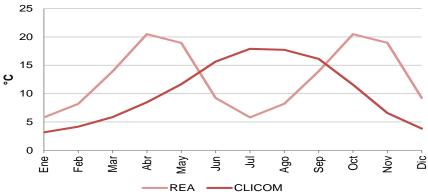


Gráfica 20: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de temperatura mínima promedio anual, 1961-2000



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en malla 2014 y Cavazos, et al, 2014

Gráfica 21: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de temperatura mínima promedio anual, 1961-2000



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en malla 2014 y Cavazos, et al, 2014

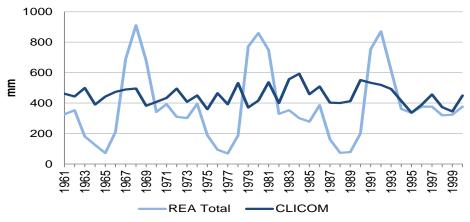
4.1.3. Validación de los datos REA de Precipitación para la región Noroeste

El ajuste de los datos anuales de precipitación de los modelos REA respecto de los datos del Clicom se observa en la gráfica 22. Ahí se muestra que los primeros se ajustan de manera apropiada a los segundos. Respecto de la variación mensual, la principal discrepancia se manifiesta en los meses de junio a septiembre, momento en el que se presentan las lluvias de verano (ver gráfica 23).



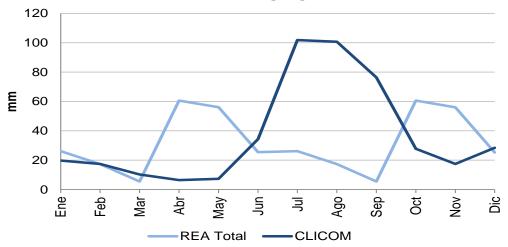


Gráfica 22: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de precipitación total anual, 1961-2000



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en malla 2014 y Cavazos, et al, 2014

Gráfica 23: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de precipitación total mensual, 1961-2000



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en malla 2014 y Cavazos, et al, 2014





4.2. Proyecciones de Cambio Climático para la región Noroeste

Las proyecciones de cambio climático para la región Noroeste se presentan según la información de los escenarios del INECC como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional.

Siguiendo el orden en el que se ha presentado la información referente a la variabilidad climática, los escenarios de cambio climático son abordados considerando la variable temperatura y precipitación, la primera considerando los promedios anuales y mensuales de temperatura máxima y mínima y la segunda considerando las proyecciones de precipitación total anual y mensual.

4.2.1. Proyecciones de Temperatura máxima para la región Noroeste

Según las proyecciones de los escenarios RCP 4.5 para la región Noroeste, en el futuro cercano se esperan incrementos en la Tmax entre 0.9 y 1.8°C, siendo éstos mayores conforme nos alejamos del Océano Pacífico. Para el futuro lejano, la proyección nos indica un posible incremento entre 1.8 y 3.6 °C.

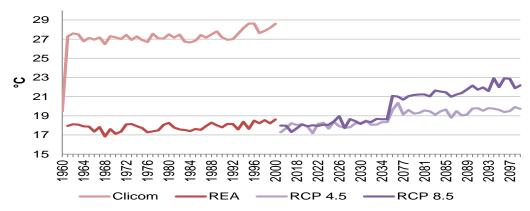
En el caso de los escenarios RCP 8.5, el incremento esperado oscila entre 1 y 2°C en el futuro cercano, mientras que para el periodo 2075-2099 el aumento proyectado es 3.2 y hasta 6.2°C (ver gráfica 24). En cuanto a las proyecciones mensuales, como se observa en la gráfica 25, se espera que el incremento sea semejante en cada mes del año tanto con bajas y altas emisiones.

www.colef.mx



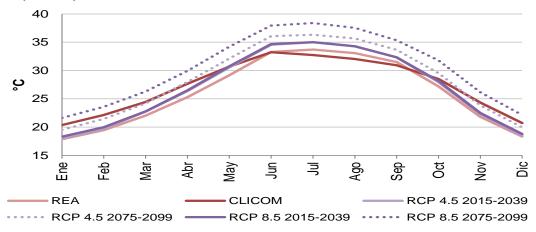


Gráfica 24: Proyecciones de Temperatura máxima anual para la Región Noroeste según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

Gráfica 25: Proyecciones de Temperatura máxima mensual para la Región Noroeste según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



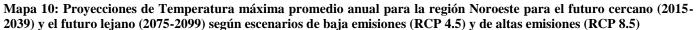
Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

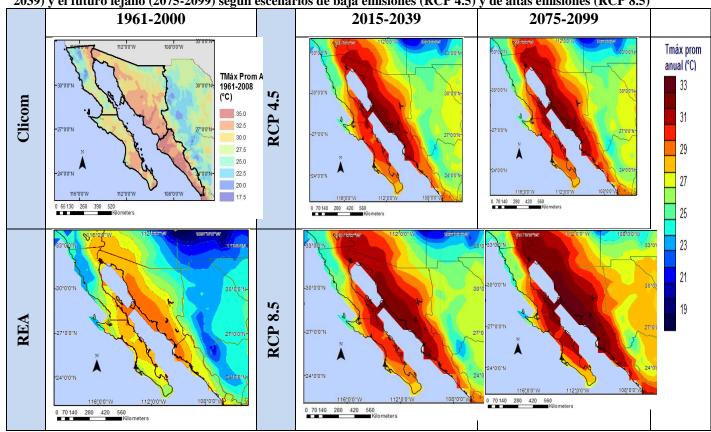
Las proyecciones espaciales sugieren que en el futuro cercano se presentarán los mayores cambios en la región Noroeste; las zonas aledañas al Mar de Cortés se mantienen como las más cálidas, en tanto que las zonas altas, próximas a la Sierra son las más frías, en ambos casos se proyectan aumentos en la Tmáx de hasta 4°C (ver mapa 10).

www.colef.mx









Fuente: Elaboración propia a partir de Cavazos et al, 2014 sobre la base de Inegi, 2010

4.2.2. Proyecciones de Temperatura mínima para la región Noroeste

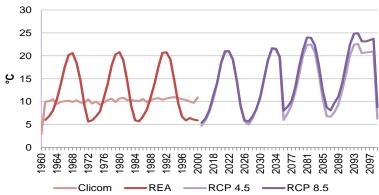
En el caso de la temperatura mínima, las fluctuaciones presentadas en el modelo REA se proyectan en ambos escenarios, en el caso de escenarios de bajas emisiones, para el periodo 2015-2039, se esperan incrementos en la Tmin entre 0.7 y 1.4°C, mientras que con RCP 8.5 los incrementos son entre 0.8 y 1.6°C; en cuanto al futuro lejano, los incrementos podrían ser de 1.7 a 2.9°C para el futuro cercano y de 2.9 a 4.9°C en el futuro lejano (ver gráfica 26).

www.colef.mx





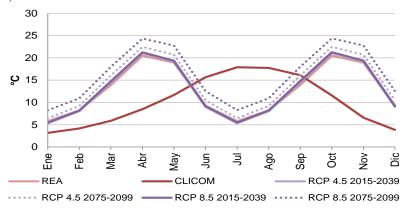
Gráfica 26: Proyecciones de Temperatura mínima anual para la Región Noroeste según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

Considerando las proyecciones mensuales, están también reflejan el comportamiento de los datos del REA, por lo cual la mayor discreción debe mantenerse en el caso de las proyecciones para los meses de mayo a septiembre (ver gráfica 27).

Gráfica 27: Proyecciones de Temperatura mínima mensual para la Región Noroeste según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)

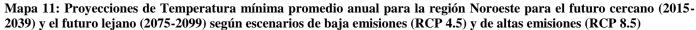


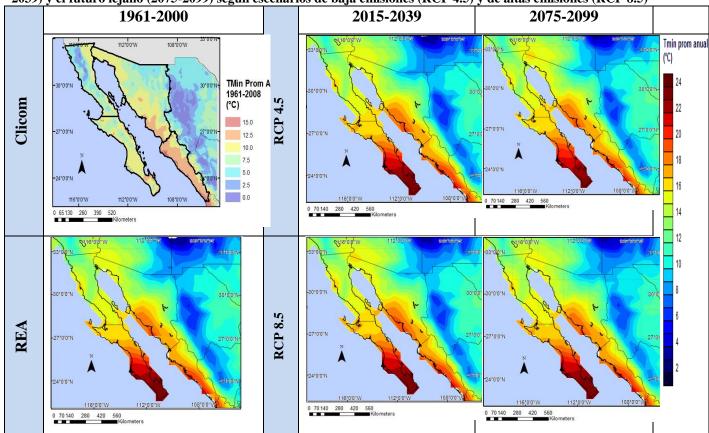
Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

En lo que respecta a las proyecciones espaciales, se observa en el mapa 11 que en las zonas altas de Sierra es donde se esperan los incrementos más importantes en la Tmin, por lo que el área de las zonas frías se reduce.









Fuente: Elaboración propia a partir de Cavazos et al, 2014 sobre la base de Inegi, 2010

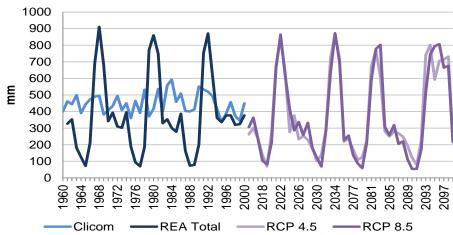
4.2.3. Proyecciones de Precipitación para la región Noroeste

Al igual en que el caso de la Tmin, las proyecciones de la precipitación mantienen las fluctuaciones manejadas en el REA. Para el futuro cercano se espera que con bajas emisiones, los niveles de precipitación caigan entre 54 y 100 mm al año, en tanto que con altas emisiones, la disminución podría ser entre 18 y 73 mm anuales. Para el periodo 2075-2099, las proyecciones RCP 4.5 sugieren que la disminución en las lluvias sería el mismo que en el futuro cercano, con la diferencia de que el territorio que se vería afectado es mayor, mientras que las proyecciones RCP 8.5 muestran que la posible disminución oscilaría entre 18 y 182 mm anuales (ver gráfica 28).





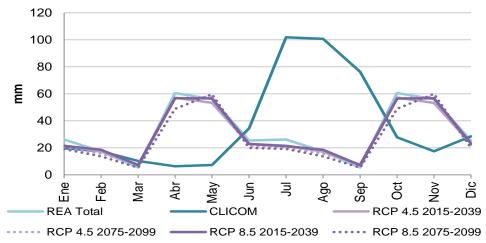
Gráfica 28: Proyecciones de Precipitación total anual para la Región Noroeste según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5



Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

Para las proyecciones mensuales, al igual que el caso de Tmin, la principal discrepancia se observa para el caso de los meses de mayo a septiembre (ver gráfica 29).

Gráfica 29: Proyecciones de Precipitación total mensual para la Región Noroeste según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



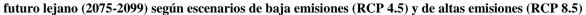
Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

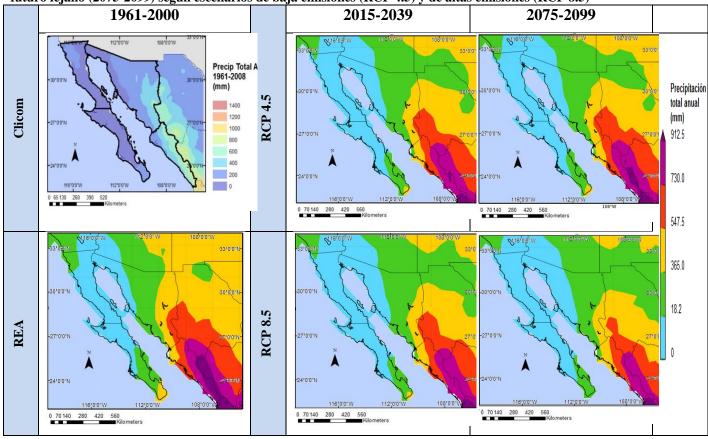




Respecto de las proyecciones territoriales, en el mapa 12 se aprecia que el territorio con baja precipitación aumenta, en tanto que los niveles más altos se ubican en la proximidad del trópico.

Mapa 12: Proyecciones de Precipitación total anual para la región Noroeste para el futuro cercano (2015-2039) y el





Fuente: Elaboración propia a partir de Cavazos et al, 2014 sobre la base de Inegi, 2010



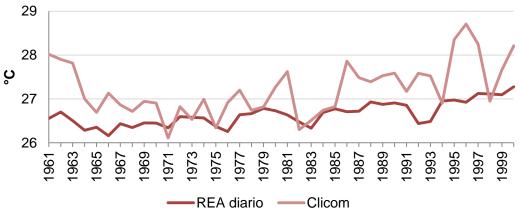


5. Escenarios de Cambio Climático para Baja California

5.1. Validación de los Modelos REA de Temperatura Máxima para Baja California

Al comparar los modelos REA con los datos del Clicom, se observa que los primeros se ajustan en buena parte a los segundos, además de que se mantiene la tendencia observada en el periodo, por lo cual se concluye que los datos son apropiados (ver gráfica 30).

Gráfica 30: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Temperatura máxima promedio anual, 1961-2000



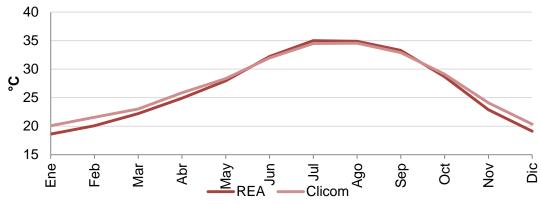
Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

En el caso del ajuste del REA respecto a los datos de climatología mensual, se aprecia en la gráfica 31 un excelente ajuste, lo que reafirma la validez de esta información para efectos de las proyecciones de cambio climático.





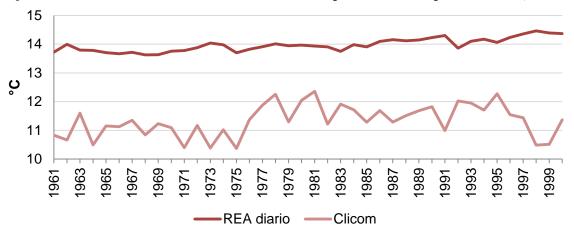
Gráfica 31: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Temperatura máxima promedio mensual, 1961-2000



5.1.1. Validación de los Modelos REA de Temperatura Mínima para Baja California

En el caso de los datos de Temperatura mínima, en la gráfica 32 y 33 se observa que los modelos REA sobreestiman los datos observados (tanto en los registros anuales, como en los mensuales), lo cual podría repercutir en las proyecciones de cambio climático, por lo que resulta importante manejarlas con discreción.

Gráfica 32: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Temperatura mínima promedio anual, 1961-2000

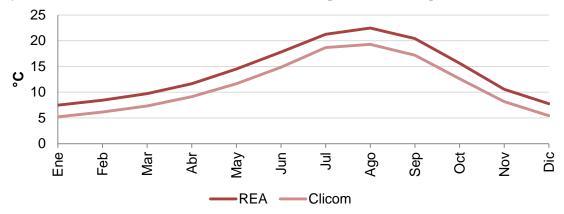


Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014





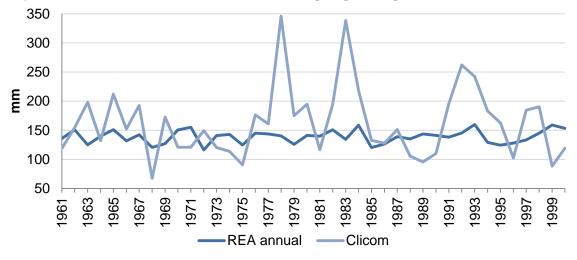
Gráfica 33: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Temperatura mínima promedio mensual, 1961-2000



5.1.2. Validación de los Modelos REA de Precipitación para Baja California

El ajuste de los modelos REA de precipitación se aprecia en la gráfica 34 y 35, donde se puede observar que en general éstos reflejan el comportamiento de la variable en el periodo analizado, por lo cual se concluye que la información resulta apropiada.

Gráfica 34: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de precipitación promedio anual, 1961-2000

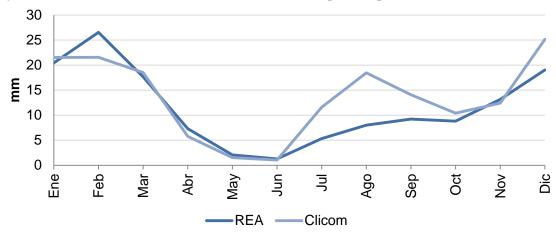


Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014





Gráfica 35: Ajuste de los modelos REA a los datos del Clicom de Precipitación promedio mensual, 1961-2000







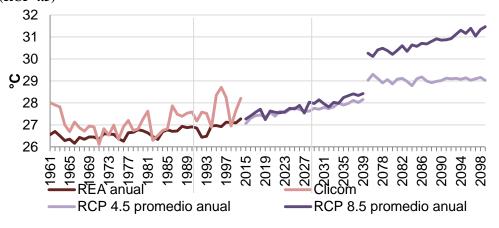
5.2. Proyecciones de Cambio Climático para Baja California

5.2.1. Proyecciones de Temperatura máxima para Baja California

Según un escenario de bajas emisiones (4.5 RCP), en el futuro cercano (2015-2039) se esperan incrementos en la temperatura entre 0.9°C y 1.5°C, por lo cual la Tmáx promedio anual regional podría pasar de 27°C en el año 2000 a 28.3°C en 2039⁴. En tanto, en el futuro lejano los incrementos esperados son entre 2.0°C y 3.2°C, ante lo cual la Tmáx promedio anual regional podría alcanzar los 29.15°C en 2099 (ver gráfica 36).

Sin embargo, en los escenarios de altas emisiones (8.5 RCP), en el periodo 2015-2039 las proyecciones apuntan a posibles incrementos entre 1.0 °C y 1.7 °C, en tanto que en el futuro lejano dichos incrementos se proyectan entre 3.5 y 4.9 °C. De cumplirse dichos pronósticos, la Tmáx promedio anual regional podría alcanzar los 28.33 °C en 2039 y llegar incluso hasta 31.4 °C en 2099 (ver gráfica 36). La diferencia entre ambos escenarios sugiere que si bien en el futuro cercano la diferencia entre bajas y altas emisiones no son significativas (entre 0.1 y 0.2 °C), en el futuro lejano esas diferencias son más marcadas (entre 1.5 y 1.7 °C), lo que implica que los impactos potenciales, de no tomarse medidas para mitigar las emisiones de GEI, serán mayores conforme transcurra el tiempo.

Gráfica 36: Proyecciones de Temperatura máxima anual para Baja California según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

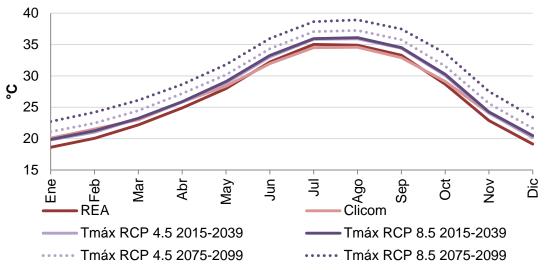
⁴ Los incrementos se estiman a partir de los datos del REA





Respecto de las proyecciones mensuales, en la gráfica 37 se observa que la climatología no altera su comportamiento general, sin embargo en los meses fríos (de noviembre a marzo) se proyectan los mayores incrementos en la temperatura máxima.

Gráfica 37: Proyecciones de Temperatura máxima mensual para Baja California según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

Respecto a las proyecciones geográficas, en el mapa 6 se observa que para el futuro cercano, en ambos escenarios, las proyecciones son semejantes e indican incrementos entre 1 y 2°C. Respecto al futuro lejano, las proyecciones muestran que los incrementos esperados son mayores en el caso de los escenarios de altas emisiones en comparación a escenarios de bajas emisiones (las diferencias oscilan entre 1 y 3°C).

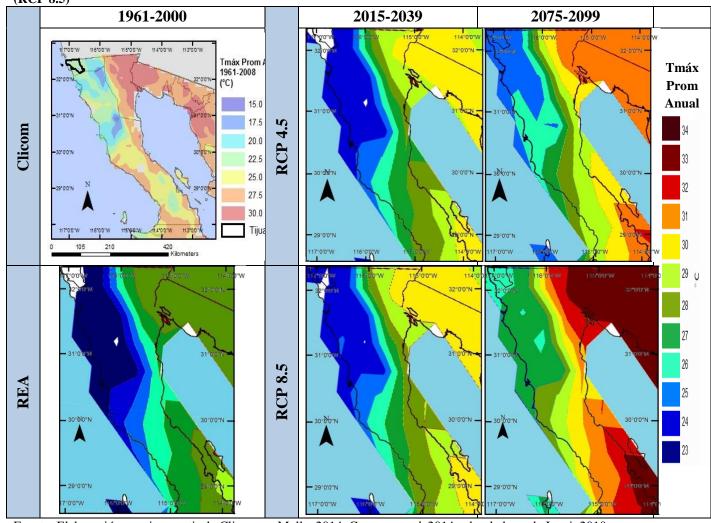
Es importante señalar que los escenarios observan que las zonas más cálidas se localizan al este del estado y conforme se avanza con dirección oeste, tienden a ser condiciones más frescas (ver mapa 13), esto se explica porque dichas proyecciones (incluidos los datos REA) no consideran la topografía del estado, por lo cual en las zonas de serranía se esperarían condiciones un tanto más frescas.

www.colef.mx





Mapa 13: Proyecciones de Temperatura máxima promedio anual para el estado de Baja California para el futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099) según escenarios de baja emisiones (RCP 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5)



Fuente: Elaboración propia a partir de Clicom en Malla, 2014, Cavazos et al, 2014 sobre la base de Inegi, 2010

5.2.2. Proyecciones de Temperatura mínima para Baja California

Las proyecciones de bajas emisiones durante el futuro cercano apuntan a un posible incremento en la temperatura mínima entre 0.7 y 1.3 °C, mientras que en el futuro lejano el aumento en la Tmin se espera

www.colef.mx

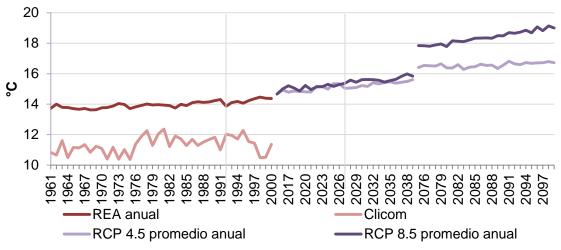




entre 1.9 y 2.8°C⁵. Siguiendo esta información, la Tmin podría incrementar de 14.7°C en 2000, a 15.7°C en 2039 y 16.7°C para 2099 (ver gráfica 38).

Ante un escenario de altas emisiones, en el periodo 2015-2039, los incrementos proyectados son entre 0.8 y 1.5°C (la Tmin podría subir hasta los 15.8°C en 2039), mientras que para el periodo 2075-2099, los incrementos esperados van de 3.1 a 4.9°C (la Tmin pudiera alcanzar 18.9°C) (ver gráfica 39).

Gráfica 38: Proyecciones de Temperatura mínima anual para Baja California según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

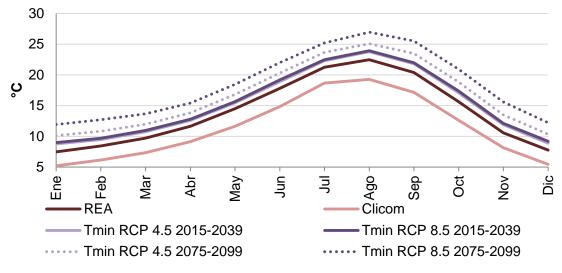
Con base en la información anterior, resulta que se proyectan mayores incrementos en la Tmin que en la Tmáx, lo cual indica que en general, bajo los escenarios de Cambio Climático, se proyectan condiciones menos frescas para el estado de Baja California. Lo anterior también se observa dado que en los meses fríos es en donde se pronostican los mayores incrementos tanto en la Tmáx (ver gráfica 37), como en la Tmin (ver gráfica 39).

⁵ Es necesario tomar estas proyecciones con discreción, pues como se mencionó con anterioridad, los datos REA sobreestiman los registros del Clicom. Si se consideran estos últimos, los niveles esperados de Tmin en el futuro cercano podrían ser entre 12.7 y 14°C; en tanto que en el futuro lejano, las proyecciones serían entre 13 y 16°C, dependiendo del nivel de emisiones.





Gráfica 39: Proyecciones de Temperatura mínima mensual para Baja California según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



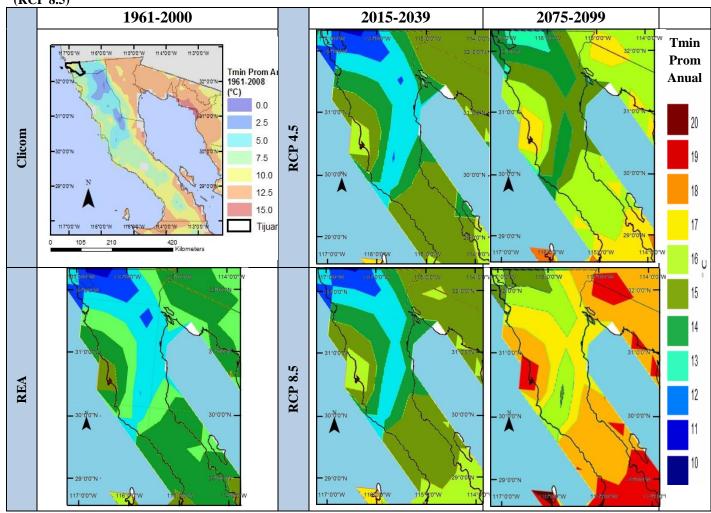
En el mapa 14 se presentan los escenarios en forma geográfica. Para el futuro cercano, se observa que los pronósticos apuntan a condiciones semejantes a excepción del sur del estado, dado que bajo escenarios RCP 4.5 se esperan condiciones más frescas que en el caso de escenarios de altas emisiones. En el caso de la zona de Tijuana y sus alrededores, en el periodo 2015-2039 no se esperan cambios en los niveles de temperatura mínima.

Por su parte, para el periodo 2075-2099, las proyecciones según los niveles de emisiones arrojan posibles incrementos entre 2 y 3°C en escenarios de baja emisiones y entre 3 y 4°C considerando altas emisiones. Los cambios más importantes se espera se presentan hacia el sur del estado (ver mapa 14).





Mapa 14: Proyecciones de Temperatura mínima promedio anual para el estado de Baja California para el futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075-2099) según escenarios de baja emisiones (RCP 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5)



Fuente: Elaboración propia a partir de Cavazos et al, 2014 sobre la base de Inegi, 2010

5.2.3. Proyecciones de Precipitación para Baja California

A diferencia de las proyecciones de temperatura, los escenarios de Cambio Climático apuntan a una contracción en los niveles de precipitación a partir de 2015 y hasta 2099. Cabe resaltar que las proyecciones de Cambio Climático proyectan un comportamiento promedio a partir de la información en el REA, lo cual implica que la ocurrencia de extremos en el futuro (como los siniestros ocurridos en 1993 en Tijuana y que no se reflejan en el REA), si bien no se proyectan, no se deben descartar.

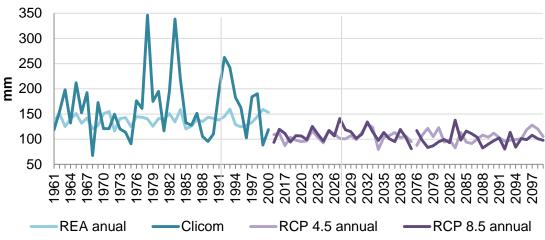
www.colef.mx





Como se observa en la gráfica 40, de 1961 al año 2000, los niveles de precipitación en Baja California se mantiene próximos a los 150 mm anuales, pero con las proyección de cambio climático (bajas y altas emisiones), éstos se reducen hasta alrededor de los 100 mm anuales, tanto en el futuro cercano, como en el lejano. La diferencia entre ambos escenarios estriba en que con altas emisiones, el comportamiento de la precipitación se muestra más fluctuante que con el escenario RCP 4.5.

Gráfica 40: Proyecciones de Precipitación total anual para Baja California según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)



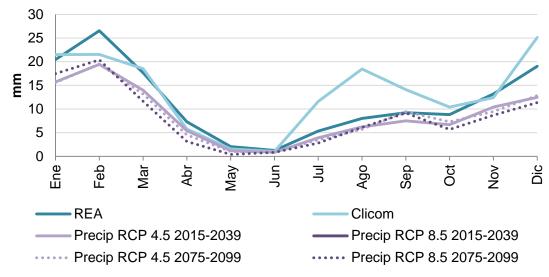
Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla 2014 y Cavazos et al, 2014

Según las proyecciones mensuales, las contracciones en los niveles de precipitación en ambos escenarios son más importantes durante el temporal de lluvias en la región, esto es, de noviembre a marzo (ver gráfica 41). Las proyecciones de cambio climático, al proyectar menores niveles de precipitación apuntan a una contracción en la disponibilidad de agua en la región.





Gráfica 41: Proyecciones de Precipitación total mensual para Baja California según escenarios de altas (RCP 8.5) y bajas emisiones (RCP 4.5)

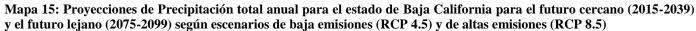


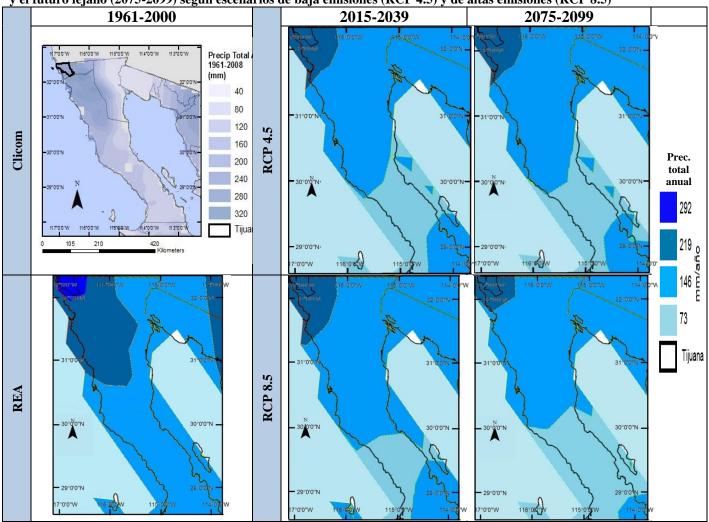
En cuanto a las proyecciones geográficas, en el mapa 15 se puede apreciar que para el futuro cercano se espera que la principal disminución en los niveles de precipitación anual se presente en Tijuana y hacia el sur de Ensenada. Para el futuro lejano, las zonas más afectadas podrían localizarse hacia el sur del estado.

Nótese que las proyecciones, si bien observan mayor concordancia con las observaciones del Clicom, la principal diferencia se contempla en la zona de serranía, la cual tiene los mayores niveles de precipitación y no se observa en las proyecciones. Por otro lado, el sur del estado que presenta las condiciones más secas, se proyecta que sea aún más seco (ver mapa 15).









Fuente: Elaboración propia a partir de Cavazos et al, 2014 sobre la base de Inegi, 2010

La información presenta corresponde a los impactos potenciales que tendría el cambio climático sobre la región, sin embargo para hablar de vulnerabilidad es necesario contemplar la capacidad adaptativa, es decir la capacidad de los municipios para hacer frente a los incrementos en la temperatura, a la reducción en los niveles de precipitación y a las posibles lluvias extremas cuya ocurrencia no se debe descartar, tal y como lo evidencia la variabilidad observada en años anteriores.





5.3. Proyecciones espaciales de Cambio Climático para el municipio Tijuana

Para la elaboración de las proyecciones espaciales de Cambio Climático se recurrió a la información de la "Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación", la cual fue desarrollada por el INECC y el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la Universidad Nacional Autónoma de México⁶, en la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y ambientales (UNIATMOS). Se utilizó el ensamble REA (*Reliability Ensemble Averagin*) para las Trayectorias Representativas de Concentraciones (RCP, por sus siglas en inglés) 4.5 y 8.5 de forzamiento radiativo (expresando en W/m²) considerando los horizontes a futuro cercano (2015 - 2039) y futuro lejano (2075 – 2099) a una resolución espacial de 30" x 30" para las variables: temperatura (máxima y mínima) y precipitación.

Las proyecciones municipales corresponden a un recorte geoespacial de los escenarios regionales de cambio climático y se procesaron con el software QGIS⁷, el cual es un sistema de información geográfica de libre acceso y de código abierto. Las variables se procesaron de la siguiente manera. 1. Se calcularon las temperaturas máxima media anual y mínima media anual; 2. Se generó un promedio estacional para los meses más fríos (diciembre a febrero) y para los meses más cálidos (julio a agosto); 3. Se utilizó la precipitación anual total.

5.3.1. Proyecciones espaciales de temperatura máxima para Tijuana

El mapa 17 muestra las proyecciones de temperatura máxima media anual y estacional (julio a septiembre) para el futuro cercano (2015 – 2039) y para el futuro lejano (2075 – 2099) para los RCP 4.5 (bajas emisiones) y 8.5 (altas emisiones). Se observa un incremento en las temperaturas medias en futuro lejano respecto a las de futuro cercano. No obstante, dicho aumento es más intenso durante los meses de calor. La zona este de la ciudad es la que presenta las temperaturas superiores, mientras que la zona de la costa las más frescas. El RCP 8.5 muestra aumento de temperaturas en la zona centro del municipio.

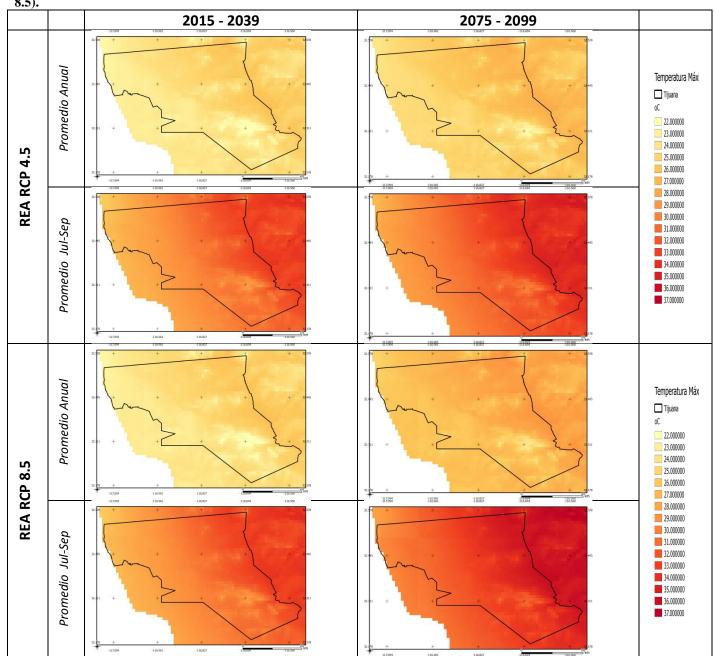
⁶ Dicha información es gratuita y está disponible para consulta pública en la página web: http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/.

Disponible en: http://www.qgis.org/es/site/.





Mapa 16. Proyecciones de temperatura máxima para el municipio de Tijuana, Baja California, para el futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075 – 2099), según escenarios de bajas emisiones (RCP 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5).



Fuente: Elaboración propia con información de Fernández et al. 2015.

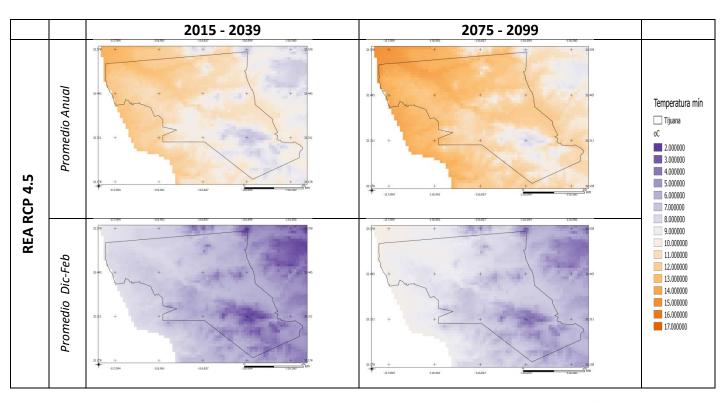




5.3.2. Proyecciones espaciales de temperatura mínima para Tijuana

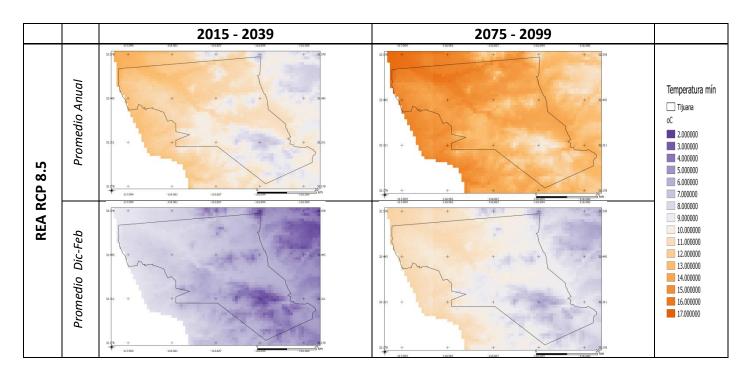
El mapa 17 muestra las proyecciones de temperatura mínima media anual y estacional (diciembre a febrero) para el futuro cercano (2015 – 2039) y para el futuro lejano (2075 – 2099) para los RCP 4.5 (bajas emisiones) y 8.5 (altas emisiones). Se observa un incremento en las temperaturas medias en futuro lejano respecto a las de futuro cercano. Incluso se muestra un aumento en la temperatura durante los meses más fríos del año. La zona este de la ciudad es la que presenta las temperaturas más bajas, mientras que la zona de la costa tienden a elevarse. El RCP 8.5 muestra el mayor incremento en la temperatura mínima para el horizonte lejano en los meses fríos.

Mapa 17. Proyecciones de temperatura mínima para el municipio de Tijuana, Baja California, para el futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075 – 2099), según escenarios de bajas emisiones (RCP 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5).









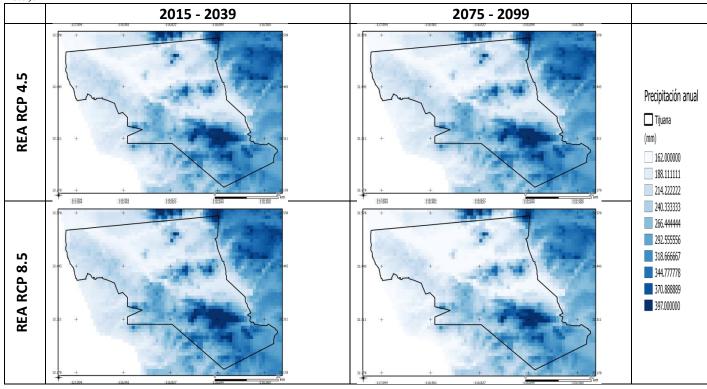
5.3.3. Proyecciones espaciales de precipitación para Tijuana

El mapa 18 muestra las proyecciones de precipitación anual total para el futuro cercano (2015 – 2039) y para el futuro lejano (2075 – 2099) para los RCP 4.5 (bajas emisiones) y 8.5 (altas emisiones). Se observa una diminución en la precipitación en futuro lejano respecto a las de futuro cercano. No obstante, la mayor precipitación se proyecta en las zonas altas de la ciudad.





Mapa 18. Proyecciones de precipitación total anual para el municipio de Tijuana, Baja California, para el futuro cercano (2015-2039) y el futuro lejano (2075 – 2099), según escenarios de bajas emisiones (RCP 4.5) y de altas emisiones (RCP 8.5).







Referencias

Cavazos, Tereza, T., J. A. Salinas, Benjamín Martínez, G. Colorado, P. de Grau, R. Prieto González, Ana Cecilia Conde Álvarez, Arturo Quintanar Isaías, J. S. Santana Sepúlveda, Rosario de Lourdes Romero Centeno, M. E. Maya Magaña, J. G. Rosario de La Cruz, Ma. del R. Ayala Enríquez, H. Carrillo Tlazazanatza, O. Santiesteban y M. E. Bravo, 2013, *Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la Quinta Comunicación Nacional . Informe Final del Proyecto al INECC*, con resultados disponibles en: http://escenarios.inecc.gob.mx/index2.html, diversas fechas de consulta.

CICESE, Compuestos Diarios En Malla Del Clicom. Disponible en: (http://clicom-mex.cicese.mx/malla).

Fernández Eguiarte, A., J. Zavala, R. Romero, A.C Conde y R.I Trejo (2015). "Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impacto, vulnerabilidad y adaptación. Centro de Ciencias de la Atmósfera", Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Disponible en http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/.

Inegi, 2010, *Marco Geoestadístico Nacional*, disponible en http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/default.aspx, diversas fechas de consulta.

Muñoz-Arriola, F., R. Avissar, C. Zhu, D. P. Lettenmaier, 2009: Sensitivity of the water resources of Rio Yaqui Basin, Mexico, to agriculture extensification under multiscale climate conditions. Wat. Res. Res. Vol. 45 (11), DOI: 10.1029/2007WR006783.

Zhu, Chunmei, Dennis P. Lettenmaier, 2007: Long-Term Climate and Derived Surface Hydrology and Energy Flux Data for Mexico: 1925–2004. J. Climate, 20, 1936–1946.

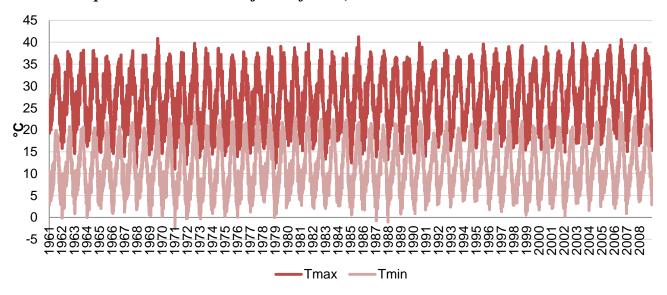




Anexos

Anexo A: Registros diarios de temperatura en Baja California

Anexo a: Temperatura Diaria en Baja California, 1961-2008



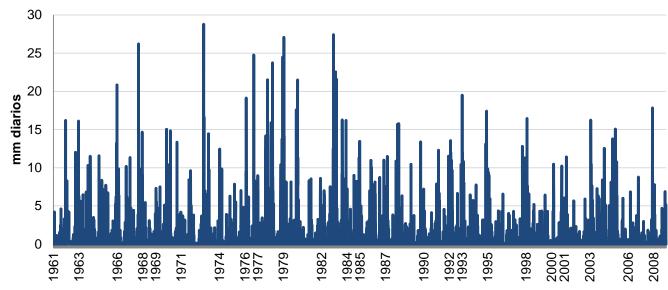
Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014





Anexo B: Registros diarios de precipitación en Baja California

Anexo b: Precipitación en Baja California, 1961-2008



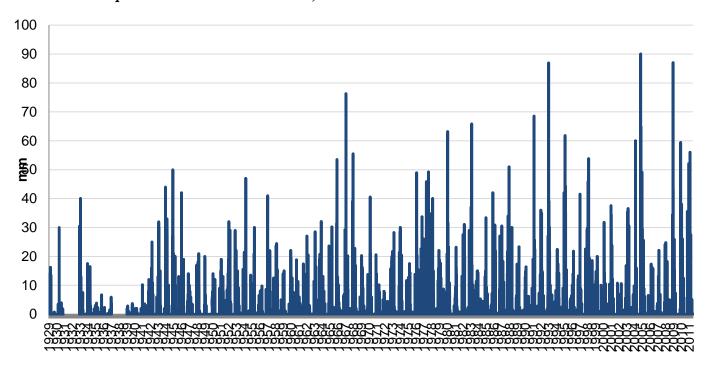
Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom en Malla, 2014





Anexo C: Registros de precipitación diaria en la estación 2038 Presa Rodríguez BC

Anexo c: Precipitación diaria en Abelardo, 1929-2011



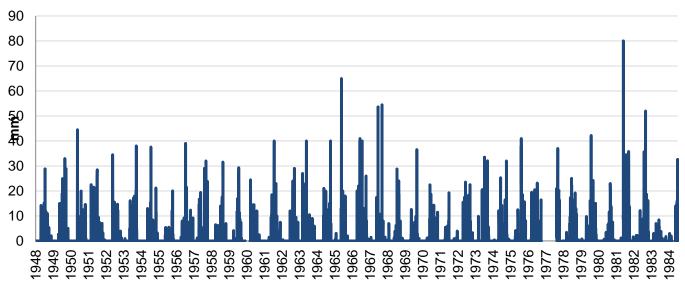
Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014





Anexo D: Registros de precipitación diaria en la estación 2068 Tijuana, BC

Anexo d: Precipitación diaria en Tijuana, 1949-1984



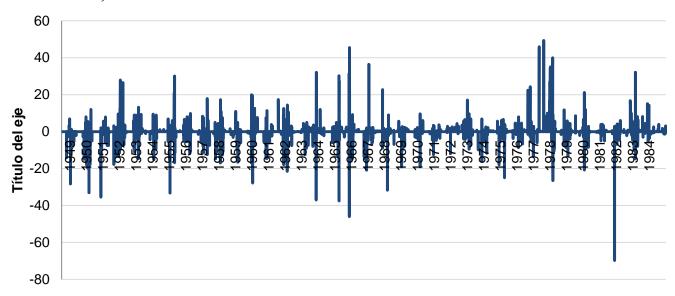
Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014





Anexo E: Estimación de las diferencias en los niveles de precipitación de la estación 2038 Presa Rodríguez BC, respecto de la estación 2068 Tijuana, BC

Anexo e: Diferencias entre la Precipitación diaria en la estación climatológica Tijuana y la de Presa Abelardo, 1948-1984



Valores Positivos indican que llovió más en Abelardo

Valores Negativos significan que llovió más en Tijuana

La sumatoria de la serie es -256.6, lo que implica que en el periodo 1948-1984 llovió más en el centro de Tijuana

Fuente: Elaboración propia a partir de información de Clicom Estaciones, 2014