

# ESCENARIOS A FUTURO DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PLUVIAL BAJO EL EFECTO DE UN CAMBIO CLIMATICO EN LA REGION AGRICOLA DE LOS LLANOS, DURANGO, MEXICO

## FUTURE SCENARIOS OF TEMPERATURE AND RAIN PRECIPITATION UNDER THE EFFECT OF A CLIMATIC CHANGE IN THE AGRICULTURAL REGION OF THE PLAINS, DURANGO

G. García Herrera<sup>1</sup>, G. Esquivel Arriaga<sup>1</sup>, J.L. Zárate Valdez<sup>2</sup>, R. Trejo Calzada<sup>1</sup>, I. Sánchez Cohen<sup>3</sup> y O. Esquivel Arriaga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Chapingo – Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

<sup>2</sup> Centro Regional Universitario del Noroeste-Universidad Autónoma Chapingo

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – CENID RASPA

**RESUMEN.** El presente estudio está encaminado a generar una representación del clima a futuro, de la temperatura y precipitación pluvial, en sus condiciones medias; mediante la proyección al año 2020, 2050 y 2080, a fin de integrar dichas proyecciones en un índice de amenaza climática en la Región Agrícola de los Llanos, Durango. Región que comprende 5 municipios: Cuencamé, Guadalupe Victoria, Panuco de Coronado, Peñón Blanco y Santa Clara. Se seleccionaron estaciones climatológicas que tuvieran la mayor cantidad de información, con homogeneidad y consistencia en los datos. Se realizaron los escenarios utilizando el Modelo Estadístico de Reducción de Escala Espacial (SDSM, por sus siglas en inglés), siendo uno de los esquemas de reducción de escala espacial más útiles, en materia de generación de escenarios de cambio climático basado en procedimientos estadísticos de regresión. Se generaron archivos y escenarios para cada variable meteorológica de cada estación mediante una serie de procedimientos con el SDSM. Los resultados respecto a la temperatura máxima indicaron que los meses de Julio y Agosto son los que presentan el índice de aumento más considerable en los tres escenarios. Para la temperatura mínima se presentó en los meses de Abril, Junio y Julio los aumentos más considerables, y en cuanto a la precipitación pluvial el mes de Junio es el que tiende a presentar un aumento considerable, seguido del mes de Septiembre. Siendo la variable precipitación la que presentó mas heterogeneidad en las estaciones consideradas en este estudio. Este trabajo es la base para realizar estudios de evaluación de los impactos del cambio climático en el área de estudio.

**Palabras clave:** Cambio climático, reducción de escala

**SUMMARY.** Investigations were carried out with the objective of generating temperature and rainfall scenario changes in the Durango's agricultural flats region on the future climatic behavioral trends of the years 2020, 2050 and 2080. Studied municipalities were Cuencame, Guadalupe Victoria, Panuco de Coronado, Peñón Blanco and Santa Clara. Weather stations were selected for their completeness and homogeneity of data reports. To generate future scenarios, the Statistical Downscaling Model (SDSM) was used. This model is utilized to reduce the Global Circulation Model to local or regional scale data. Results Show increments in maximum temperatures for all sites, with the highest differences on the months of July and August. Highest minimal temperature values were for April, June and July. Rainfall had the maximal differences on June and August. Our results are the first proceedings in the evaluation of climate change impacts in the studied area.

**Key words:** Climate Change, Downscaling.

### INTRODUCCIÓN

El cambio climático es, sin duda, uno de los problemas ambientales globales más importantes del siglo XXI. La opinión pública internacional es cada vez más sensible

a la amenaza que representa el calentamiento global, en particular por los impactos que puede tener en las poblaciones humanas, en sus economías y en el proceso de desarrollo en general. Aunque los estudios de prospectiva indican que los modos y grados en que

el cambio climático impactará varían de una región a otra del planeta, existe la seguridad de que el saldo general será negativo. El impacto dependerá del desempeño de las naciones en el desarrollo de medidas de mitigación y adaptación.

Los Experimentos numéricos con Modelos de Circulación General de la Atmósfera, (*GCM* por sus siglas en inglés), permiten concluir que el aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero tendrá impactos significativos en el clima global y regional. Sin embargo, es menos claro en qué medida las condiciones climáticas en sitios particulares se modificarán. Para la elaboración de los escenarios climáticos futuros locales, se hace uso de las llamadas técnicas de reducción de escala (*downscaling*), las cuales se han desarrollado como una interfase entre los encargados de los *GCM*, los que se hacen los experimentos de cambio climático y los encargados de evaluar los impactos potenciales del cambio climático. La técnica de reducción de escala empleada en este estudio es la del *SDSM* (*Statistical DownScaling Model*), la cual permite obtener información de escala espacial mucho más fina (Rivas, 2007).

En las técnicas estadísticas de reducción de escala las variables del clima regional o local (predictandos) se obtienen generando un modelo estadístico que las relaciona con las variables de gran escala del *GCM* (predictores). Dicha relación involucra relaciones entre observaciones de gran escala y de superficie, teniendo como hipótesis fundamental que las relaciones construidas con el clima actual se mantienen aun bajo cambio climático (Rivas, 2007). El objetivo de este estudio fue el de encontrar las tendencias a futuro de

las variables temperatura y precipitación pluvial debido al cambio climático en la Región Agrícola de los Llanos, Durango.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización geográfica.

La región de los Llanos Durango, se ubica en la parte sureste del estado de Durango. Geográficamente se encuentra entre los paralelos 24° 03' y 24° 37' latitud norte y los meridianos 103° 33' y 104° 30' longitud oeste de Greenwich, en alturas que varían de 1900 a 2160 msnm; comprende cinco municipios; Guadalupe Victoria, Cuencamé, Peñón Blanco, Santa Clara y Pánuco de Coronado (Treviño, *et al*, 1975).

### Selección de las estaciones climatológicas.

En la región de los Llanos Durango se ubicaron 15 estaciones meteorológicas, para este estudio se tomaron las estaciones que como mínimo tuvieran 30 años de antigüedad cuya información fuese consistente y homogénea, del total de las estaciones se seleccionaron solo 5 (Cuadro 1).

### Modelo utilizado.

Se utilizó para este estudio el modelo de circulación Canadiense CGCM1 del Centro Canadiense de Modelación y Análisis Climático. Este modelo toma en cuenta los impactos combinados de los gases de efecto invernadero (GEI) y los aerosoles sulfatados sobre el clima. El modelo CGCM1 proporciona el escenario de emisión de CO<sub>2</sub> IS92a. El modelo Canadiense CGCM1 es un modelo espectral con una componente atmosférica de 10 niveles verticales de resolución de 3.7 ° de latitud y 3.7 ° de longitud y una componente oceánica con una resolución de 1.8756 ° de latitud y

Cuadro 1. Estaciones climatológicas consideradas en el estudio Los Llanos, Dgo.

NOMBRE	MUNICIPIO	CLAVE	LATITUD	LONGITUD	Altitud
Cuencamé	Cuencamé	00010012	24 52 0	103 41 47	1600.0
Fco. I. Madero	P. de coronado	00010027	24 25 0	104 20 0	2000.0
Guadalupe Victoria	Gpe. Victoria	00010030	24 28 0	104 9 0	1982.0
Peñón Blanco	Peñón Blanco	00010131	24 47 36	104 2 16	1700.0
Santa Clara	Santa Clara	00010074	24 28 9	103 21 11	1800.0

1.877 ° de longitud y 29 niveles verticales (Flato *et al*, 2000). El modelo CGMAO predice para el futuro, bajo el efecto del aumento de la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> del 1 % anual, un incremento de la temperatura de 1.7 ° para el año 2050 y de 2.7 ° C para el 2100. En lo que se refiere a las precipitaciones, el modelo pronostica un incremento en la tasa de funcionamiento del ciclo hidrológico, el cual será atrasado por el efecto de los aerosoles (Boer *et al*, 2000).

### Modelo estadístico de reducción de escala espacial (SDSM).

Uno de los esquemas de reducción de escala espacial más útiles, en materia de generación de escenarios de cambio climático, se basa en procedimientos estadísticos de regresión. El Modelo Estadístico de Reducción de Escala Espacial (SDSM, por sus siglas en inglés) permite producir en combinación con los métodos de funciones de transferencia matemática (por la utilización de regresiones) y de generadores estocásticos; las secuencias de datos climáticos diarios para el periodo actual y en el cuadro de los escenarios de cambio climático. La componente estocástica permite producir un número teóricamente ilimitado de escenarios climáticos (Gagnon, 2004).

### Control de calidad de los datos.

El primer paso en la aplicación del SDSM consistió en un proceso de control de calidad y consistencia de los datos observados de manera local, para el caso de los

datos faltantes, el código asignado fue el de -999. Para esto se elabora un archivo en el programa Bloc de Notas, con la extensión \*.DAT como archivo de entrada para cada variable (temperatura y precipitación), creado en una sola columna sin títulos, y posteriormente en la opción QUALITY CONTROL de SDSM se verificaron los datos.

### Selección de variables predictoras.

De 26 variables de calibración, se buscó la mejor correlación y explicación física (una a una o en conjunto) con una variable local (predictando, que corresponde a la variable meteorológica de la estación) la cual puede ser la temperatura máxima, mínima, y/o precipitación; y se selecciona una variable predictor o la combinación de dos o tres para cada predictando. Los resultados del análisis muestran la varianza explicada donde la correlación más grande en cada mes se muestra en color rojo, indicando que las relaciones entre el predictando y los predictores, son las más importantes (Figura 1).

Además de esto se realiza una matriz de correlación (Figura 2) con los mismos predictores y con el mismo predictando con el fin de encontrar relaciones entre variables para sub-periodos específicos, lo que reporta las correlaciones parciales entre los predictores y el predictando. Estas estadísticas ayudan a identificar la cantidad de poder explicativos que es único para cada predictor (Wilby y Dawson, 2007).

#### RESULTS: EXPLAINED VARIANCE

Analysis Period: 01/01/1961 - 31/12/1990

Significance level: 0.05

Total missing values: 0

Predictand: Tmax\_cuencame.dat

Predictors:	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
ncepmslpna.dat			0.007	0.010	0.040	0.086	0.006		0.032	0.033	0.006	0.005
ncepp__fna.dat	0.222	0.118	0.135	0.099	0.119	0.137	0.063	0.069	0.143	0.152	0.181	0.141
ncepp__una.dat	0.218	0.110	0.088	0.066	0.096	0.308	0.105	0.099	0.170	0.155	0.159	0.121
ncepp__vna.dat	0.119	0.020	0.021	0.025	0.055	0.227	0.055	0.040	0.079	0.103	0.104	0.081
ncepp500na.dat	0.246	0.224	0.275	0.315	0.224	0.116	0.115	0.131	0.241	0.116	0.190	0.162

Figura 1. Varianza explicada indicando la relación de los predictores y el predictando

CORRELATION MATRIX

Analysis Period: 01/01/1961 - 31/12/1990 (Annual)

Missing values: 0  
Missing rows: 0

	1	2	3	4	5	6
1 Tmax_cuencame.dat	1					
2 ncepmslpna.dat	-0.389	1				
3 ncepp__fna.dat	-0.442	0.459	1			
4 ncepp__una.dat	0.496	-0.553	-0.825	1		
5 ncepp__vna.dat	-0.262	0.460	0.740	-0.727	1	
6 ncepp500na.dat	0.599	-0.036	-0.071	0.079	0.251	1

PARTIAL CORRELATIONS WITH Tmax\_cuencame.dat

	Partial r	P value
ncepmslpna.dat	-0.201	0.0000
ncepp__fna.dat	-0.010	0.3372
ncepp__una.dat	0.174	0.0000
ncepp__vna.dat	-0.149	0.0000
ncepp500na.dat	0.645	0.0000

Figura 2. Matriz de Correlación indicando la relación de los predictores con el predictando.

### Calibración del modelo.

Después de haber seleccionado los predictores más idóneos para el predictando en el paso anterior, se calibró el modelo en el cual como archivo de entrada se usó el de extensión \*.DAT y el resultado de la calibración es un archivo con extensión \*.OUT, esta calibración se hace mediante ecuaciones de regresión lineal múltiple a partir de los datos diarios de tiempo. Para la calibración del modelo se utilizó el periodo de datos de 1961 a 1990.

### Generador de clima.

Esta operación permitió generar conjuntos de series de datos de clima observados respecto a las variables predictoras utilizadas. En este paso se introdujo como archivo de entrada el generado durante la calibración de modelo que tiene extensión \*.PAR, y el archivo de salida se genera con la extensión \*.OUT.

### Resumen estadístico.

El análisis de los datos de clima observados y modelados son manejados de diferente forma por SDSM pero son realizados dentro del mismo menú. Esta operación produce un archivo de salida los cuales incluyen variables estadísticas como la media, valor máximo, valor mínimo, y varianza, los cuales pueden ser evaluados o comparados en el menú Compare Results. Los archivos modelados corresponden a los

generados con Weather Generator con extensión \*.OUT, y los observados son los archivos con extensión \*.DAT, lo cual genera archivos con extensión \*.TXT.

### Comparación de Resultados.

Esta operación permitió hacer las comparaciones entre los resultados tanto de las series de datos modelados, como de los observados, para corroborar la tendencia de los datos, y para verificar si el modelo fue calibrado correctamente. Para esto se introdujo el archivo generado con extensión \*.TXT, y se selecciona la variable estadística a comparar, esta operación permite la elección de que la gráfica generada sea en línea o en barra.

### Generación de escenarios.

Una vez calibrado el modelo correctamente, se procedió a la generación de escenarios, la cual produjo conjuntos sintetizados de datos diarios de clima dados por las variables atmosféricas que están soportadas por un modelo climático, para esto se seleccionó como archivo de entrada el de extensión \*.PAR, y se selecciona el escenario correspondiente en la ventana de CGM Directory; se da clic en View Details, el cual nos muestra los predictores utilizados en la calibración. Esta

operación produce archivos de salida con extensión \*.OUT. Así mismo se tiene que hacer la misma operación con el Summary Statistics (Resumen estadístico) para los archivos con extensión \*.OUT generados en esta operación; para poder generar los correspondientes con extensión \*.TXT, los cuales se graficaron en Compare Results.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan en 20 figuras las cuales ilustran la temperatura y la precipitación actual respecto a los escenarios generados por el modelo, para los siguientes periodos: los años 20s corresponden al periodo de 2010-2039, los años 50s de 2040 a 2069 y los años 80s de 2070 a 2099. Posteriormente se presentan los escenarios de los años 50s, siendo este el período intermedio, en donde se ilustran las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y

precipitación, en conjunto para las cinco estaciones climatológicas consideradas en el estudio, esto para ver el comportamiento y/o tendencias de las variables a nivel región.

### Cuencamé Durango

**Temperatura máxima promedio.** En los años 20s, se observa una tendencia de aumento de apenas 1°C, en los 50s de 3°C y en los 80s de 6°C, siendo el mes de Agosto el mes con mayor índice de aumento de temperatura, llegando hasta los 3, 7 y 10 °C en cada escenario (Figura 3).

**Temperatura mínima promedio.** En el escenario de los años 20s, se mantienen un aumento cercano a 1 °C, para los años 50s llega a 1.8 grados y en los 80s de 3.9 grados, siendo Abril, Julio, Agosto y Septiembre donde se presentan incrementos de 2 a 4 °C en promedio en los 3 escenarios (Figura 4).

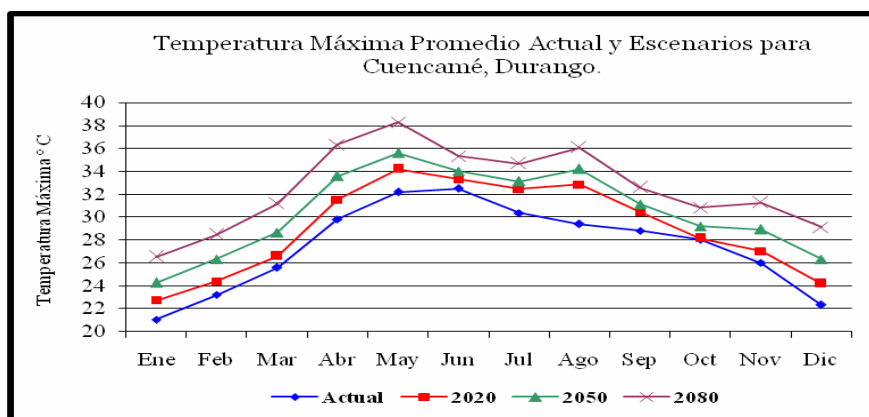


Figura 3. Escenarios de la temperatura máxima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Cuencamé, Durango.

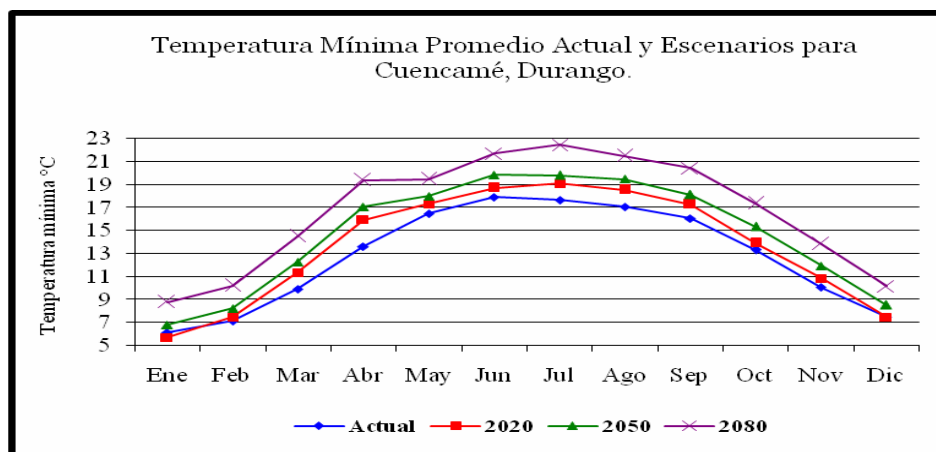


Figura 4. Escenarios de la temperatura mínima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Cuencamé, Durango.

**Precipitación promedio.** En lo que se refiere al escenario del año 2020, la precipitación se incrementa en el mes de Mayo y Junio, esto se repite para los años 50s y 80s, donde el mes con mayor índice de aumentos es Junio con 31 mm, 40 mm y 53 mm respectivamente para cada escenario (Figura 5).

**Temperatura mínima promedio.** En el escenario de los años 20s y para los 50s se mantienen un aumento cercano a 1 °C, y en los 80s de 2 °C, siendo a partir del mes de Mayo donde existen los incrementos (Figura 7) siendo Junio el que llega a los 2 °C. En los años 80s, el aumento es de 2 °C, y en los meses de Junio y Julio llega a los 4 °C.

**Guadalupe Victoria, Durango**

**Temperatura máxima promedio.** En los años 20s, se observa una tendencia de aumento de 1°C, en los 50s de 2°C y en los 80s de 4°C, siendo los meses de Julio y Agosto los meses con mayor índice de aumento de temperatura, llegando hasta los 4, 6 y 9 °C para cada escenario respectivamente (Figura 6).

**Precipitación.** Para los años 20s se presenta un incremento a partir del mes de Mayo, pero Junio presenta el valor máximo con 84 mm. Para el año 2050 Junio presenta un aumento de 120 mm. Referente a los años 80s, sigue la misma tendencia de aumento que en los años 50s; pero ahora Junio presenta un aumento de 174 mm (Figura 8).

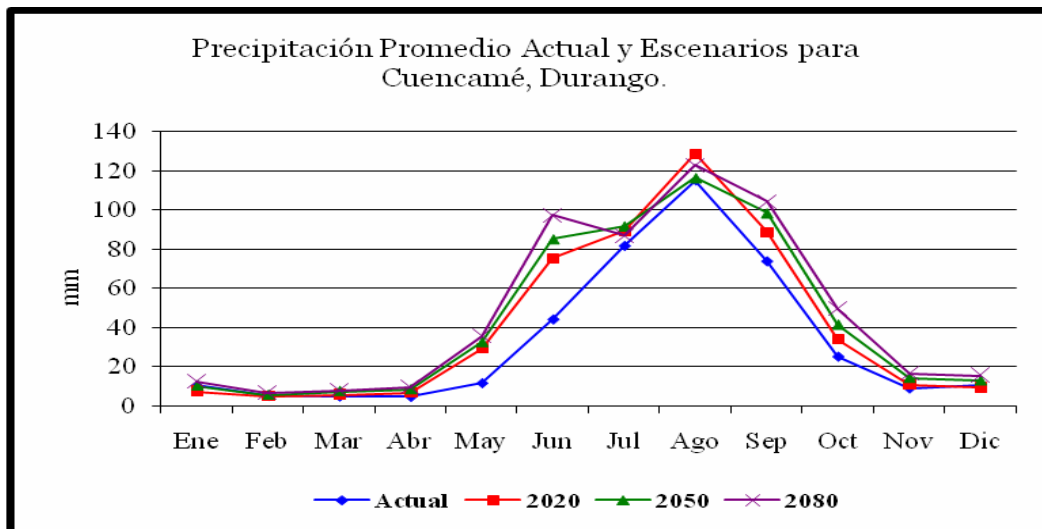


Figura 5. Escenarios de la precipitación promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Cuencamé, Durango.

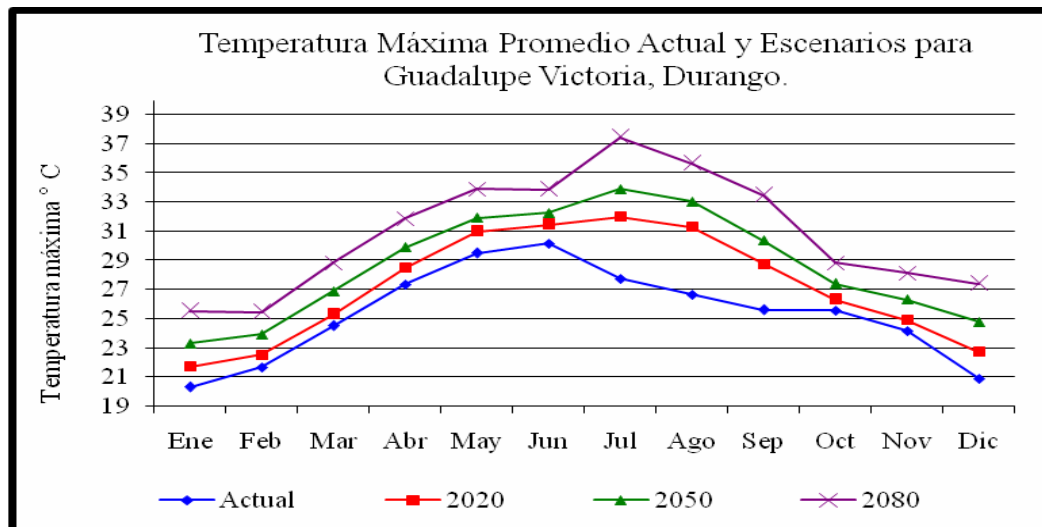


Figura 6. Escenarios de la temperatura máxima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Guadalupe Victoria, Durango.

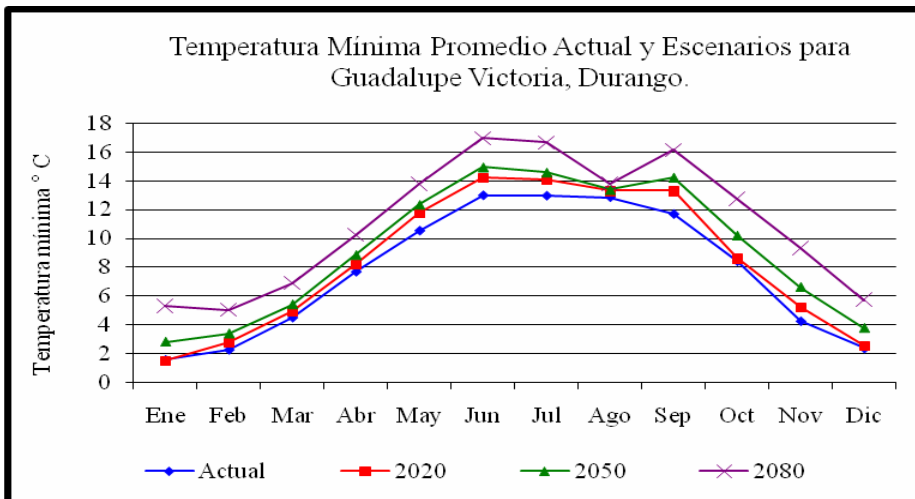


Figura 7. Escenarios de la temperatura mínima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Guadalupe Victoria, Durango.

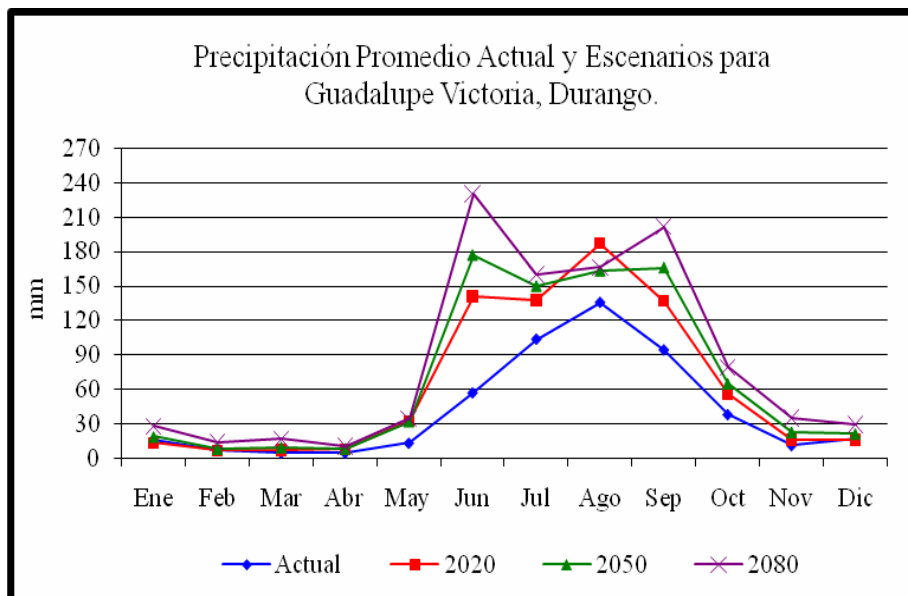


Figura 8. Escenarios de la precipitación promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Guadalupe Victoria, Durango.

**Panuco de Coronado**

**Temperatura Máxima Promedio.** En los años 20s, se observa una tendencia de aumento de 1°C, en los 50s de 3°C y en los 80s de 5°C, siendo los meses de Julio y Agosto los de mayor índice de incremento de temperatura, llegando hasta los 3, 5 y 7 °C en cada escenario (Figura 9).

**Temperatura mínima promedio.** En los años 20s se presenta un aumento de temperatura de apenas medio grado centigrado, en los años 50s el aumento alcanza 1 °C y en los años 80s de 3 °C. los períodos de

incremento inician en el mes de Abril a Junio y de Julio a Septiembre, en estos meses el aumento en los años 20s es de 1 °C, en los 50s de 2°C y en los 80s de 4 °C (Figura 10).

**Precipitación.** En el escenario del año 2020; se presenta un aumento en la precipitación a partir del mes de Mayo, siendo Junio el mes con el mayor incremento con 88 mm. Para el caso del año 2050 Mayo se mantiene con el aumento de los años 20s, pero Junio presenta ahora 123 mm, lo mismo sucede en los años 80s siendo Junio el mas alto pero ahora con 172 mm de

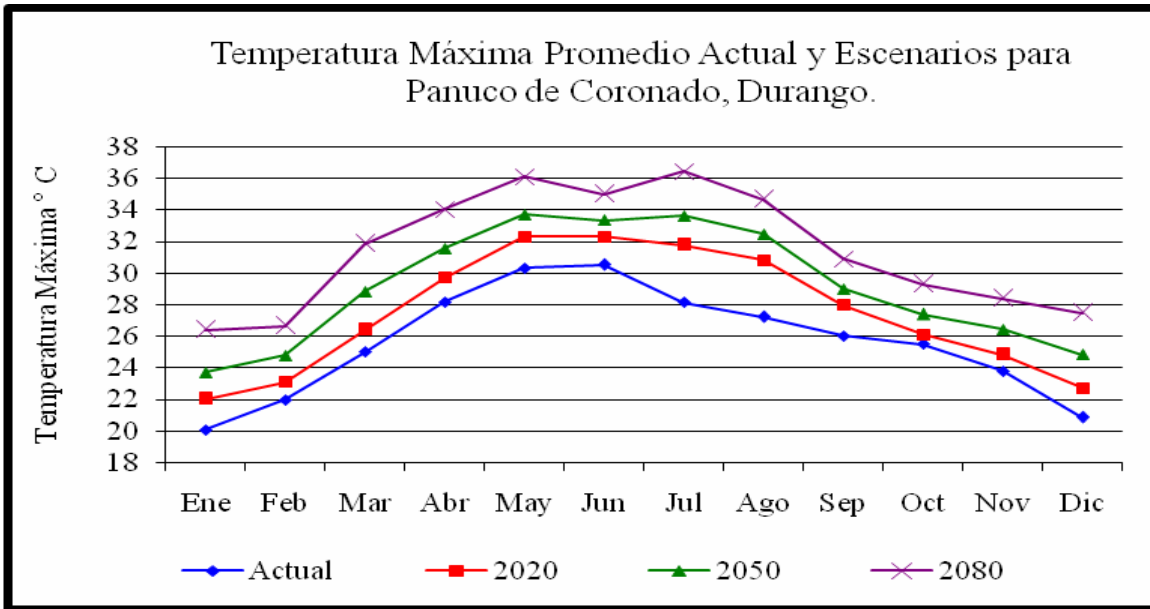


Figura 9. Escenarios de la temperatura máxima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Panuco de Coronado, Durango.

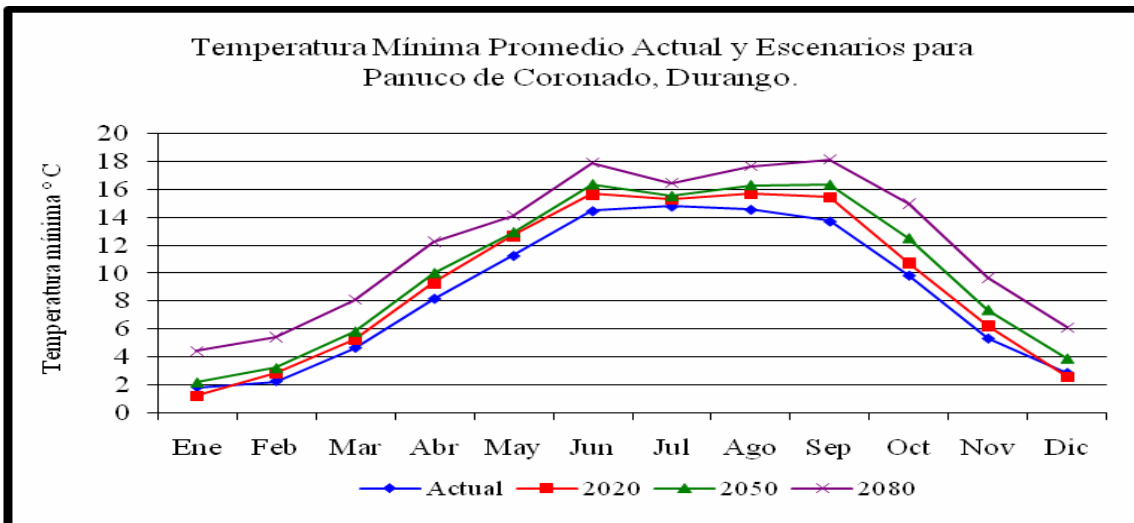


Figura 10. Escenarios de la temperatura mínima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Panuco de Coronado, Durango.

precipitación (Figura 11). En los tres escenarios destaca el mes de Junio como el mes con mayor índice de precipitación pluvial respecto a la precipitación actual.

**Peñón Blanco**

**Temperatura máxima promedio.** Se presenta el escenario generado de los años 20s, y en donde los meses de Julio, Agosto y Septiembre son los que

presentan un aumento considerable de temperatura, siendo Agosto el más crítico con 7 °C. En los años 50s, se presenta una tendencia de aumento en las temperaturas de 3°C durante el año, siendo Agosto el más crítico con 9 °C de aumento. En los años 80s, se presenta una tendencia de aumento en las temperaturas de 5°C durante el año, siendo ahora Julio y Agosto los meses con mayor índice de aumento, llegando a los 11 grados de aumento en la temperatura (Figura 12).

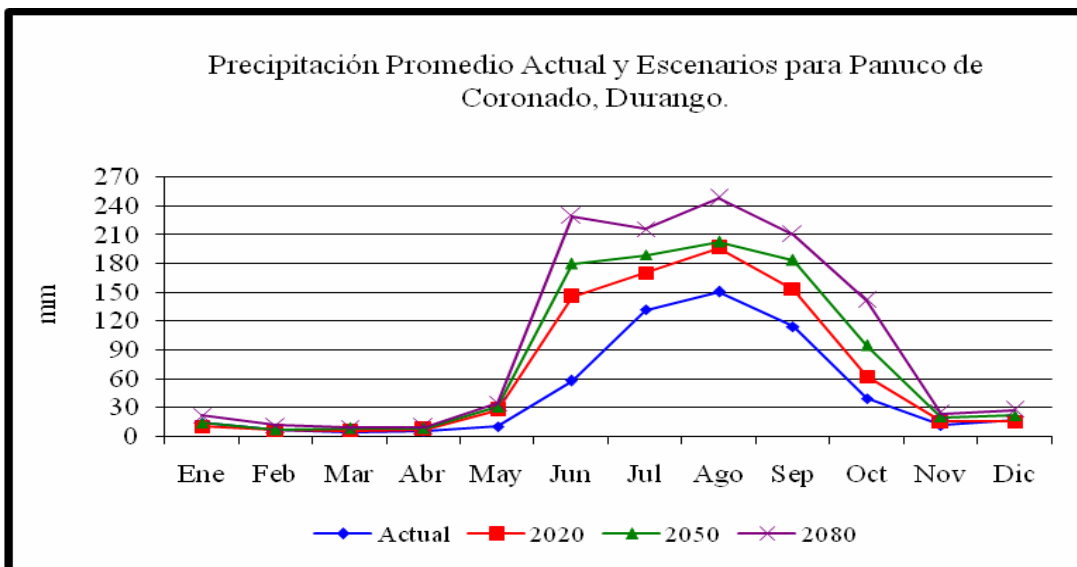


Figura 11. Escenarios de la precipitación promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Panuco de Coronado, Durango.

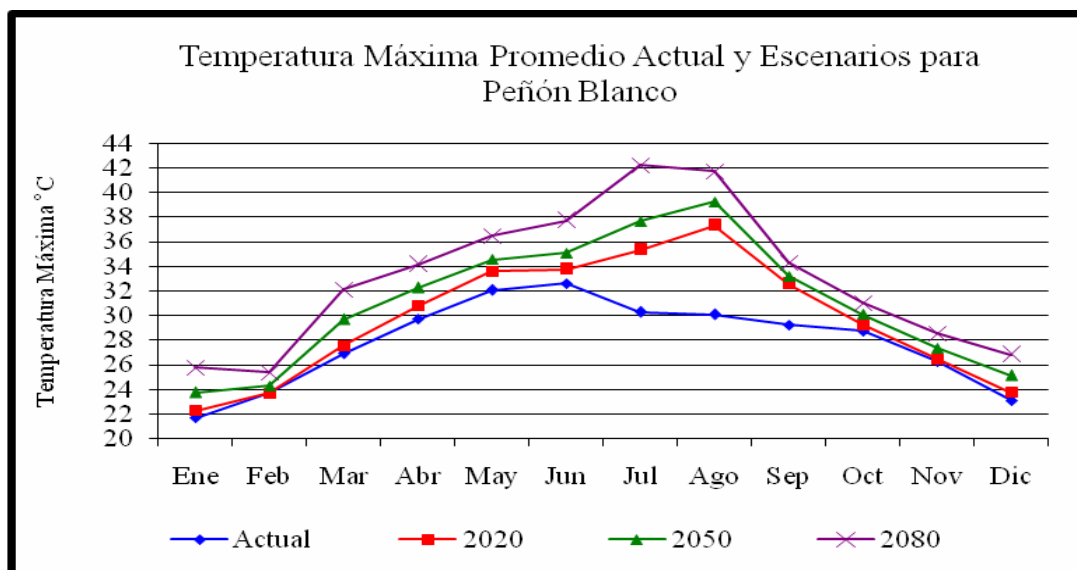


Figura 12. Escenarios de la temperatura máxima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Peñón Blanco, Durango.

**Temperatura mínima.** Para los años 20s, los meses de Abril y Mayo son donde aumenta en 1 °C, y es en los meses de Julio y Agosto, donde el aumento de temperatura se da en 2 °C, en el escenario de los años 50s, Abril y Mayo aumentan ahora en 2 °C, y es en los meses de Julio y Agosto, donde el aumento de temperatura se da ahora en 4 °C, en los años 80s, Abril y Mayo aumentan ahora en 4 y 5 °C, y es en los meses de Julio y Agosto, donde el aumento de temperatura se da ahora en 9 y 7 °C (Figura 13).

**Precipitación.** En los años 20s Junio es el mes que presenta el más alto valor con 94 mm, Para los años 50s, se observa que existe un aumento en el mes de Mayo de 53 mm, y de nueva cuenta Junio aumenta en 146 mm, pero para el mes de Agosto no aumenta, sino que disminuye 23 mm, y en el mes de Septiembre se presenta de nuevo un incremento de 31 y Octubre con 40 mm. Para los años 80s, Mayo aumenta en 67 mm, y Junio el mes con mas incremento llega a los 218 mm respecto a la precipitación promedio actual, y a su vez

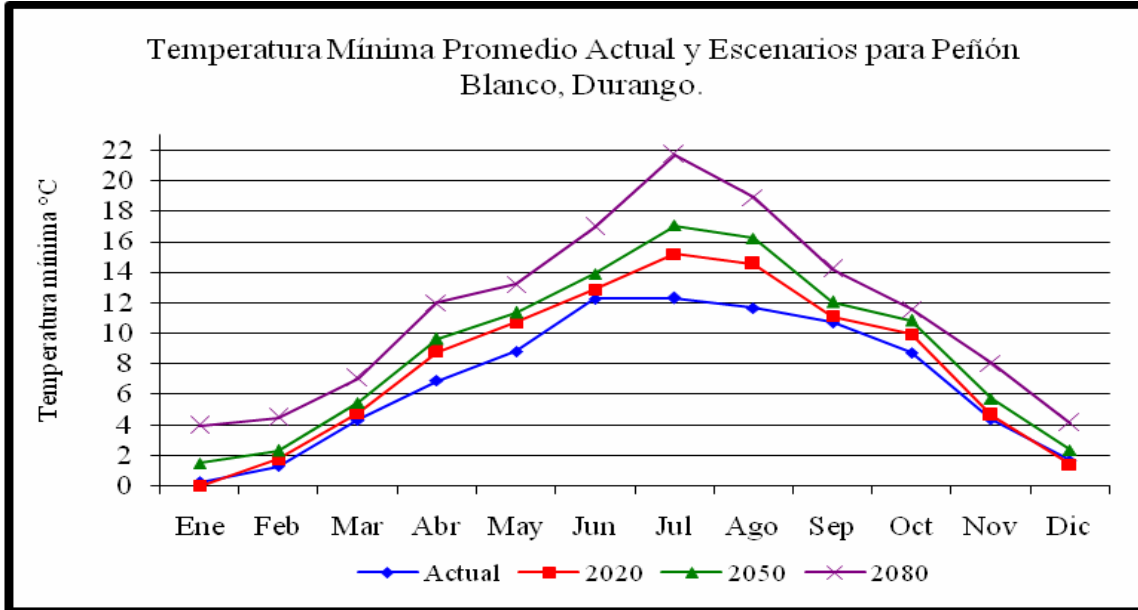


Figura 13. Escenarios de la temperatura mínima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Peñón Blanco, Durango.

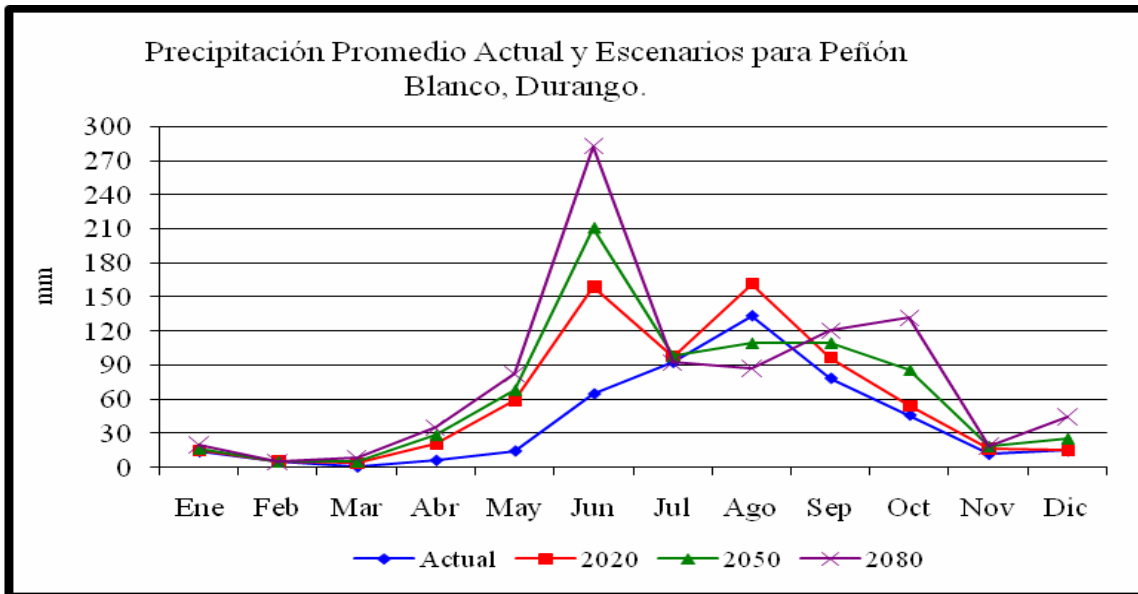


Figura 14. Escenarios de la precipitación promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Peñón Blanco, Durango.

disminuye también en el mes de Agosto en 46 mm, presentándose de nuevo el incremento en el mes de Septiembre y Octubre con 41 mm, pero ahora octubre presenta un aumento considerable de 86 mm (Figura 14).

**Santa clara**

**Temperatura máxima promedio.** En los años 20s, se observa una tendencia de aumento de 1°C, en los

50s de 3°C y en los 80s de 5°C, siendo los meses de Julio y Agosto los de mayor índice de incremento de temperatura, llegando hasta los 3, 4 y °C en cada escenario (Figura 15).

**Temperatura mínima promedio.** En los años 20s, Mayo presenta un incremento cercano a los 3°C. Para los años 50s, Abril y Mayo son los meses con mayor aumento de temperatura con 3 °C (Figura 16). En lo

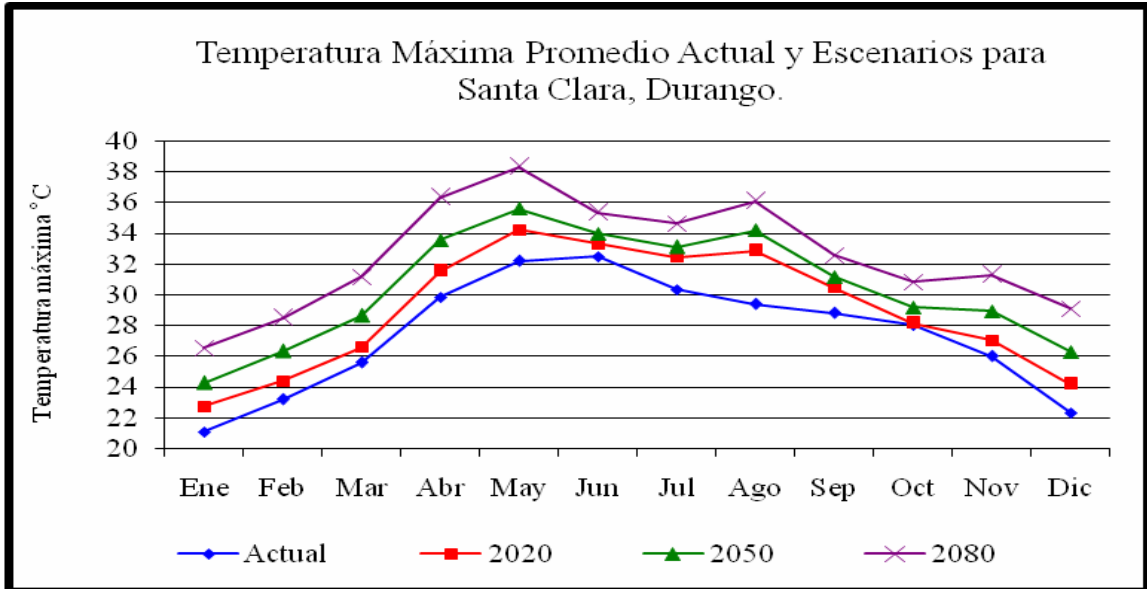


Figura 15. Escenarios de la temperatura máxima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Santa Clara, Durango.

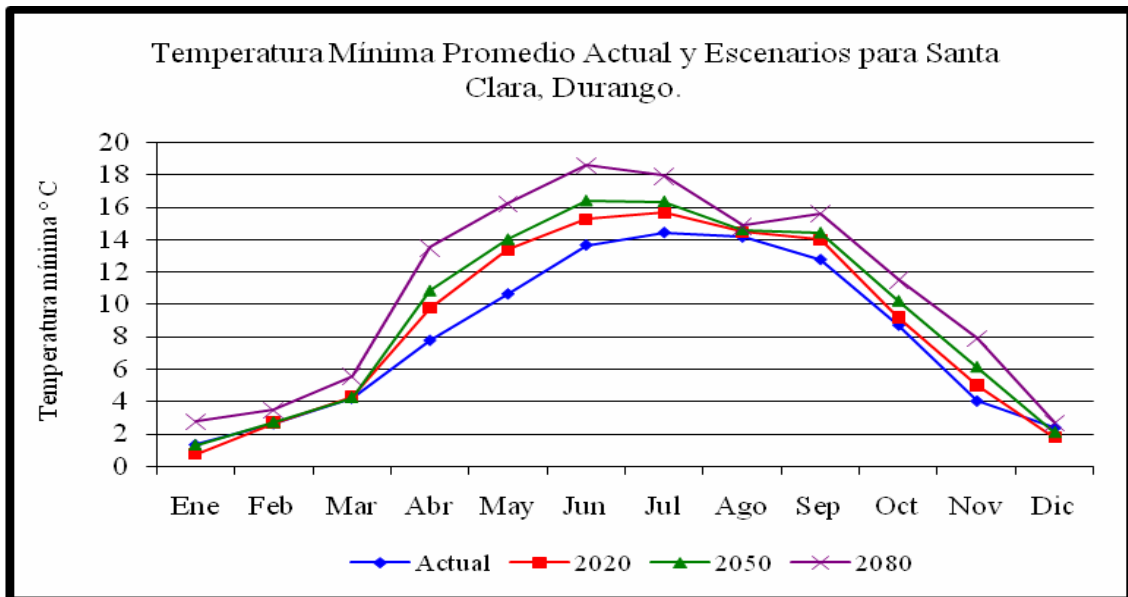


Figura 16. Escenarios de la temperatura mínima promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Santa Clara, Durango.

que corresponde al escenario del año 2080, presenta un incremento similar al anterior pero ahora Abril y Mayo aumentan en 5° C.

**Precipitación.** En el escenario de los años 20s, Junio es el mes con más aumento con 70 mm, en el escenario del año 2050, sobresale el mes de Junio con 104 mm. En lo que respecta a escenario del año 2080, Junio aumenta a 151 mm. En los tres escenarios el mes de

Junio, es el que presenta el mayor índice de aumento en la precipitación para esta estación (Figura 17).

**Región de los Llanos al año 2050**

**Temperatura Máxima.** Las cinco estaciones presentan la misma tendencia en cuanto a temperaturas, variando únicamente entre ellas de 1 a 2 grados centígrados en la mayoría de los meses; sin embargo

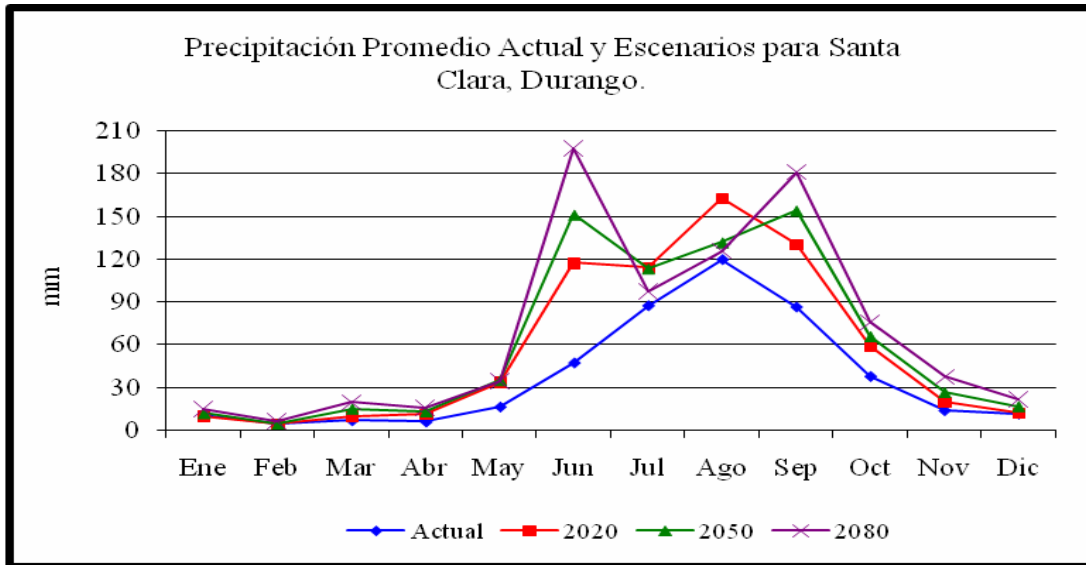


Figura 17. Escenarios de la precipitación promedio para los años 2020, 2050 y 2080 para la estación de Santa Clara, Durango.

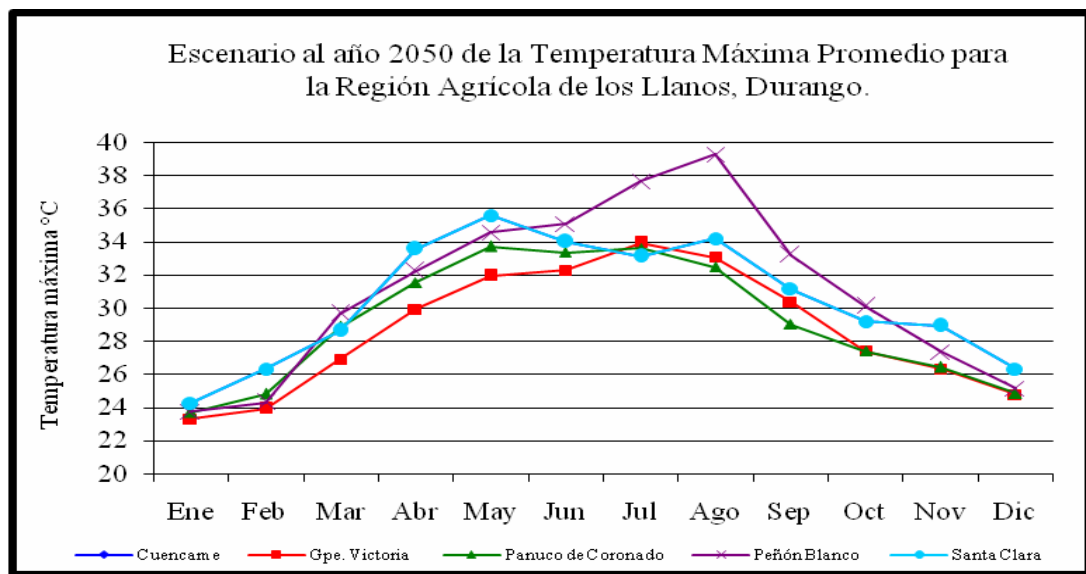


Figura 18. Escenario de la temperatura máxima promedio para los años 2050 para la Región Agrícola de los Llanos, Durango.

una de la estaciones, la correspondiente a Peñón Blanco, en los meses de Julio, Agosto y Septiembre, presenta diferencias de temperatura respecto a las demás de 4, 5 y 3 grados centígrados de diferencia, esto podría deberse a que Cuencamé y Peñón Blanco son una de las regiones en donde se presentan en promedio las temperaturas mas altas a diferencia de los otros lugares, en donde las temperaturas promedio son menores (Figura 18).

**Temperatura mínima.** Las cinco estaciones presentan la misma tendencia en cuanto a temperaturas, siendo solo 4 estaciones las que varían únicamente entre ellas de 0.5 a 1 °C; sin embargo una de la estaciones, la correspondiente a Cuencamé, difiere de las otras cuatro estaciones a lo largo del año en 4 y 5 grados centígrados de diferencia, esto podría deberse a la localización de la estación que se ubica un poco mas al norte de la región que comprende el municipio, a diferencia de que

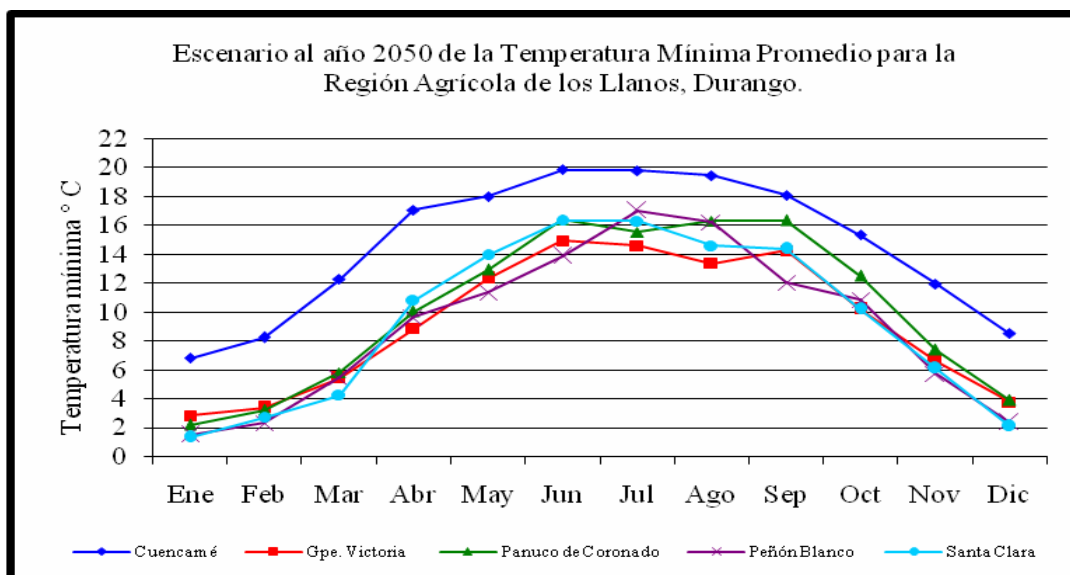


Figura 19. Escenario de la temperatura mínima promedio para los años 2050 para la Región Agrícola de los Llanos, Durango.

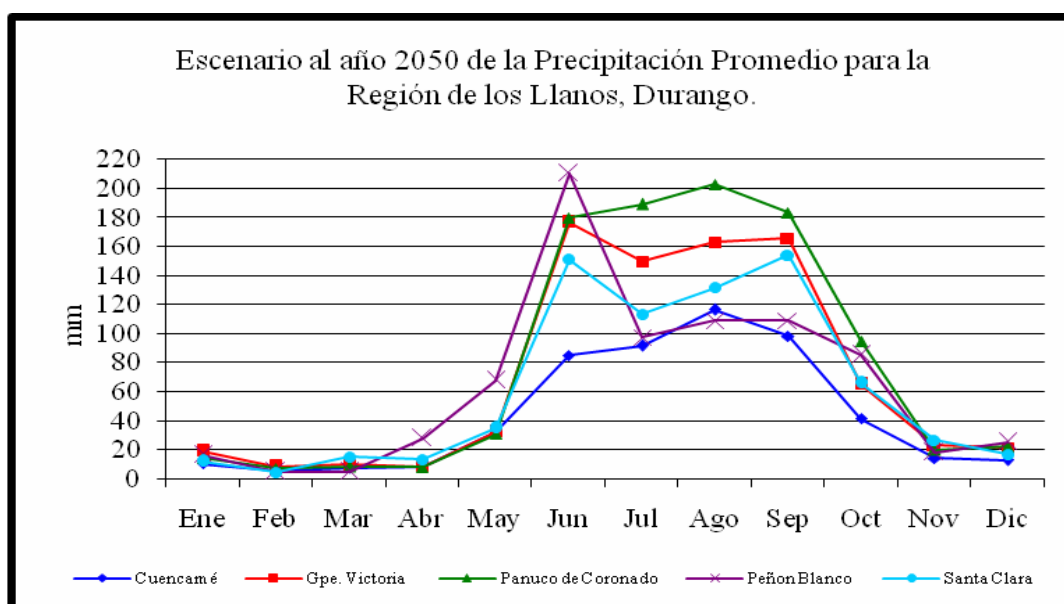


Figura 20. Escenario de la precipitación promedio para los años 2050 para la Región Agrícola de los Llanos, Durango.

la región en donde se tiene mas superficie dentro de los Llanos, es hacia el sur, lo cual podría tener diferencias en cuanto a temperaturas (Figura 19).

**Precipitación.** Las cinco estaciones presentan tendencia diferentes en cuanto a la precipitación se refiere, asumiendo que en cada estación se presentan en promedio diferentes cantidades de precipitación

pluvial; sin embargo, las cinco estaciones en el mes de Junio es en donde presentan el máximo incremento teniendo como base la precipitación actual para cada estación considerada en el estudio. Posterior al mes de Junio, los meses que presentan de manera general un incremento en la lluvia, corresponden a los meses de Julio, Agosto, Septiembre y en cantidades moderadas el mes de Octubre (Figura 20).

## CONCLUSIONES

Después de haber generado la representación del clima a futuro, mediante la proyección al año 2020, 2050 y 2080 de los valores de las variables meteorológicas en sus condiciones medias para la Región Agrícola de los Llanos, Durango, se presentan las siguientes conclusiones:

### Temperatura máxima.

Se presenta una tendencia de aumento cerca de 1 °C en los años 20s, en los años 50s esta asciende a los 3 °C y en los años 80s de 5 °C en promedio. Sin embargo, los meses de Julio y Agosto los que presentan el mayor aumento de temperatura en cada escenario generado, siendo en los años 50s y 80s donde es más destacado el índice de aumento.

### Temperatura mínima.

En el escenario del año 2020, existe un ligero aumento en la temperatura en las cinco estaciones, acercándose a 1 °C, en los años 50s el aumento se da en 2 °C y en los años 80s, el promedio es de 4 °C, y son los meses de Abril, Junio y Julio los que presentan el mayor aumento en las temperaturas respecto a las observadas en cada estación.

### Precipitación pluvial.

Es la más variable en todas las estaciones para los años 20s, 50s y 80s, ya que los aumentos van de 31

hasta los 94 mm respecto a la precipitación observada en los años 20s, en los 50s de los 41 mm a los 146 mm, y los años 80s, de los 51 mm hasta los 218 mm, siendo el mes de Junio el cual en todos los escenarios presenta el mayor incremento respecto los datos observados.

## LITERATURA CITADA

- Boer, B. J. Flato, G. y Ramsden, D. 2000. A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate to the twenty-first century. *Climate dynamics* 16: 427- 450.
- Gagnon, S. 2004. Impacts potentiels d'une hausse des concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre sur le comportement hydrologique de trois bassins versants du Québec. *Mémoire de Maitrise, Département de Géographie, Université de Montréal, Québec.*
- Rivas Pacheco, T. 2007. Escenarios de cambio climático para 2020 y 2085 en la planicie costera, entre los departamentos de La Paz, San Vicente y Usulután, El Salvador. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección de Meteorología de SNET. El Salvador.
- Treviño de la Cruz, G.; Aguirre Rodríguez, A. y Delgado Sotelo, A. 1975. Informe del Programa de Investigaciones Agrícolas Realizado en los Llanos de Durango durante el año 1975. INIA-CP. Durango, México.
- Wilby, R. L. y Dawson, C. W. 2007. SDSM Version 4.2 – A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. User Manual. USA