



**COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS  
(MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO  
CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE  
HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN  
2030, 2050 y 2080.**

**T E S I S**

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
LICENCIADO EN BIOLOGIA**

**PRESENTA:**

**YURIKO PILAR CRUZ KOIZUMI**

**TUTOR: M en C ANTONIO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ**

**TLALNEPANTLA DE BAZ, ESTADO DE MÉXICO.**

**2010.**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

H. JURADO EXAMINADOR

PRESIDENTE

\_\_\_\_\_

SECRETARIO

\_\_\_\_\_

VOCAL

\_\_\_\_\_

SUPLENTE

\_\_\_\_\_

SUPLENTE

\_\_\_\_\_

¿Qué sería del hombre sin los animales? Si todos fueran exterminados, el hombre también moriría de una gran soledad espiritual, porque lo que les sucede a los animales también le sucederá al hombre. Todo va unido. Todo lo que hiera a la Tierra también herirá a los hijos de la Tierra... Esto es lo que sabemos: la tierra no pertenece al hombre; es el hombre el que pertenece a la tierra...

Fragmento de la carta del Jefe Sioux

## **AGRADECIMIENTOS**

Por el instante permitido en esta historia y por las muchas bendiciones que se me fueron otorgadas gracias a ese ser que tomo

A Tere a y a Toño por su apoyo incondicional y sobreprotector siempre pendientes mis papás que siempre están guiándome por el mejor de los caminos por todo lo que gracias a ellos logre y más que nada por su compañía amor y enseñanzas que me brindaron.

A mis hermanos con los que he compartido los mejores momentos de la vida mis compañeros de juegos y bromas shi y kenjy por que también sentí su apoyo y su alegría al ver mas de una meta cumplida y saben que también estoy para ustedes.

A mi director de tesis que gracias a sus conocimientos brindados, su paciencia y el su tiempo dedicado se concluyo este trabajo muchas gracias profe Toño por todo su apoyo, sus consejos y su guía. Y a todos los investigadores del lab de Geomatica del CENID-COMEF

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

## **Dedicatoria**

## **RECONOCIMIENTO**

ESTE TRABAJO SE REALIZÓ CON EL APOYO DEL FONDO MIXTO CONACYT-COAHUILA COMO PARTE DEL PROYECTO “PERSPECTIVAS SOBRE LA CLIMATOLOGÍA Y DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DEL ESTADO DE COAHUILA PARA LOS PRÓXIMOS AÑOS.” CONVENIO COAH-2008-CO7-93005

## ÍNDICE.

RESUMEN	8
SUMMARY	9
I. ÍNDICE DE FIGURAS	10
II. ÍNDICE DE GRAFICAS	12
III. ÍNDICE DE TABLAS	13
1 INTRODUCCIÓN	14
2 REVISIÓN DE LA LITERAURA	15
2.1 Cambio Climático y calentamiento global	15
2.2 Escenarios de Cambio Climático	15
2.3 Modelos de Circulación General	17
2.4 Modelo Regional (REA)	18
2.5 Ciclo hidrológico y balance hídrico	19
2.5.1 Evapotranspiración	20
4.5.2 Necesidades hídricas	20
2.6 Problemática en México y el Mundo	21
2.7 Agua en México	21
2.7.1 Situación en el Norte del país	22
2.8 Impactos del Cambio Climático en la Agricultura	23
2.8.1 Sistemas Agropecuarios en el norte del País	23
2.8.8 Zonas Agrícolas en el estado de Coahuila	23
3 OBJETIVOS	25
3.1 General	

3.2	Particulares	
4	MATERIALES Y METODOS	26
4.1	Ubicación del área de estudio	26
4.2	Obtención de escenarios	27
4.2.1	Modelos de Circulación General (MCG)	27
4.2.1.1	HADGEM	
4.2.1.2	MPIECH	
4.2.1.3	GFDL	
4.2.2	Modelo Regional	28
4.2.2.1	REA	
4.2.3	Obtención del escenario base	28
4.3	Cálculo de la evapotranspiración	29
4.4.	Balances Hídricos bajo escenarios de Cambio Climático	29
4.5	Ubicación y estimación de la superficie agropecuaria afectada por los Balances Hídricos	30
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1	Análisis de los escenarios de cambio en temperaturas para los modelos MCG y REA	32
5.1.1	Análisis de los MCG las temperaturas de los meses más cálidos y más fríos.	33
5.2	Análisis de los escenarios de cambio en precipitación para los modelos MCG y REA.	34
5.3	Análisis del balance hídrico climático	37
5.4	Comparación de los Modelos de Circulación General con el Regional al estimar el Déficit Hídrico anual de los años 2030, 2050 y 2080.	41

5.5	Análisis de afectación de zonas agropecuarias por el Déficit Hídrico estimado en el escenario actual y para el 2030, 2050 y 2080.	43
5.5.1	Análisis actual	44
5.5.2	Análisis del modelo REA para las zonas agropecuarias.	45
5.5.3	Análisis del modelo GFDL para las zonas agropecuarias.	49
5.5.4	Análisis del modelo HADGEM para las zonas agropecuarias.	
5.5.5	Análisis del modelo MPIECH para las zonas agropecuarias.	
6	CONCLUSIONES	65
7	RECOMENDACIONES	66
8	LITERATURA CITADA	67
9	ANEXOS	71

## RESUMEN.

El Cambio Climático es la variación del clima a lo largo del tiempo, en la actualidad este cambio se atribuye por algunos científicos a las acciones antropogénicas. Las que ocasionan la alteración del medio natural y en especial cambios en el ciclo hidrológico. Conforme aumente la temperatura, este se intensificará provocando inundaciones o sequías severas. Un ejemplo sería lo que ocurre en el norte y en algunas áreas del centro de México donde se pronostica que la precipitación va a ser escasa, con sequías recurrentes.

Una forma de conocer cómo sería el cambio del ciclo hidrológico y por ende el balance hídrico en un futuro, es mediante escenarios y/o Modelos de Circulación General (MCG), pero hay que considerar que pueden tener márgenes de error para una región en específico, debido al tamaño o escalas que se manejan. Por lo que, para poder determinar con mayor certidumbre los impactos del cambio climático en el sector hídrico en el estado de Coahuila se compararon estos MCG con el método Reliability Ensemble Averaging (REA). En los resultados de la precipitación total anual obtenida para los años 2030, 2050 y 2080 todos los modelos, presentaron variaciones importantes ya que mientras los modelos GFDL y REA se estimó un aumento en la precipitación de hasta 88 mm y 30 mm respectivamente. Los modelos MPIECH y HADGEM estimaron una disminución para el 2030 en el escenario A1b de -20 mm y en el A2 de -28 mm y para el 2050 solo en el escenario A2. De acuerdo a los tres Modelos de Circulación General utilizados, los resultados obtenidos de la variable climatológica temperatura para los años 2030, 2050 y 2080 con los escenarios A1b y A2, se calculo un incremento promedio con respecto a la temperatura actual o escenario base de hasta 2.89, 3.49, 3.60 y 3.89 ° C para los modelos GFDL, MPIECH, HADEGEM y REA respectivamente.

Posteriormente se realizó el Balance Hídrico actual mensual y para los 3 años estudiados, restando la evapotranspiración de la precipitación obtenida por cada modelo. Obteniendo una tendencia similar a lo largo de año, a pesar de que los modelos GFDL y REA pronostican un aumento en la precipitación, todos los Balance Hídricos resultan negativos ocasionando un Déficit Hídrico (DH) para el estado de Coahuila; el cual se irá intensificando con forme pasen los años, siendo el modelo GFDL el que pronostica un panorama más alentador. Debido a que el DH afecta principalmente a las áreas agropecuarias por el manejo que se le está dando actualmente, se realizó un análisis más específico en estas superficies, clasificándolas de acuerdo al grado de afectación; resultando que la zona más afectada es el área que actualmente tiene la mayor producción agropecuaria del estado que se localiza en la comarca Lagunera.

El Déficit Hídrico resultante por acción del Cambio Climático ocasionará una fuerte alteración en el ciclo hidrológico principalmente en la recarga de acuíferos, sin acciones oportunas esto traerá graves consecuencias económicas, sociales y ambientales para el estado.

## SUMMARY

The Climate Change is the climate variation along of the time, but now this change is attributed by some scientists to anthropocentric activities, which causes the alteration of the environment and especially changes in the hydrologic cycle. As the temperature increases, the water cycle will intensify, causing severe floods and droughts. An example would be what happens in the north and some areas of the central Mexico where is forecast that precipitation could be scant, with recurrent droughts.

One way of knowing how it would be the hydrological cycle change and therefore the water balance in the future, it's through the scenarios and General Circulation Models (GCM) but it's necessary to consider that may have margins of error for a specific region, because of the size or scale that are handled. So, in order to determine with more certainty the impacts of climate change in the hydric sector in the state of Coahuila MCG compared these with the method Reliability Ensemble Averaging (REA). The results of the annual precipitation calculated for the years 2030, 2050 and 2080 all models show important variations: while the GFDL and REA models were calculated an increase in precipitation of up to 88 mm and 30 mm respectively; the HADGEM and MPIECH models estimated a decrease for 2030 in the A1b scenario of -20 mm and -28 mm A2 and by 2050 only in the A2 scenario. According to the three GCM used the result of the temperature variable estimated for the years 2030, 2050 and 2080 with the A1b and A2 scenarios were calculated an increase average temperature over the current or baseline scenario to 2.89, 3.49, 3.60 and 3.89 ° C for the GFDL, MPIECH, HADGEM and REA models respectively. Then we made actual monthly water balance for the 3 years studied, subtracting the evapotranspiration of the precipitation obtained for each model. Obtaining a tendency similar throughout the year, despite the GFDL and REA models predict increases in precipitation, all are negative Water Balance causing a water deficit (DH) for the state of Coahuila;

Because the DH affects mainly agricultural areas by the management that is being given today

in which anger intensifying "con forme" past the years, being the GFDL model that predict a more encouraging view. Because that the Dh affects principally to "agropecuario" areas for the actual management, was perform an analysis more specific in this surfaces, sorting agree the grade of affectation, "resultando" that the zone more affected are the area that actually have the higher "agropecuario" production of the state that localize in the comarca lagunara

## Índice de Figuras

Fig. 1	Evidencia del incremento de la temperatura por acciones antropocéntricas.	15
Fig. 2	Familias de Escenarios de Cambio Climático.	16
Fig. 3	Ilustración del ciclo del agua.	19
Fig. 4	Mapa del Estado de Coahuila.	26
Fig. 5	Balance Hídrico Actual del Estado de Coahuila.	43
Fig. 6	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2030 con el escenario A1b	46
Fig. 7	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2030 con el escenario A2.	46
Fig. 8	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2050 con el escenario A1b.	47
Fig. 9	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2050 con el escenario A2.	47
Fig. 10	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2080 con el escenario A1b.	48
Fig. 11	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2080 con el escenario A2.	48
Fig. 12	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2030 con el escenario A1b.	51
Fig. 13	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2030 con el escenario A2.	51
Fig. 14	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2050 con el escenario A1b.	52
Fig. 15	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2050 con el escenario A2.	52
Fig. 16	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2080 con el escenario A1b.	53
Fig. 17	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2080 con el escenario A2.	53
Fig. 18	Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el	

modelo HADGEM en el año 2030 con el escenario A1b.	55
Fig. 19 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el año 2030 con el escenario A2.	55
Fig. 20 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el año 2050 con el escenario A1b.	56
Fig. 21 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el año 2050 con el escenario A2.	56
Fig. 22 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el año 2080 con el escenario A1b.	57
Fig. 23 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el año 2080 con el escenario A2.	57
Fig. 24 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el año 2030 con el escenario A1b.	60
Fig. 25 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el año 2030 con el escenario A2.	60
Fig. 26 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el año 2050 con el escenario A1b.	61
Fig. 27 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el año 2050 con el escenario A2.	61
Fig. 28 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el año 2080 con el escenario A1b.	62
Fig. 29 Balance Hídrico de las zonas Agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el año 2080 con el escenario A2.	62
Fig. 30 Mapas Actual y de un GCM mostrando la ubicación de las zonas menos afectas por la falta de agua en el estado.	64

## Índice de Gráficas

Gráfica 1	Incremento promedio en °C de la temperatura con MCG y el REA bajo escenarios de los Cambio Climático A1b y A2.	31
Gráfica 2	Variación de la precipitación estimada en milímetros por los MCG y por el modelo regional bajo escenarios de Cambio Climático A1b y A2.	34
Gráfica 3	Balance Hídrico actual y para el año 2030 bajo escenario A1b de Cambio Climático, déficit hídrico estimado en milímetros por los CGM y por el modelo regional.	36
Gráfica 4	Balance Hídrico actual y para el año 2030 bajo escenario A2 de Cambio Climático, déficit hídrico estimado en milímetros por los CGM y por el modelo regional.	37
Gráfica 5	Balance Hídrico actual y para el año 2050 bajo escenario A1b de Cambio Climático, déficit hídrico estimado en milímetros por los CGM y por el modelo regional.	37
Gráfica 6	Balance Hídrico actual y para el año 2050 bajo escenario A2 de Cambio Climático, déficit hídrico estimado en milímetros por los CGM y por el modelo regional.	38
Gráfica 7	Balance Hídrico actual y para el año 2080 bajo escenario A1b de Cambio Climático, déficit hídrico estimado en milímetros por los CGM y por el modelo regional.	38
Gráfica 8	Balance Hídrico actual y para el año 2080 bajo escenario A2 de Cambio Climático, déficit hídrico estimado en milímetros por los CGM y por el modelo regional.	39
Gráfica 9	Déficit Hídrico actual y para el año 2030 bajo los escenarios de CC A1b y A2, estimado estimado en milímetros por los CGM y por el REA.	40
Gráfica 10	Déficit Hídrico actual y para el año 2050 bajo los escenarios de CC A1b y A2, estimado estimado en milímetros por los CGM y por el REA.	41
Gráfica 11	Déficit Hídrico actual y para el año 2080 bajo los escenarios de CC A1b y A2, estimado estimado en milímetros por los CGM y por el REA.	42
Gráfica 12	Porcentaje de hectáreas afectadas actualmente por el porcentaje de has afectadas actualmente por el Déficit Hídrico en el estado de Coahuila.	44
Gráfica 13	Superficie en Hectáreas de las Zonas Agrícolas afectadas por Déficit Hídrico actual y por el modelo regional REA.	45
Gráfica 14	Superficie en Hectáreas de las Zonas Agrícolas afectadas por Déficit Hídrico actual y por el modelo regional GFDL.	50
Gráfica 15	Superficie en Hectáreas de las Zonas Agrícolas afectadas por Déficit Hídrico actual y por el modelo regional HADGEM.	54
Gráfica 16	Superficie en Hectáreas de las Zonas Agrícolas afectadas por Déficit Hídrico actual y por el modelo regional MPIECH.	59

## Índice de tablas

Tabla1.	Clasificación de las zonas agropecuarias de acuerdo al grado de afectación por Déficit Hídrico.	30
---------	---	----

## Anexos

Anexo 1	Temperatura estimada por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2030.	
Anexo 2	Temperatura estimada por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2050.	71
Anexo 3	Temperatura estimada por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2080.	72
Anexo 4	Precipitación estimada por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2030.	73
Anexo 5	Precipitación estimada por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2050.	74
Anexo 6	Precipitación estimada por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2080.	75
Anexo 7	Balance Hídrico actual y el estimado por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2030.	76
Anexo 8	Balance Hídrico actual y el estimado por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2050.	77
Anexo 9	Balance Hídrico actual y el estimado por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para el 2080.	78
Anexo10	Superficie afectada por déficit hídrico actual y el estimado	79

por los MCG y el modelo regional en el escenario A1b y A2 para  
los años 2030, 2050 y 2080 estimado en hectáreas 80

## **1. INTRODUCCION.**

México por su ubicación geográfica, topografía y aspectos socioeconómicos es vulnerable a los impactos de la variación del clima. Magaña en 2007 recalca que para la región de México, casi no se dispone de experimentos con modelos de clima regional que permitan estimar directamente los cambios en parámetros meteorológicos a través del tiempo en una determinada área.

Es por esto que es de suma importancia que se realice la comparación entre modelos de circulación general y modelos regionales para poder estimar la variación del clima que existirá en un futuro, poder prever sucesos que impactaran al hombre y plantear acciones para disminuir sus efectos desfavorables.

Todos estos modelos apuntan hacia un aumento en la temperatura y por ende la formación de climas más áridos y secos en la mayor parte del territorio, así como la intensificación del ciclo hidrológico causando cambios en la disponibilidad del agua. La zona norte de país será una de las más afectadas debido a la modificación de estos eventos climáticos, y el estado de Coahuila no será la excepción, por lo que es indispensable la evaluación del balance hídrico mediante escenarios de cambio climático ya sea mediante los GCM o el modelo regional para poder determinar con mayor exactitud la disponibilidad del recurso hídrico para los próximos años.

A pesar de que los modelos utilizados tienen un rango de incertidumbre sobre cuál será el verdadero impacto que tengan las acciones que estamos llevando a cabo; se recalca la importancia de conocer la variación que tendrá el clima y en especial el recurso hídrico para conocer las repercusiones en especial en el sector agropecuario y forestal y poder llevar a cabo acciones que permitan solucionar o mejorar las condiciones de los habitantes del estado.

## 2 REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Cambio climático y calentamiento global

El cambio climático como variación del clima en un periodo de tiempo, se ha presentado desde tiempos muy remotos. En la actualidad se reconoce que la composición natural de la atmósfera terrestre se ha ido alterando en su mayoría debido a la actividad humana, al aumentar las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (vapor de agua, bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ )) (SEMARNAT, 2009). Existen evidencias físicas de que la emisión de estos GEI están calentando la Tierra. La más clara es la que se obtiene de los datos del promedio de temperatura, los cuales muestran una clara tendencia hacia el aumento (Ruge, T. 2006). Al alterarse la composición de la atmosfera, los efectos se están manifestando en todos los continentes, océanos y en todas las cubiertas de hielo y nieve principalmente; así como una modificación significativa en algunas otras variables climáticas (Montalvo y Fernández, 2006)

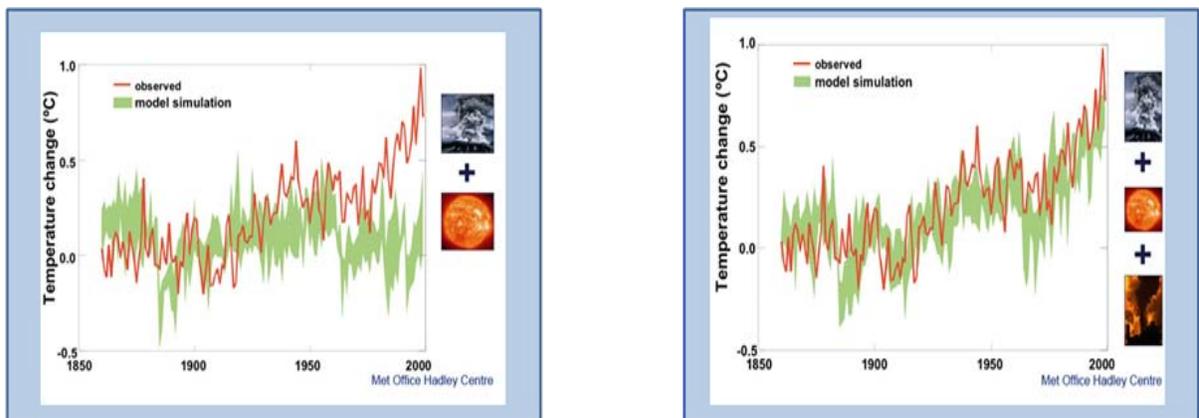


Fig. 1 Evidencia del incremento de la temperatura por acciones antropocéntricas. Fuente: *CURSO-TALLER: "EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO POTENCIAL EN EL SECTOR HÍDRICO DE MÉXICO"*. (Altamirano, 2008)

Indirectamente la actividad humana altera la composición de la atmósfera mundial y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (Figura 1). El aumento de la temperatura global, produce aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos climatológicos extremos (Gay C. y Estrada, 2007).

Como se observa en la figura 1 el modelo simulado (grafica izquierda) solo con las variables ambientales y de radiación solar no concuerdan con el incremento de la temperatura observado a lo largo de 100 años, por otra parte al agregar la variable antropocéntrica (grafica derecha), el modelo simulado concuerda con el incremento de la temperatura que se ha estado registrando en los últimos 100 años, esto hacer referencia que el calentamiento global y por ende el Cambio Climático son resultado en gran medida por acciones del hombre.

## **2.2 Escenarios Futuros de Cambio Climático**

Ante los cambios climatológicos observados durante los últimos años, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático por sus siglas en ingles; (IPCC, 2007), plantea 4 diferentes escenarios, dependiendo del tipo de desarrollo que adopte el mundo, con un rango del incremento de la temperatura que va de 1.8 a 4.0 °C sin descartar aumentos de hasta 6.4 °C, en los próximos 100 años; además de que el nivel global del mar podría aumentar entre 0.18 y 0.59 metros, y también es más probable que aumenten los eventos climatológicos extremos. (Bates *et al.*, 2008).

Los estudios de cambio climático utilizan distintos modelos de clima y un conjunto de escenarios de emisiones para reflejar el rango de incertidumbre causado por las diferentes suposiciones que se adoptan en cuanto al cambio en la emisiones de GEI, cambio tecnológico, población, tipo y grado de desarrollo económico, entre otros (Fig. 2). Así cada escenario representa una alternativa de cómo podría variar el clima en un futuro (Nakicenovic *et a.l.*, 2000).

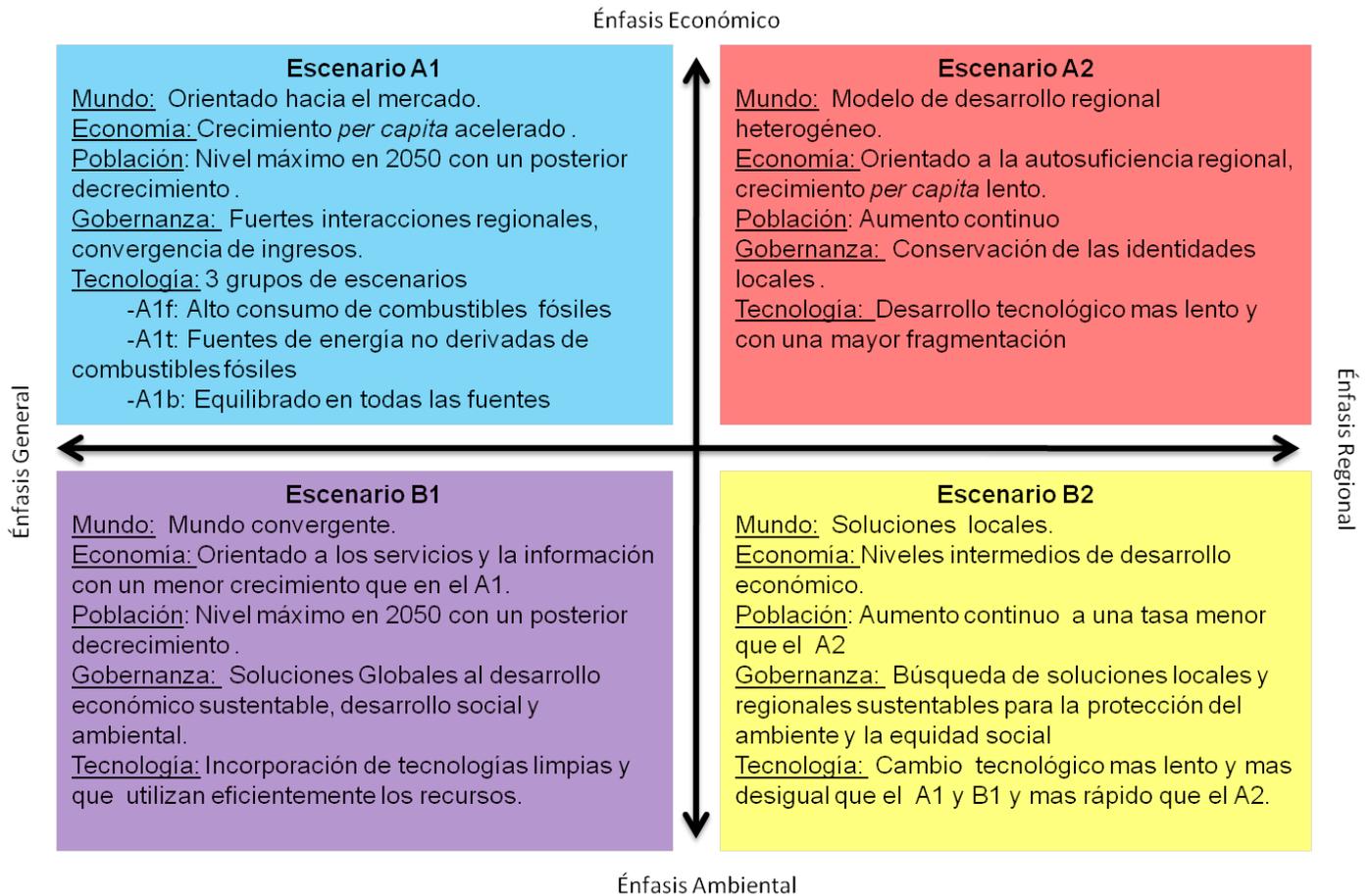


Fig. 2: Elementos y Características de las familias de escenarios de Cambio Climático

Los escenarios climáticos los define el IPCC como “una representación posible y simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas que ha sido construida para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico” (IPCC, 2007).

En el caso de México se generaron los primeros escenarios de cambio climático con una duplicación de CO<sub>2</sub>, utilizando los MCG pero, estos tenían una resolución muy baja de aproximadamente 2.22° x 3.75°, se obtuvieron escenarios de

precipitación y temperatura correspondientes a las 18 regiones climatológicas en México (Magaña *et al.*, 1997).

Palma y colaboradores en 2007 elaboraron escenarios regionales de cambio climático como parte del Plan de Acción Climática de México y obtuvieron escenarios futuros para las proyecciones de 2020, 2050 y 2100 con los escenarios A2 y B2 para las variables de temperatura y precipitación.

### **2.3 Modelos de Circulación General.**

Una forma de conocer como sería el cambio del ciclo hidrológico por acción del Cambio Climático y por ende el balance hídrico en un futuro, es mediante escenarios y Modelos de Circulación General (MCG). Los cuales son herramientas basadas en las leyes fundamentales de física, que simulan una gran variedad de procesos que ocurren en rangos amplios de escalas espaciales y temporales para poder estimar los posibles cambios en el clima global (Montero y Pérez, 2007; Conde *et al.*, 2008).

Un modelo climático es una representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes y en sus interacciones (IPCC, 2007). Estos apoyan la toma de decisiones en la planeación de las actividades vulnerables a las condiciones climáticas en la agricultura, la protección de poblaciones, el manejo del agua y el manejo de los bosques (Gardiner, 2007). Los MCG recurren a parametrizaciones, que son esquemas físicos mediante los cuales se trata simular procesos como los asociados a la atmosfera mediante información de baja resolución espacial utilizando principalmente las variables de temperatura y precipitación (Conde *et al.*, 2008).

Conde en 2003 comparó los diferentes escenarios para calcular los cambios de temperatura y precipitación promedio para el país (malla de 20° x 30° lat/long) propuestos por los 4 modelos, determinando que los modelos ECHAM4 y HadCM2 reportan cambios similares de +1.5°C en temperatura y entre -5% y -7%, respectivamente, en la precipitación; mientras que el modelo GFDL indica cambios

positivos de +1.3°C en temperatura y +3% en precipitación. Por lo que, sugiere que los modelos GFDL, HadCM2 y ECHAM4 son los más recomendables para emplearse para futuras investigaciones de cambio climático en México.

## **2.4 Modelo Regional (REA)**

Al comparar el clima simulado a partir de un modelo con una baja resolución como es el caso de los MCG con los datos climáticos observados en una localidad en específico, no reflejan las características climatológicas regionales (Conde, 2003).

Una forma para determinar con mayor certidumbre los impactos del cambio climático en el sector hídrico en México puede ser el método Reliability Ensemble Averaging (REA) que regionaliza las estimaciones de cambio climático de precipitación y temperatura en superficie del país a una menor escala (IMTA, 2007).

Montero y Pérez en 2007, realizaron la regionalización para México de las simulaciones de los GCM que participaron en el reciente 4º reporte de evaluación del IPCC, utilizando el método de REA para precipitación y temperatura en superficie.

Magaña y colaboradores en 1997 realizaron la evaluación actual y futura de los escenarios climáticos regionales para México.

## **2.5 Ciclo hidrológico y balance hídrico**

El ciclo hidrológico es el movimiento constante del agua en todo el planeta, es un término descriptivo aplicable a la circulación general del agua (Figura 2) (Springall, 1970). Está estrechamente vinculado a los cambios de la temperatura atmosférica y al balance radiactivo (Kundzewicz et al., 2008). Conforme aumente en el planeta la temperatura, entre otras cosas, se intensificará la variación climática y con ello

el ciclo del agua, la distribución desigual de este recurso y en sí los problemas que acarrearán serán todavía más severos en el mundo (Carabias *et al.*, 2005).

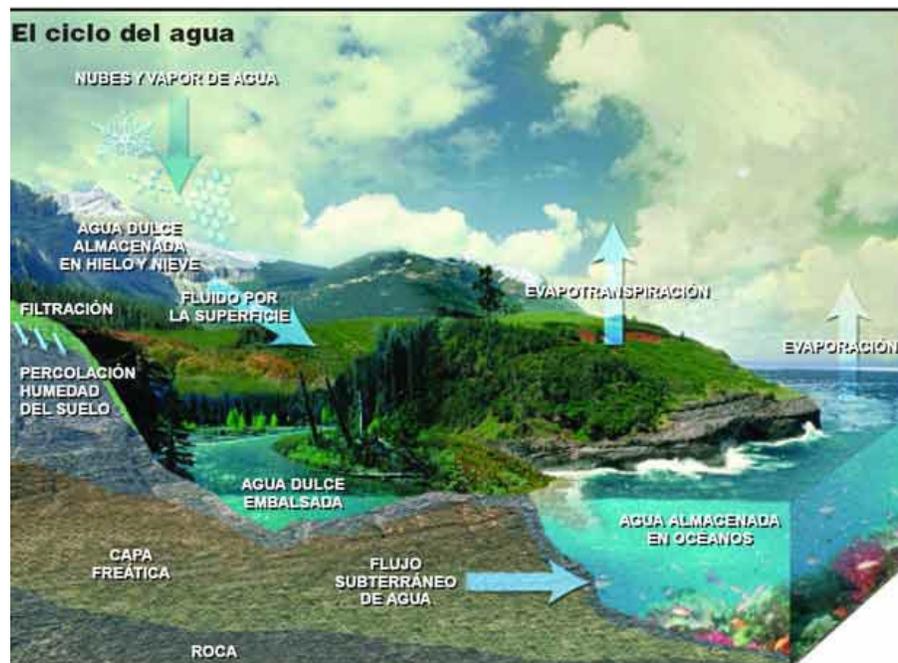


Fig 3. Ilustración del ciclo del agua.

Pierre en 2006 calculó el balance hídrico en la región norte de Haití tomando no solo en cuenta las precipitaciones y la evapotranspiración si no también cambios a partir de las precipitaciones, el escurrimiento, la infiltración y el drenaje.

Maderey y Jiménez en el 2000 calcularon el balance hídrico mediante el índice de aridez de la clasificación climática de W. Köppen en la cuenca del sistema fluvial Lerma-Chápala-Santiago, la del río Pánuco y la del río Balsas. Utilizando el modelo GFDL-30 tomando en cuenta los parámetros de temperatura, precipitación y evaporación total; calculando un aumento de 3.7 °C, 165 mm y 200 mm respectivamente con respecto al escenario actual. Concluyendo que el cambio climático agravará los problemas con el agua drásticamente.

El balance hídrico de la superficie refleja la disponibilidad tanto de agua como de energía (Gay, 2000). El cálculo de éste es muy útil en la planeación y el manejo de los recursos hídricos, facilitando la estimación de la disponibilidad de agua

(Lafragua *et al.*, 2003). Small y colaboradores en 1998 definieron al balance hídrico como la forma en que la precipitación recibida en un lugar es transformada en evapotranspiración, escorrentía y cambios en las cantidades de agua almacenada en el suelo y las aguas subterráneas.

### 2.5.1 Evapotranspiración

La evapotranspiración es la cantidad de agua que se transfiere a la atmósfera proveniente del suelo, de las masas de agua y de la transpiración de las plantas (Rivas, 2004). La evapotranspiración aumentó en la segunda mitad del siglo XX en las regiones secas, por efecto del aumento de temperatura (Golubev *et al.*, 2001). Existen diversas formas de estimarla, una de ellas es a través de las temperaturas y las precipitaciones medias anuales.

### 2.5.2 Necesidades hídricas

Los cambios en el clima están conduciendo a regímenes hídricos más inestables y variables alrededor del mundo. Las proyecciones indican que estos cambios irán acompañados tanto de incrementos como de disminuciones en las precipitaciones, y éstas, variará dependiendo las características de cada región (UICN-ORMA, 2003), y será cada vez más difícil cubrir las necesidades ecológicas, sociales y económicas en la gestión del recurso hídrico.

## 2.6 Problemática en México y el Mundo

De acuerdo a los científicos, cada vez tendremos climas más extremos y fenómenos climáticos más intensos. El calentamiento observado en los últimos 50 años es mayor que en cualquier otro periodo en los últimos 1300 años; la temperatura global ha aumentado 0.74°C en los últimos 100 años. En general, los veranos serán más cálidos y los patrones de las lluvias se modificarán, dando

lugar a lluvias más intensas en algunas partes y lluvias menos frecuentes en otras, aumentando así las sequías (INE, 2005).

Una problemática que enfrenta México como otros países en vías de desarrollo es la falta de infraestructura necesaria para realizar estudios con respecto al cambio climático tanto actuales como para una proyección a futuro; a pesar de que se ha detectado un incremento constante de temperatura en los últimos treinta años, (Magaña, 2005), ocasionando la alteración del medio natural, así como el cambio en la producción de distintos recursos para el hombre, como la distribución de especies tanto animales como vegetales, la alteración de especies cultivadas, el cambio en el flujo de vientos y corrientes marinas etc. y en especial el cambio del ciclo hidrológico y la relación que tiene el hombre con este.

Martínez en 2007 menciona que aumentos regionales en temperatura de hasta 2°C podrían llevar a disminuciones en la disponibilidad de agua de hasta 15%.

## **2.6 Agua en México**

México se encuentra en una posición geográfica privilegiada en el planeta, ya que el trópico de Cáncer atraviesa casi por la mitad su territorio, lo que hace posible la presencia en él de zonas templadas y tropicales. Sus costas están bañadas por el océano Pacífico, el golfo de California, el golfo de México y el mar Caribe. Su relieve es producto de una accidentada historia geológica, con cordilleras que lo cruzan de norte a sur y de este a oeste por el Eje Neovolcánico; debido a estas características en México se pueden encontrar todos los climas que existen en el mundo; a pesar de que es un país mayormente semiárido.

De los componentes del ciclo hidrológico; los 1 511 km<sup>3</sup> de agua que se precipita en todo el país, la mayor parte se evapotranspira, quedando disponible naturalmente aproximadamente 476 km<sup>3</sup>. Sin embargo, el agua que se escurre y almacena no está distribuida físicamente de manera homogénea en el territorio nacional, ni en las distintas épocas del año (Landa *et al.*, 2008).

### 2.7.1 Situación en el Norte del país.

México es un país principalmente semiárido, de los componentes del ciclo hidrológico la mayor parte de la precipitación se evapotranspira. Además de ser escasa, y solo una porción menor escurre o se infiltra (Landa *et al.*, 2008) provocando sequías recurrentes.

El clima en la parte norte de México es árido o semi-árido, se caracterizan por la presencia de matorrales xerófilos, pastizales y bosques espinosos, y es además donde se encuentran grandes ciudades, así como las principales concentraciones de actividad industrial y agrícola del país. Sin embargo, esta región apenas cuenta con menos de la tercera parte de los recursos hidrológicos (Marín, 2000).

El mayor uso del agua subterránea ocurre en las zonas áridas y semiáridas del centro, norte y noroeste, donde el balance extracción-recarga es negativo y refleja las condiciones de sobre explotación en numerosos acuíferos (CNA 2003). Algunos modelos pronostican que en un futuro la precipitación va a ser escasa y sujeta a sequías severas recurrentes principalmente en estas zonas (Carabias *et al.*, 2005), alterando drásticamente la distribución y por ende la demanda del agua tanto de consumo humano como la que los ecosistemas necesitan para su conservación (Marín, 2000).

## 2.8 Impactos del Cambio Climático en la Agricultura.

El aumento de las temperaturas y el cambio en los regímenes pluviales tienen efectos directos sobre el rendimiento de los cultivos (Gerald *et al.*, 2006).

El Cambio Climático tendrá un impacto directo en la disponibilidad de agua para los cultivos bajo riego (Gerald *et al.*, 2006). El usuario más importante del agua subterránea es el sector agrícola, que utiliza un 70% de las extracciones (Marín, 2000). Además de los cambios en las precipitaciones, el aumento de temperaturas inducido por el Cambio Climático también causa un incremento de los requerimientos hídricos de los cultivos (Gerald *et al.*, 2006).

### 2.8.1 Sistemas Agropecuarios en el Norte del País

El agua extraída para uso agropecuario (77% de la extracción total) en su mayoría es utilizada para el riego de 6.3 millones de hectáreas (3.4 millones de hectáreas se ubican en 85 distritos de riego), y aproximadamente 69% del agua extraída de los acuíferos se utiliza en la agricultura, por lo que el agua subterránea es de gran importancia para la producción agrícola (Carabias *et al.*, 2005).

### 2.8.2 Zonas Agrícolas en el Estado de Coahuila

El estado de Coahuila queda comprendido en 4 regiones hidrológicas: "Bravo-Conchos", "Mapimí", "Nazas-Aguanaval" y "El Salado".

La superficie agropecuaria del estado alcanza apenas el 3.01% de la superficie estatal, en estas áreas, se cuenta con agricultura tanto de riego como de temporal. En la agricultura de temporal, los principales cultivos son maíz, frijol, trigo y calabaza, y con la agricultura tecnificada se cultiva maíz, frijol, trigo, durazno, alfalfa, cebada, papa, chile, sorgo, escobero, alpiste, algodón, cártamo, vid, avena, nogal entre otros.

La región agrícola más grande del estado se le conoce con el nombre de Comarca Lagunera y corresponde a las cuencas cerradas de los grandes ríos Nazas y Aguanaval. Estos ríos alimentan a la zona agrícola más importante de la Comarca Lagunera, los principales cultivos (algodón, alfalfa y vid) son de ciclo anual y su producción se destina al comercio regional, nacional y autoconsumo.

### **3. OBJETIVOS.**

#### **3.1 General**

Comparar Modelos de Circulación General (MCG) y un modelo regional de cambio climático (REA) al estimar el balance hídrico del estado de Coahuila en escenarios futuros.

#### **3.2 Particulares**

- Obtener dos escenarios (A1b y A2) para tres modelos (MCG) de cambio climático de las variables de temperatura y precipitación en el estado de Coahuila.
- Obtener dos escenarios (A1b y A2) para un modelo regional (REA) de cambio climático de las variables de temperatura y precipitación en el estado de Coahuila.
- Comparar los modelos MCG y REA en cuanto a precipitación y temperatura al estimar el balance hídrico del estado de Coahuila para los años 2030, 2050 y 2080 en los escenarios A1b y A2.
- Ubicar espacialmente y estimar la superficie de las zonas agropecuarias afectadas por el cambio climático en su balance hídrico, para los años 2030, 2050 y 2080 en los escenarios A1b y A2 para el estado de Coahuila.

## **4. MATERIALES Y METODOS**

### **4.1 ÁREA DE ESTUDIO.**

El nombre oficial del estado es Coahuila de Zaragoza su capital Saltillo, sus coordenadas geográficas extremas al norte 29° 53', al sur 24° 32' de latitud norte; al este 99° 51', al oeste 103° 58' de longitud oeste. Ocupa el 7.7% de la superficie del país.

Colindan al norte con Estados Unidos de América; al este con EUA y Nuevo León; al sur con Nuevo León, Zacatecas y Durango; al oeste con Durango, Chihuahua y EUA, presenta un clima tipo Estepario seco con 11 subtipos en el centro y sur del estado. Seco desértico con 4 subtipos en la región norte, y al oeste y una pequeña parte del sureste con clima templado húmedo. La época de lluvias generalmente es de julio a agosto y la precipitación va de -200 mm a 650 mm anuales con temperatura media mínima de 1 a 7 °C y la temperatura media máxima va de 25 a 37 °C.

Los tipos de vegetación que se presentan el estado son: bosque mixto, bosque de coníferas, bosque de encino, bosque de galería, palmar, matorral xerófilo, chaparral y pastizal (INEGI, 2007).

El estado de Coahuila queda comprendido en parte de 4 regiones hidrológicas: "Bravo-Conchos" (No. 24) que abarca gran parte del estado con 95,236.33 km<sup>2</sup>, está constituida por tierras planas, con altitud media de 1000m a 1800 m, es una región árida cuya sequedad se agudiza el norte; "Mapimí" (No. 35) en la porción oeste con 29,456.26 km<sup>2</sup>. La región del Bolsón de Mapimí no presenta corrientes o

almacenamientos perennes, se caracteriza por su aridez y la ausencia casi total de elevaciones importantes. Todas las cuencas que la conforman son endorréicas. La región "Nazas-Aguanaval" (No. 36), en la parte sur-suroeste con 21,908.22 km<sup>2</sup> donde la parte coahuilense de esta región se encuentra al noroeste de la entidad, se le conoce con el nombre de Comarca Lagunera que corresponde a las cuencas cerradas de los grandes ríos Nazas y Aguanaval. Estos ríos alimentan a la zona agrícola más importante de la entidad. En la Comarca Lagunera, los principales cultivos (algodón, alfalfa y vid) son de ciclo anual y su producción se destina al comercio regional, nacional y autoconsumo. Finalmente la región "El Salado" (No. 37) con un área muy reducida en la parte sureste con 4,977.56 km<sup>2</sup>, es una de las vertientes interiores más importantes del país. Está integrada por un conjunto hidrográfico de cuencas cerradas de muy diferentes dimensiones.

La superficie agropecuaria del estado alcanza apenas el 3.01% de la superficie total del estado, en estas áreas se cuenta con agricultura tanto de riego como de temporal. En la agricultura de temporal, los principales cultivos son maíz, frijol, trigo y calabaza, en la agricultura tecnificada se cultiva maíz, frijol, trigo, durazno, alfalfa, cebada, papa, chile, sorgo, escobero, alpiste, algodón, cártamo, vid, avena y nogal entre otros.

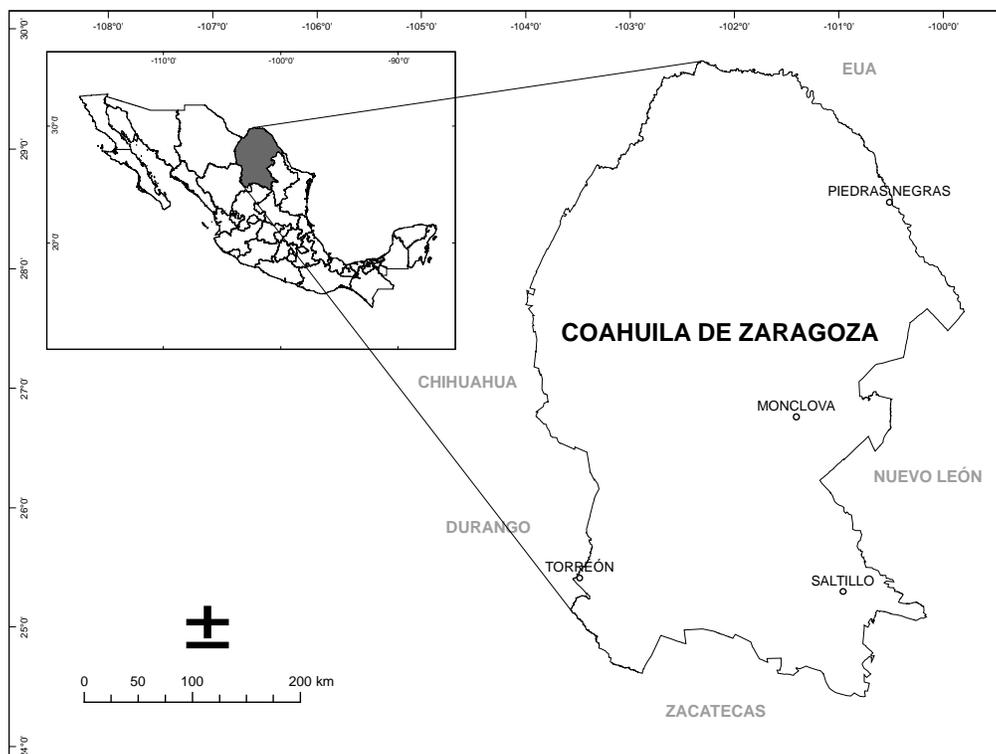


Figura 4: Ubicación geográfica del estado de Coahuila.

## 4.2 OBTENCION DE ESCENARIOS

### 4.2.1 Obtención de Modelos de Circulación General

Los escenarios de Cambio Climático para el estado de Coahuila, tanto de temperatura como de precipitación, se obtuvieron a partir de los Modelos de Circulación General (MCG) HADGEM (elaborado en el Hadley Centre usando la segunda versión del UK Met. Office's Unified Model; Mitchel *et al.*, 1999), MPIECH (German Climate Research Center / Hamburg Model #4, Roeckner, 1992) y GFDL (US Geophysical Fluid Dynamics Laboratory; Manabe *et al.*, 1991), (Conde, 2003).

Se utilizaron únicamente los escenarios A1b y A2 de precipitación y temperatura con Cambio Climático para cada uno de los modelos de circulación general: el GFDL, HADGEN y MPIECH, usando la base de datos de la pagina [http://www.atmosfera.unam.mx/cclimatico/escenarios/Escenarios de cambio climatico Mexico 2008.htm](http://www.atmosfera.unam.mx/cclimatico/escenarios/Escenarios_de_cambio_climatico_Mexico_2008.htm). Una vez descargados los datos de temperatura y de precipitación, se convirtieron los formatos texto (.txt) a formato Excel (.xls) con la finalidad de tener una sola base de datos con todos los meses del año por que estaban ordenados por mes y así poder cargarlos al programa ArcGis 9.3, donde se convirtieron a cobertura y posteriormente se interpoló un solo recuadro que abarcó el estado de Coahuila y de dicho recuadro se recortó con los limites del estado repitiendo este procedimiento para cada modelo, escenario y año que se estudió.

Se obtuvieron finalmente mapas mensuales de anomalías de temperatura y precipitación de los tres MCG, los 2 escenarios y de los años 2030 y 2050.

El año 2080 no estaba en la base de datos de la página consultada de internet de Ciencias de la Atmosfera de la UNAM, por lo que fue necesario hacerlo con el programa MAGIC SCEN 5.5. La información se descargó e importó en los formatos texto (txt) y Excel (xls) y posteriormente se interpolaron en el programa ArcGis 9.3.

#### **4.2.2 Obtención del Modelo Regional**

Los modelos de clima regional tienen resoluciones de alrededor de 50 km en dominios de área limitada y corren para periodos de tiempo menores que los del MCG en experimentos de Cambio Climático, esto es entre diez y veinte años (Magaña, 2007). El IMTA en el 2007 construyó escenarios regionales con una resolución de 50 km, reduciendo la escala dinámica para estudios del clima regional.

Se utilizó el método Reliability Ensemble Averaging (REA) para obtener el modelo regional de cambio climático de las variables de precipitación y temperatura que se emplearon en el estado de Coahuila para estimar los balances hídricos, manejando los datos obtenidos por el IMTA en 2007 que utilizó para el reporte sobre “efectos de las variaciones climáticas y las actividades humanas en la degradación de tierras de México”.

Una vez arreglados los valores de temperatura y precipitación, por cada mes como se hizo en los modelos de circulación general, se siguió el mismo procedimiento es decir, se convirtieron a cobertura y se interpolaron, obteniéndose mapas mensuales del modelo REA de los dos escenarios (Ab1 y A2) de los años 2030, 2050 y 2080.

#### **4.2.3 Obtención del escenario Base**

Las variables cartográficas digitales de precipitación y temperatura (máxima, mínima y media) mensuales o escenarios base, se obtuvieron de las generadas por el INIFAP que provienen de toda la información climática nacional corregida y actualizada al 2003. La cobertura de temperatura tiene un error estimado entre 0.5 y 0.8 °C, y la de la precipitación mensual posee un margen de error entre 27 y 33 mm, ambas a una resolución de pixel de 90 m (Díaz, 2007). Únicamente se le hizo un recorte con la superficie del estado de Coahuila en ArcGis 9.3.

### **4.3 Cálculo de la Evapotranspiración**

Se obtuvieron los valores de evapotranspiración (ETP) por el modelo estadístico de Papadakis obtenido por Castillo en 1998, que utiliza la temperatura media máxima de los meses del año base, menos la diferencia de la temperatura media mínima de los mismos meses, a esta se le restan 2°C, multiplicados por una constante:

$$Etp = -11.97311 + 5.674801 * (t_{max} - t_{min} - 2)$$

$$\text{Con una } r^2 = 0.82 \text{ y un } cv = 15.6869$$

El resultado de esta resta se multiplica por la constante  $-11.97311 + 5.674801$ , luego al escenario base se le suman las anomalías calculadas por cada modelo y escenario de Cambio Climático estimado para los años 2030, 2050 y 2080; así se obtuvo la evapotranspiración para los años del estudio.

### **4.4 Cálculo de los balances hídricos**

Una vez obtenidos los valores de evapotranspiración por el método de Papadakis, se restaron a la precipitación del escenario base, para obtener los balances hídricos actuales, a esta precipitación se le sumó la anomalía calculada para cada modelo en los 3 años y en los 2 escenarios y se le restó la evapotranspiración de cada modelo, año y escenario correspondiente, para obtener los balances hídricos

mensuales de los años 2030, 2050 y 2080 en los MCG y el regional para los escenarios de cambio climático A1b y A2.

Se contrastaron los resultados entre los modelos de circulación general (MCG) y un modelo de cambio climático regional (REA) y así conocer las áreas potenciales de mayor afectación.

#### **4.5 Cálculo de la ubicación y estimación de la superficie agropecuaria afectada por los balances hídricos**

La zona agropecuaria actual se extrajo de la serie III de INEGI (2005), con ArcGis 9.3, recortando la serie III por el estado de Coahuila y posteriormente únicamente extrayendo el área IAPF de ese mapa que comprende el área agropecuaria del estado de Coahuila.

Una vez que se obtuvo el área agropecuaria se recortó el balance hídrico obtenido para cada uno de los periodos evaluados, es decir de la época actual y de los escenarios A1 y A2 de todos los modelos tanto de circulación general como del regional en 2030, 2050 y 2080,

Para evaluar el grado de afectación del balance hídrico o déficit hídrico y estimar la superficie agropecuaria afectada se propuso la siguiente tabla:

<b>Grado de afectación</b>	<b>Déficit hídrico (mm)</b>
Extremo	-2500 a -2000
Muy Alto	-2000 a -1500
Alto	-1500 a -1000

Medio	-1000 a -500
Bajo	-500 a 0

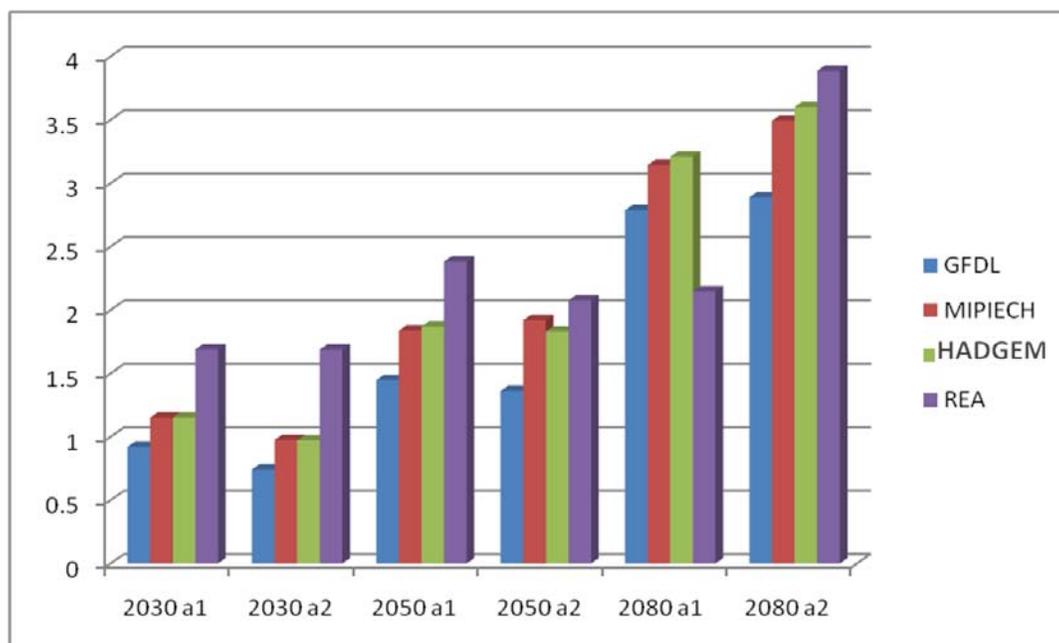
Tabla 1. Clasificación de las zonas agropecuarias de acuerdo al grado de afectación por déficit hídrico.

Se calcularon el número de hectáreas afectadas por cada rango, para los 4 modelos de cambio climático bajos los escenarios A1b y A2 para la situación actual del estado y lo pronosticado por los modelos para los años 2030, 2050 y 2080.

## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Análisis de los escenarios de cambio en temperaturas para los modelos MCG y REA

En los resultados obtenidos correspondientes a la anomalía de temperatura para los años 2030, 2050 y 2080 con los escenarios A1b y A2 de los MCG empleados, se observó un incremento promedio con respecto a la temperatura promedio normal actual que va desde los 0.8 °C hasta los 3.8 °C (Gráfica 1). Esto coincide con los patrones de calentamiento global estimados para el Hemisferio norte con MCG bajo los escenarios SRES de emisiones de GEI, donde se encuentra un incremento de temperatura en el año 2030 de menos de 1 °C, en 2050 el



promedio proyectado está entre 2 y 2.5 °C, y hacia el año 2080 el rango va de los 4 a 4.5 °C (Conde *et al.*, 2008).

Grafica 1: Incremento promedio en °C de la temperatura con los MCG y el modelo regional bajo escenarios de cambio climático A1b y A2.

La mayoría de los escenarios el modelo regional REA pronostica un aumento mayor en la temperatura en todos los años a excepción de año 2080 bajo el escenario A1b; en contraste con los tres modelos MCG (GFDL, HADGEM y MPIECH) calcularon valores más bajos de incremento en la temperatura. Debido probablemente a la baja resolución de los modelos MCG que no permiten incorporar efectos de menor escala, como es la topografía o el uso de suelo, a diferencia del modelo REA que obtiene datos más específicos de la zona.

5.1.1 Análisis de los MCG (Anexo 1), las temperaturas de los meses más cálidos y más fríos.

El mes más cálido estimado en el año 2030 bajo el escenario A1b fue agosto con 23.60 °C y con 23.30 °C para los modelos MPIECH y GFDL respectivamente, el mes de julio para el modelo REA con 23.60 °C y de 23.34 °C para el modelo HADGEM.

La temperatura más fría fue estimada en los meses de enero para GFDL y REA y en diciembre para MPIECH y HADGEM con la mayor diferencia (1.23 °C) entre los modelos GFDL y REA.

En el escenario A2 en el año 2030 la temperatura más alta fue en el mes de agosto con 23.08 °C para el modelo GFDL y para los modelos MPIECH, HADGEM y REA la temperatura más alta fue en el mes de julio con valores de 23.08, 23.13 y 23.60 °C respectivamente; igualmente la temperatura más baja fue en el mes de enero (GFDL y REA) y en diciembre (HADGEM y MPIECH) con temperaturas de 9.77, 10.43, 10.44 y 11.30 °C y con una diferencia mayor entre los escenarios de 1.53 entre REA y GFDL (ver anexo 1).

En el año 2050 se estimó un incremento de la temperatura mayor en el mes de agosto bajo ambos escenarios 23.73 °C para A1b y 23.88 °C para A2 calculados con el MCG GFDL. Se estimó la temperatura para los modelos MPIECH (24.37 °C), HADGEM (24.14 °C) y REA (24.91 °C) obteniendo el valor más alto en el mes de julio bajo el escenario A1b. En el escenario A2, los modelos MPIECH (24.59 °C) y GFDL (23.88 °C) la temperatura más alta fue en el mes de agosto, mientras que para los modelos HADGEN (23.95) y REA (24.65 °C) se alcanzaron los valores más altos en el mes de julio. En ambos escenarios los meses más fríos fueron enero con 10.08 y 9.90 °C bajo el modelo GFDL y diciembre para los 3 modelos restantes (ver anexo 2).

Al igual que en los años anteriores para el 2080 el escenario A1b se obtuvo el mes más cálido para el modelo GFDL con 25.41 °C en agosto; mientras que con los otros modelos la temperatura más alta se presentó en el mes de julio con 26.09 °C para MPIECH, 25.74 °C para HADGEM y 24.55 °C para REA.

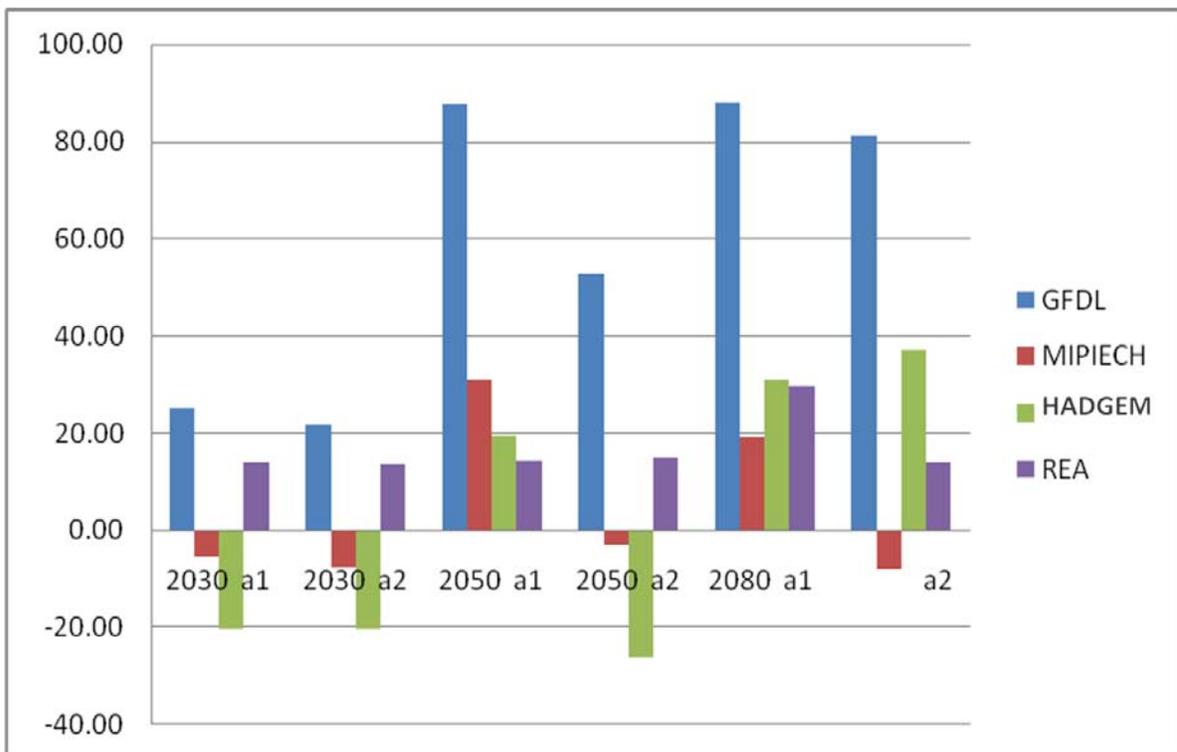
En el escenario A2 los cambios entre la distribución de la temperatura más alta varía de acuerdo al modelo utilizado; con GFDL es de 26.08 °C en mayo, MPIECH de 26.45 °C en agosto, HADGEM es de 26.10 °C en junio y 25.95 °C en julio para REA (ver anexo 3).

Martínez en el 2007 indica que al aumentar la temperatura hasta 2 °C podría llevar a disminuciones en la disponibilidad de agua de hasta 15%, si a esto aumentamos las implicaciones del Cambio Climático, el sector hídrico se verá muchos más afectado que en la actualidad principalmente por el aumento en la evapotranspiración.

Con un aumento de temperatura se ejercerá una presión muy fuerte (60-80%) sobre el recurso hídrico (INE-SEMARNAT, 2006) y con forme pasen los años esta amenaza irá en aumento, ya que hasta en los meses con temperaturas bajas se estará haciendo una presión sobre el recurso hídrico que afectará los ecosistemas del estado, las zonas agrícolas y las zonas urbanas.

## 5.2 Análisis de los escenarios de cambio en precipitación para los modelos MCG y REA.

En lo que respecta a la precipitación los valores promedio obtenidos para los años 2030, 2050 y 2080, de acuerdo a los modelos utilizados, presentan variaciones importantes, ya que mientras los modelos GFDL y REA estiman un aumento en la precipitación bajo ambos escenarios, principalmente el GFDL que estima los valores más altos, en cambio los modelos MPIECH y HADGEM estiman una disminución para los años 2030 en ambos escenarios y en el año 2050. Esos mismos modelos solo en el escenario A2 presenta disminución y para el 2080 solo el MPIECH en A2 también muestra disminución como se observa en la Gráfica 2. Esto quiere decir que las precipitaciones negativas equivalen a que dejará de llover y existirá por ende déficit hídrico.



Gráfica 2: Variación de la precipitación estimada en milímetros por los CGM y por el modelo regional bajo escenarios de cambio climático A1b y A2.

A pesar de que en el 2000 estimó una precipitación anual actual para el estado de Coahuila de 326.8 mm, esta irá disminuyendo por acción de cambio climático en un intervalo del 1% al 20% del 2020 al 2080. A diferencia del presente trabajo, que estimó la precipitación con los MCG y el Modelo regional obteniendo valores más alto anuales en los 3 años evaluados, a pesar de que los MCG HADGEM y MPIECH, hayan estimado disminución en la precipitación, esta diferencia se debe al modelo utilizado para estimar el escenario base que utilizó el INE en el mismo estudio.

Al analizar la distribución de la precipitación a lo largo de los 12 meses para el año 2030 en ambos escenarios, el mes de mayor lluvia es julio para el modelo GFDL con 111.13 mm en el escenario A1b y 111.17 mm en el A2 y Septiembre en los otros modelos con una precipitación de 112.93 mm para MPIECH, 94.99 mm para HADGEM y 86.93 mm para REA bajo el escenario A1b. Y de 113.24 mm para MPIECH, 95.20mm en HADGEM y 86.86mm del REA para el escenario A2 (ver anexo 4).

En el 2030 el mes que menos lloverá será diciembre en ambos escenarios, exceptuando por el modelo MPIECH que estimó a marzo con 14.64 mm solo en el escenario A2 y el mes de febrero del REA es el de menos lluvia (ver anexo 4).

Para 2050 se repite el comportamiento del 2030, es decir, septiembre el es mes con mayor precipitación estimada por los modelos MPIECH, HADGEM y REA; y el mes de julio por el modelo GFDL.

En 2050 el mes de marzo con 20.88 y 13.86 mm estimados por los modelos GFDL y MPIECH respectivamente bajo el escenario A1b como los más bajos y de 20.39 y 12.94 mm con el escenario A2 en el modelo REA la precipitación más baja se presenta en el mes de diciembre solo con una variación de 0.02 mm entre el escenario A1b y el A2.

El modelo HADGEM en 2050 tuvo la menor precipitación en el escenario A1b y fue en el mes de febrero con 15.92mm y en el escenario A2 en el mes de diciembre con 15.05 mm (ver anexo 5).

En 2080 el mes con mayor precipitación seguirá siendo septiembre en los modelos MPIECH, HADGEM y julio para los modelos GFDL y REA, en ambos escenarios.

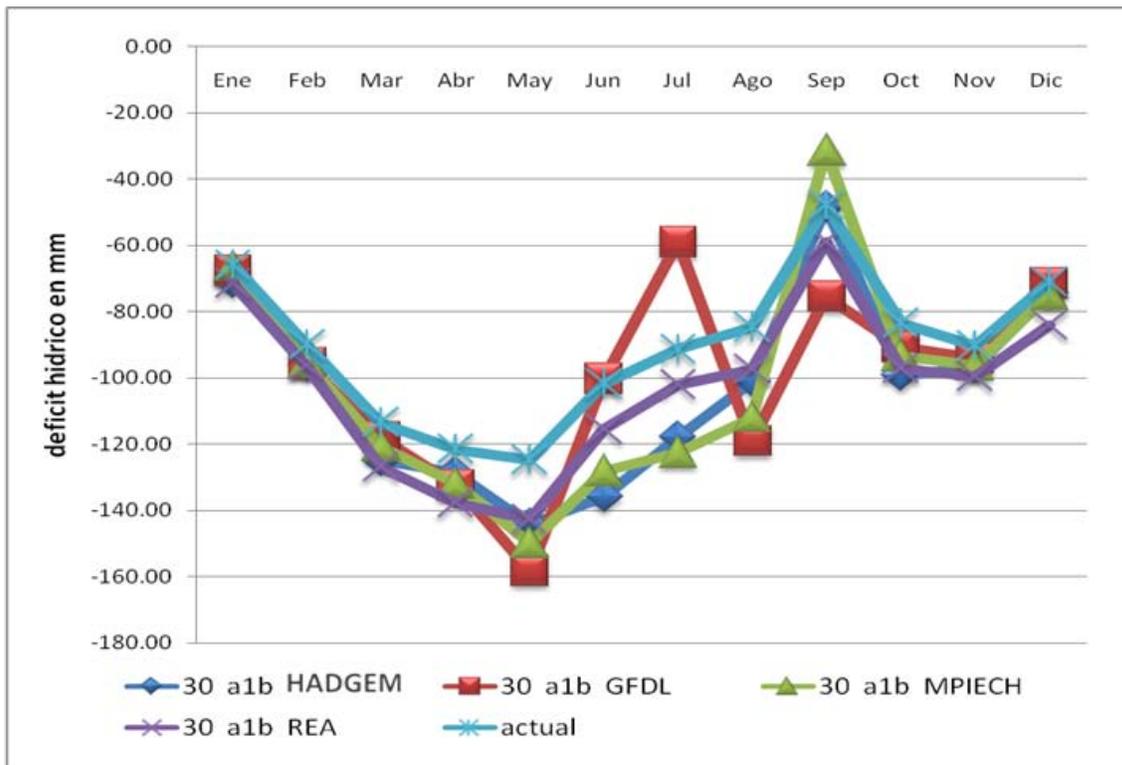
La menor precipitación del GFDL será en el mes de abril con 16.30 mm en el escenario A1b y 10.61 mm en el A2, el modelo MPIECH varía en los meses de menor precipitación: para el escenario A1b el mes de marzo con 13.98 mm mientras que en el escenario A2 es el mes de noviembre con 13.42 mm. En el modelo HADGEM casi no existe variación en el mes de febrero porque es de 0.89 mm entre el escenario A1b y el A2 y para el modelo regional el mes con la menor precipitación será diciembre con 14.92 mm en el escenario A1b y 14.89 mm en A2 (ver anexo 6).

A pesar de que los modelos estiman un aumento en la precipitación esto solo se concentra únicamente en el mes de julio en el modelo GFDL y en septiembre en los otros modelos (Anexos 4 al 6), esto coincide con lo pronosticado por PROFAUNA en 2010 donde mencionan a septiembre como el mes de más lluvia, pero seguirán siendo muy escasas, lo que favorece periodos de sequia extensos que limita en gran medida la recarga de acuíferos, acarreado problemas sociales como desempleo, abandono de tierras, migraciones y conflictos entre los usuarios por la falta de agua, así como ecológicos por ejemplo incendios forestales, modificación del ciclo hidrológico o la falta de humedad en el suelo, entre otros problemas.

### **5.3 Análisis del balance hídrico climático**

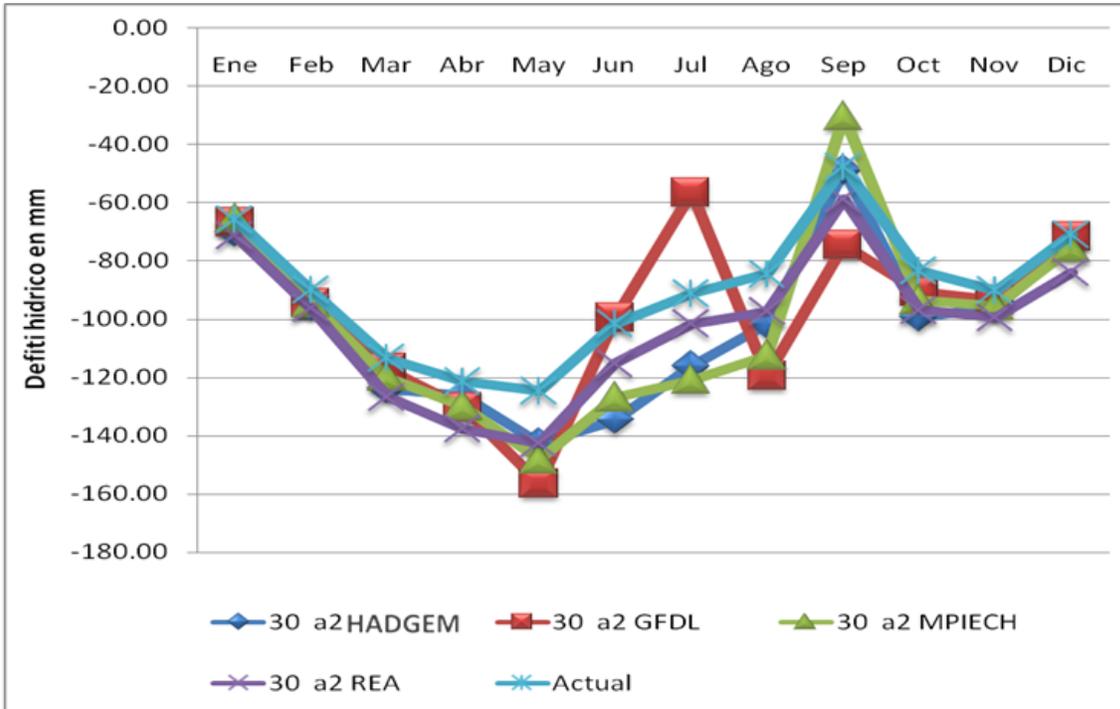
Los balances hídricos estimados para cada uno de los MCG y del modelo regional en los escenarios A1b y A2 durante todos los meses del año estimaron un déficit hídrico importante aún en el escenario actual. Los valores más bajos fueron obtenidos en mayo del 2030 para todos los modelos. En los años 2050 y 2080 el modelo HADGEM obtuvo los valores más bajos en el mes de junio y para los demás modelos. El valor más bajo fue alcanzado en mayo con -211.60 mm por el

modelo GFDL en 2080, siguiendo la misma tendencia para todos los modelos, el valor más alto fue en el mes septiembre (ver anexo 7 al 9).



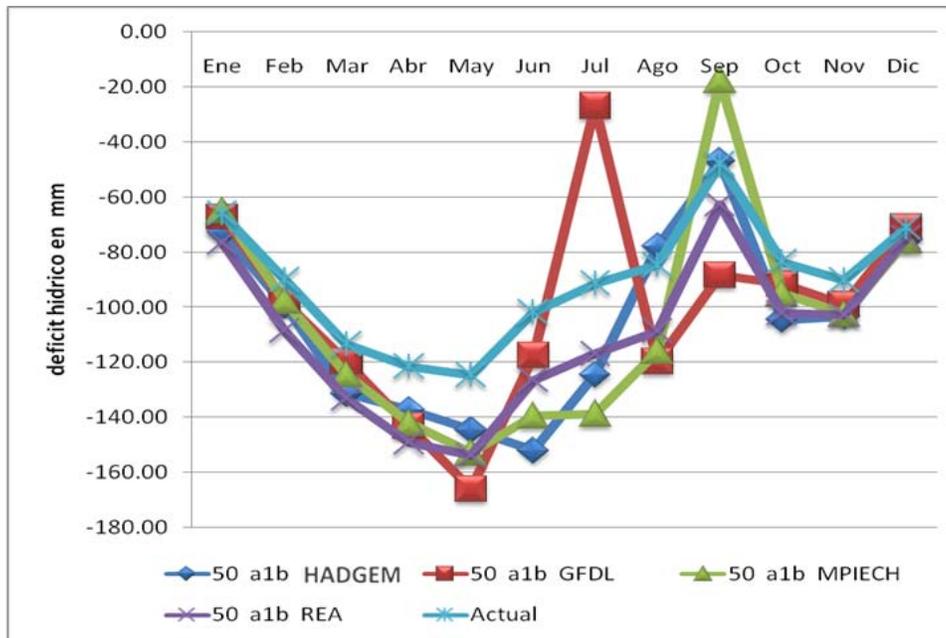
Grafica 3: Balance hídrico actual y para el año 2030 bajo escenario de cambio climático A1b, déficit hídrico estimado en milímetros por los MCG y por el modelo regional.

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.



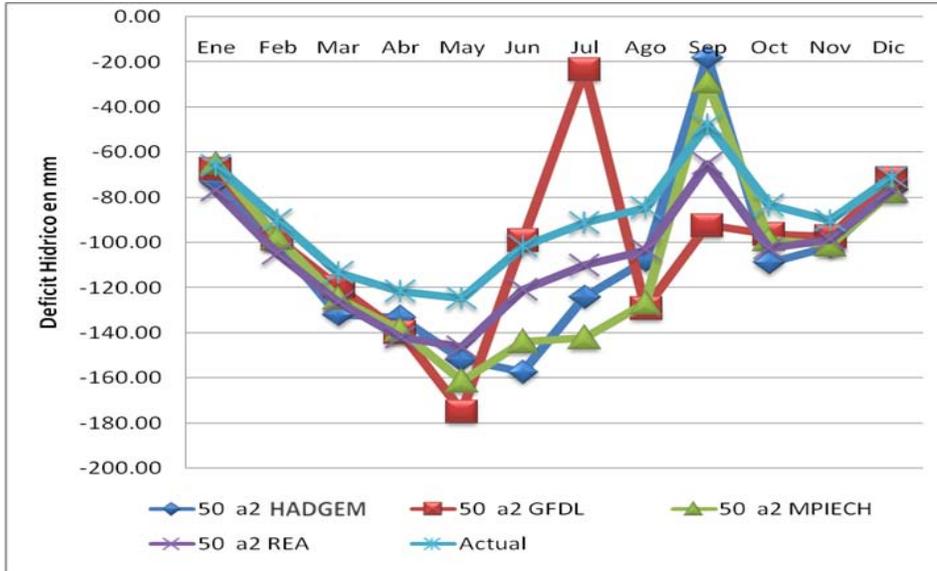
Gráfica 4: Balance Hídrico actual y para el año 2030 bajo escenario de cambio climático A2, déficit hídrico estimado en milímetros por los MCG y por el modelo regional.

La tendencia de los Balances Hídricos estimados para cada modelo, a lo largo de todo el año 2030 con el escenario A2, es similar al escenario A1b; solamente varía el mes de julio calculado por el modelo GFDL con el valor menor de -56.54mm (Ver anexo 8).

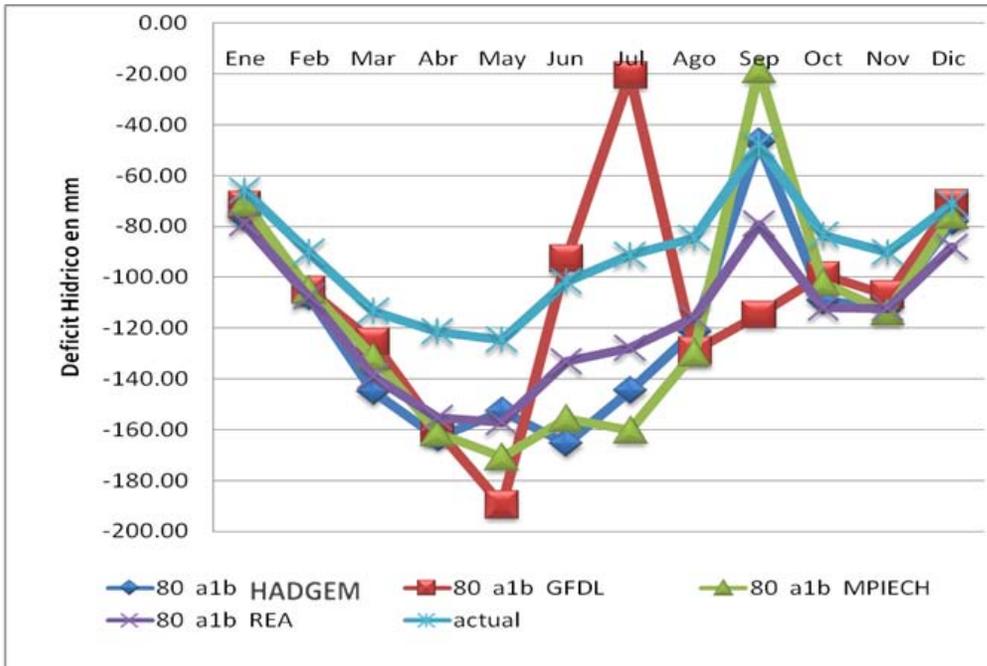


COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

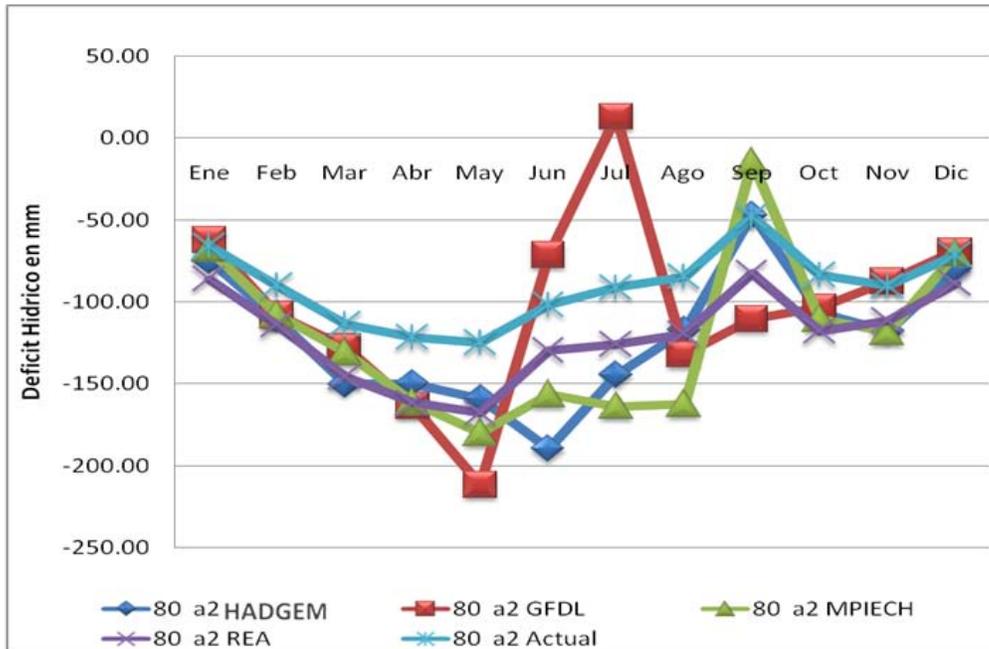
Gráfica 5: Balance hídrico actual y para el año 2050 bajo escenario de cambio climático A1b, déficit hídrico estimado en milímetros por los MCG y por el modelo regional.



Gráfica 6: Balance hídrico actual y para el año 2050 bajo escenario de cambio climático A2, déficit hídrico estimado en milímetros por los MCG y por el modelo regional.



Gráfica 7: Balance hídrico actual y para el año 2080 bajo escenario de cambio climático A1B, déficit hídrico estimado en milímetros por los MCG y por el modelo regional.



Gráfica 8: Balance hídrico actual y para el año 2080 bajo escenario de cambio climático A2, déficit hídrico estimado en milímetros por los MCG y por el modelo regional.

Al igual que para el año 2030 los balances hídricos para los años 2050 y 2080, en todos los modelos y en ambos escenarios, siguen la misma tendencia de balances hídricos negativos a lo largo de todo el año. Siendo mayo el mes que tendrá mucho menos disponibilidad del agua, y con el transcurso de los años se irá incrementando el balance hídrico negativo en todo el estado alcanzando valores de hasta -211 mm pronosticado por el modelo GFDL en el escenario A2 (anexo 8 y 9).

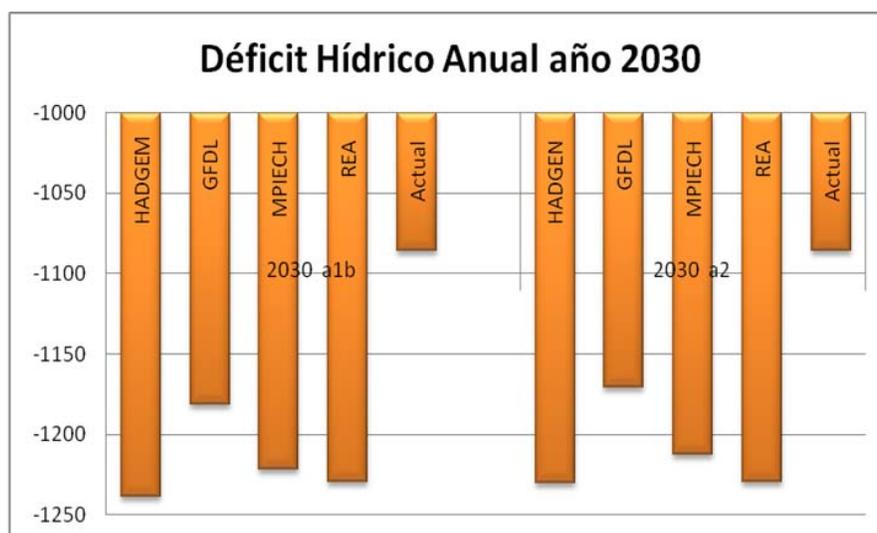
Una de las características que tienen en común todos los balances hídricos estimados en los 3 años evaluados por los modelos, es que, el mes donde el déficit hídrico es menor fue septiembre, casi al final de la temporada de lluvia y no al principio lo que podría retrasar el inicio de esta temporada hacia los meses de otoño o incluso reduciéndola provocando graves sequías.

#### 5.4 Comparación de los Modelos de Circulación General con el modelo Regional al estimar el déficit hídrico (DH) anual de los años 2030, 2050 y 2080

Debido a que el balance hídrico mensual para los 3 años evaluados muestra el mismo comportamiento entre modelos y escenarios, se calculó el déficit hídrico anual actual y para 2030, 2050 y 2080 (gráficas 9 a la 11), observando diferencias entre los escenarios A1b y A2 y principalmente entre los modelos.

En todos los años estimados el déficit hídrico con cambio climático es mayor que con el escenario actual. En el año 2030 el modelo que estima un DH menor es el GFDL. Al comparar ambos escenarios, el A2 es ligeramente menor el DH, esto coincide con el trabajo realizado en 2008 por Tejeda y colaboradores, donde estiman los valores mínimos por el modelo GFDL al compararlo con otros 2 MCG (gráfica 9).

Al comparar los modelos de cambio climático, a excepción del modelo REA, el escenario A1b estima un DH mayor en comparación con el escenario A2; esto es similar a los trabajos realizados por el INE (2000), Magaña (2007) y Palma (1997), donde obtuvieron valores más altos en el escenario A1b que en el A2 independientemente del modelo utilizado; aunque esta diferencia no es muy considerable a comparación de los años 2050 y 2080.



Gráfica 9: Déficit hídrico actual y para el año 2030 bajo los escenarios de cambio climático A1b y A2, estimado en milímetros por los MCG y por el REA.

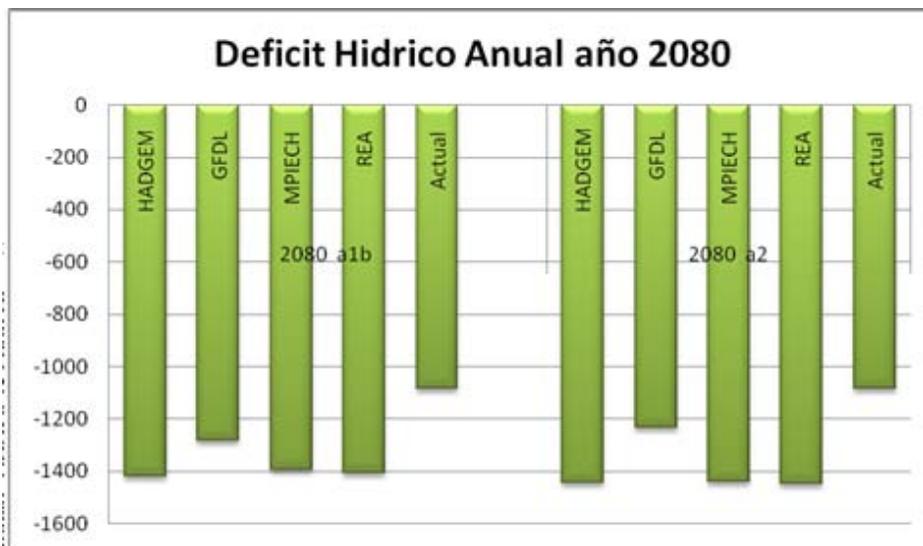


Gráfica 10: Déficit hídrico actual y para el año 2050 bajo los escenarios de cambio climático A1b y A2, estimado en milímetros por los MCG y por el REA.

En el año 2050 los valores de DH son más altos en el escenario A2 en los MCG. El modelo REA estimó un valor más alto en comparación con los MCG en el escenario A1b, mientras que para el escenario A2 el valor más alto del DH fue estimando por el modelo MPIECH.

Al igual que en el año 2050, en el 2080 los valores más negativos estimados por los modelos son en el escenario A1b a excepción del modelo GFDL donde sus valores negativos son menores (gráfica 11).

La tendencia de los resultados obtenidos por los modelos HADGEM y MPIECH en



ambos escenarios concuerdan con los trabajos realizados por el INE 2000, Magaña 2007, Palma en 1997 y Tejeda en 2008 donde destacan que los valores más altos en el año 2030 corresponden al escenario A1b. En los años siguientes los valores más negativos son estimados para el escenario A2, siendo en 2080 cuando esta diferencia es más notoria; esto se puede deber las características y variables descritas para cada escenario por el IPCC en 2000, donde a largo plazo según ellos, un modelo de desarrollo regional tiende a afectar más social, económica y ecológicamente que un modelo de desarrollo global.

Gráfica 11: Déficit hídrico actual y para el año 2080 bajo los escenarios de cambio climático A1b y A2, estimado en milímetros por los MCG y por el REA.

En general los balances hídricos para el estado de Coahuila, estimados por los MCG y el regional en los 2 escenarios, ya sea mensual o anualmente, estimaron un déficit hídrico en gran parte del territorio. Incluso en el escenario actual, como se muestra en la Figura 5, así como los resultados de los BH obtenidos para los años 2030, 2050 y 2080, donde pronostican que conforme aumente el tiempo este déficit hídrico, se irá intensificando siguiendo los modelos una tendencia similar (gráficas 3 a la 11) bajo los escenarios A1b y A2.

Al obtener un déficit hídrico a lo largo de todo el año y con el aumento de temperatura, como se mencionó anteriormente, esto traerá problemas sociales como el abandono de tierras, desempleo, falta de alimentos agua y metería prima entre otros; problemas ambientales como la falta del agua, falta de humedad en el suelo, sequías, aumento en la evapotranspiración, mínima recarga de acuíferos, fuerte presión sobre fauna y flora nativa del estado, etc. y por ende todo estos acarreará problemas políticos y económicos para Coahuila.

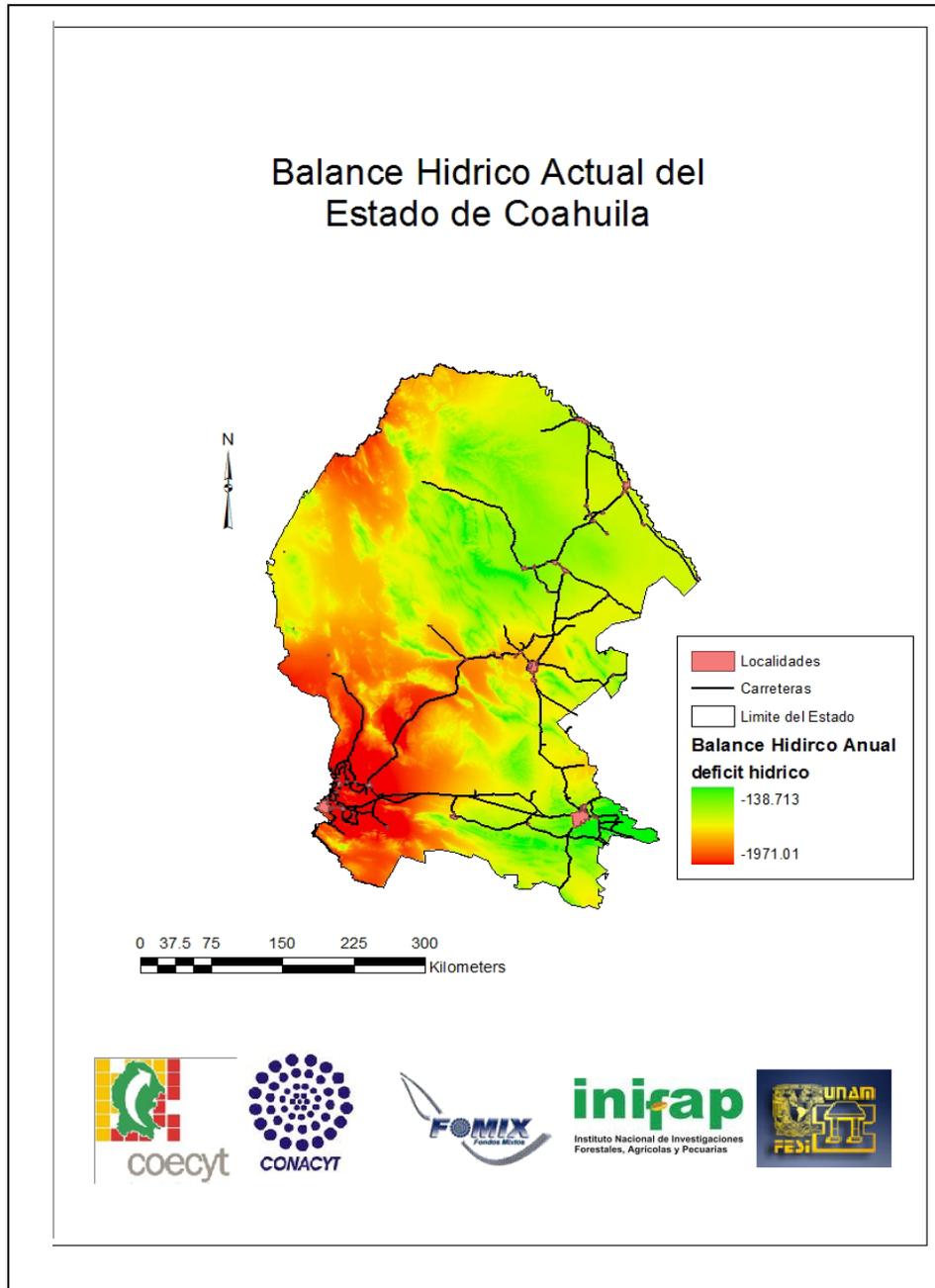


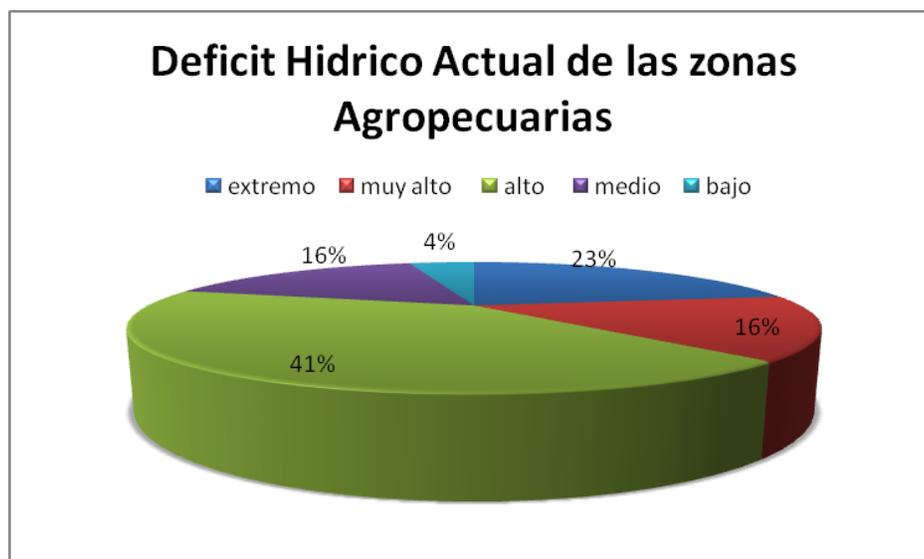
Figura 5: Balance hídrico actual del estado de Coahuila.

## 5.5 Análisis de afectación de zonas agropecuarias por el déficit hídrico (DH) estimado en el escenario actual y para el 2030, 2050 y 2080.

### 5.5.1 Análisis actual

Debido a que la mayor parte afectada por el DH es la porción que se encuentra al suroeste del estado (Fig. 5), la zona de la [Subprovincia](#) del Bolsón de Mapimí y la de Nazas-Aguanaval, donde se localizan grandes áreas dedicadas a la agricultura mecanizada de riego (INEGI 2010), como el área de la comarca lagunera que según Molina en 2004, es el usuario más importante del agua subterránea ya que utiliza un 70% de las extracciones para el sector agrícola.

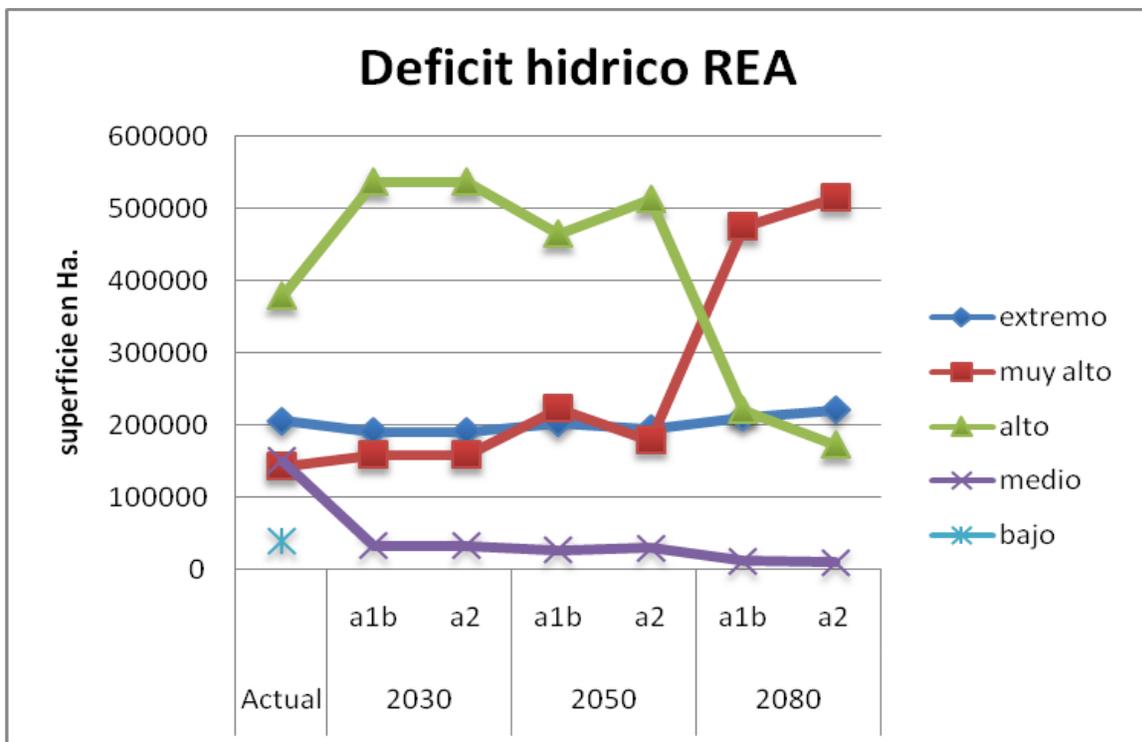
Se realizó un análisis del grado de afectación de las zonas agropecuarias del estado, tomadas del mapa de vegetación Serie III del INEGI 2001 y se hizo una clasificación para estimar el porcentaje (Gráfica 12) de las hectáreas afectadas en la actualidad o año base para compararse con los efectos de Cambio Climático, observándose que si se suman los porcentajes alto (41 %), de extremo (23 %) y muy alto (16 %) dan un 80 % de las zonas agrícolas del estado con problemas graves de falta de agua en la actualidad y que se agravarán con los efectos del cambio climático en el futuro.



Gráfica 12: Porcentaje de hectáreas afectadas actualmente por el déficit hídrico en el estado de Coahuila.

### 5.5.2 Análisis del modelo REA para las zonas agropecuarias de Coahuila.

En el Modelo Regional REA la superficie afectada con un déficit hídrico que se estimó para el año 2030, va de -2000 a los -1500 mm anuales y ocupará una extensión con más de 190 000 ha. bajo ambos escenarios(Anexo 10), pero es hasta el 2080 donde el déficit hídrico clasificado como muy alto se presenta en gran parte de las zonas agropecuarias cubriendo hasta con 474 000 y 515 000 hectáreas (Gráfica 13).



Gráfica 13: Superficie en hectáreas de las zonas agrícolas afectadas por déficit hídrico actual y por el modelo regional REA.

Una visión espacial de los mapas anuales obtenidos por el modelo REA, bajos los 2 escenarios en los años 2030, 2050 y 2080, donde se observan las zonas más afectas se muestran de la figura 6 a la 11.

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

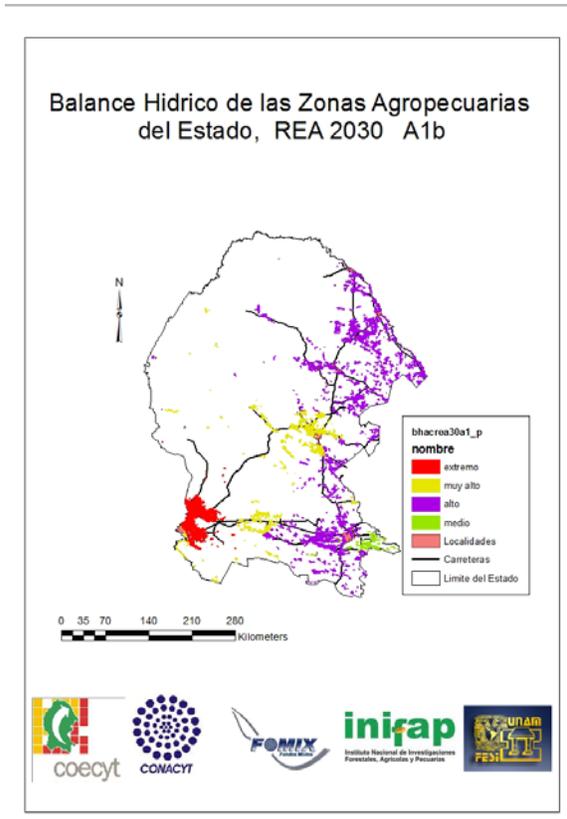


Fig. 6 Balance Hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2030 con el escenario A1b.

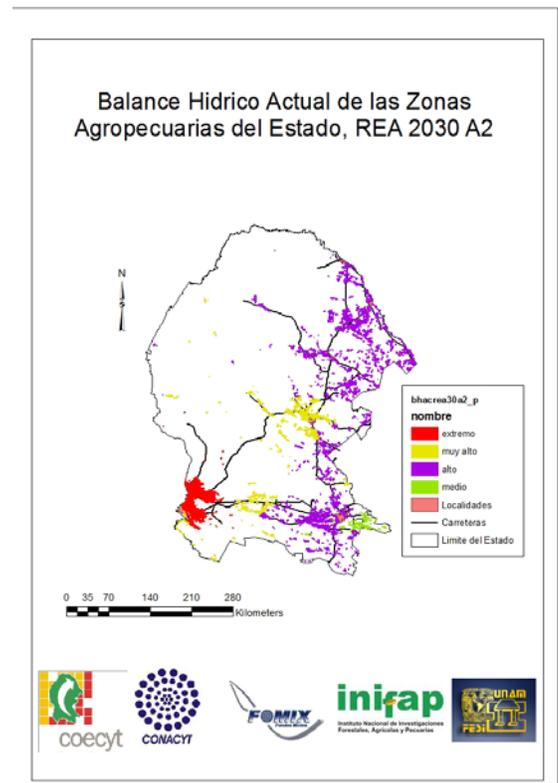


Fig. 7 Balance Hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2030 con el escenario A2.

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

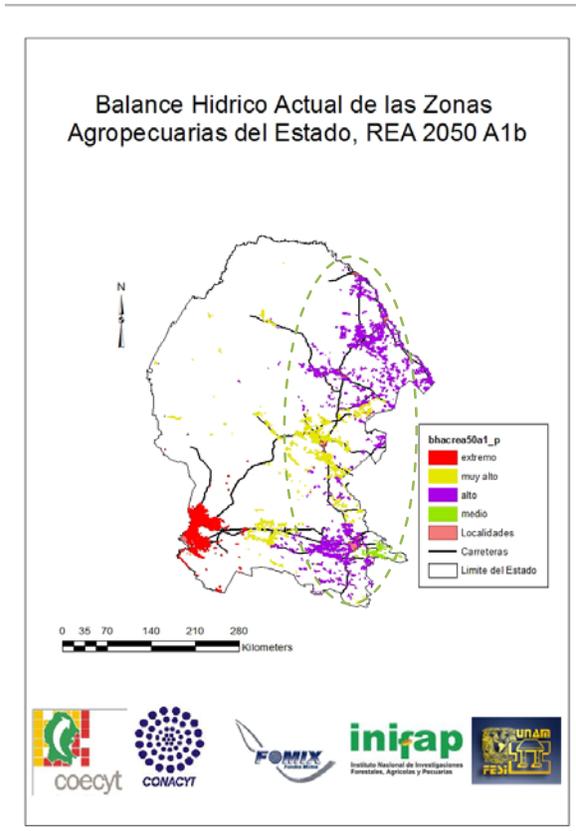
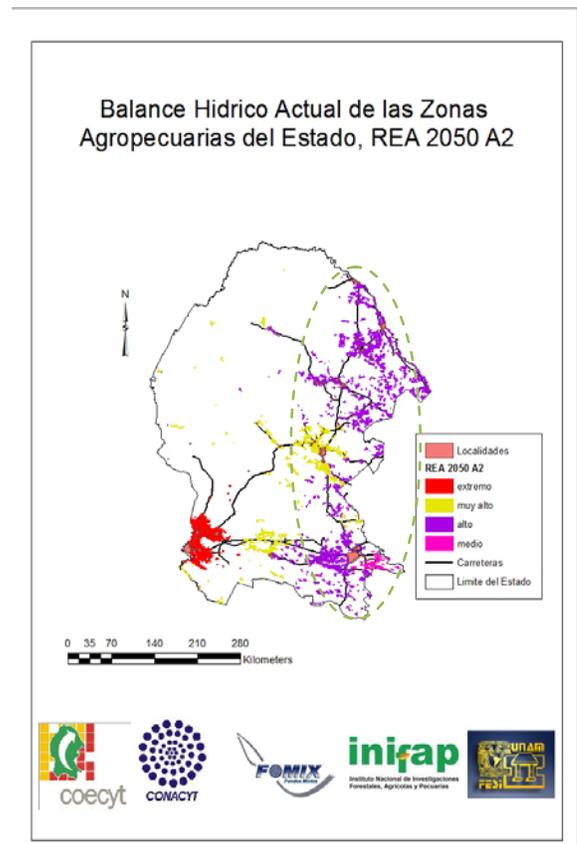


Fig. 8 Balance Hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2050 con el escenario A1b.



COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

Fig. 9 Balance Hidrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2050 con el escenario A2.

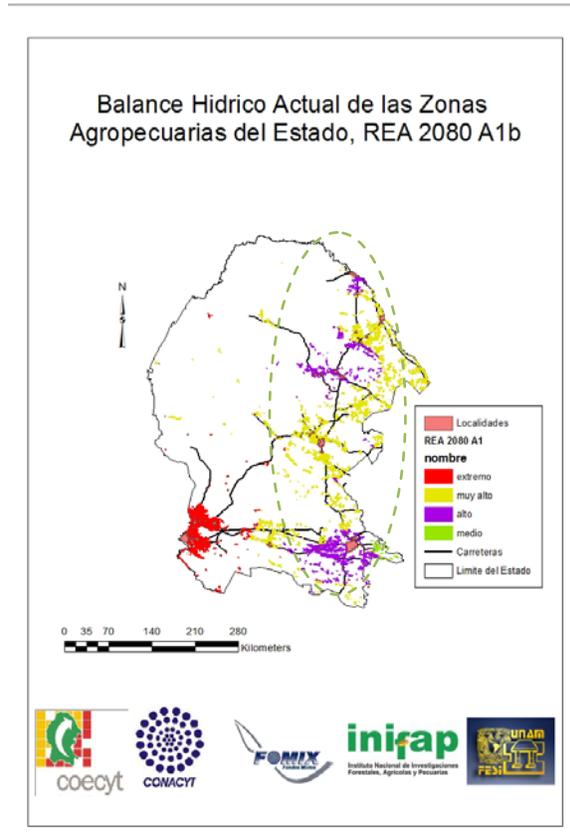


Fig. 10 Balance Hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2080 con el escenario A1b.

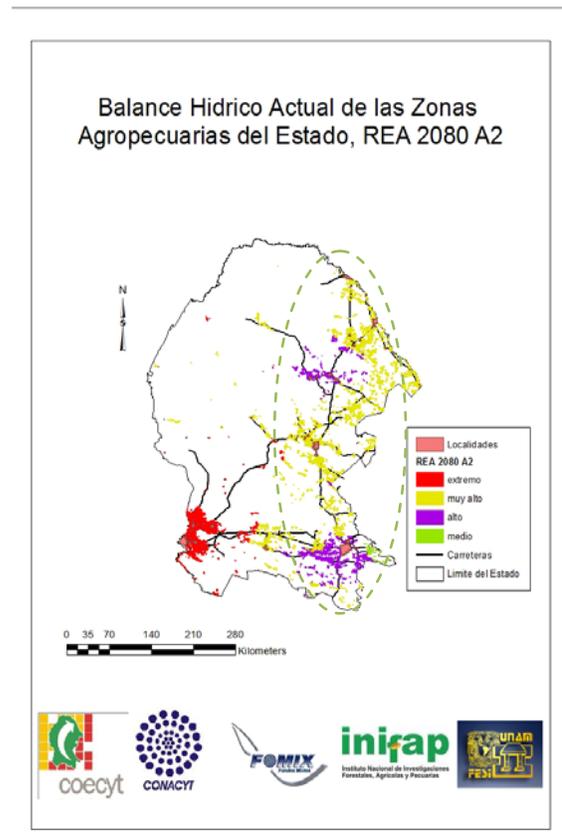


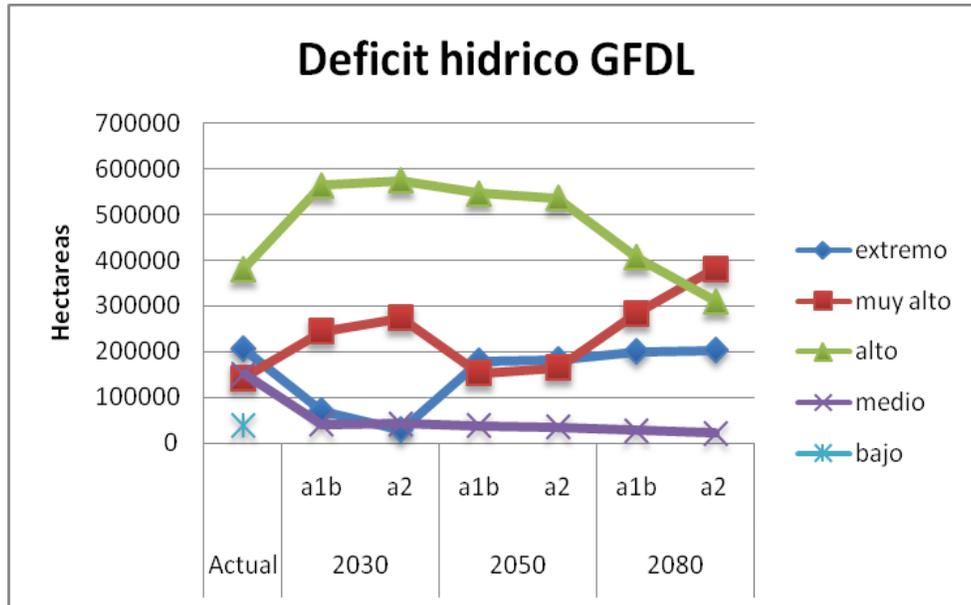
Fig. 11 Balance Hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo REA en el año 2080 con el escenario A2.

En las Figuras 7 a 11 se observa que la región más afectada del estado de Coahuila es la subprovincia de Nazas-Aguanaval, donde se encuentra la comarca lagunera, que es de vital importancia por ser donde se está llevando la producción agropecuaria estatal. Además, se nota un cambio importante en el número de hectáreas afectadas con un déficit hídrico alto en el 2050 en ambos escenarios con respecto al 2080, donde éste último año se intensifica el déficit hídrico entrando la mayoría de la superficie en la clase de muy alto (-2000 a -1500 mm). Lo anterior implicaría que se deberá sostener la producción agropecuaria en condiciones de déficit hídrico extremo, extrayendo agua principalmente del subsuelo, la cual de por sí ya es escasa y con una tasa muy lenta de recuperación, ocasionando la disminución los mantos freáticos y de la disponibilidad de este recurso principalmente y se tendrá que obtener agua a mayor profundidad o trasladarla de lugares más lejanos, lo cual acarrearía problemas de contaminación y calidad del agua para riego.

### 7.5.3 Análisis del modelo GFDL para las zonas agropecuarias de Coahuila.

El modelo GFDL muestra que el número de hectáreas estimadas afectadas por un déficit hídrico extremo, para el año 2030 en los 2 escenarios fue mucho menor al número actual que se estimaron en este caso, sin embargo el escenario A2 se estimó que solo 29 000 ha. (anexo 10) sufrirían de escases de agua para la producción agropecuaria y no es hasta en año 2080 cuando el número de hectáreas se incorporarán al intervalo de -2500 a -2000 mm anuales, similar al número de hectáreas que actualmente está siendo afectadas con una diferencia de cerca de 2 000 ha (Gráfica 14).

Esto podría ser debido que el balance hídrico para el estado realizado bajo este modelo es el que presenta una mayor variación a lo largo del año, además es menos drástico al estimar la disminución de precipitación.



Gráfica 14: Superficie en hectáreas de las zonas agrícolas afectadas por déficit hídrico actual y por el modelo de circulación general GFDL.

Sin embargo, al igual que el modelo regional REA el número de hectáreas afectadas, estimadas por el modelo GFDL, entran en el rango de un déficit hídrico alto con la falta de -1500 y -1000 mm anuales con hasta 574 000 ha, que pronostica el escenario A2 en el año 2030, lo que producirá una problemática por la falta de agua. Esto se hace más crítico en el año 2080 bajo el escenario A2, donde la mayoría de las hectáreas afectadas por falta de agua entran a la clase de un déficit hídrico muy alto con un total de 381 000 ha.

La zona más afectada geográficamente cae dentro de la Región Hidrológica Nazas-Aguanaval (Figuras 12 a 17), a pesar que el modelo GFDL estima que el área con déficit hídrico extremo será más reducida, en los años 2030 y 2050 bajo

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

ambos escenarios, que en actualidad estará afectado la zona de la comarca el área de mayor producción agropecuaria del estado.

Es hasta el 2080 cuando el número de hectáreas afectadas pasa de alto a muy alto y también se observa la diferencia entre el escenario A1b y el A2.

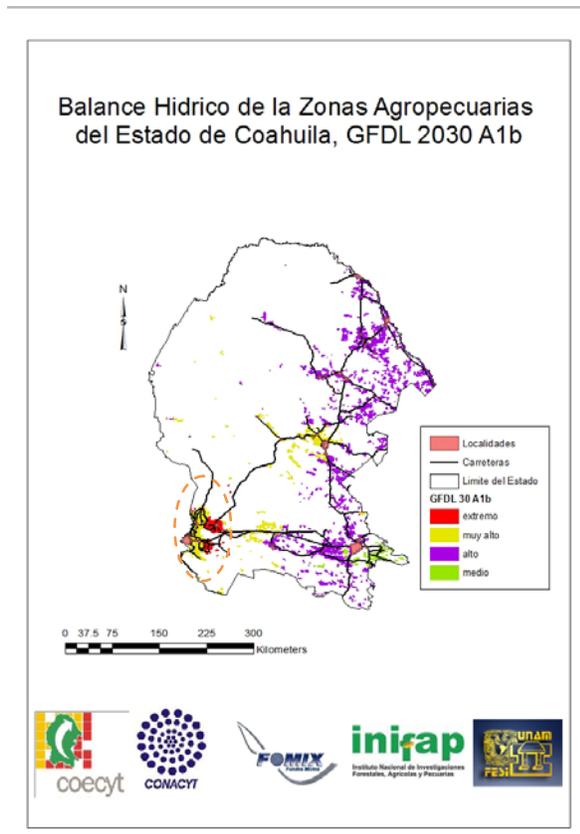


Fig. 12 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2030 con el escenario A1b.

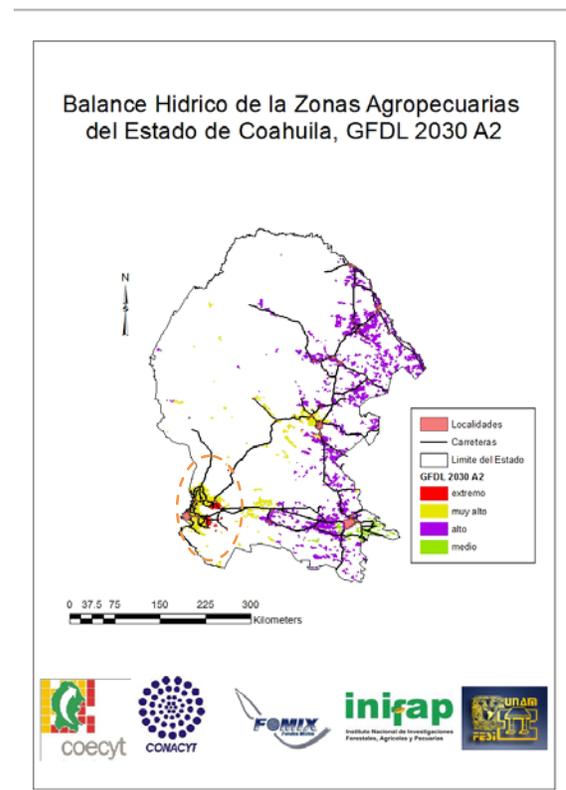


Fig. 13 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2030 con el escenario A2.

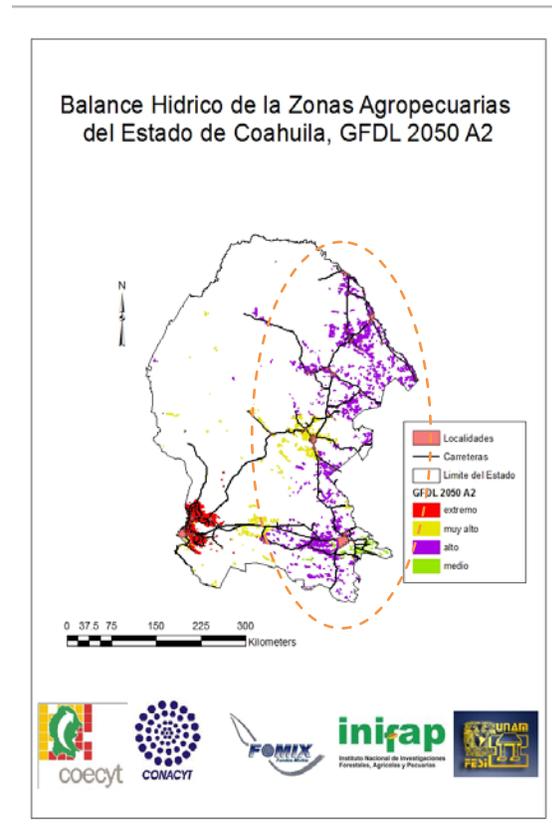


Fig. 14 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo GFDL en el año 2050 con el escenario A1b.

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 Y 2080.

Fig. 15 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo GDFL en el año 2050 con el escenario A2.

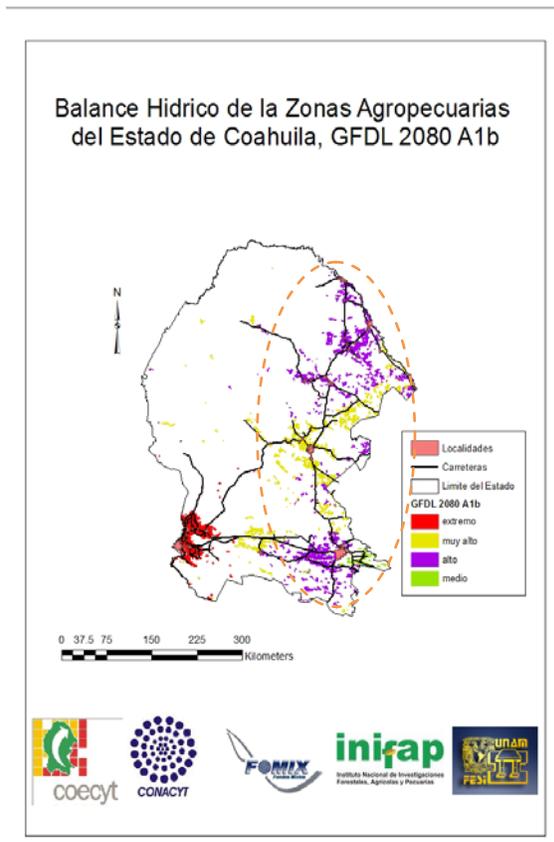


Fig. 16 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo GDFL en el año 2050 con el escenario A1b.

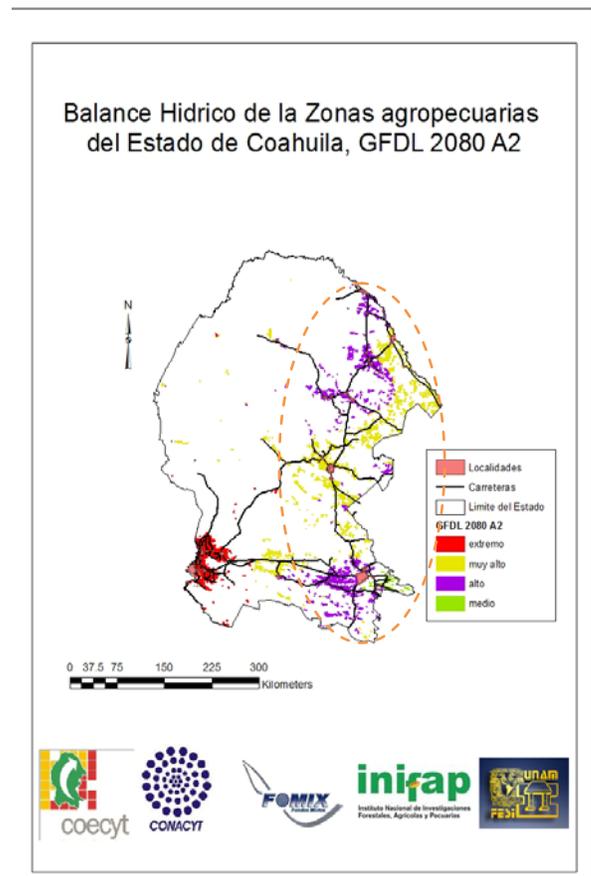
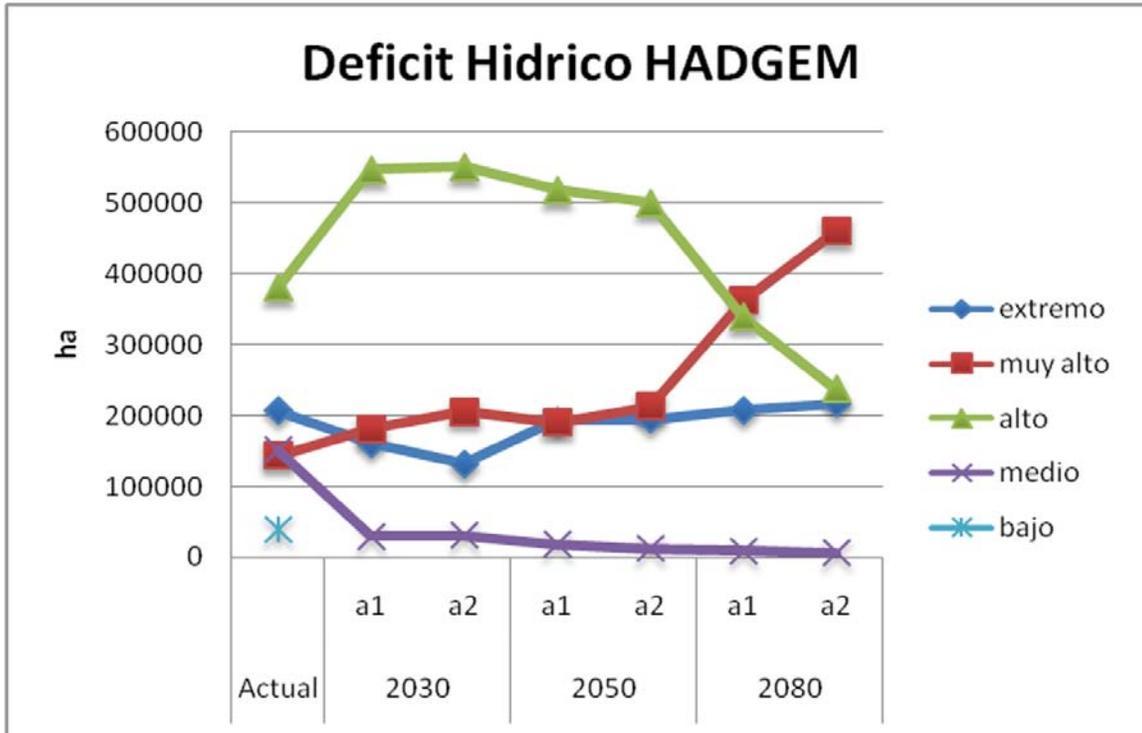


Fig. 17 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo GDFL en el año 2050 con el escenario A2.

#### 5.5.4 Análisis del modelo HADGEM para las zonas agropecuarias de Coahuila.

De acuerdo a los balances hídricos obtenidos con los datos del MCG HADGEM el déficit hídrico que afectará mayormente las zonas agropecuarias del estado, caerá dentro del rango déficit alto de agua en los años 2030 y 2050 con la diferencia de 4 000 ha. entre los escenarios A1b y A2 para el año 2030 y de 18 000 ha. para el año 2050 (anexo 10).

Es en 2080 cuando las hectáreas con déficit hídrico muy alto sobrepasa la cantidad de hectáreas afectadas por déficit hídrico alto con la diferencia de -500 mm entre rango.



Gráfica 15: Superficie en hectáreas de las zonas agrícolas afectadas por déficit hídrico actual y por el Modelo de Circulación General HADGEM.

Entre el escenario A1b y A2, en el año 2030, hay una diferencia importante en el número de hectáreas afectadas por el rango extremo; mientras que en el escenario A1b pasan las 161000 ha, para el escenario A2 solo llegan a 131000 ha (Gráfica 15). La diferencia de cerca de 30 mil ha. se ubica en la zona de Torreón (Figuras 18 a 23).

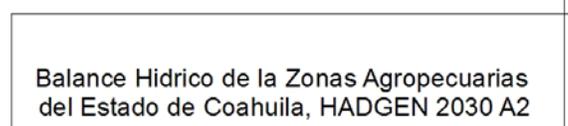
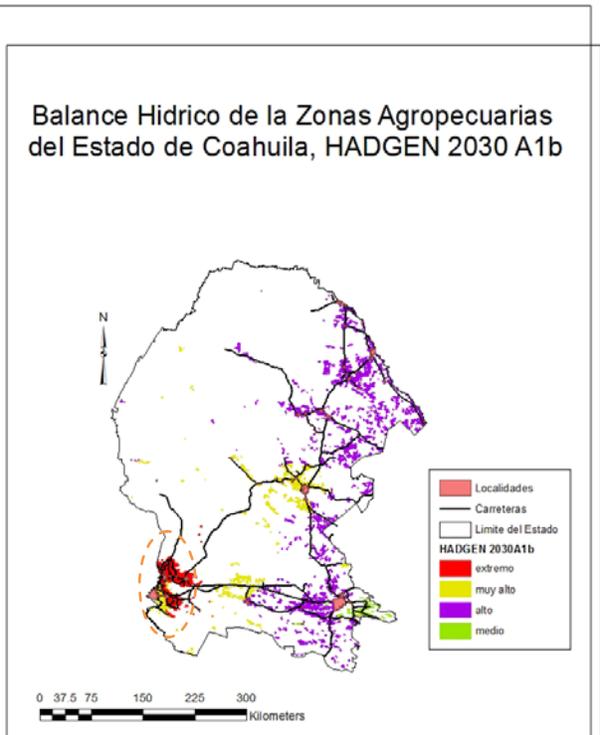
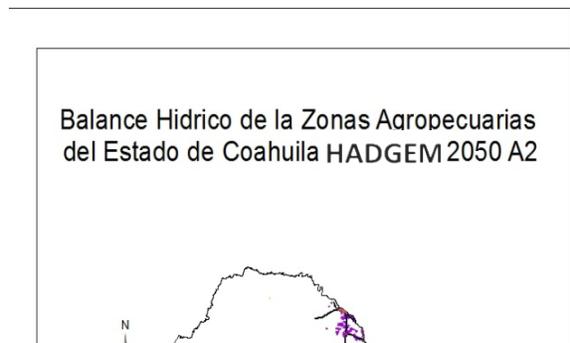
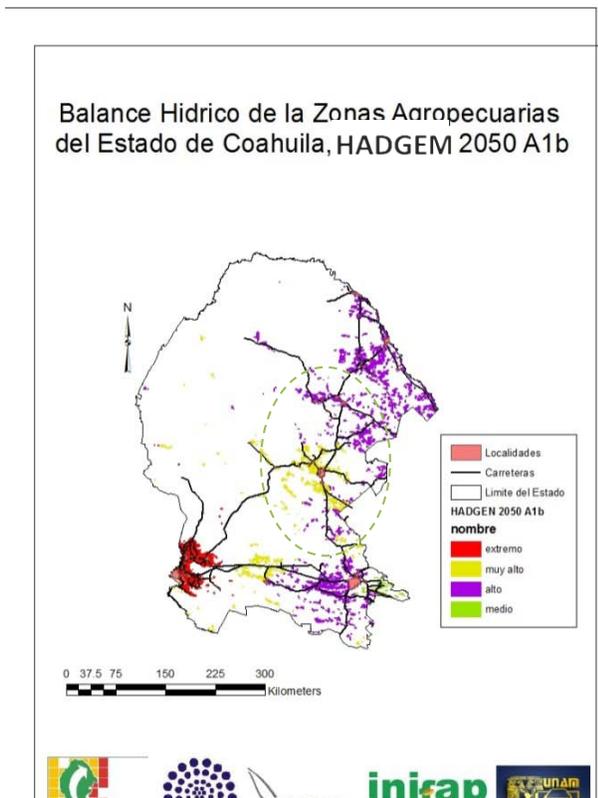


Fig. 18 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el 2030 con el escenario A1b.

Fig. 19 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el 2030 con el escenario A2.



COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

Fig. 20 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el 2050 con el escenario A1b.

Fig. 21 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el 2050 con el escenario A2.

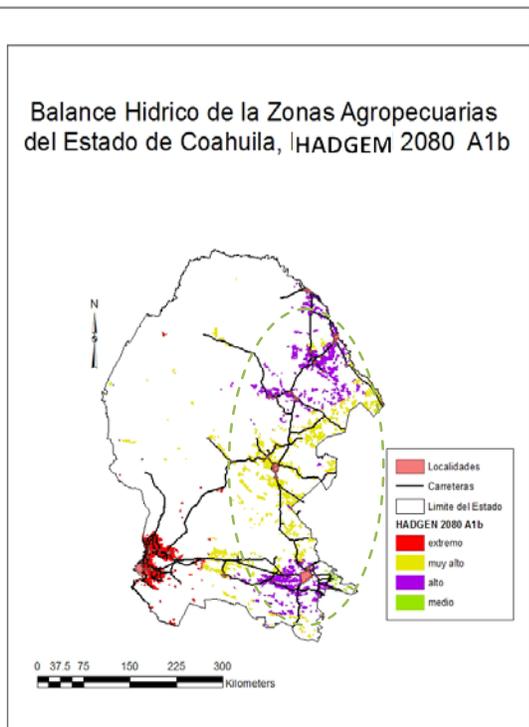


Fig. 22 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el 2080 con el escenario A1b.

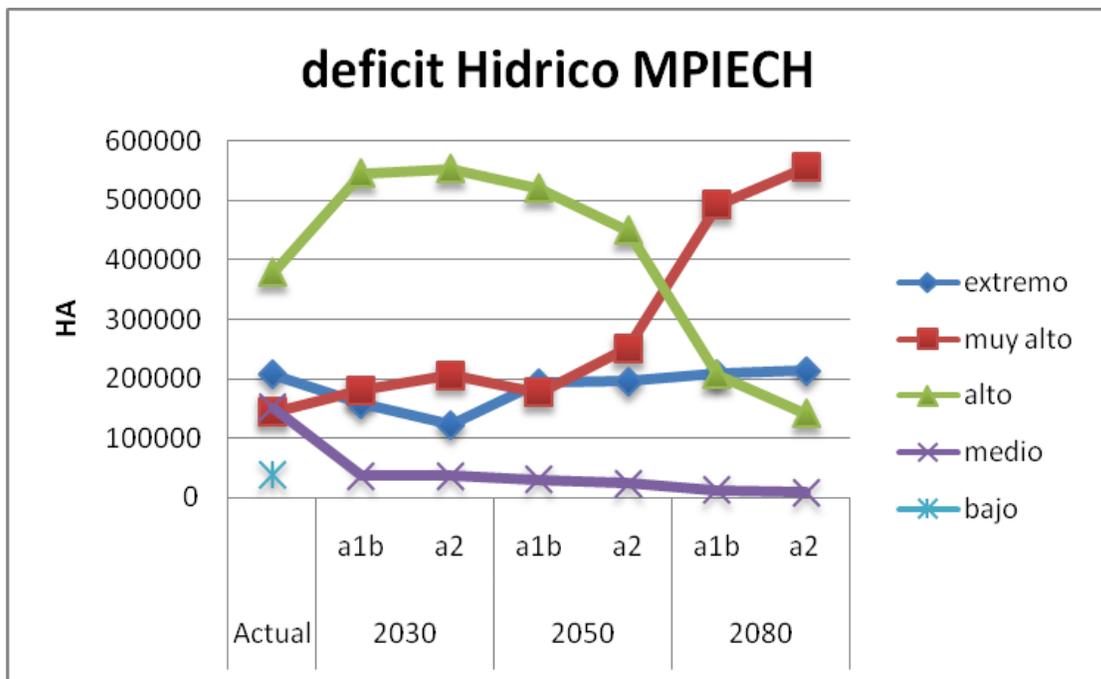
Fig. 23 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo HADGEM en el 2080 con el escenario A2.

La cuenca Presa Falcón-Rio Salado perteneciente a la Región Hidrología Bravo-Conchos, con una superficie, dentro de Coahuila, de 46,001.62 km<sup>2</sup>, será el área, que bajo el modelo HADGEM, aumente el déficit hídrico de rango alto en el 2050 bajo ambos escenarios, a rango muy alto en el 2080 (Figuras 20 y 23).

Dado que los escurrimientos superficiales son muy bajos en esta cuenca, siendo tan sólo de unos 10 a 20 mm anuales, será muy complicado tener prácticas de agricultura de temporal y agricultura mecanizada por que requerirá de más agua.

### 5.5.5 Análisis del modelo MPIECH para las zonas agropecuarias de Coahuila.

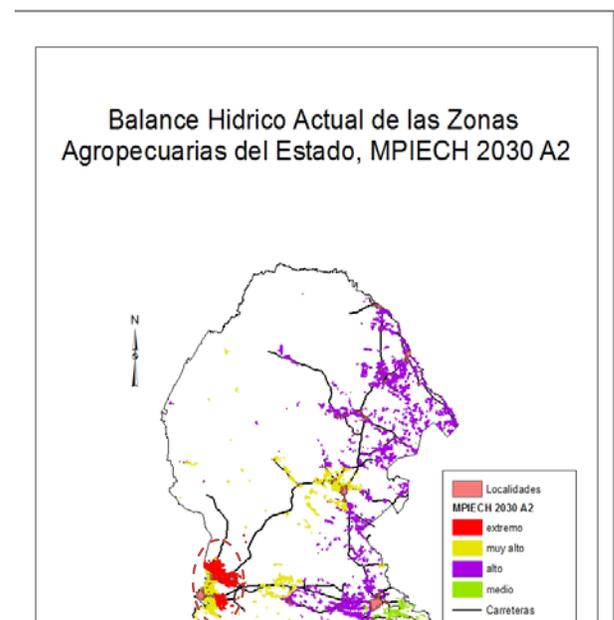
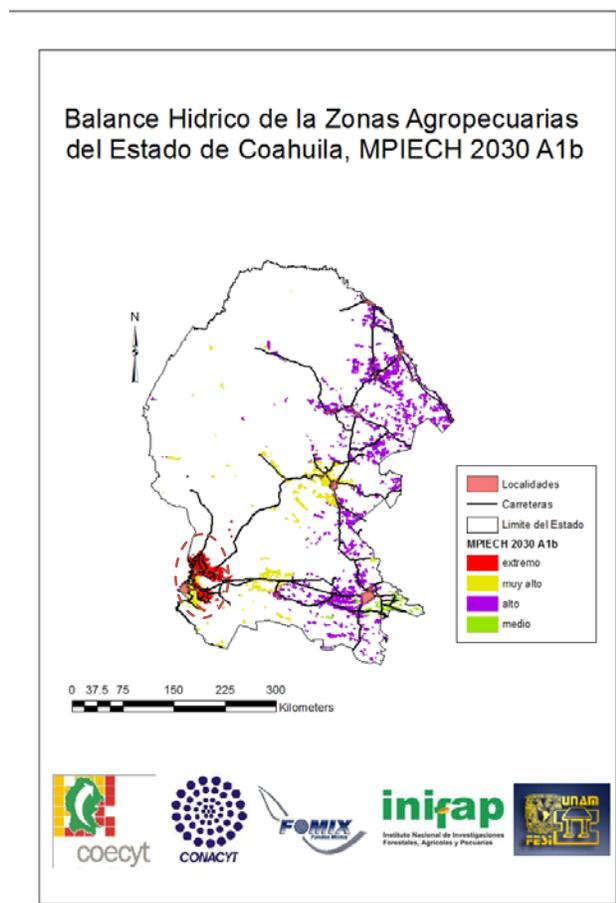
Los resultados obtenidos por el MCG MPIECH muestran que durante los años 2030 y 2050 la mayoría de las hectáreas estarán afectadas por un déficit hídrico alto. Ocasionando problemas de agua a 180 000 ha. y 205 000 ha. para el año 2030 en los escenarios A1b y A2 respectivamente y para 2050 más de 176 000 ha y 250 000 ha (anexo 10) pronosticadas para ambos escenario. La disminución del número de hectáreas afectadas entre uno año y el otro indica sólo que la falta de agua se irá incrementando sumando cada vez más hectáreas a los rangos de déficit muy alto y extremo, hasta el año 2080 donde las hectáreas se encuentran bajo un déficit hídrico muy alto e incluso el número de hectáreas dentro del rango alto será menor, bajo el escenario A2, que las afectadas por un déficit hídrico extremo (Grafica 16).



Grafica 16: Superficie en hectáreas de las zonas agrícolas afectadas por déficit hídrico actual y por el modelo de circulación general MPIECH.

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

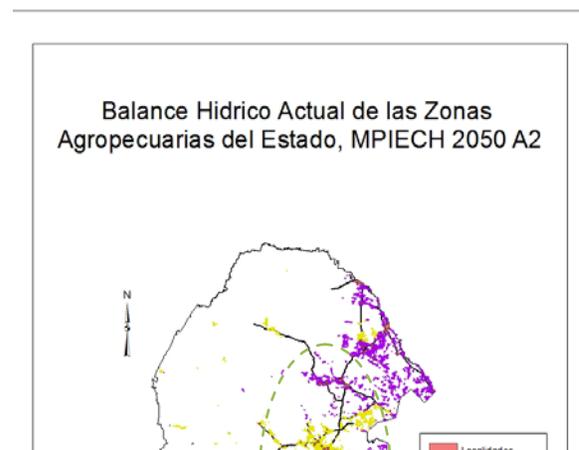
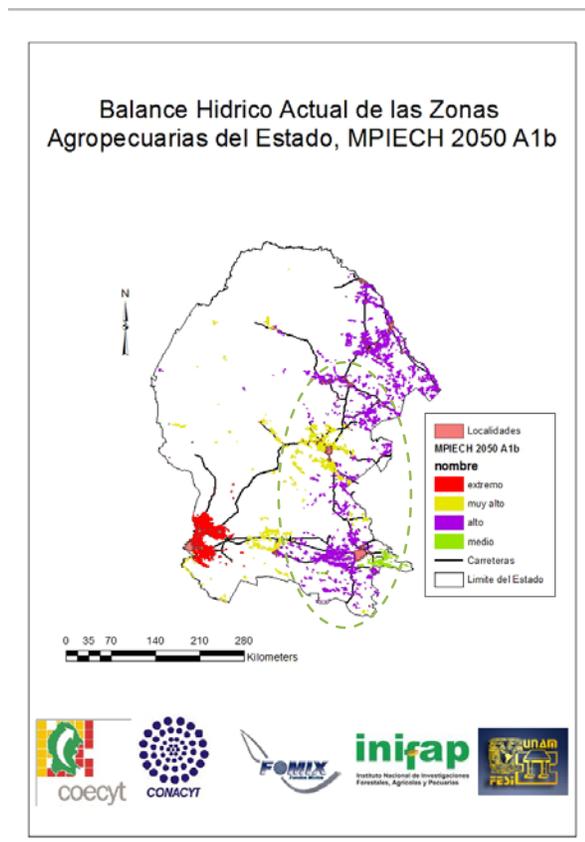
Entre los valores calculados por MPEICH y los calculados por el MCG HADGEM no hay mucha diferencia en el número de hectáreas incluidas en cada categoría (Anexo 10).



COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 Y 2080.

Fig. 24 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el 2030 con el escenario A1b.

Fig. 25 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el 2030 con el escenario A2.



COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 Y 2080.

Fig. 26 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo MPEICH en el 2050 con el escenario A1b.

Fig. 27 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo MPEICH en el 2050 con el escenario A2.

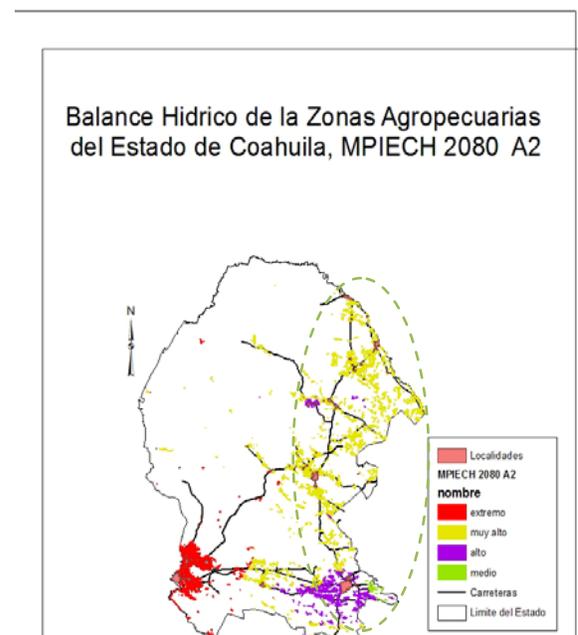
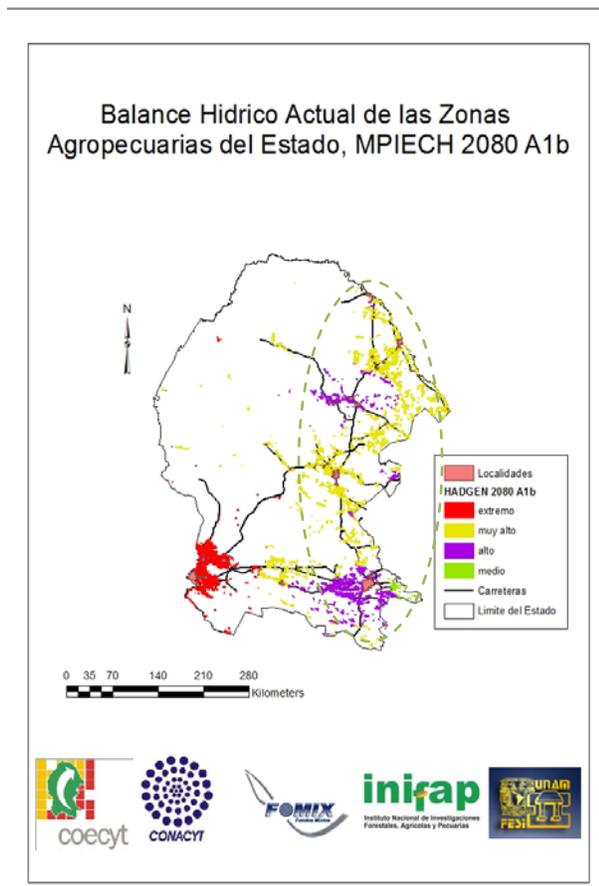


Fig. 28 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el 2080 con el escenario A1b.

Fig. 29 Balance hídrico de las zonas agropecuarias estimado por el modelo MPIECH en el 2080 con el escenario A2.

Al igual que los modelos anteriores las zonas más afectadas, con un déficit hídrico extremo es la subprovincia de Nazas-Aguanaval, pero en 2030 el modelo predice que todavía quedarán ciertas zonas dentro de esta subprovincia que no estarán dentro de un déficit hídrico extremo a diferencia del año 2050 donde ya toda el área se encuentra bajo presión extrema por la falta de agua; y para el 2080 esta presión se llega a extender a otras zonas y se incrementan considerablemente el número de superficie agropecuaria afectadas con un déficit hídrico muy alto bajo los 2 escenarios (Figuras 24 a 29).

En todos los modelos y en ambos escenarios la afectación por DH extremo irá aumentado con forme pasen los años principalmente en la región de La Laguna que a pesar de ser muy productiva, es una de las más secas del Estado y también de las más cálidas, lo que favorece la pérdida de agua de por sí muy escasa y junto con eso que los cultivos que se producen ahí no están adecuados a las características climatológicas de la zona, por lo que para su producción se demanda gran cantidad de agua extraída principalmente del subsuelo o importada de otros lados lo que incrementa su costo ambiental y económico, como lo

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

explican Landa y colaboradores en 2008 donde mencionan las problemáticas del sector hídrico en la producción agropecuaria y cómo se ha deteriorado en ambiente en la región de La Comarca Lagunera principalmente por conflictos políticos y agrarios.

Bajo todos los modelos utilizados, el área de déficit hídrico medio ocupa menos de 50 000 ha, bajo ambos escenarios y en los 3 años que se aplicaron los modelos, ocuparon el área boscosa y solamente en la actualidad hay zonas con un déficit hídrico bajo igualmente en estas áreas (Figura 30).

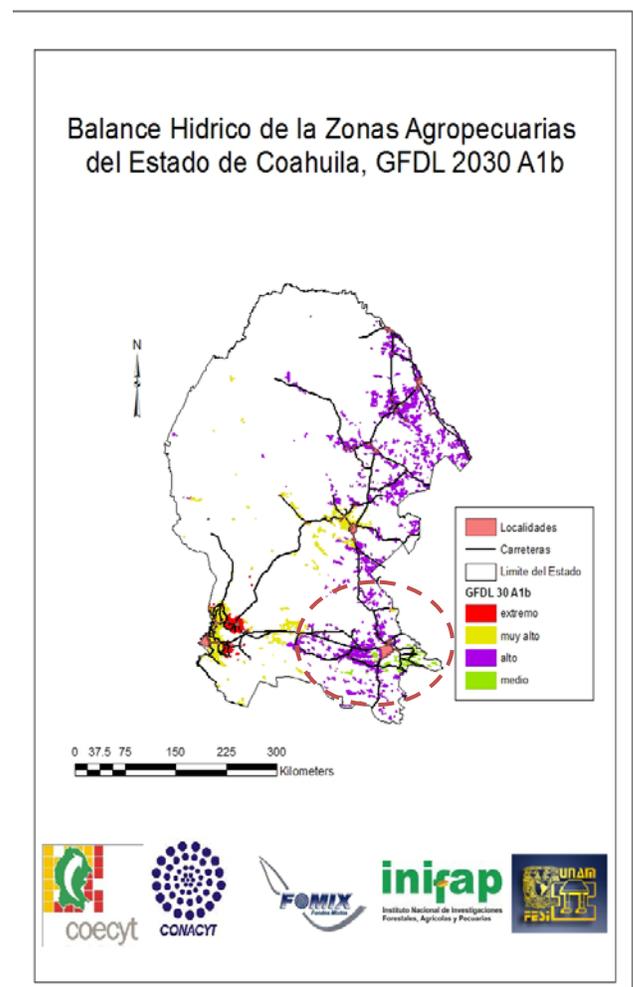
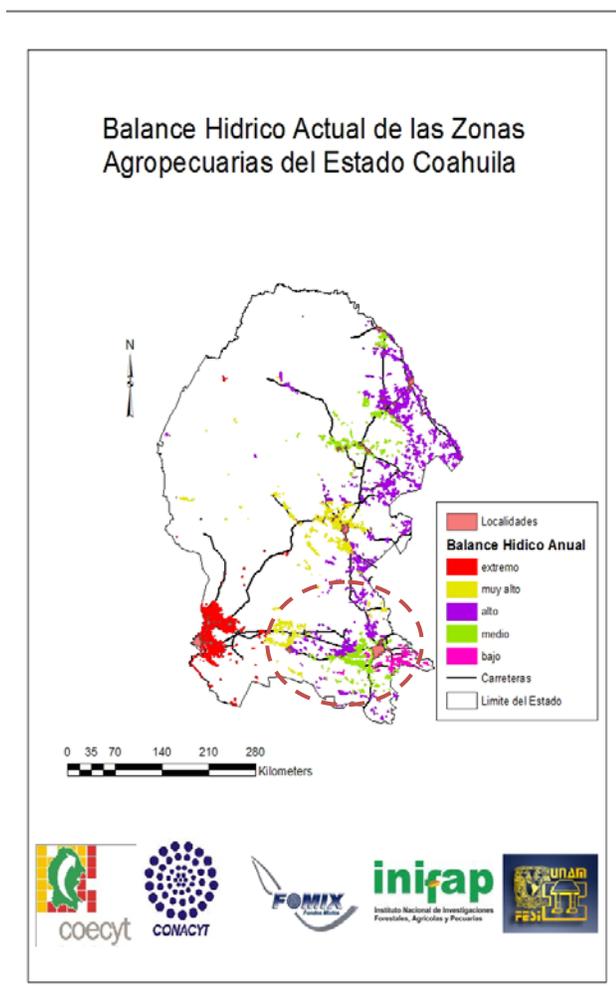


Fig. 30 Mapa actual y de un MCG mostrando la ubicación de las zonas menos afectadas por la falta de agua en el estado.

El sector agrícola es muy vulnerable al cambio climático por su situación geográfica y las características socioeconómicas. En la actualidad todavía no se ha determinado claramente la distribución espacial y temporal del impacto de cambio climático en la agricultura mexicana, en especial en las regiones del norte como es el caso de Coahuila, aunque es probable un impacto negativo, si no se realizan estrategias integrales de adaptación de manera anticipada complementada con el fomento a la investigación científica, tecnológica y socioeconómica.

## **6 CONCLUSIONES.**

La anomalía de temperatura en el estado de Coahuila fluctúa entre 0.8 °C y 3.8 °C y la precipitación entre -25 mm a 85 mm para los años evaluados y para los modelos utilizados.

La diferencia entre los escenarios A1b y A2 es notoria hasta el año 2080, donde para todos los modelos el escenario A2 calculó los valores más altos tanto de temperatura como en el déficit hídrico, esto coincide con los resultados obtenidos por IPCC en 2000.

No existe mucha diferencia entre los MCG y el modelo regional REA al estimar el balance hídrico, al comparar el número de hectáreas de las zonas agropecuarias afectadas por el déficit hídrico.

El modelo GFDL pronosticó que la situación con el recurso hídrico no será tan caótica como los otros modelos; pero aún así se verán afectadas miles de hectáreas, ya que tuvo déficit hídrico menor que el estimado en los otros modelos

El modelo regional fue el que pronosticó el mayor número de hectáreas clasificadas en el rango extremo para los 3 años del estudio y en ambos escenarios.

El modelo REA estimó un 44.38 % del total de las zonas agropecuarias afectadas por cambio climático en contraste con los MCG (HADGEM y GFDL) que estimaron un porcentaje mayor.

El modelo MPIECH calculó una superficie menor con el 43.84 % del total de las zonas agropecuarias del estado.

El déficit hídrico resultante por acción del Cambio Climático ocasionará una fuerte alteración en el ciclo hidrológico afectando los recursos hídricos y de no implementarse acciones oportunas, traerá graves consecuencias económicas, sociales y ambientales para el estado

## **7. RECOMENDACIONES**

Sería convincente adoptar una reforma en la administración y manejo de recursos para mitigar los efectos del Cambio Climático y en sí, la disponibilidad del recurso hídrico.

Sería conveniente replantear los tipos de cultivos que se producen en el estado, como es el caso de la alfalfa y otro cultivos que son utilizados como con fines forrajeros y que demandan mucha agua, por la producción de cultivo que son utilizados de forma tradicional en zonas áridas para este mismo fin y se adaptan perfectamente al clima que presenta el estado.

Estimar riesgos y vulnerabilidades en el sector agropecuario principalmente en especies agrícolas, pecuarias y forestales.

Realizar simulaciones del clima para conocer los efectos del cambio climático utilizando otros modelos con mayor resolución y que incluyan mas variables regionales.

E introducir técnicas agrícolas sustentables y combinar técnicas agrosilvopastoriles para el cuidado del medio ambiente y de la población en general.

## **8 LITERATURA CITADA**

- Altamirano, M., 2008. CURSO-TALLER: “EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO POTENCIAL EN EL SECTOR HÍDRICO DE MÉXICO”. Subdirección de Estudios sobre Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio, INE
- Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu y J.P. Palutikof, Eds. 2008. El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Secretaría del IPCC, Ginebra, 224 pp
- Carabias, J., Landa R., Collado J. y Martínez P., 2005. Agua, medio ambiente y sociedad hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. Universidad Nacional Autónoma de México: El Colegio de México: Fundación Gonzalo Río Arronte, 221pp.
- Castillo, A. 1998. Sistemas de Clasificación agroclimática de Papadakis: su aplicación y evaluación en México. Tesis de maestra. Programa Agrometeorológico. Colegio de Postgraduados, Montecillo México. 111pp

- Comisión Nacional del Agua, 2003. Programa Hidráulico Regional 2002-2006. Región VI Río Bravo. México.
- Conde, C. 2003. Cambio y Variabilidad Climáticos. Dos Estudios de Caso en México. Tesis para obtener el doctorado en Ciencias de la Tierra. Posgrado en Ciencias de la Tierra, UNAM. 227 pp. .
- Conde, C., B. Martínez, O. Sánchez, F. Estrada, A. Fernandez, J. Zavala, C. Gay. 2008. Escenarios de Cambio Climático (2030 y 2050) para México y Centro América. Temperatura y Precipitación. [Documento en línea]. Disponible en internet en <[http://www.atmosfera.unam.mx/cclimatico/escenarios/Escenarios\\_de\\_cambio\\_climatico\\_Mexico\\_2008.htm](http://www.atmosfera.unam.mx/cclimatico/escenarios/Escenarios_de_cambio_climatico_Mexico_2008.htm)>
- Conde, C. y Gay, C., Estrada, F. Fernández, A., López, F., Lozano, M., Magaña, V., Martínez, B., Zavala, J. 2008. Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional. Primera versión. Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM
- CNA 2003
- Diaz 2007 (obtención del escenario base)
- Gardiner, L. 2007. *National Earth Science Teachers Association*. ¿Qué es un modelo climático?  
[http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/climate/cli\\_models2.sp.html](http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/climate/cli_models2.sp.html)
- Gay, C., Conde, C. y Sánchez, O. 2006. Escenarios de Cambio Climático para México. Temperatura y Precipitación. [Documento en línea]. Disponible desde internet en <[http://www.atmosfera.unam.mx/cambio/escenarios/escenarios\\_3A\\_mapas\\_y\\_datos.htm](http://www.atmosfera.unam.mx/cambio/escenarios/escenarios_3A_mapas_y_datos.htm)>
- Gay, C., y Estrada, F. 2007 Cambio climático en México Centro de Ciencias de la Atmósfera
- Gay, C. (Compilador) 2000. *México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México*. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México, 220 pp.
- Gerald, C. Nelson, Mark W. Rosegrant, Jawoo Koo, Richard Robertson, Timothy Sulser, Tingju Zhu, Claudia Ringler, Siwa Msangi, Amanda Palazzo, Miroslav Batka, Marilia Magalhaes, Rowena Valmonte-Santos, Mandy Ewing, y David Lee. 2006. Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre políticas Alimenticias
- Golubev, V. *et al.*, 2001. Evaporation changes over the contiguous United States and the former USSR: a reassessment. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 2665–2668.

- IMTA. 2007. Identificación de modelos climáticos globales y regionales adecuados a las condiciones de México, [www.imta.gob.mx](http://www.imta.gob.mx)
- Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT y del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México. 2006. El Cambio Climático en México: Información por Estado y Sector [http://www.ine.gob.mx/cclimatico/edo\\_sector/enlaces.html](http://www.ine.gob.mx/cclimatico/edo_sector/enlaces.html)
- INE. 2000. El Cambio Climático en México Información por Estado y Sector [http://www2.ine.gob.mx/cclimatico/edo\\_sector/estados/futuros\\_coahuila.html](http://www2.ine.gob.mx/cclimatico/edo_sector/estados/futuros_coahuila.html)
- INE-SEMARNAT. 2006. Tercera Comunicación de Cambio Climático
- INEGI. 2000 Marco Geoestadístico,. INEGI-DGG. Superficie de la República Mexicana por Estados.
- INEGI. 2005, Mapa de Vegetación serie III de INEGI. México
- INEGI. 2007. Carta de Uso Actual del Suelo, Estadística e Historia del México <http://mapserver.inegi.gob.mx/geografia/espanol/estados/coa/agri.cfm?c=444&e=19>
- IPCC. 2000. Escenarios de emisiones: resumen para responsables de políticas. IPCC. 20 p.
- IPCC. 2007. A: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Ginebra: IPCC.
- IPCC. 2007. B: *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Lafragua, J., Gutiérrez, A., Aguilar, E., Aparicio, J., Mejía, R., Santillán, O., Suárez, M.A. y Preciado, M. 2003. Balance hídrico del Valle de México. Anuario IMTA 2003, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, pp. 40-45
- Landa, R., Magaña, V. y Neri, C. 2008. Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático. Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM
- Maderey, L. y Jiménez A. 2000. Los Recursos Hidrológicos del centro de México ante un Cambio Climático Global. Instituto de Geografía, UNAM.
- Magaña, V. 2007. Elaboración de Escenarios de Cambio Climático para la Región de Estudio en el Golfo de México. Instituto de Geografía, UNAM.
- Magaña, V., Conde, C., Sánchez, O. y Gay, C. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios for México. *Climate Research*. 9(2): 1707-114.
- Magaña, V. y Caetano E. 2005, Temporal evolution of summer convective activity over the Americas warm pools, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L02803, doi:10.1029/2004GL021033.
- Manabe 1991

- Martínez, P. 2007. Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México 76pp
- Marín, L. 2000. El Agua en México: Retos y Oportunidades, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México
- Molina, A. 2004, "Estudio hidrogeoquímico de la Comarca Lagunera", Tesis de maestría, Posgrado en Ciencias de la Tierra, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México
- Montalvo, A y Fernández A, 2006. Más allá del cambio climático. Cambio climático: el peso de la evidencia y sus implicaciones para la sociedad, INE 215- 226 p.
- Montero, M. y Pérez, L. 2007. Regionalización de proyecciones climáticas en México de precipitación y temperatura en superficie usando el método REA para el siglo XXI.
- Nakicenovic, N. y Alcamo, J. 2000. Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 599p
- Palma, B., Conde, C., Morales, R. y Colorado, G. 2007. Escenarios de Cambio Climático para Veracruz, En Plan Estatal de Acción Climática del Estado de Veracruz.
- Pierre, A. 2006 Cálculo del balance hídrico de un país o de una región: Caso de la región Norte de Haití, XXIX Congreso AIDIS, San Juan, Puerto Rico 22-27pp.
- Protección de la Fauna Mexicana, A.C. 2010. Escenarios del clima en Coahuila para este siglo por regiones, componentes de vulnerabilidad y amenazas. 209 p.
- Rivas, R. 2004. Propuesta de un Modelo Operativo para la Estimación de la Evapotranspiración I.S.B.N.:84-370-6083-4 Edita: Universitat de València.
- Ruge, T. 2006. Cambio Climático "El día que el clima me cambio". Coordinación General del Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable, CECADESU, SEMARNAT. 24-27p
- SEMARNAT. 2009. Cambio Climático y Calentamiento Global, Área responsable: Subsecretaría de Planeación y Política ambiental, Tlalpan México, DF. [http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica\\_ambiental/cambioclimatico/Pages/cambioclimatico.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/queessemarnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/cambioclimatico.aspx)
- Small, J., Witherick, M., Ross, S. 1998. A modern Dictionary of Geography. Universidad de Oxford, Nueva York, EUA, 304 p.
- Springal, G. 1970. Hidrología. Primera parte. México, D.F., Instituto de Ingeniería. 210 p.

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

- Tejeda, A., Conde, C., y Valencia, L. 2008. Climate change scenarios of extreme temperatures and atmospheric humidity for México. *Atmosfera* 21(4), 357-372.
- UICN-ORMA, 2003. Adaptación de la gestión de los recursos hídricos al cambio climático. Centro de Cooperación del Mediterráneo - Oficina Regional para Mesoamérica (UICN-ORMA). San José, Costa Rica. 54 p.

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

Anexo 1

Mes	Temperatura 2030 A1b			
	MPIECH	HADGEM	GFDL	REA
enero	10.76	10.68	9.88	5.34
febrero	12.60	12.46	12.82	6.23
marzo	15.19	16.20	14.64	8.10
abril	17.95	18.51	17.43	9.25
mayo	21.48	20.45	21.78	10.22
junio	23.24	23.18	22.42	11.59
julio	23.49	23.34	22.70	11.67
agosto	23.64	23.16	23.23	11.58
septiembre	20.48	21.13	21.26	10.56
octubre	17.29	17.39	16.37	8.70
noviembre	13.93	13.85	13.11	6.92
diciembre	10.48	10.46	10.74	5.23
anual	17.54	17.56	17.20	8.78

Mes	Temperatura 2030 A2			
	MPIECH	HADGEM	GFDL	REA
enero	10.58	10.49	9.88	10.94
febrero	12.44	12.30	12.82	12.67
marzo	15.03	16.04	14.64	16.22
abril	17.69	18.26	17.43	19.11
mayo	21.30	21.76	21.78	21.56
junio	23.14	23.08	22.42	23.00
julio	23.28	23.13	22.70	23.63
agosto	23.56	23.08	23.23	23.49
septiembre	20.42	21.07	21.26	21.12
octubre	17.22	17.31	16.37	17.91
noviembre	13.75	13.66	13.11	14.31
diciembre	10.43	10.44	10.74	12.75
anual	17.40	17.55	17.20	18.06

ANEXO 2

Mes	Temperatura 2050 A2			
	MPIECH	HADGEM	GFDL	REA
enero	11.49	11.23	10.27	11.67
febrero	13.06	12.83	13.65	14.46
marzo	15.51	17.13	14.88	16.98
abril	19.15	20.04	18.70	20.41
mayo	22.08	20.42	22.86	22.62
junio	24.04	23.95	22.87	23.41
julio	24.37	24.14	24.61	25.07
agosto	24.40	23.95	23.73	24.75
septiembre	20.60	21.73	21.98	21.58
octubre	18.31	18.53	16.95	18.43
noviembre	14.98	14.76	53.93	14.90
diciembre	11.02	11.00	11.54	11.12
anual	18.25	18.31	21.33	18.78

Mes	Temperatura 2050 A2			
	MPIECH	HADGEM	GFDL	REA
enero	11.29	11.10	11.19	11.82
febrero	13.10	12.86	12.98	13.95
marzo	15.51	17.24	16.37	16.34
abril	18.58	19.53	19.06	19.48
mayo	22.35	20.59	21.47	21.93
junio	24.29	24.19	24.24	23.47
julio	24.20	23.95	24.07	24.52
agosto	24.66	23.84	24.25	24.17
septiembre	22.36	21.98	22.17	21.74
octubre	18.17	18.38	18.27	18.98
noviembre	14.79	14.54	14.67	14.15
diciembre	10.79	10.74	10.77	11.28
anual	18.34	18.24	18.29	18.48

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

ANEXO 3

Mes	2080 A2			
	MPIECH	HADGEM	GFDL	REA
enero	12.97	11.09	11.11	12.17
febrero	14.32	14.08	15.03	14.40
marzo	16.54	18.97	15.83	17.60
abril	20.94	22.19	20.36	21.07
mayo	23.75	21.56	24.67	23.24
junio	25.51	25.37	23.87	24.73
julio	26.09	25.74	24.66	26.07
agosto	25.74	24.61	24.90	25.68
septiembre	21.29	22.73	23.19	23.42
octubre	19.65	19.81	17.68	20.16
noviembre	16.80	16.35	15.20	16.16
diciembre	11.60	11.64	12.31	13.48
anual	19.60	19.51	19.06	19.85

Mes	2080 A2			
	MPIECH	HADGEM	GFDL	REA
enero	13.10	12.62	10.69	13.25
febrero	14.65	14.37	15.59	15.29
marzo	16.53	19.90	16.01	18.73
abril	20.89	22.39	20.37	21.61
mayo	24.64	21.54	26.14	24.09
junio	26.48	26.27	24.36	24.62
julio	26.21	26.06	24.22	26.21
agosto	26.53	25.21	25.54	25.84
septiembre	21.49	23.77	24.13	23.77
octubre	20.06	20.26	18.07	21.20
noviembre	17.26	16.64	14.84	16.06
diciembre	11.20	11.58	12.12	13.31
anual	19.92	20.05	19.34	20.33

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

ANEXO 4

Precipitación 2030 A1				
Mes	GFDL	MIPIECH	HADGEM	REA
enero	22.71	27.28	22.59	22.01
febrero	21.62	16.80	16.22	16.63
marzo	19.76	15.38	16.78	17.62
abril	23.46	23.34	32.18	29.40
mayo	34.45	41.30	35.60	50.04
junio	81.38	57.64	39.81	61.23
julio	111.13	53.29	63.31	68.48
agosto	47.10	53.34	60.14	67.31
septiembre	75.75	112.93	94.99	86.93
octubre	30.01	42.02	41.80	40.41
noviembre	23.93	19.40	26.26	23.48
diciembre	18.08	16.19	14.53	14.89
anual	509.35	478.90	464.18	498.41

Precipitación 2030 A2				
Mes	GFDL	MIPIECH	HADGEM	REA
enero	22.58	27.15	22.46	21.98
febrero	21.39	16.57	15.99	16.63
marzo	19.02	14.64	16.04	17.51
abril	23.49	23.39	32.21	29.17
mayo	34.44	41.35	35.64	49.79
junio	82.11	58.36	42.53	61.27
julio	111.17	53.32	63.65	68.74
agosto	45.83	52.17	58.92	67.33
septiembre	76.05	113.24	95.20	86.86
octubre	29.22	42.02	41.77	40.43
noviembre	23.23	18.70	25.51	23.56
diciembre	17.65	15.90	14.09	14.93
anual	506.15	476.78	463.98	498.16

ANEXO 5

Precipitación 2050 A1				
Mes	GFDL	MIPIECH	HADGEM	REA
enero	25.38	32.73	25.20	22.00
febrero	24.61	16.84	15.92	16.67
marzo	20.88	13.86	16.40	17.52
abril	21.57	22.38	36.07	29.34
mayo	40.12	50.12	41.14	49.87
junio	96.88	58.55	37.20	61.57
julio	142.67	50.13	66.49	68.36
agosto	55.58	55.62	66.44	67.29
septiembre	65.78	127.49	102.89	87.42
octubre	32.95	52.63	52.61	40.35
noviembre	22.64	15.30	26.40	23.47
diciembre	22.90	19.70	17.22	14.90
anual	571.92	515.33	503.96	498.74

Precipitación 2050 A2				
Mes	GFDL	MIPIECH H	HADGEM	REA
enero	23.93	31.76	23.71	22.04
febrero	24.86	16.58	15.59	16.73
marzo	20.39	12.94	15.76	17.59
abril	19.53	20.54	15.76	29.39
mayo	30.75	40.96	35.16	50.18
junio	97.64	56.83	36.58	61.39
julio	144.07	45.68	64.79	68.40
agosto	44.73	46.82	58.30	67.49
septiembre	63.02	129.95	104.30	87.18
octubre	24.65	46.77	46.76	40.35
noviembre	22.53	14.71	26.47	23.49
diciembre	21.09	17.98	15.05	14.92

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

anual	537.18	481.49	458.21	499.12
-------	--------	--------	--------	--------

ANEXO 6

Precipitación 2080 A1				
Mes	GFDL	MIPIEC H	HADGEM	REA
enero	26.55	35.94	28.74	22.04
febrero	26.95	17.93	15.85	16.73
marzo	22.76	13.98	20.42	17.59
abril	16.30	19.19	30.89	29.39
mayo	38.92	49.32	43.04	50.18
junio	101.50	51.87	34.83	61.39
julio	161.63	38.04	60.48	83.40
agosto	54.79	53.55	69.63	67.36
septiembre	44.54	131.83	109.41	87.18
octubre	28.14	55.33	56.71	40.35
noviembre	23.22	14.06	27.49	23.49
diciembre	27.20	22.55	17.68	14.92
anual	572.47	503.56	515.14	513.99

Precipitación 2080 A2				
Mes	GFDL	MIPIEC H	HADGEM	REA
enero	30.79	38.78	30.44	21.97
febrero	27.58	17.46	14.96	16.69
marzo	20.90	19.15	20.69	17.54
abril	10.61	14.67	40.47	29.27
mayo	31.62	42.06	30.60	50.04
junio	119.54	54.04	35.52	61.39
julio	194.24	34.16	63.65	68.28
agosto	43.90	28.98	61.51	67.37
septiembre	19.55	137.99	120.81	86.97
octubre	17.63	51.91	60.56	40.35
noviembre	22.92	13.42	27.08	23.58

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

diciembre	26.32	23.95	15.32	14.89
anual	565.58	476.55	521.58	498.30

Anexo 7

Mes	Balance Hídrico 2030 A1b				Actual
	HADGEM	GFDL	MPIECH	REA	
enero	-71.08	-67.63	-66.27	-71.42	-65.89
febrero	-96.43	-95.53	-95.33	-96.36	-90
marzo	-124.86	-117.84	-120.72	-126.87	-113.39
abril	-128.59	-132.4	-131.9	-137.69	-121.46
mayo	-144.23	-158.14	-149.82	-142.76	-124.67
junio	-135.83	-100.28	-128.02	-115.5	-101.68
julio	-117.82	-59.06	-122.49	-102.03	-91.28
agosto	-101.07	-119.02	-111.88	-97.47	-84.61
septiembre	-48.2	-75.37	-31.24	-58.89	-47.83
octubre	-99.27	-90.52	-93.35	-97	-83.47
noviembre	-96.83	-94.2	-96.25	-99.61	-90.2
diciembre	-74.25	-71.35	-74.67	-84.05	-71.06
anual	-1238.46	-1181.34	-1221.94	-1229.65	-1085.54

Mes	Balance Hídrico 2030 A2				Actual
	HADGEM	GFDL	MPIECH	REA	
enero	-70.17	-66.79	-65.37	-71.42	-65.89
febrero	-95.56	-94.67	-94.45	-96.31	-90
marzo	-123.92	-116.96	-119.86	-126.87	-113.39
abril	-126.44	-130.25	-129.84	-137.74	-121.46
mayo	-142.63	-156.33	-148.09	-142.82	-124.67
junio	-134.62	-99.57	-126.81	-115.45	-101.68
julio	-116.14	-56.54	-120.8	-101.71	-91.28
agosto	-101.62	-119.29	-112.41	-97.46	-84.61
septiembre	-48.81	-74.57	-30.43	-58.91	-47.83
octubre	-99.4	-90.57	-93.49	-97.03	-83.47
noviembre	-96.04	-93.49	-95.48	-99.55	-90.2
diciembre	-74.61	-71.69	-75.55	-84.07	-71.06
anual	-1229.96	-1170.72	-1212.58	-1229.34	-1085.54

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

Anexo 8

Mes	Balance Hídrico 2050 A1b				Actual
	HADGEM	GFDL	MPIECH	REA	
enero	-72.7	-67.22	-64.99	-76.52	-65.89
febrero	-99.37	-98.03	-97.61	-108.52	-90
marzo	-131.26	-119.6	-124.33	-132.96	-113.39
abril	-137.31	-143.16	-142.09	-149	-121.46
mayo	-144.44	-166.03	-152.91	-153.72	-124.67
junio	-151.99	-117.48	-139.42	-126.33	-101.68
julio	-124.42	-26.85	-138.65	-116.93	-91.28
agosto	-77.99	-119.73	-116.02	-108.62	-84.61
septiembre	-46.99	-88.36	-17.51	-62.62	-47.83
octubre	-104.58	-91.41	-94.96	-101.99	-83.47
noviembre	-103.33	-98.96	-102.4	-102.83	-90.2
diciembre	-75.24	-70.7	-75.98	-74.78	-71.06
anual	-1269.62	-1207.53	-1266.87	-1314.82	-1085.54

Mes	Balance Hídrico 2050 A2				Actual
	HADGEM	GFDL	MPIECH	REA	
enero	-73.33	-67.62	-64.96	-76.93	-65.89
febrero	-99.72	-98.36	-97.87	-104.91	-90
marzo	-132.07	-119.68	-124.63	-126.31	-113.39
abril	-133.27	-139.68	-138.59	-141.97	-121.46
mayo	-151.77	-174.86	-161.27	-146.3	-124.67
junio	-157.26	-98.96	-143.85	-120.83	-101.68
julio	-124.1	-23.48	-142	-110.11	-91.28
agosto	-108.09	-129.14	-126.82	-103.28	-84.61
septiembre	-18.38	-92.43	-28.82	-65.05	-47.83
octubre	-108.93	-96.38	-98.79	-102.54	-83.47
noviembre	-101.92	-97.33	-100.92	-98.55	-90.2
diciembre	-76.51	-71.68	-77.34	-76.57	-71.06
anual	-1285.35	-1209.6	-1305.86	-1273.35	-1085.54

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

Anexo 9

Mes	Balance Hídrico 2080 a1b				Actual
	HADGEM	GFDL	MPIECH	REA	
enero	-76.62	-71.48	-70.63	-78.76	-65.89
febrero	-107.49	-104.96	-105.16	-107.74	-90.00
marzo	-144.99	-125.46	-131.35	-139.00	-113.39
abril	-163.09	-160.02	-161.42	-155.52	-121.46
mayo	-152.58	-189.62	-170.88	-157.12	-124.67
junio	-165.39	-92.53	-155.63	-133.18	-101.68
julio	-144.67	-20.58	-160.31	-127.89	-91.28
agosto	-121.27	-128.90	-129.82	-115.93	-84.61
septiembre	-46.60	-114.77	-18.36	-79.02	-47.83
octubre	-109.17	-99.12	-102.14	-112.02	-83.47
noviembre	-111.87	-106.91	-113.78	-112.26	-90.20
diciembre	-78.13	-70.86	-75.80	-88.09	-71.06
anual	-1421.87	-1285.21	-1395.28	-1406.53	-1085.54

Mes	Balance Hídrico 2080 a2				Actual
	HADGEM	GFDL	MPIECH	REA	
enero	-74.61	-62.23	-67.80	-85.93	-65.89
febrero	-110.59	-108.00	-107.54	-114.07	-90.00
marzo	-150.18	-127.54	-130.64	-145.90	-113.39
abril	-149.75	-163.33	-161.07	-161.65	-121.46
mayo	-158.97	-211.60	-179.86	-167.91	-124.67
junio	-189.50	-71.36	-156.32	-129.65	-101.68
julio	-144.53	13.08	-163.55	-125.84	-91.28
agosto	-117.14	-132.05	-162.25	-119.28	-84.61
septiembre	-46.81	-110.26	-14.33	-82.37	-47.83
octubre	-106.90	-103.46	-110.23	-117.78	-83.47
noviembre	-117.74	-87.27	-118.46	-111.25	-90.20
diciembre	-79.80	-69.01	-70.35	-88.70	-71.06
anual	-1446.52	-1233.03	-1442.4	-1450.33	-1085.54

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.

Anexo 10

BH	Actual	2030		2050		2080	
REA		a1b	a2	a1b	a2	a1b	a2
extremo	206194.46	190421.47	190421.47	202732.62	194755.26	210902.57	220569.01
muy alto	143182.24	158517.25	158517.25	223874.61	179844.82	474401.24	515080.02
alto	379684.28	536627.22	536627.22	465185.19	513601.21	220983.46	172860.45
medio	150956.38	32761.65	32761.65	26570.95	30161.58	12049.83	9844.04
bajo	38734.86						

BH		2030		2050		2080	
GFDL		a1	a2	a1	a2	a1	a2
extremo	206194.46	70819.98	29002.12	181060.67	182405.99	201759.53	204653.92
muy alto	143182.24	243497.52	274181.82	153013.13	164420.52	283538.58	381988.22
alto	379684.28	563877.76	574003.66	546631.51	536715.32	405901.92	309879.63
medio	150956.38	40278.11	41266.49	37772.22	34920.5	27295.23	21981.89
bajo	38734.86						

BH	Actual	2030		2050		2080	
HADGEM		a1	a2	a1	a2	a1	a2
extremo	206194.46	161014.22	131575.6	192671.69	193869.06	207189.49	216282.01
muy alto	143182.24	181397.39	205867.25	190134.44	212205.79	362558.38	459499.72
alto	379684.28	546591.72	550441.33	517039.52	499722.93	338945.41	236858.26
medio	150956.38	29493.63	30619.47	18639.97	12706.07	9778.65	5867.94
bajo	38734.86						

BH	Actual	2030		2050		2080	
MPIECH		a1	a2	a1	a2	a1	a2
extremo	206194.46	157153.46	122573.19	192588.09	194533.73	206601.49	212670.77
muy alto	143182.24	180246.07	205956.95	176096.16	250818.59	493047.84	555724.23
alto	379684.28	545265.12	553307.83	520119.49	449724.03	207136.04	141326.93
medio	150956.38	35802.30	36636.21	29707.15	23434.21	11672.91	8774.14
bajo	38734.86						

COMPARACIÓN ENTRE TRES MODELOS (MCG) Y UN REGIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA ESTIMAR EL  
BALANCE HÍDRICO DEL ESTADO DE COAHUILA EN 2030, 2050 y 2080.