



SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



**PROYECTO INTERNO (Acervo Técnico)
GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA**

TH1204.1

***“PRIORIZACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN
AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL SECTOR HÍDRICO”***

**Dr. Carlos Patiño Gómez
Biól. Norma Ivette Reza García
M.I. Ben-Hur Ruiz Morelos
M.T.I. Iván Zazueta Acosta**

Diciembre, 2012

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2	ANTECEDENTES	7
3	OBJETIVO	10
4	MARCO METODOLÓGICO	10
4.1	Se llevará al cabo la recopilación, revisión e integración de la información necesaria para el diseño del portafolio de medidas de adaptación, estableciendo un criterio de priorización de dichas medidas.....	10
4.1.1	Generalidades	11
4.1.2	Archivos NetCDF	14
4.1.3	Generación de datos geográficos a partir de archivos NetCDF	15
4.1.4	Conversión de Raster a Shapefile	18
4.1.5	Integración de archivos shapefile con el uso de coverages	21
4.2	Mediante la plataforma de ESRI, se construirá un Sistema de Información Geográfica (SIG) que integre la información de vulnerabilidad ante el cambio climático en el sector hídrico, como información georeferenciada, utilizando la información recopilada en el punto 4.1	26
4.3	Una vez que se tenga el SIG, se analizarán las medidas de adaptación más adecuadas, dependiendo de la zona de estudio, pero con un enfoque en las zonas más vulnerables ante el cambio climático.	27
4.4	Una vez establecida la lista de las medidas posibles, se realizará una priorización de las mismas, siguiendo los criterios de priorización establecidos en el subtema	29
4.5	Se elaborará el informe final del proyecto.....	30
5	RESULTADOS	30
5.1	Base de datos de información cartográfica de la disponibilidad, usos del agua y del riesgo actual, así como la disponibilidad proyectada decadalmente hasta el 2030 bajo los efectos del cambio climático	30

5.2	Publicación del volumen IV de la serie de libros: “Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México”.....	33
5.3	Portafolio de medidas de adaptación priorizadas para el sector hídrico en los temas específicos de cantidad y calidad del agua, desarrollo social, con enfoque en los municipios más vulnerables a los efectos del cambio climático.....	34
5.3.1	Modelo de adaptación al cambio climático para los productores ganaderos de México.	34
5.3.2	Establecimiento y manejo de plantaciones para el cultivo de piñón y árboles de navidad en un Área Natural Protegida (ANP).....	35
5.3.3	Programa para la adaptación al cambio climático en costas mexicanas: costa de Chiapas y línea costero-marina del Golfo de México.	36
5.3.4	Desarrollo y transferencia de tecnología para la operación de módulos de riego en el distrito de riego 075, Valle del fuerte, Estado de Sinaloa.	38
5.3.5	Generación de Área Natural Protegida (ANP) en zonas de alta vulnerabilidad al cambio climático	38
5.3.6	Centro de composteo urbano	40
5.3.7	Adaptación y reducción de la vulnerabilidad del sector cafetalero ante el cambio climático en la Sierra Madre de Chiapas.....	41
5.3.8	Manejo del lirio acuático en los sistemas de riego de México.....	42
5.3.9	Diseño e implementación de medidas de adaptación al Cambio Climático en comunidades vulnerables al deshielo del glaciar Jamapa en el Parque Nacional Pico de Orizaba, México	44
5.4	Informe final	45
6	CONCLUSIONES.....	46
7	CITAS BIBLIOGRÁFICAS	48
8	ANEXO I.....	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Malla espacial de puntos de 0.5° x 0.5° de los MCGA.	12
Figura 2. Vista de la aplicación SEDEPECC (IMTA, 2009).	13
Figura 3. Archivos NetCDF y su representación en tres dimensiones.	14
Figura 4. Imagen a partir de archivo NetCDF producida con NCL.	15
Figura 5. Módulo de ArcToolbox dentro de ArcGIS.	16
Figura 6. Generación de archivo raster a partir de datos NetCDF.	17
Figura 7. Asignación de simbología y generación del mapa, (IMTA, 2010).	18
Figura 8. Reclasificación de la variable en el nuevo archivo raster.	19
Figura 9. Simbología arbitraria por la reclasificación del raster.	20
Figura 10. Archivo shapefile a partir de un archivo raster.	21
Figura 11. Mapa temático generado a partir de varias capas (IMTA, 2010).	22
Figura 12. Capas siete y ocho para generar el mapa temático.	23
Figura 13. Herramientas en ArcToolbox utilizadas.	24
Figura 14. Archivo resultante de la unión de las ocho capas tipo coverage.	25
Figura 15. Archivo shapefile con simbología resultado de la integración de capas.	26
Figura 16. Mapa mental del proceso de integración de la información.	27
Figura 17. Estructura de la Geodatabase y plantillas de mapas.	31
Figura 18. Directorio de archivos Shapefile y Layer.	32
Figura 19. Adaptación al cambio climático (IMTA, 2012).	34



SECRETARÍA DE
MEDIO AMBIENTE Y
RECURSOS NATURALES



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Iniciativas de Adaptación en México.

8

1 INTRODUCCIÓN

En México existen pocas iniciativas referentes al tema de la adaptación ante los efectos del cambio climático; se tiene cierta conciencia del tema y de su relevancia, sin embargo todavía es necesario formular acciones a corto, mediano y largo plazo, que propicien una regulación la cual sustente y obligue a buenas prácticas en favor del desarrollo sustentable y sin detrimento del medio ambiente, mismas que atenúen los impactos del cambio climático y el deterioro que provocan los eventos meteorológicos extremos en la sociedad más vulnerable.

Se sabe que los sectores más vulnerables al cambio climático son el social y el productivo, mismos que tienen relación directa con el sector hídrico. Con relación a ello, una variación del clima en un lugar determinado puede cambiar todo el ciclo de un ecosistema y repercutir directamente en la forma de vida de una población (Patiño y Reza, 2012).

Por otro lado, es muy común que el medio ambiente sea considerado como fuente de recursos naturales infinitos, los cuales se utilizan como alimento o para generar materias primas de manera indiscriminada sin regulación u orden, lo que ha causado una sobre-explotación y su consecuente deterioro llegando incluso, al fin de algunos de alguno de estos recursos. Al respecto, el agua es un compuesto prioritario para la vida de los seres vivos, sin embargo, no se le ha dado la debida importancia que conlleva este hecho, ya sea por falta de cultura o información, por intereses económicos de quienes regulan el recurso o, simplemente por falta de iniciativa o desapego al valor del mismo.

Este uso “sin control” del agua aunado a las consecuencias derivadas de eventos extremos originados por el cambio climático, ha generado que las fuentes de abastecimiento estén en el nivel de estrés hídrico, situación preocupante desde el punto de vista de la demanda del vital líquido. No obstante, se han realizado algunas acciones de adaptación al cambio climático y actualmente se están proponiendo iniciativas o estudios que plantean disminuir la vulnerabilidad de ecosistemas y del sector social, y fortalecer la capacidad de recuperación de los sistemas afectados por el cambio climático, con énfasis prioritario en el abastecimiento de agua y la seguridad alimentaria.

De acuerdo con la *Ley General de Cambio Climático* (DOF, 2012), para los proyectos o acciones de adaptación, se debe establecer el minimizar los riesgos y daños considerando los escenarios actuales y futuros del cambio climático, así como crear mecanismos de atención inmediata y expedita en zonas afectadas, y fomentar la preservación de ecosistemas y recursos naturales. Todo ello apegado a las Políticas, la Estrategia Nacional y los Programas de las Entidades Federativas. Al proponer cualquier acción de adaptación en el sector hídrico, se deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Proponer e impulsar mecanismos de recaudación y obtención de recursos, para destinarlos a la protección y reubicación de los asentamientos humanos más vulnerables ante los efectos del cambio climático.
- Establecer planes de protección y contingencia ambientales en zonas de alta vulnerabilidad, áreas naturales protegidas y corredores biológicos ante eventos meteorológicos extremos.
- Establecer planes de protección y contingencia en los destinos turísticos, así como en las zonas de desarrollo turístico sustentable.
- Elaborar e implementar programas de fortalecimiento de capacidades que incluyan medidas que promuevan la capacitación, educación, acceso a la información y comunicación a la población.
- Formar recursos humanos especializados ante fenómenos meteorológicos extremos.
- Mejorar los sistemas de alerta temprana y las capacidades para pronosticar escenarios climáticos actuales y futuros.
- Elaborar los diagnósticos de daños en los ecosistemas hídricos, sobre los volúmenes disponibles de agua y su distribución territorial.
- Promover el aprovechamiento sustentable de las fuentes superficiales y subterráneas de agua.
- Fomentar la recarga de acuíferos, la tecnificación de la superficie de riego, la producción bajo condiciones prácticas de agricultura sustentable y prácticas sustentables de ganadería, silvicultura y pesca y acuacultura; el desarrollo de variedades resistentes, cultivos de remplazo de ciclo corto y los sistemas de alerta temprana sobre pronósticos de temporadas con precipitaciones o temperatura anormales.

- Impulsar el cobro de derechos y establecimiento de sistemas tarifarios por los usos de agua que incorporen el pago por los servicios ambientales hidrológicos que proporcionan los ecosistemas a fin de destinarlo a la conservación de los mismos.
- Establecer medidas de adaptación basadas en la preservación de los ecosistemas, su biodiversidad y los servicios ambientales que proporcionan a la sociedad.
- Fortalecer la resistencia y resiliencia de los ecosistemas terrestres, playas, costas y zona federal marítima terrestre, humedales, manglares, arrecifes, ecosistemas marinos y dulceacuícolas, mediante acciones para la restauración de la integridad y la conectividad ecológicas.

2 ANTECEDENTES

En el año 2007, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) estableció un programa de investigación para estudiar los efectos del cambio climático en México, se publicó el primer volumen de la colección de libros *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*, en el que inicia el proceso de regionalización de proyecciones de precipitación y temperatura de superficie para el país, con una mayor resolución que los Modelos de Circulación General Acoplados (MCGA) reportados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

Durante 2010, en el IMTA se generaron escenarios climáticos regionalizados y se elaboraron mapas de vulnerabilidad por efectos del cambio climático para generar el tercer volumen de la colección antes mencionada, llamado *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*, en el cual se incluyen los siguientes temas:

- Estudio de vulnerabilidad en la disponibilidad del agua superficial ante el cambio climático.
- Impacto de lluvias ciclónicas en México ante el cambio climático.
- Vulnerabilidad de la calidad del agua ante el cambio climático.
- Vulnerabilidad de las grandes zonas de riego ante el cambio climático.
- Marco conceptual sobre cambio climático y vulnerabilidad social.

En colaboración con la Embajada del Reino Unido, en IMTA se desarrolló una propuesta de adaptación al cambio climático con el objeto de proteger la calidad de las fuentes superficiales de abastecimiento de agua potable en México. De igual forma, en colaboración con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), se trabajó en crear una infraestructura de actores asociados al tema de cambio climático.

En 2012 se llevaron al cabo varias iniciativas respecto al tema de adaptación al cambio climático, algunas se concluyeron y otras continúan en proceso de elaboración (Tabla 1).

Tabla 1. Iniciativas de Adaptación en México.

DOCUMENTO	SECRETARÍA, INSTITUCIÓN
<i>Ley General de Cambio Climático</i>	Gobierno Federal
<i>Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones</i>	GT-Adapt de la CICC *, Coordinó INECC - Semarnat
<i>Adaptación al cambio climático: Vol. IV de la serie "Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México"</i>	IMTA
<i>Atlas de Vulnerabilidad Nacional</i>	IMTA, Cenapred, INEGI, Sagarpa, Conafor, Conagua - Coordinó INECC
<i>Criterios de Adaptación al Cambio Climático en Ciudades</i>	Sedesol
<i>Medidas de adaptación ante el cambio climático en el sector agrícola de temporal</i>	IMTA - PNUD, Coordinó INECC, Quinta Comunicación Nacional
<i>Medidas de adaptación ante el cambio climático en el sector hídrico</i>	IMTA - PNUD, Coordinó INECC, Quinta Comunicación Nacional
<i>Adaptación a los impactos del cambio climático en los humedales costeros del Golfo de México (EN PROCESO)</i>	INECC, IMTA - Banco Mundial
<i>Desarrollo de una plataforma de medidas de adaptación para el sector hídrico, forestal y agrícola (EN PROCESO)</i>	IMTA - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ - México)
<i>Fondo de Adaptación - Protocolo de Kioto (EN PROCESO)</i>	Entidad Nacional Implementadora (ENI), IMTA
<i>Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) (EN PROCESO)</i>	Gobiernos Estatales - Coordina INECC
<i>Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM) (EN PROCESO)</i>	Gobierno de la Ciudad de México

* El Área de Gestión Integrada del Agua del IMTA es integrante del Grupo de Trabajo de Adaptación (GT-Adapt), de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC).

En materia de adaptación, los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (PEACC) toman en cuenta las principales características sociales, económicas y ambientales de cada entidad, así como las metas y prioridades de los planes de desarrollo estatales, identifican acciones y medidas para reducir la vulnerabilidad. Con la elaboración de los PEACC, se apoya el desarrollo de capacidades y se busca mejorar la percepción pública acerca de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático. Los avances de los PEACC en México son diferenciados en alcance, cobertura y líneas de investigación; sin embargo, se reconoce como un logro que las 32 entidades federativas del país realizan esfuerzos en la materia (CICC, 2012b).

El Programa de Acción Climática de la Ciudad de México (PACCM), tiene como objetivo general “Integrar, coordinar e impulsar acciones públicas para disminuir los riesgos ambientales, sociales y económicos derivados del cambio climático”. Dentro del PACCM se ha integrado un programa de medidas de adaptación al cambio climático, con acciones de corto y largo plazos que reducirán los riesgos para la población y para la economía de la Ciudad de México (CICC, 2012b).

Con base en los resultados previos de estudios de vulnerabilidad y del impacto del cambio climático en el recurso hídrico de México, y por la necesidad prioritaria de implementar acciones inmediatas ante los efectos del cambio climático, resulta indispensable diseñar un portafolio de medidas de adaptación para todos los sectores. El sector hídrico es un tema transversal que incide directamente en el abastecimiento de agua a la población y la seguridad alimentaria.

La Subcoordinación de Gestión Integrada del Agua, adscrita a la Coordinación de Hidrología del IMTA, como parte de sus actividades de investigación desarrolló en este año el presente proyecto, el cual consiste en identificar un conjunto de medidas de adaptación ante el cambio climático en territorio mexicano, con base en los estudios previos sobre la evaluación de

la vulnerabilidad hídrica en diferentes sectores ligados al recurso, considerando las anomalías de precipitación y temperatura proyectadas para el presente siglo.

3 OBJETIVO

Identificación y priorización de un portafolio de medidas de adaptación al cambio climático para el sector hídrico, incluido en un documento técnico-científico, mediante la evaluación del riesgo actual y el proyectado considerando las anomalías de precipitación y temperatura.

4 MARCO METODOLÓGICO

4.1 ***Se llevará al cabo la recopilación, revisión e integración de la información necesaria para el diseño del portafolio de medidas de adaptación, estableciendo un criterio de priorización de dichas medidas.***

Se revisaron todos los documentos que se han publicado sobre adaptación, algunos de los cuales se mencionan en la Tabla 1. También se recopiló la información generada hasta el momento sobre vulnerabilidad en el sector hídrico.

Los estudios previamente realizados sobre la vulnerabilidad e impacto del cambio climático sobre el recurso hídrico produjeron una gran variedad de datos numéricos y espaciales en diversos formatos, mismos que tuvieron que ser procesados para su georeferenciación e inclusión en una base de datos geográfica (geodatabase), con el objetivo de centralizar, organizar y administrar la información.

En la elaboración de los mapas contenidos en el *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático* (IMTA, 2010), se generaron datos geográficos tipo raster para esquematizar el comportamiento futuro de diferentes variables climatológicas, como son: temperatura, precipitación, escurrimiento, entre otras. Los resultados fueron plasmados en mapas temáticos, en formato de imagen para su visualización.

Posteriormente, esos datos obtenidos se modificaron como información georeferenciada, siendo necesario uniformizar la información espacial en un formato común de fácil lectura: shapefile, estándar de facto para el intercambio de información geográfica. Las plataformas comerciales como ArcGIS permiten el uso, manejo y procesamiento de archivos raster, caso contrario al usar plataformas open source, las cuales poseen limitaciones en el manejo de este tipo de archivos.

En el presente documento se describen los procesos de generación de la información geográfica y las técnicas de adecuación de los datos, para tener la información disponible en ambos formatos y que, ésta pueda ser utilizada en cualquier plataforma de administración de información geográfica.

4.1.1 Generalidades

Para la generación de los escenarios climáticos de precipitación y temperatura proyectados para el siglo XXI desarrollados por el IMTA, se utilizó información de 23 Modelos de Circulación General Acoplados (MCGA), los cuales son representaciones numéricas que simulan los principales procesos físicos que ocurren en la atmósfera y sus interacciones con los demás componentes del medio ambiente. Consisten en una valiosa herramienta para la investigación del clima, sus resultados se presentan mediante una resolución espacial y temporal en una malla de puntos de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, que pronostican un valor de alguna variable atmosférica (IMTA, 2010).

La regionalización de las proyecciones climáticas generadas por los MCGA es una de las tareas primordiales para cualquier estudio sobre impactos del cambio climático en una región determinada. Para esta actividad se utilizó la técnica de Fiabilidad de Ensamble Ponderado (FEP) para regionalizar las proyecciones climáticas de precipitación y temperatura para México utilizando la información de los 23 modelos MCGA que participaron en el 4° Reporte de Evaluación del IPCC. El producto final son las proyecciones climáticas de las variables antes mencionadas a una resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ para los escenarios de emisión A1B y A2 (Montero y Pérez, 2008).



Figura 1. Malla espacial de puntos de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ de los MCGA (Montero y Pérez, 2008).

Cualquier técnica de regionalización estadística necesita contar con una base de datos climatológicos de buena calidad para poder realizar el proceso de evaluar el desempeño de cada MCGA en reproducir la climatología observada, ya sea de precipitación o temperatura. Así también se requiere considerar toda la información disponible de los MCGA que participaron en el 4º Reporte de Evaluación del IPCC para estas variables climatológicas. De esta forma, estos fueron los principales datos utilizados:

- a) Datos climatológicos de CRU (Climate Research Unit) para precipitación, temperatura media, mínima y máxima, para el período base 1961-1990. Esta base de datos está dada a una resolución de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ que es la resolución a la cuál se puede llevar a cabo la regionalización de las proyecciones climáticas estimadas por los MCGA.
- b) Datos de simulaciones realizadas por los 23 MCGA que participaron en el 4º Reporte del IPCC para precipitación, temperatura media, mínima y máxima, en los periodos 1961-1990 (histórico) y 2010-2098 (futuro). Las simulaciones de las proyecciones

corresponden al escenario futuro A2, considerado un escenario de emisiones alto, tal y como lo indican las observaciones reales durante la primer década del siglo XXI.

Estas bases de datos se incorporaron al método FEP, implementado como método de regionalización para México por Montero y Pérez (2008). El método FEP es una adaptación del algoritmo Reliability Ensemble Averaging (REA) para regionalizar datos de MCGA a un área delimitada. Ambos el FEP y el REA toman en cuenta dos criterios de fiabilidad: el desempeño del modelo en reproducir el clima actual y la convergencia de los cambios simulados entre modelos.

El IMTA (2009) desarrolló el Sistema para la Exhibición de Datos del Ensemble Ponderado de Escenarios de Cambio Climático para México (SEDEPECC), para consultar los datos de precipitación y temperatura de superficie bajo los escenarios de cambio climático A1B y A2 hasta finales del siglo XXI en una malla regular de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$, con una mayor resolución que los planteados por el IPCC ($1^\circ - 2.5^\circ$).



Figura 2. Vista de la aplicación SEDEPECC (IMTA, 2009).

4.1.2 Archivos NetCDF

Los archivos que contienen los datos para generar los escenarios climáticos se encuentran en formato Network Common Data Format (NetCDF), el cual es un conjunto de librerías de software y formatos de datos independientes de la plataforma, que permiten intercambiar, acceder y compartir información científica multidimensional ordenada en mallas. Se utiliza comúnmente para el almacenamiento e intercambio de datos climatológicos y meteorológicos por su eficiencia en el manejo de grupos con una gran cantidad de datos.

Los datos en un archivo NetCDF se estructuran típicamente desde una hasta cuatro dimensiones. Por ejemplo: la temperatura o precipitación de un área que varía con el tiempo se almacenan en un conjunto de tres dimensiones (tiempo, latitud y longitud) correspondientes al valor de la variable.

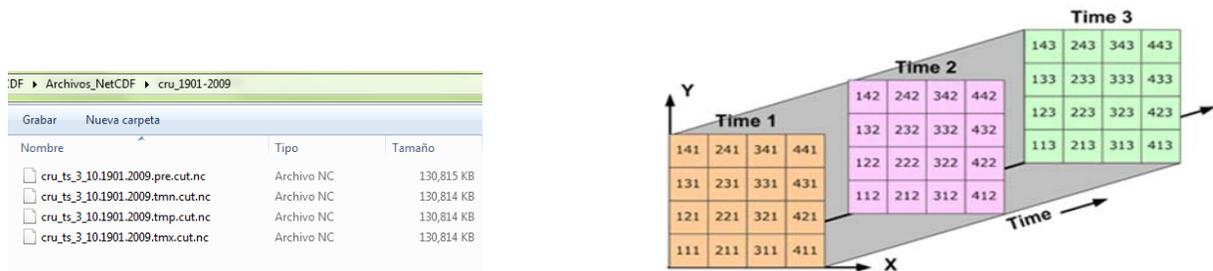


Figura 3. Archivos NetCDF y su representación en tres dimensiones.

Los datos NetCDF contienen registros climatológicos de la base de datos internacional del Climate Research Unit (CRU), y para su acceso se realiza un proceso con scripts en lenguaje de programación Ncar Command Language (NCL). Este software fue diseñado específicamente para el procesamiento y visualización de información científica, y sólo permite graficarla y exportarla como imagen, lo que dificultó el proceso de generación de información geoespacial.

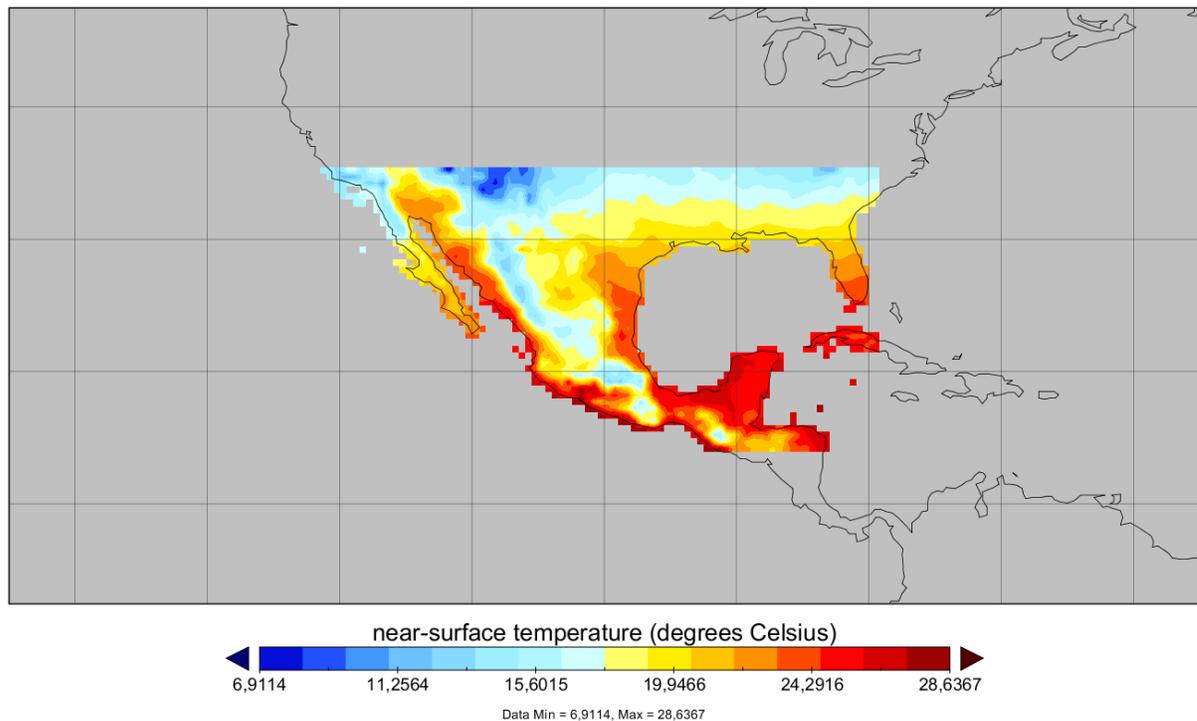


Figura 4. Imagen a partir de archivo NetCDF producida con NCL.

4.1.3 Generación de datos geográficos a partir de archivos NetCDF

A continuación se describe la metodología para la creación de archivos Shapefile a partir de archivos NetCDF, particularmente para la generación del mapa 2.2 “*Temperatura Mínima Estacional 1961-1990*” contenido en el Atlas de vulnerabilidad hídrica desarrollado por el IMTA (IMTA, 2010).

Primeramente debe identificarse el archivo NetCDF que contiene la información histórica para procesarlo con scripts en lenguaje NCL y seleccionar la variable y el periodo deseados, en este caso la temperatura mínima observada en el periodo de 1961 a 1990, para las estaciones de invierno (diciembre, enero y febrero) y verano (junio, julio y agosto). Los datos analizados son los contenidos en la base datos internacional del CRU ampliamente utilizados por la comunidad científica. El resultado de la selección fue un nuevo archivo NetCDF, el cual es el

insumo para la plataforma ArcGIS, debido a que es necesario un proceso previo de la variable para obtener una versión de dos dimensiones (latitud y longitud) que pueda ser representada en un mapa. El código para llevar a cabo esta selección se muestra a continuación:

```

cpr = perl(0,,:,:)
cpr@lat = lat
cpr@lon = lon
plot(0)= gsn_csm_contour_map(wks,cpr, res)
ncdf1 = addfile("tmn_inv.nc" ,"c") ; abrir archivo de salida
ncdf1->tmn = cpr ; guardar variable temperatura mínima en invierno

cpr = perl(6,,:,:)
cpr@lat = lat
cpr@lon = lon
plot(1) = gsn_csm_contour_map(wks,cpr, res)
ncdf2 = addfile("tmn_ver.nc" ,"c") ; abrir archivo de salida
ncdf2->tmn = cpr ; guardar variable temperatura mínima en verano

```

Como resultado se obtuvieron los nuevos archivos NetCDF “*tmn_inv.nc*” y “*tmn_ver.nc*”, los cuales fueron el insumo para la plataforma ArcGIS, al ingresarlos en la herramienta *Make NetCDF Raster Layer* ubicada en la caja de herramientas *Multidimension Tools* dentro del módulo de *ArcToolbox*.

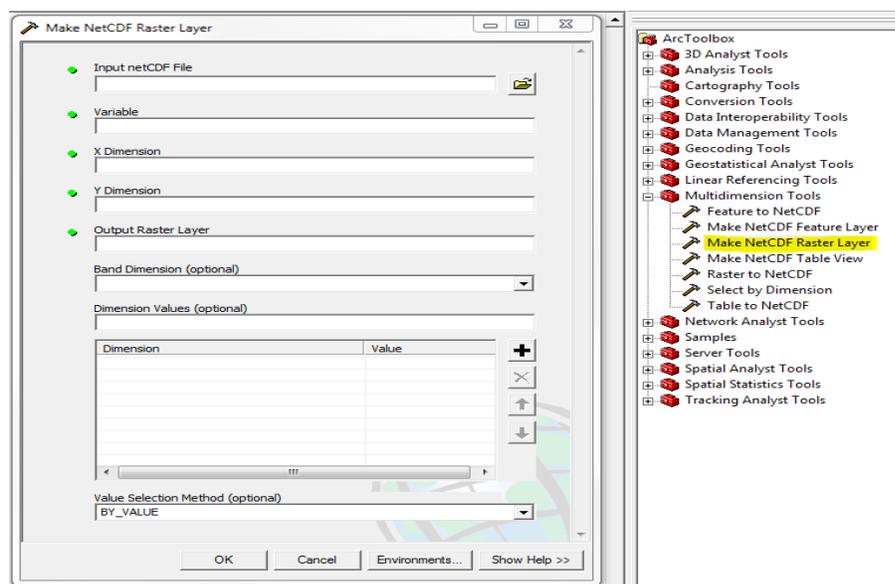


Figura 5. Módulo de ArcToolbox dentro de ArcGIS.

En la ventana de diálogo se ingresó el archivo anterior “*tmn_inv.nc*” y se seleccionaron las opciones “*Variable*”, “*X Dimension*” y “*Y Dimension*” de acuerdo con la información contenida en el archivo, dando como resultado un archivo con un arreglo matricial, llamado raster, de temperatura mínima estacional.

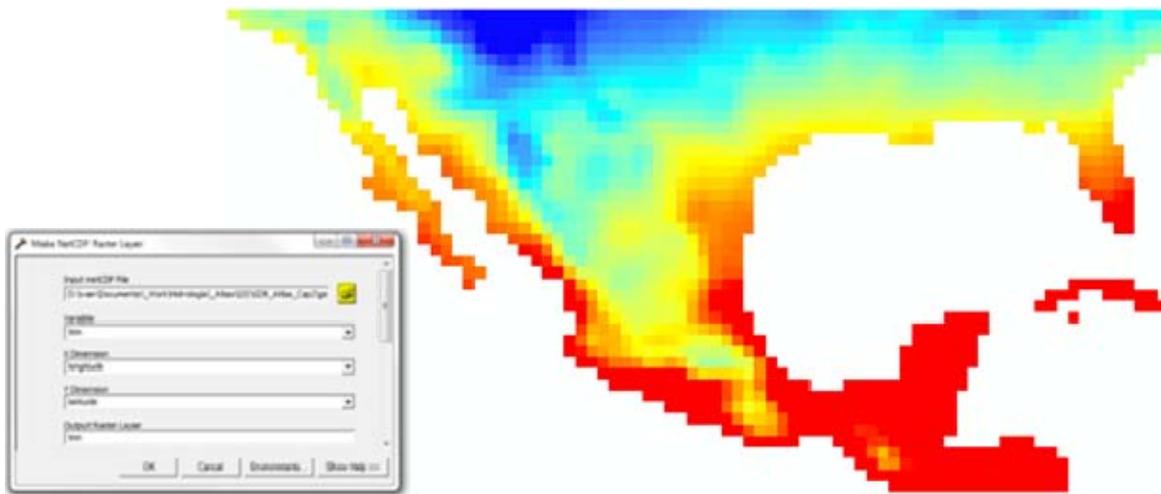


Figura 6. Generación de archivo raster a partir de datos NetCDF.

Este nuevo raster fue generado como un evento, es decir, no es un archivo definido aún, por lo que se exportó de manera permanente a un directorio mediante *Data→Export Data* del menú contextual del archivo. Posteriormente en las propiedades del archivo se asignó la rampa de colores para representar los rangos de la variable, como se muestra a continuación:

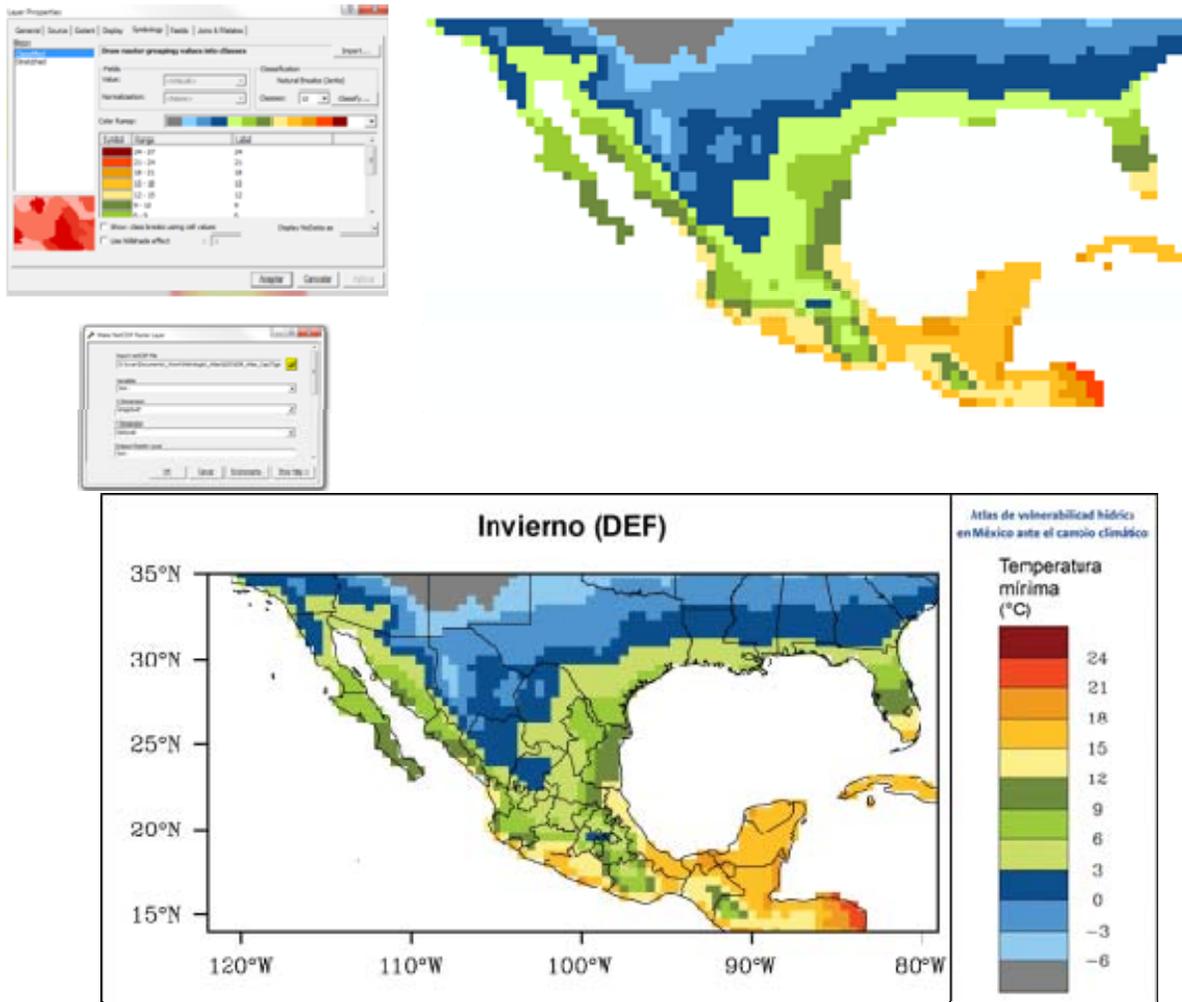


Figura 7. Asignación de simbología y generación del mapa, (IMTA, 2010).

4.1.4 Conversión de Raster a Shapefile

Hasta esta parte del proceso se cuenta con la información en formato *raster*, por lo que se realizó un proceso de transformación a *shapefile*, formato que puede ser manipulado por cualquier software manejador de datos vectoriales. Para mostrar la metodología se utilizará el *raster* de temperatura mínima previamente generado “*m2_2_tmn_inv*”, el cual contiene valores máximos del orden de los 23°C y mínimos de -11°C. La simbología publicada en el Atlas de vulnerabilidad muestra varios rangos de temperatura diferenciados por colores, que van de -6 a

24°C. El procedimiento común para hacer la conversión de *raster* a *shapefile* no se pudo llevar a cabo de manera directa, debido a que el *raster* no contaba con una tabla de atributos con los valores de cada celda, aunado a su formato tipo FGDBR floating point de 32 bits (ESRI, 2012).

Para crear la tabla de atributos y definir los rangos de la variable, se hizo una reclasificación del raster con la opción *SpatialAnalystTools\Reclass\Reclassify* dentro del módulo de *ArcToolbox*. Al ingresar el raster se generaron rangos automáticamente debido a que la capa de entrada ya contaba con una simbología definida. Estos rangos se aprecian en la columna *Old values* y los nuevos valores para cada rango se agregaron en la columna *New values*, de tipo entero.

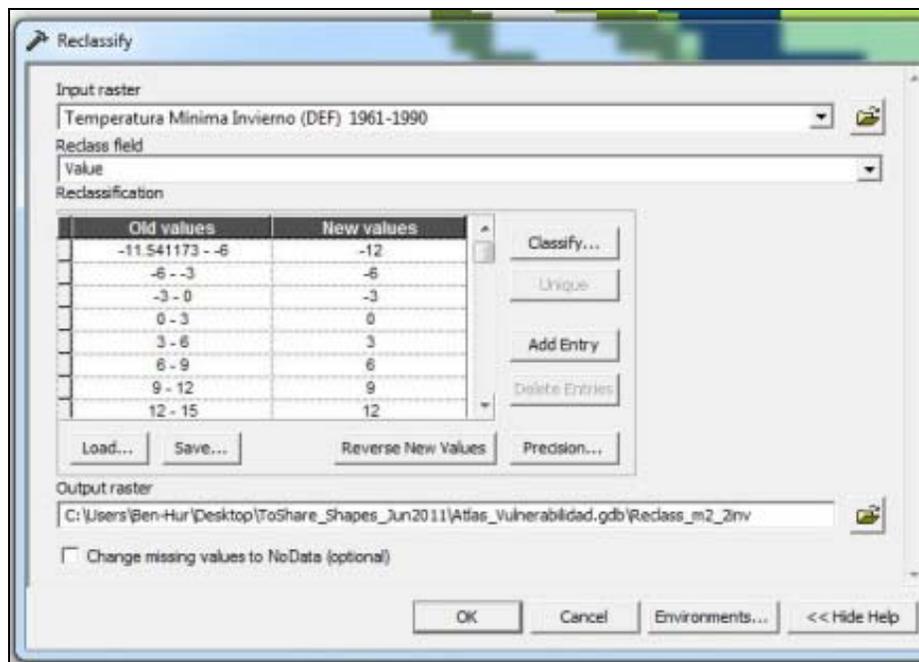


Figura 8. Reclasificación de la variable en el nuevo archivo raster.

El resultado fue un nuevo archivo tipo raster con la característica de que en su tabla de atributos tiene definidos los rangos de valores al que pertenece cada una de las celdas. Al agregar el raster en la plataforma ArcMap para su visualización, éste presentó colores diferentes a los establecidos por la simbología, pero cada color representa un rango de la variable.

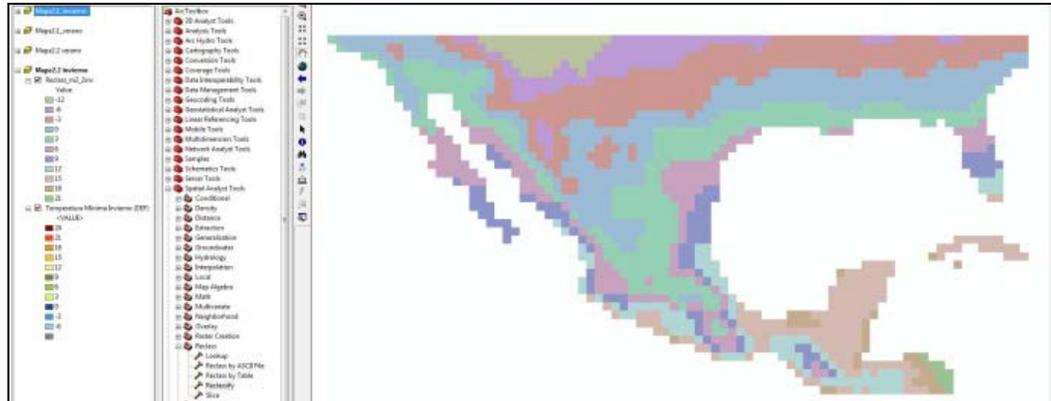


Figura 9. Simbología arbitraria por la reclasificación del raster.

El siguiente paso fue la conversión del archivo raster a formato Shapefile/Featureclass, para lo cual se seleccionó la herramienta del módulo de *ArcToolbox: ConversionTools\FromRaster\RasterToPolygon*, y se tomó como referencia el atributo *VALUE* que indica los rangos de la variable. El resultado fue un archivo shapefile tipo polígono con una gran cantidad de elementos con un atributo que define el rango de la variable al que pertenece, por lo que se realizó un proceso de agrupación (*Dissolve*) para que todos los polígonos del mismo rango queden unidos en un solo elemento. En este proceso se generó un archivo shapefile tipo polígono con un solo elemento geográfico por cada rango de temperatura. Como paso final se asignó la simbología con base en el mapa temático. A continuación se presenta el resultado final del proceso de conversión para el “*mapa de Temperatura mínima estacional 1961-1990 (Invierno)*”, contenido en el *Atlas de Vulnerabilidad Hídrica*:

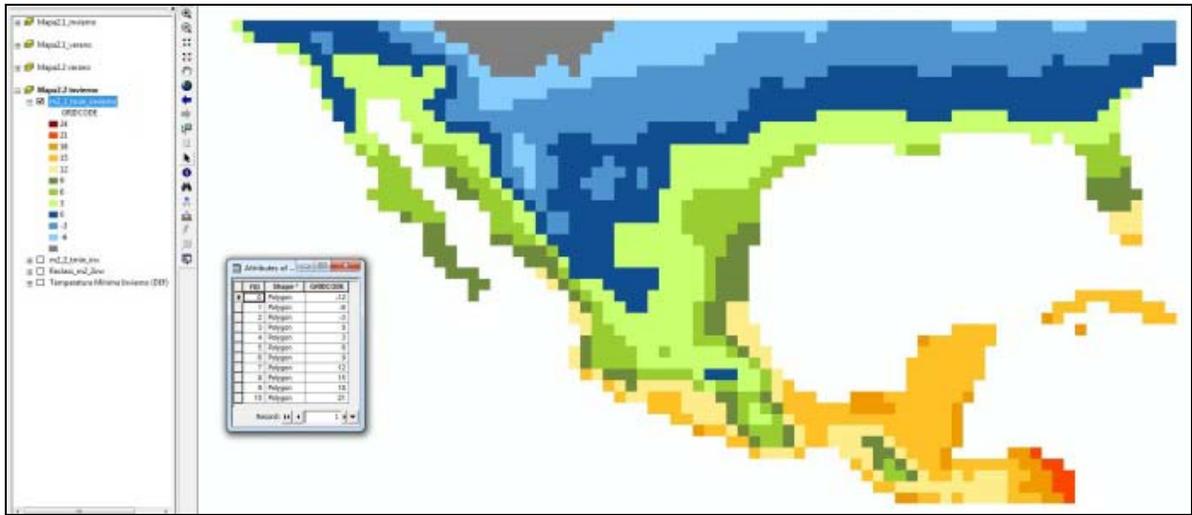


Figura 10. Archivo shapefile a partir de un archivo raster.

4.1.5 Integración de archivos shapefile con el uso de coverages

En la generación de mapas temáticos frecuentemente se utilizan varias capas para representar cada uno de los rangos de valores para diferentes variables climatológicas. Esto representa manejar muchas capas independientes para generar el mapa, por lo que se requiere integrar todas las capas en un solo archivo que facilite el manejo de la información, y que sirva para generar la simbología de manera ágil. Enseguida se describe la metodología para lograr dicha integración, tomando como ejemplo la información necesaria para generar el mapa de precipitación a partir de simulaciones realizadas con el modelo japonés para el escenario A1B, en este caso particular para el día 16 de septiembre de 2095, cuyo resultado se incluye en el capítulo tres del Atlas de Vulnerabilidad Hídrica (IMTA, 2010).

Para generar el mapa se utilizaron ocho capas, cada una de ellas representa un rango de precipitación y tiene un color asignado. La dificultad radicó en que las capas deben mantener cierto orden de colocación entre ellos, ya que al hacer la unión de capas de manera general, se corre el riesgo de que la capa más grande se ubique sobre las capas más pequeñas y no se muestre el mapa deseado. La siguiente imagen muestra el objetivo que se pretende obtener:

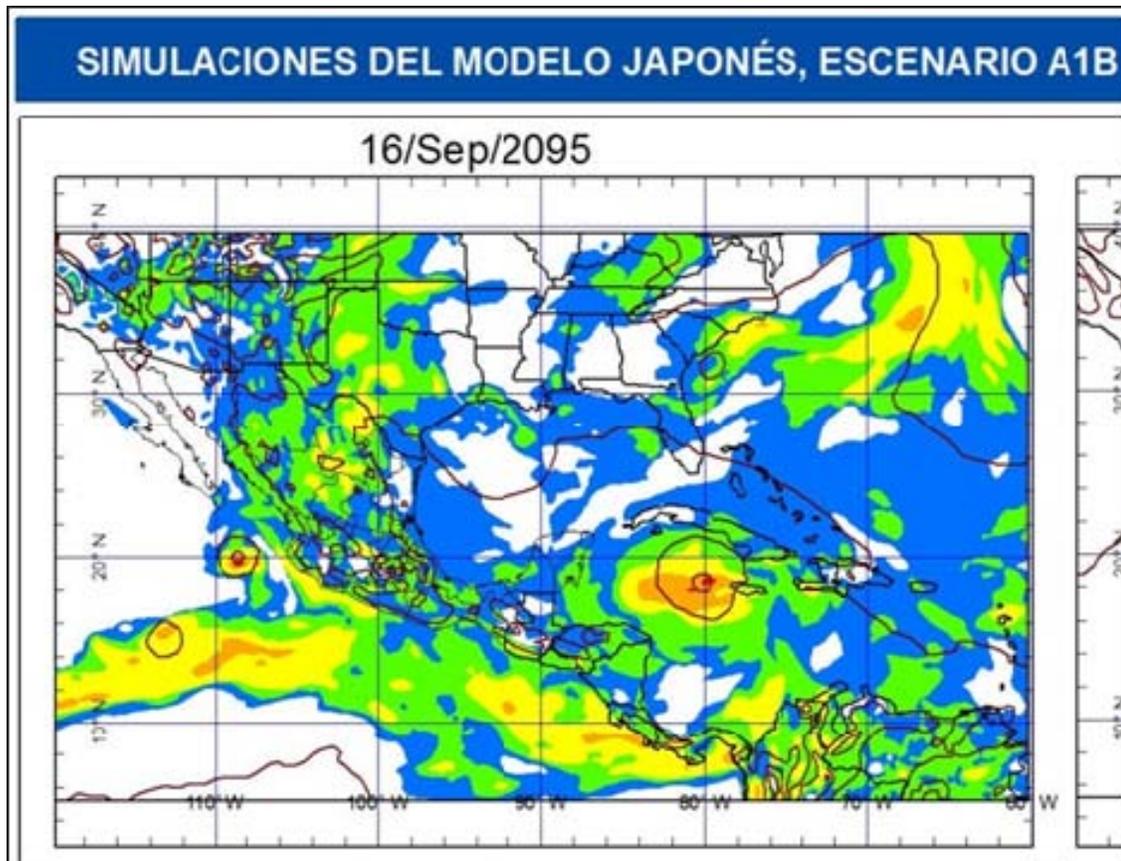


Figura 11. Mapa temático generado a partir de varias capas (IMTA, 2010).

Enseguida se muestra el tamaño de las capas siete y ocho, que al contener las extensiones más grandes deben ir por debajo del resto. Fue conveniente agregarles dentro de su tabla de atributos el orden de colocación de cada capa, para después hacer referencia a este campo al generar la simbología. Por ejemplo, para la capa Azul su número de colocación es 8, y se le asignó este valor en el campo *ZLEVEL*.

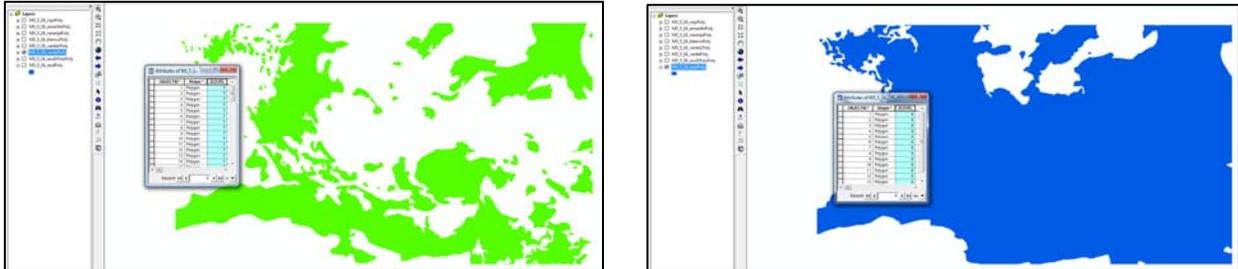


Figura 12. Capas siete y ocho para generar el mapa temático.

Una vez que se definió el orden de colocación de cada capa, se procedió a convertir los archivos shapefile a formato *coverage* (cobertura). Para hacer esta conversión se utilizó la herramienta de ArcGIS: *Conversion Tools \ To Coverage\ Feature Class To Coverage* del módulo de *ArcToolbox*. En la ventana de diálogo se seleccionó la capa a transformar, se especificó la ruta, nombre de salida y el tipo de elemento, en este caso de tipo polígono. Este mismo proceso se realizó para cada una de las ocho capas.

Posteriormente, se llevó a cabo la creación de la topología para cada archivo tipo *coverage*, para tener certeza de que los polígonos generados no presentan errores en su estructura. El primer paso fue la creación de etiquetas, para identificar cada uno de los elementos del archivo *coverage*. Para esto se utilizó la herramienta del módulo de *ArcToolbox: CoverageTools\ Data Management\ Topology\ CreateLabels*, y se aplicó a cada uno de los archivos.

Enseguida se procedió a crear una nueva *coverage* corregida con el proceso *Clean*, el cual sirve para editar y corregir errores geométricos de los polígonos debido a intersecciones o traslapes entre ellos, crea nuevos elementos y asigna datos en su tabla de atributos. Para realizar este proceso se seleccionó la herramienta del módulo de *ArcToolbox: CoverageTools\ DataManagement\ Topology\ Clean*, se agregaron cada uno de los archivos a corregir, se asignaron nombres de salida y se definió el tipo de geometría como tipo polígono.

Después se aplicó el comando *Build* para crear o actualizar la tabla de atributos de los nuevos polígonos generados en el paso anterior. Para realizar este proceso se seleccionó la

herramienta del módulo *ArcToolbox: CoverageTools\ DataManagement\ Topology\ Build*. En la ventana de diálogo se seleccionaron los archivos *coverage* corregidos en el paso anterior y se especificó el tipo de geometría como polígono.

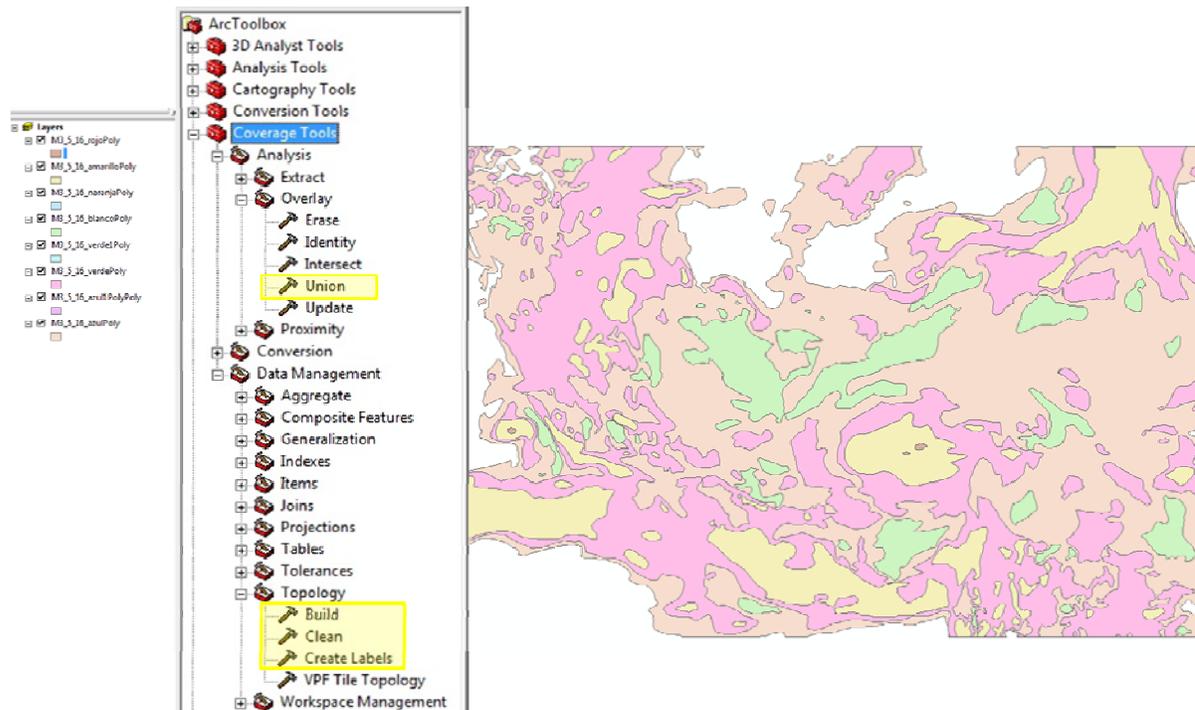
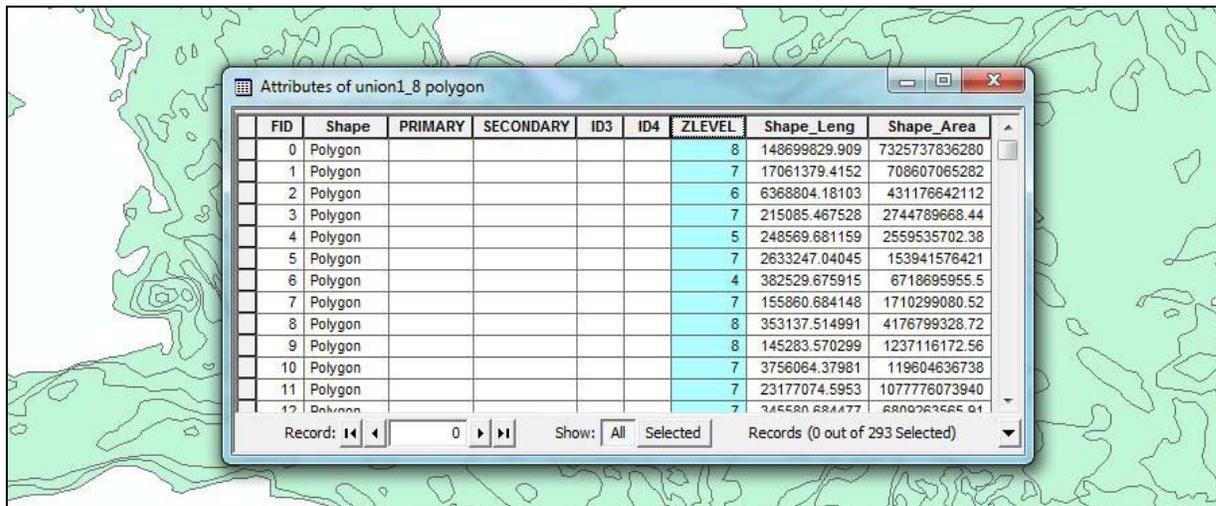


Figura 13. Herramientas en ArcToolbox utilizadas.

Para integrar los ocho archivos tipo *coverage* en uno solo se aplicó el comando *Union*. De esta manera se unieron los elementos geográficos y además se conservaron los atributos de las tablas correspondientes. Este proceso sólo une dos capas a la vez, por lo que se tuvo que repetir hasta tener un solo archivo con todos los elementos. Para realizar el proceso de unión se seleccionó la herramienta del módulo de *ArcToolbox: CoverageTools\ Analysis\ Overlay\ Union*. En la ventana de diálogo se seleccionó el primer archivo *coverage* como dato de entrada y como archivo a unir se seleccionó el segundo archivo *coverage*. El resultado del proceso fue la unión de los dos archivos anteriores y se denominó “*union1_2*”. El siguiente paso fue unir a este archivo resultante el archivo *coverage* número tres siguiendo el mismo procedimiento, y el resultado fue la “*union1_3*”. Se realizó este proceso hasta obtener el archivo *coverage*

“union1_8”, el cual es la unión de las ocho capas, tanto de manera espacial como en la tabla de atributos. El archivo final contiene los atributos de las ocho tablas, por lo que se debe depurar para dejar en un campo específico, el valor del orden de posición de cada elemento.



FID	Shape	PRIMARY	SECONDARY	ID3	ID4	ZLEVEL	Shape_Leng	Shape_Area
0	Polygon					8	148699829.909	7325737836280
1	Polygon					7	17061379.4152	708607065282
2	Polygon					6	6368804.18103	431176642112
3	Polygon					7	215085.467528	2744789668.44
4	Polygon					5	248569.681159	2559535702.38
5	Polygon					7	2633247.04045	153941576421
6	Polygon					4	382529.675915	6718695955.5
7	Polygon					7	155860.684148	1710299080.52
8	Polygon					8	353137.514991	4176799328.72
9	Polygon					8	145283.570299	1237116172.56
10	Polygon					7	3756064.37981	119604636738
11	Polygon					7	23177074.5953	1077776073940
12	Polygon					7	345580.684477	680023266.61

Figura 14. Archivo resultante de la unión de las ocho capas tipo coverage.

Este archivo en formato *coverage* se exportó como shapefile para posteriormente realizar una depuración de los campos repetidos y así reducir la tabla de atributos. De esta manera se efectuó la agrupación de las ocho capas en un solo archivo, que cuenta con un atributo bien definido para establecer la simbología especificada en el mapa temático.

Como paso final se asignaron los colores con base en la simbología establecida. Para ello, en las propiedades de la capa en la pestaña *Symbol* se realizó la definición de colores de acuerdo con el campo *ZLEVEL*. Para tener resultados lo más cercano posible al documento impreso, se debe contar con los códigos *RGB* de cada color y asignarlos manualmente. A continuación se presenta el resultado final del proceso de integración de capas como formato shapefile, que corresponde al mapa de precipitación, mediante simulaciones con el modelo japonés, incluido en el capítulo tres del Atlas de Vulnerabilidad Hídrica para el escenario A1B, durante el 16 de septiembre de 2095 (IMTA, 2010):

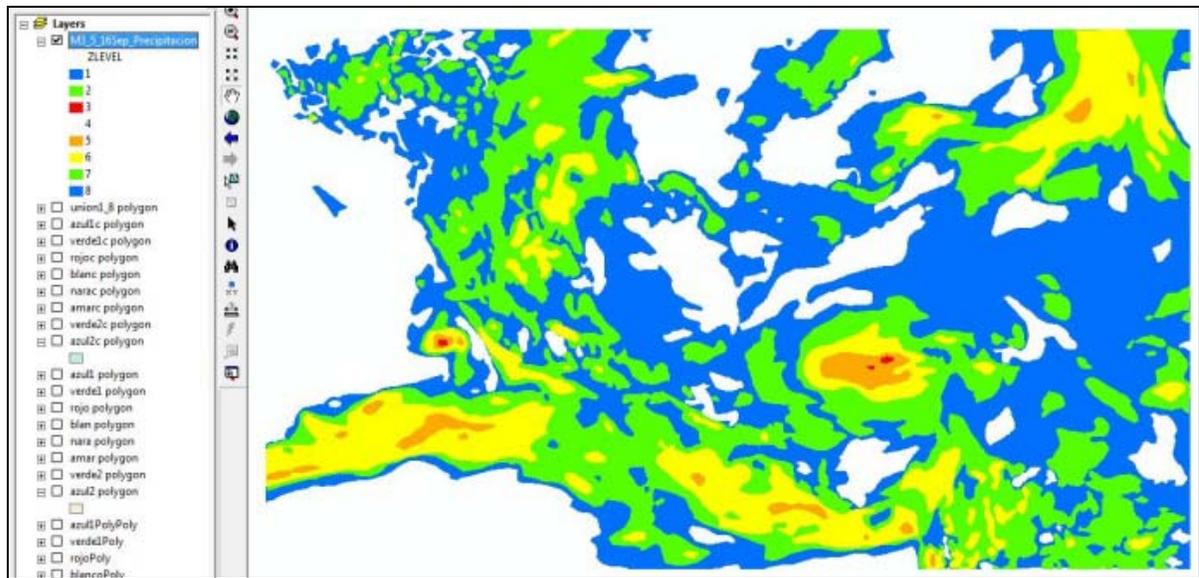


Figura 15. Archivo shapefile con simbología resultado de la integración de capas.

4.2 Mediante la plataforma de ESRI, se construirá un Sistema de Información Geográfica (SIG) que integre la información de vulnerabilidad ante el cambio climático en el sector hídrico, como información georeferenciada, utilizando la información recopilada en el punto 4.1

Una vez que se cuenta con la información georeferenciada, después de haber realizado los procesos de adecuación, se generó la Base de Datos Geográfica en el módulo *ArcCatalog* de ArcGIS. Este software permite la implementación de tres tipos de bases de datos: *Personal*, se implementa en Microsoft Access y es de tipo monousuario; *File Geodatabase*, es implementada con una estructura de archivos propuesta por la empresa ESRI y también es monousuario; y *Corporativa*, es una base de datos multiusuario y se implementa usando un sistema administrador de base de datos relacional cliente-servidor.

La Geodatabase se implementó como tipo *File Geodatabase* y el sistema coordinado que se utilizó fue la proyección *Cónica Conforme de Lambert* con los parámetros propuestos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) para el país, con datum *ITRF92*:

De acuerdo con los resultados obtenidos en los mapas de vulnerabilidad, en la Cuenca del río Conchos se observa que las sequías serán más frecuentes; sin embargo, también podría tener “años húmedos” y por lo tanto, presas llenas. Las regiones más vulnerables serán la zona metropolitana de Chihuahua y los cultivos de temporal en la parte alta de la Cuenca (IMTA, 2010).

Respecto a lo obtenido en los escenarios de vulnerabilidad hídrica ante el cambio climático, generados con el Modelo japonés de alta resolución para determinar el impacto de lluvias ciclónicas en México, se tiene que Tabasco será el Estado más vulnerable ante lluvia ciclónica, lo contrario de Baja California Sur, que será el Estado que tendrá menor precipitación anual. Asimismo, se observa que la intensidad de los ciclones tropicales simulados por el Modelo japonés, tiende a incrementarse, y la frecuencia simulada de ciclones se incrementa en el océano Atlántico y decrece en el Pacífico del Noreste. La lluvia de origen ciclónico se acumula principalmente sobre los estados costeros de la República Mexicana (IMTA, 2010).

Otro aspecto importante es el incremento de la temperatura, ya que los resultados muestran una anomalía positiva de temperatura, observándose, bajo el escenario más crítico, en algunos estados del norte de México incrementos de hasta cinco grados centígrados para finales del presente siglo.

En lo que respecta al sector de cantidad y calidad del agua, se generaron mapas georeferenciados de vulnerabilidad en estos sectores para tres cuencas hidrológicas de México: la cuenca del río Concho, la cuenca Lerma-Chapala y la parte alta de la cuenca Grijalva. De acuerdo a los resultados mostrados en dichos mapas, se estima que el decremento proyectado en escurrimiento superficial y las correspondientes sequías reducirán la recarga de los acuíferos en la cuenca del río Conchos. Es muy probable que aumente la extracción de agua del subsuelo para remediar la carencia de escurrimientos superficiales, incrementando el estado de explotación de acuíferos. Asimismo, el crecimiento poblacional natural y el proceso de industrialización en la región, debido a la integración de las economías mexicana y estadounidense, generarán una fuerte competencia entre los diferentes usuarios del agua (doméstico, industrial y agrícola), y todos estos factores combinados dieron como resultado la vulnerabilidad hídrica global en esta cuenca. El resultado generado en la cuenca Lerma-

Chapala muestra que la región norte de la cuenca presenta los mayores niveles de vulnerabilidad, en ella se ubican las ciudades de León y Guanajuato. Es importante mencionar que las ciudades al norte de la cuenca, León, Guanajuato, Salamanca, Celaya y Querétaro, se ubican sobre acuíferos sobre-explotados, lo que ocasiona un estrés hídrico aún mayor. En cuanto a la cuenca alta del río Grijalva, el decremento en el escurrimiento anual estimado ante el cambio climático, prevé que se requerirá el aprovechamiento de fuentes alternas de energía para satisfacer la demanda de energía producida en esta zona.

4.4 Una vez establecida la lista de las medidas posibles, se realizará una priorización de las mismas, siguiendo los criterios de priorización establecidos en el subtema

Con relación a los criterios para la priorización de las medidas de adaptación, se tuvo en consideración lo establecido en materia de adaptación dentro de la *Ley General de Cambio Climático* (DOF, 2012); así como los 10 ejes estratégicos del documento *Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones*, realizado por el Grupo de Trabajo de Políticas de Adaptación (GT-Adapt) de la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC). Dichos ejes estratégicos se enlistan a continuación:

- Transversalidad y coordinación.
- Articulación en el diseño, instrumentación y evaluación de políticas públicas.
- Conservación y restauración de la funcionalidad eco-hidrológica para aumentar la resiliencia de los ecosistemas y los servicios que proveen a la sociedad.
- Reducción de la vulnerabilidad social,
- Reducción de la vulnerabilidad al cambio climático en los sistemas productivos e infraestructura.
- Cooperación internacional.
- Financiamiento para la adaptación.
- Investigación, desarrollo tecnológico y conocimiento.
- Educación, capacitación y comunicación para la adaptación al cambio climático.
- Participación social.

4.5 Se elaborará el informe final del proyecto

Los Especialistas del área de Gestión Integrada del Agua del IMTA analizarán la información que se tiene sobre adaptación al cambio climático y vulnerabilidad hídrica, y con ella, se generará la lista de medidas de adaptación con enfoque prioritario en los criterios ya establecidos por el GT-Adapt de la CICC. Posteriormente, se elaborará el informe del proyecto y se anexará un CD que contendrá la base de datos relacional con la información de los escenarios climáticos regionalizados y geo-referenciados con los parámetros oficiales establecidos por el INEGI. Esta base de datos contiene también la capa geográfica con información de disponibilidad y escurrimiento para las 37 regiones hidrológicas en las que ha sido dividido el país por la Conagua. Estos valores corresponden a los últimos estudios realizados por la Conagua, pudiendo no coincidir en el mismo periodo para algunas subcuencas dentro de una misma región (Conagua, 2010)

5 RESULTADOS

5.1 Base de datos de información cartográfica de la disponibilidad, usos del agua y del riesgo actual, así como la disponibilidad proyectada decadalmente hasta el 2030 bajo los efectos del cambio climático

Como resultado de los procesos de generación y adecuación realizados a la información que tiene su origen en la publicación del Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático (IMTA, 2010), se generó lo siguiente:

- Base de datos geográfica con seis *FeatureDataSet* para organizar la información que forma parte de uno de los entregables del proyecto, cada uno de ellos representa un capítulo de la publicación del Atlas referido (IMTA, 2010). Contiene información en formato Raster y *FeatureClass* para generar cada uno de los 96 mapas publicados. Esta información sólo es posible visualizarla con plataformas comerciales como ArcGIS, que cuenten con herramientas específicas para su despliegue, procesamiento y administración.

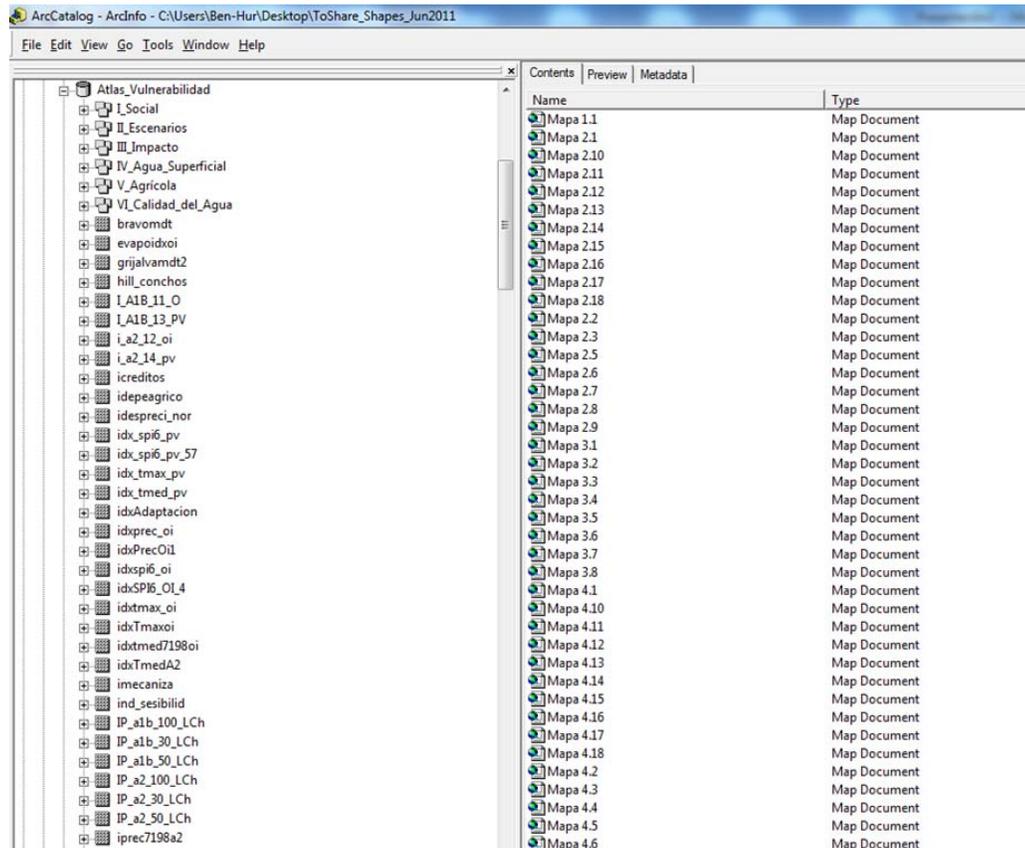


Figura 17. Estructura de la Geodatabase y plantillas de mapas.

- Directorio de archivos *Shapefile* organizados en carpetas correspondientes a cada uno de los capítulos de la publicación. Además cada *Shapefile* tiene su respectivo archivo *Layer* que contiene la simbología definida. Esta información puede ser desplegada en cualquier plataforma de administración de datos geográficos, y puede ser procesada por aquellas que cuenten con herramientas básicas de edición, por ejemplo en *Google Earth*, donde puede ser desplegada de manera ágil y sencilla.

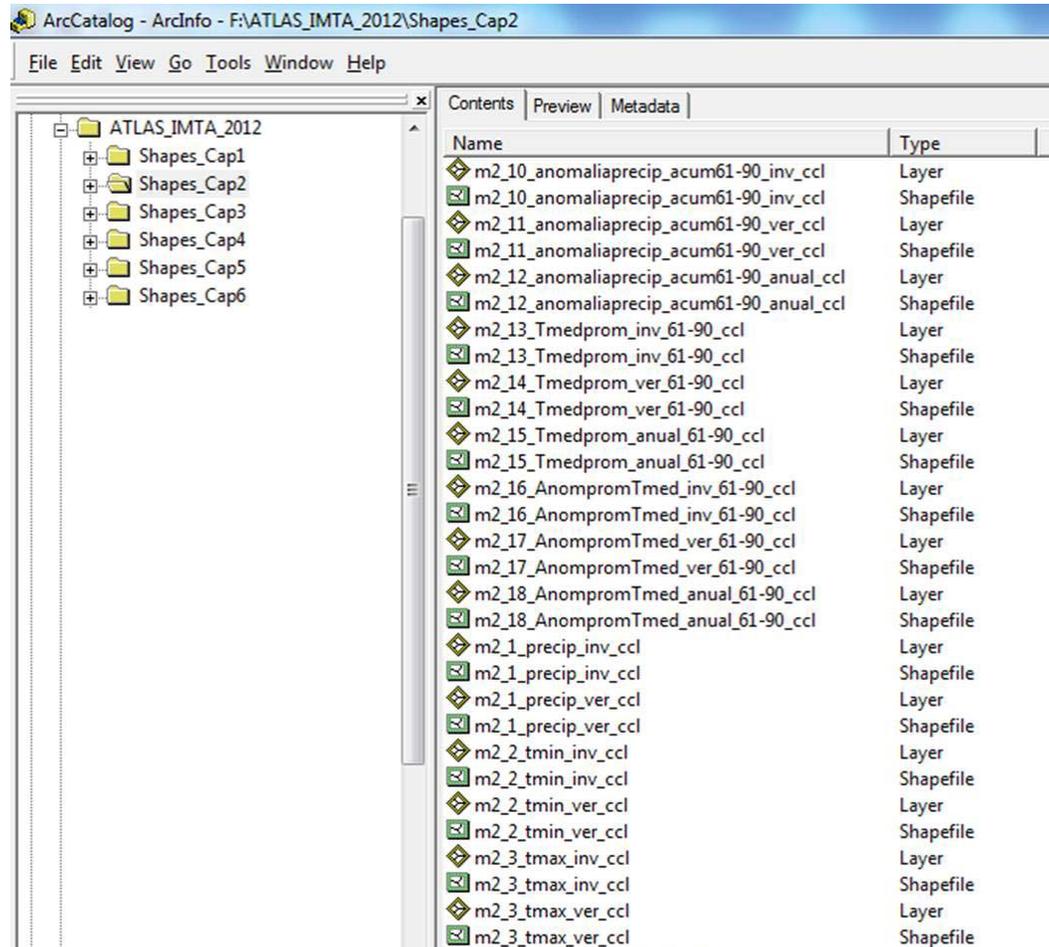


Figura 18. Directorio de archivos Shapefile y Layer.

La información en formato Shapefile es el principal insumo para desarrollar, en una etapa posterior a este proyecto, un portal web empleando software libre, donde se publicaría información relacionada con la ubicación y descripción de algunas medidas de adaptación al cambio climático, identificadas para su posible implementación en el territorio mexicano.

Como uno de los resultados del proyecto, se generó una base de datos relacional de archivos mediante el software ArcGIS, que permite establecer una serie de capas, llamadas “Feature dataset”, donde se incorporaron los resultados de los mapas de vulnerabilidad generados en el estudio del Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático, publicado por el

IMTA en el 2010. Estas capas contienen información específica de escenarios climáticos regionalizados, el mapa de vulnerabilidad social geo-referenciado, mapas de vulnerabilidad de agua superficial y calidad del agua, así como mapas de vulnerabilidad en el sector agrícola. En el Anexo I, se muestran, a manera de ejemplo, los resultados de los mapas de vulnerabilidad geo-referenciados, con la información proveniente del Atlas de Vulnerabilidad Hídrica en México ante el Cambio Climático (IMTA, 2010).

5.2 Publicación del volumen IV de la serie de libros: “Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México”.

En 2007, el IMTA estableció un programa de investigación para estudiar los efectos del cambio climático en México, como parte de este esfuerzo institucional se publicó el primer volumen de la colección *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. A la fecha se han generado cuatro volúmenes de esta serie, enfocados en la necesidad actual de México sobre información científica relevante.

Desde 2011, Especialistas de la Subcoordinación de Gestión Integrada del Agua del IMTA trabajaron en la coordinación, planeación y como autores de un capítulo del cuarto volumen de la serie mencionada, titulado: *Adaptación al cambio climático*; el cual se publicó en octubre de 2012 (Figura 19). Este libro consta de cuatro capítulos, tres de los cuales generaron Especialistas de diferentes áreas del IMTA, con excepción del primer capítulo que trata sobre el tema de adaptación en el sector social. A continuación se enlistan los títulos de los capítulos:

- *Gobernanza en el sector hídrico. Políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social*
- *Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático*
- *Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico*
- *Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático*

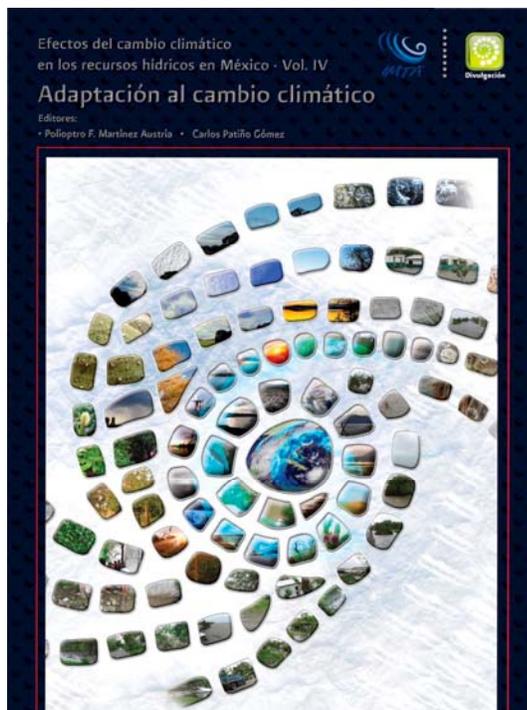


Figura 19. Adaptación al cambio climático (IMTA, 2012).

5.3 Portafolio de medidas de adaptación priorizadas para el sector hídrico en los temas específicos de cantidad y calidad del agua, desarrollo social, con enfoque en los municipios más vulnerables a los efectos del cambio climático

Con base en los criterios establecidos en el punto 4.4 para la priorización de medidas de adaptación, se proponen a continuación una lista de acciones a implementarse, las cuales se describen de manera general.

5.3.1 Modelo de adaptación al cambio climático para los productores ganaderos de México.

El objetivo es fomentar la reconversión productiva para pequeños, medianos y grandes productores agropecuarios hacia un modelo de producción:

- a) que sea más apto para desarrollarse en escenarios de cambio climático (sequía, suelos erosionados, alteraciones climáticas, desertificación, etc.),
- b) que sea accesible para los sectores más vulnerables de la población,
- c) que sea financieramente sustentable: que su misma productividad permita el pago de la reconversión productiva, y
- d) que no tenga los efectos ecológicos negativos de la ganadería convencional sino que promueva activamente la regeneración ecológica y ayude a revertir la desertificación.

Lo anterior conducirá a las siguientes acciones:

- Promover buenas prácticas y desarrollos tecnológicos innovadores en materia de adaptación al cambio climático en beneficio de los productores agropecuarios de México.
- Promover la replicación de buenas prácticas y tecnologías adecuadas que combinen beneficios sociales, económicos y ecológicos.
- Coadyuvar en el fortalecimiento de la seguridad alimentaria de la población mexicana, promoviendo el consumo de alimentos saludables.
- Fomentar una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante una reconversión productiva en el sector agropecuario.
- Promover el uso eficiente de energía más limpia y renovable.
- Promover la restauración de suelos y la recuperación de territorios forestales, con la correspondiente captura de carbono.
- Fomentar la conservación *in situ* de la agro-biodiversidad mexicana.
- Favorecer la recarga hídrica.

5.3.2 Establecimiento y manejo de plantaciones para el cultivo de piñón y árboles de navidad en un Área Natural Protegida (ANP).

Los objetivos de esta medida son:

- Reducir la degradación del bosque natural y particularmente la vegetación primaria de Bosque de Pino y de Bosque de Pino - Encino, mediante la reforestación y el

establecimiento de plantaciones forestales con pino navideño y pino piñonero, especies nativas de un ANP.

- Contribuir mediante la creación de fuentes de empleo a la reducción de la pobreza, propiciando la disminución del éxodo de la población local y mejorando la integración familiar.
- Disminuir mediante el presente esfuerzo de adaptación al cambio climático, el riesgo de impactos sociales, económicos y ambientales adversos a las comunidades y su entorno.

Desde el punto de vista ambiental las plantaciones para producción de árboles de navidad permiten: reincorporar el uso forestal a terrenos que actualmente carecen de cubierta arbórea, permiten la captura de carbono a través de la fotosíntesis, contribuyen a mitigar el fenómeno del efecto de invernadero y el cambio climático global; desalienta además, la extracción clandestina de árboles pequeños de los bosques naturales, también disminuyen la erosión hídrica y eólica, son refugio y protección para fauna silvestre, incrementan la captación de agua, forman barreras sónicas y retienen polvos. Adicionalmente, una vez que se utilizan los árboles de navidad estos pueden ser transformados en abono y reincorporados en forma de materia orgánica, manteniendo así la productividad de las áreas verdes de las ciudades.

5.3.3 Programa para la adaptación al cambio climático en costas mexicanas: costa de Chiapas y línea costero-marina del Golfo de México.

El objetivo general es Iniciar y desarrollar un Programa Integral costero-marino para la adaptación al cambio climático en México, y las actividades particulares son:

- Sistematizar y recopilar información y conocimiento sobre los impactos esperados bajo cambio climático en la costa de Chiapas y en la región costero-marina del Golfo de México.
- Elaborar y apoyar propuestas e iniciativas nacionales y sub-nacionales de ordenamiento costero para enfrentar riesgos asociados al cambio climático en las costas de Chiapas y del Golfo de México.

- Diseñar estrategias de adaptación en el nivel local en la costa de Chiapas y regional en el Golfo de México, basadas en la valoración de servicios ecosistémicos y en instrumentos como la adaptación basada en ecosistemas, manejo integral de recursos hídricos y gestión de riesgos.
- Desarrollar un proyecto demostrativo de adaptación basada en ecosistemas, en cuencas estratégicas de la Costa de Chiapas, que considere el cuidado y la restauración de los servicios ambientales frente a los riesgos.
- Contribuir y apoyar a diversas iniciativas nacionales y en particular, al *Programa del Gran Ecosistema Marino del Golfo de México* en los temas de adaptación al cambio climático y gestión integral de riesgos hidrometeorológicos.
- Promover y apoyar la elaboración del componente de adaptación al cambio climático del *Plan de acción Estratégico Regional del Golfo de México*, bajo el enfoque de adaptación basada en ecosistemas y gestión de riesgos hidrometeorológicos.
- Desarrollar una metodología de monitoreo y evaluación de acciones de adaptación a nivel local en la costa de Chiapas y regional en la línea costera del golfo de México, aplicable a diferentes condiciones socio-ambientales y niveles de acción gubernamental en el país.
- Apoyar y orientar acciones de política para la adaptación al cambio climático en la gestión de riesgos y del recurso hídrico y a partir de los casos desarrollados en las dos subregiones estratégicas de atención de éste Programa y la sistematización de lecciones aprendidas.
- Iniciar y sentar las bases para consolidar un “Sub-programa permanente de atención y monitoreo para la adaptación al cambio climático en las costas del Golfo y del Pacífico Sur en México”; en coordinación con organizaciones, instancias y programas nacionales e internacionales.

5.3.4 Desarrollo y transferencia de tecnología para la operación de módulos de riego en el distrito de riego 075, Valle del fuerte, Estado de Sinaloa.

Tiene como objetivo apoyar la transferencia de tecnología útil en el manejo agronómico, operativo y administrativo de zonas de riego con escasez de disponibilidad de agua para riego, y con ello, limitar el impacto del cambio climático en los agricultores de Sinaloa. Para lo cual, se propone aplicar un sistema de información hidroagrícola confiable y oportuno para planificar en la agricultura de mercado, así como la transferencia de tecnologías de información agrícola de apoyo a la operación, de tecnología de medición del agua en módulos de riego y tecnologías de planeación y seguimiento de la operación de áreas de riego.

Los componentes del proyecto consisten en:

- Desarrollar y transferir tecnología de información y comunicación para manejar los cultivos en función del concepto grados día crecimiento.
- Desarrollar y transferir tecnología de bajo costo para obtener en campo, enviar y recibir la serie temporal de la temperatura.
- Adaptar la tecnología ICAM-Riego (sistema integrador para organizar y sistematizar la colecta del servicio de riego), 10 módulos del distrito de riego 075, Valle del Fuerte, Sinaloa.
- Desarrollar y transferir tecnología de bajo costo para instrumentar la medición del agua de riego a nivel parcelario.
- Integración de tecnología comercial para transferirla como prototipo de suministro de energía eléctrica, tanto fotovoltaica como eólica, e híbrida para riego presurizado.

5.3.5 Generación de Área Natural Protegida (ANP) en zonas de alta vulnerabilidad al cambio climático

El objetivo principal de esta medida será el generar un área natural protegida administrada por la propia comunidad que mejore las condiciones socioeconómicas y a su

vez, ayude a la mitigación y adaptación del cambio climático aprovechando sustentablemente los recursos; así como conservar el medio natural y el patrimonio local.

Para llevar al cabo dicho objetivo, se requerirá de implementar las siguientes acciones:

- Gestión e implementación de metodologías para la generación de un área natural protegida administrada por la comunidad que favorezca sus actividades socioeconómicas con base en el turismo sustentable.
- Desarrollo de un diagnóstico estratégico integral que permita visualizar las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas de la unidad territorial.
- Formulación de un grupo de investigación acción participativa o consejo de participación social, con el objetivo de conocer la dinámica socioeconómica y cultural local. Estará conformado por actores locales que facilite el proceso comunicación-acción entre los redactores del plan y los involucrados.
- Implementación de talleres de educación ambiental, informativos y participativos con el propósito de conocer las sugerencias sobre acciones y medidas para mejorar el entorno observado.
- Elaboración de propuesta de desarrollo local.
- Integración, gestión y ejecución de propuesta.
- Fortalecimiento y creación de cadenas productivas basadas en las fortalezas y potencialidades locales de manera sustentable.
- Análisis de los procesos productivos locales. Identificación de los obstáculos, potencialidades, fortalezas y riesgos de las cadenas productivas existentes en relación con el medio físico, social y económico.
- Propuesta de modelo para el fortalecimiento y construcción de procesos productivos locales.
- Integración, gestión y ejecución de propuesta.
- Creación de nuevas actividades socioeconómicas con base en procesos de innovación, específicamente en ecoturismo.
- Diagnóstico del entorno referente al acceso y disponibilidad de insumos para el ecoturismo.

5.3.6 Centro de composteo urbano

Este proyecto surge de la problemática en el tema de residuos, actualmente en algunas ciudades de México existe una generación diaria de miles toneladas de residuos sólidos urbanos, un gran porcentaje de estos va hacia el relleno sanitario y otra parte, termina en terrenos baldíos que se convierten en tiraderos a cielo abierto.

Los objetivos del este proyecto son:

- Reducir el volumen de residuos orgánicos enviados al relleno sanitario.
- Reducir emisiones de metano proveniente del relleno sanitario.
- Transformar los residuos orgánicos en composta.
- Aprovechar la composta como mejorador de suelo en áreas verdes de la ciudad.
- Fomentar una cultura del aprovechamiento y valorización de los residuos orgánicos.
- Contar con un inventario muestra en el tema de residuos y áreas verdes.
- Formular un proyecto de aprovechamiento de residuos orgánicos viable y económicamente sustentable.

Desde el punto de vista económico, se disminuirá el gasto en traslado de este tipo de residuos al relleno sanitario. Al utilizar la composta orgánica en áreas verdes y viveros municipales, se disminuye el gasto en compra de fertilizantes químicos. En general, al dar un valor a la materia orgánica se crea un mercado de economía verde, donde éste se ve como un recurso. Los beneficios sociales se verán plasmados en una sociedad más consciente de lo que produce, de lo que respira y de su entorno, creando nuevos hábitos como la separación y aprovechamiento de los residuos como parte de la vida diaria.

Respecto al beneficio ambiental, con la disminución del volumen de residuo orgánico enviado al relleno sanitario, le dará más vida útil al relleno y menos emisiones de metano al ambiente. Asimismo, al utilizar la composta en áreas verdes, se obtiene un beneficio directo al elevar los niveles de intercambio CO_2 / O_2 , y al utilizarse en el suelo se disminuye la pérdida de

agua por filtración; de igual forma, al minimizar el uso de fertilizantes químicos se obtienen productos más naturales u orgánicos.

5.3.7 Adaptación y reducción de la vulnerabilidad del sector cafetalero ante el cambio climático en la Sierra Madre de Chiapas

El objetivo de este proyecto es el de desarrollar procesos de adaptación ante el cambio climático mediante la aplicación de esquemas de Adaptación basada en Ecosistemas (Eb-A) en el sector cafetalero de la Sierra Madre de Chiapas, a partir de la aplicación de conocimiento, la participación social y la coordinación interinstitucional y multisectorial.

Para realizar esta medida se requerirá lo siguiente:

- Fortalecer y consolidar capacidades locales para la adaptación.
- Desarrollar acciones para la reducción de las condiciones de vulnerabilidad del sector cafetalero a partir de la gestión de riesgos.
- Implementar alternativas y mecanismos para facilitar procesos de adaptación a partir de instrumento sobre Ab-E Adaptación basada en ecosistemas.
- Apoyar el fortalecimiento de políticas públicas para promover la adaptación de los productores cafetaleros y los ecosistemas asociados a la actividad, ante el cambio.

Este proyecto involucra a actores clave con el objetivo de fortalecer conocimientos, consolidar tejidos sociales más competitivos de largo plazo ante oportunidades de mercado, recuperación o expansión de prácticas sustentables, estabilidad familiar, capacidad de gestión para el desarrollo sustentable de grupos y comunidades cafetaleras, participación en la actividad más activa de las familias, tanto hombres como mujeres, ante los efectos del cambio climático.

El enfoque territorial que plantea esta propuesta contribuye a las acciones de conservación y manejo de áreas naturales protegidas, al tiempo que disminuye las presiones antrópicas sobre las zonas núcleo, de influencia y amortiguamiento de dichas áreas a nivel de

cuencas. De igual forma, este proyecto adopta una visión de la adaptación basada en ecosistemas y plantea la generación de un diagnóstico de base social, económica y ambiental para monitorear, dar seguimiento y evaluar los beneficios del proyecto.

5.3.8 Manejo del lirio acuático en los sistemas de riego de México

En los Distritos de Riego de México, los cuerpos de agua y sus redes son invadidos por maleza acuática como el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) o maleza sumergida. Dadas las características del lirio, el incremento de la temperatura ocasionado por el cambio climático tendrá un efecto directo en el aumento de la infestación de la maleza acuática en canales, drenes, ríos y cuerpos de almacenamiento. Esto implica mayor complejidad y mayores costos en la conservación y operación de los Distritos de Riego. Con el aumento del lirio acuático, también se incrementan las pérdidas de agua por evapotranspiración y por tanto, un fuerte impacto en la producción y productividad del campo.

En México existen 85 Distritos de Riego (DR), de los cuales la mayoría sufre problemas de maleza acuática en sus cuerpos de agua y redes de conducción. En particular el lirio acuático afecta a más de 20 % de los distritos y les ocasiona serios trastornos y costos en la operación y conservación, de ahí la gran importancia para mitigar o nulificar este impacto del cambio climático.

Se han investigado diferentes estrategias y metodologías para su manejo integral. Se encontró en varios distritos de riego del país que el control biológico empleando insectos denominados neoquetinos (*Neochetina bruchi* y *N. eichhorniae*) permite no sólo reducir, sino también controlar el lirio por varios años, obteniendo grandes beneficios, productivos, económicos, ecológicos, sociales, de salud pública, políticos, incluso recreativos y de contemplación.

No obstante estos resultados, en los distritos y los diferentes cuerpos de agua del país, en general, se siguen aplicando los métodos tradicionales (manuales, mecánicos y químicos) que no hacen más que combatir la maleza periódicamente resolviendo momentáneamente el

problema para después tener una rápida reinfestación; con estos métodos de control el problema del lirio se vuelve permanente, con altos costos y con enormes repercusiones en la producción y productividad agropecuaria, en la salud y en lo ecológico. De esta manera, en los cuerpos de agua de México, el cambio climático tendrá un efecto severo y dañino en la política hidroagrícola y los niveles de vida de bastas poblaciones se verán afectadas por el incremento de la población de maleza acuática, en particular del lirio acuático, por efecto del incremento de temperatura previsto para las próximas décadas.

Con este proyecto, se puede nulificar este grave problema, ya que el control biológico del lirio mediante los insectos neoquetinos permite reducir y mantener bajo control a la población de lirio por más de 10 años en forma continua.

Los objetivos del proyecto son:

- Estudiar el impacto de la temperatura en la tasa del crecimiento del lirio en la zona de Sahuayo Michoacán.
- Reducir la infestación de lirio acuático mediante el manejo integral, basado en el método biológico, en los DR 024 Ciénega de Chapala y DR 061 Zamora, Michoacán.
- Evitar la reinfestación de lirio acuático y mantener estable la población de lirio de manera que no cause problema a la operación, a la conservación de los cuerpos de agua y a las redes de conducción, a partir del tercer año.
- Capacitar a personal técnico sobre el manejo de control de lirio acuático para dar continuidad al control de lirio, en los dos distritos de riego.
- Establecer las bases para generar una política pública sobre el manejo eficiente del lirio acuático en el país.

5.3.9 Diseño e implementación de medidas de adaptación al Cambio Climático en comunidades vulnerables al deshielo del glaciar Jamapa en el Parque Nacional Pico de Orizaba, México

Un fenómeno físico particular influenciado por el cambio climático es la alteración del balance de masas de los glaciares, es decir, la modificación del equilibrio existente entre la tasa de ablación (erosión y fusión) y la tasa de acumulación de precipitación sobre el glaciar, entendiendo este último como una masa de hielo y nieve relativamente perpetua.

El problema trascendental que este balance experimenta, asociado al cambio climático, radica en la reducción de la acumulación de hielo durante el invierno, debido a una disminución en la precipitación, la nubosidad y la formación de hielo y nieve, además de un aumento general en la temperatura que incrementa la retención de calor en el sustrato rocoso, lo cual, coadyuva en mayores niveles de fusión y por ende, derretimiento del glaciar. Por otra parte en el verano, la fusión se ve exponencialmente acrecentada sobre tasas relativamente normales, al grado de convertir el hielo en una masa efímera y sin volumen constante y/o aparente.

Actualmente, sólo existen glaciares en las cimas de los tres volcanes más altos del país: Pico de Orizaba o Citlaltépetl (glaciar Jamapa; 5700 msnm), Popocatépetl (5450 msnm) e Iztaccíhuatl (5286 msnm; Delgado et al., 1985). Debido al derretimiento de los glaciares por el calentamiento global, se han generado graves consecuencias en las comunidades de los Estados de México y Puebla que, comúnmente, dependían del agua proveniente de los volcanes para cubrir sus necesidades de consumo y laborales (actividades primarias); al tiempo que, durante la época de lluvias, el excesivo escurrimiento provoca daños en la red de drenaje e inundaciones en las poblaciones cercanas (ej. Valle de Chalco), debido a la falta de retención de agua en las zonas altas de captación, potenciada por la devastación de bosques (Delgado et al., 1997).

Características de deshielo semejantes ocurren en el glaciar Jamapa del Pico de Orizaba, con la singularidad de que este glaciar aún posee volúmenes estacionales que permiten la disponibilidad de agua gran parte del año; sin embargo, el detrimento de la masa de

hielo es notorio en relación a los últimos 20 años (Palacios y Vázquez-Selem, 1996), y se espera que, al igual que en los volcanes anteriores, el hielo en el Pico de Orizaba desaparezca en las siguientes tres décadas (Palacios y Vázquez-Selem, 1996).

El objetivo del proyecto consiste en diseñar e implementar medidas de adaptación al cambio climático en comunidades vulnerables a los efectos del deshielo del glaciar Jamapa en el Parque Nacional Pico de Orizaba; para lo cual se plantean las siguientes acciones:

- Analizar las proyecciones climatológicas a 10 y 40 años.
- Definir las condiciones morfológicas y la tasa de deshielo actuales del glaciar Jamapa.
- Proyectar las condiciones morfológicas y la tasa de deshielo del glaciar Jamapa para el período de estudio.
- Identificar las localidades y/o las áreas física y socialmente vulnerables al deshielo del glaciar Jamapa producido por el cambio climático.
- Elaborar cartografía de riesgos geológicos e hidrometeorológicos provocados por el deshielo del glaciar Jamapa a consecuencia del cambio climático.
- Generar escenarios de riesgos ante el deshielo del glaciar Jamapa en función de las proyecciones climáticas y geomorfológicas.
- Generar escenarios dinámicos de riesgos que permitan actualizar la información de las proyecciones climáticas y geomorfológicas del deshielo del glaciar Jamapa.
- Diseñar medidas de adaptación al Cambio Climático para las comunidades vulnerables a los efectos del deshielo del glaciar Jamapa en el Parque Nacional Pico de Orizaba.
- Formulación de cadena logística de medidas de adaptación al Cambio Climático en comunidades vulnerables a los efectos del deshielo del glaciar Jamapa en el Parque Nacional Pico de Orizaba.

5.4 Informe final

El presente documento.

6 CONCLUSIONES

La recopilación de datos sobre la situación actual y futura del recurso hídrico bajo condiciones de cambio climático, y el acceso a los mismos, forma parte fundamental de la línea base de información requerida para llevar a cabo estudios de vulnerabilidad, y con ello identificar y replicar medidas de adaptación planificadas en los sectores más vulnerables del país.

La información vectorial generada pretende ser un importante insumo de información para alimentar modelos hidrológicos y sistemas de información geográfica, herramienta cuyos resultados permita ser utilizada en el proceso de estudios e implementación de acciones de adaptación ante el cambio climático; y con ello, emitir recomendaciones sobre el tema.

Contar con información geoespacial confiable y organizada sobre variables climatológicas como precipitación y temperatura proyectadas bajo escenarios de cambio climático, facilitará los procesos para generar mapas que hagan más fácil la visualización de la vulnerabilidad y las acciones planteadas de adaptación, a los tomadores de decisión en el tema.

De acuerdo con los resultados se requiere realizar más planes de contingencia ante las sequías que se deben llevar al cabo a la brevedad, su implementación requerirá de la participación social. Por otro lado, la sobre explotación de los acuíferos en las zonas bajo riego (región de Delicias) tendrá una grave repercusión; la mejor técnica de recarga es evitando la sobre explotación de los mismos.

Por otro lado, es necesario también llevar a cabo estudios de vulnerabilidad más específicos en el sector hídrico, que permitan identificar, diseñar, implementar, monitorear y evaluar las medidas más adecuadas de adaptación ante el cambio climático que reduzca la vulnerabilidad de los diversos sistemas. Para ello, es muy importante que las instituciones, en todos los

niveles de gobierno, así como la sociedad civil y la academia, se integren y trabajen de manera conjunta bajo un comité de propuestas y seguimiento, que verifique las acciones requeridas y aporten los recursos necesarios. Un factor muy importante es la recién promulgada Ley General de Cambio Climático, donde se enmarca el compromiso y obligación de contar con una Estrategia Nacional ante el Cambio Climático, siendo el componente de adaptación uno de sus principales rubros.

7 CITAS BIBLIOGRÁFICAS

Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2012a. **Adaptación al cambio climático en México: visión, elementos y criterios para la toma de decisiones**. México. 182 pp.

Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. 2012b. **Quinta Comunicación Nacional ante la Comisión Marco de las Naciones Unidas ante el Cambio Climático**. México. 441 pp.

Comisión Nacional del Agua. **Estadísticas del Agua en México, edición 2010**. México, 249 pp.

Diario Oficial de la Federación. Junio, 2012. **Ley General de Cambio Climático**. Gobierno de México. 25 pp.

Environmental Systems Research Institute, ESRI. 2012. *Centro de recursos de ArcGIS. Biblioteca de ayuda*. Consultado en enero, 2012.
<http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#/na/0017000000m2000000/>.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA. 2009. **Sistema para la Exhibición de Datos del Ensamble Ponderado de Escenarios de Cambio Climático para México (SEDEPECC, v1.0)**. México.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2010. **Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático**. México. 162 pp.

Montero y Pérez. 2008. **Regionalización de proyecciones de precipitación y temperatura en superficie aplicando el método REA para México**. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, Volumen II. México.

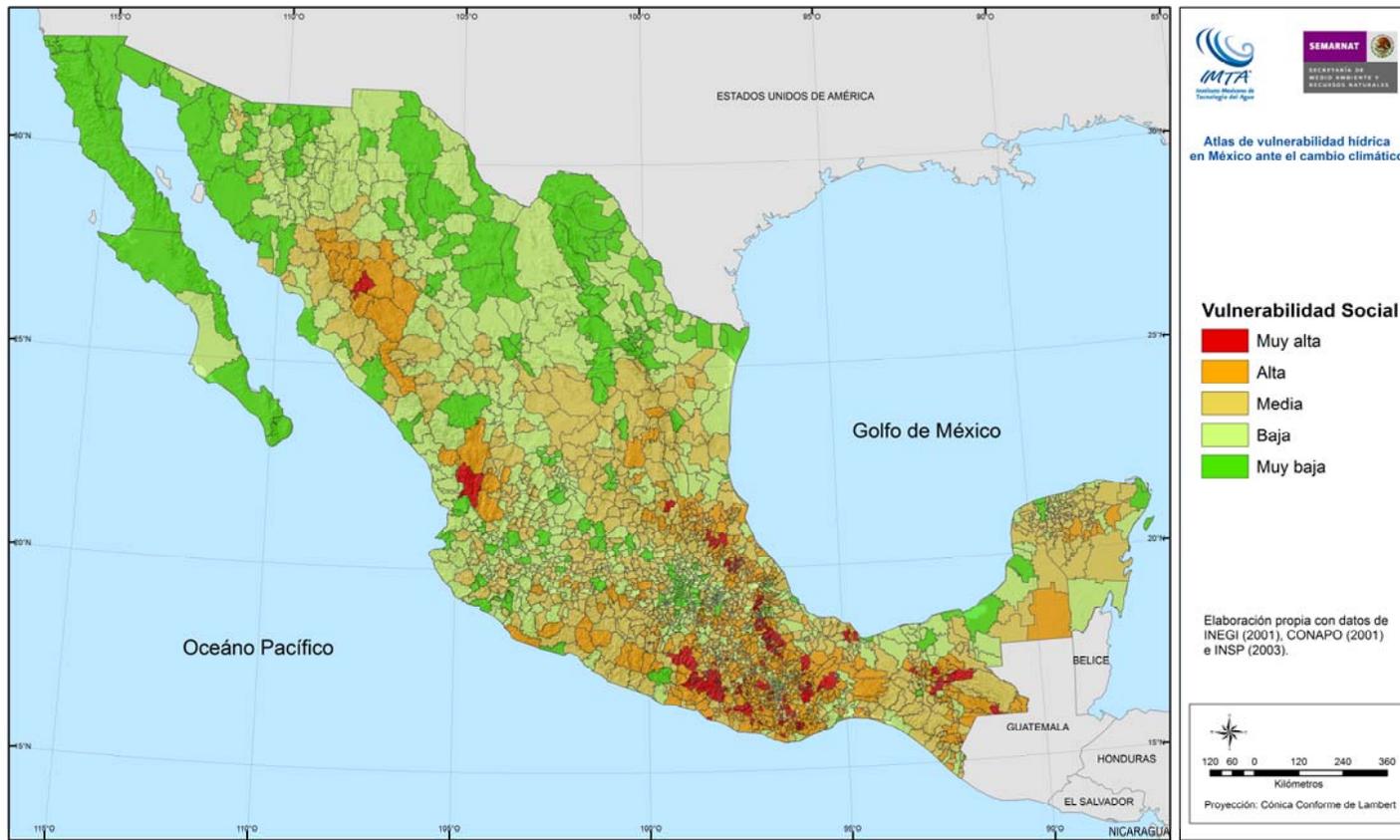
Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). 2007. **IV Intergovernmental Panel Assessment on Climate Change**. Fourth assessment. Summary for Policy Makers, WMO Editors. Cambridge University Press.

Patiño-Gómez. C. y Reza-García N.I. 2012. **Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico**. En: Efectos del cambio climático en los recursos hídricos en México: Adaptación al cambio climático, Vol. IV: 46-69. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

8 ANEXO I

Mapas Geo-referenciados de Información de Vulnerabilidad ante el Cambio Climático

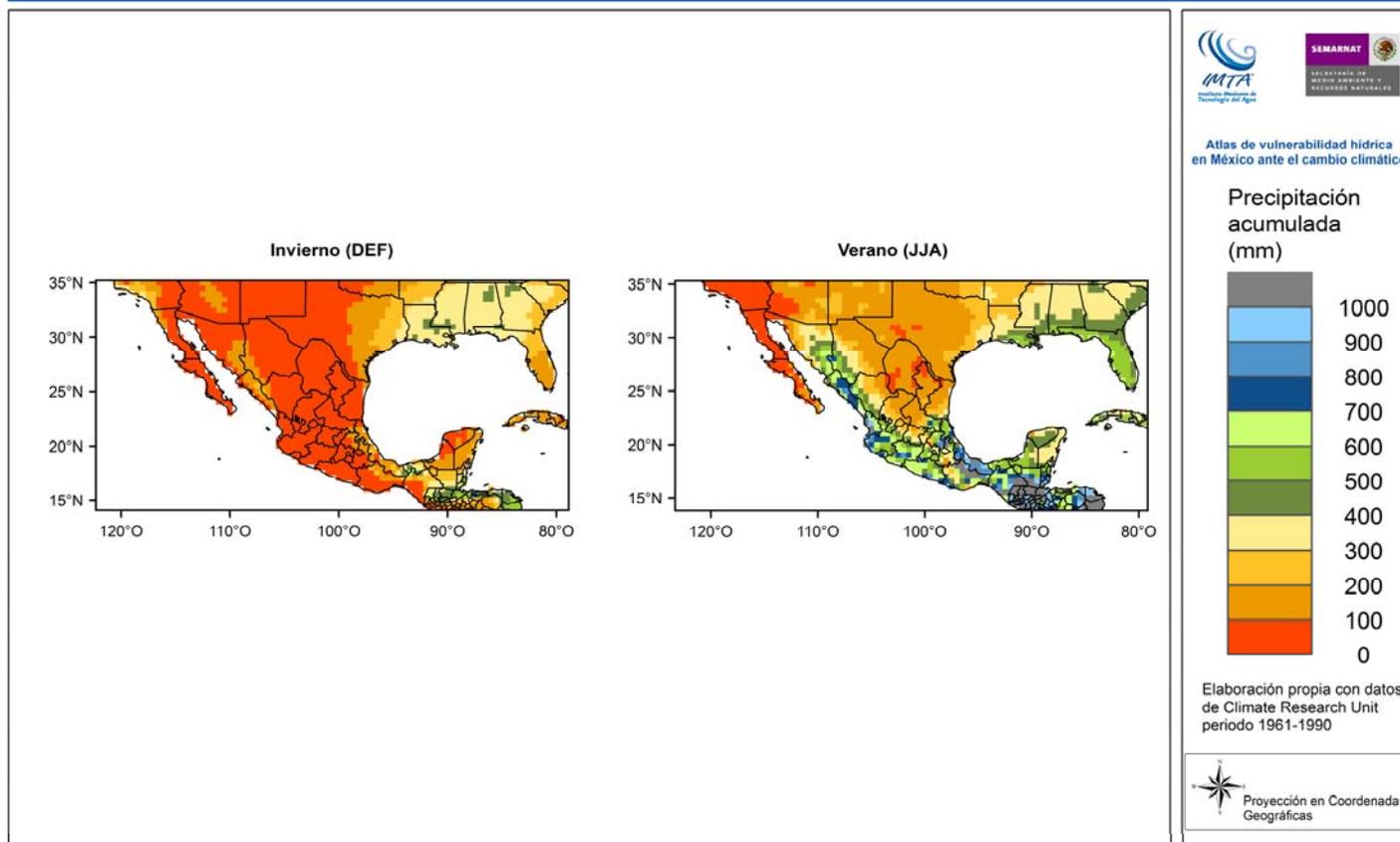
ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL POR MUNICIPIOS DE LA REPÚBLICA MEXICANA **MAPA 1.1**



Mapa geo-referenciado del Índice de Vulnerabilidad Social por municipios de la República Mexicana.

PRECIPITACIÓN ESTACIONAL ACUMULADA 1961-1990

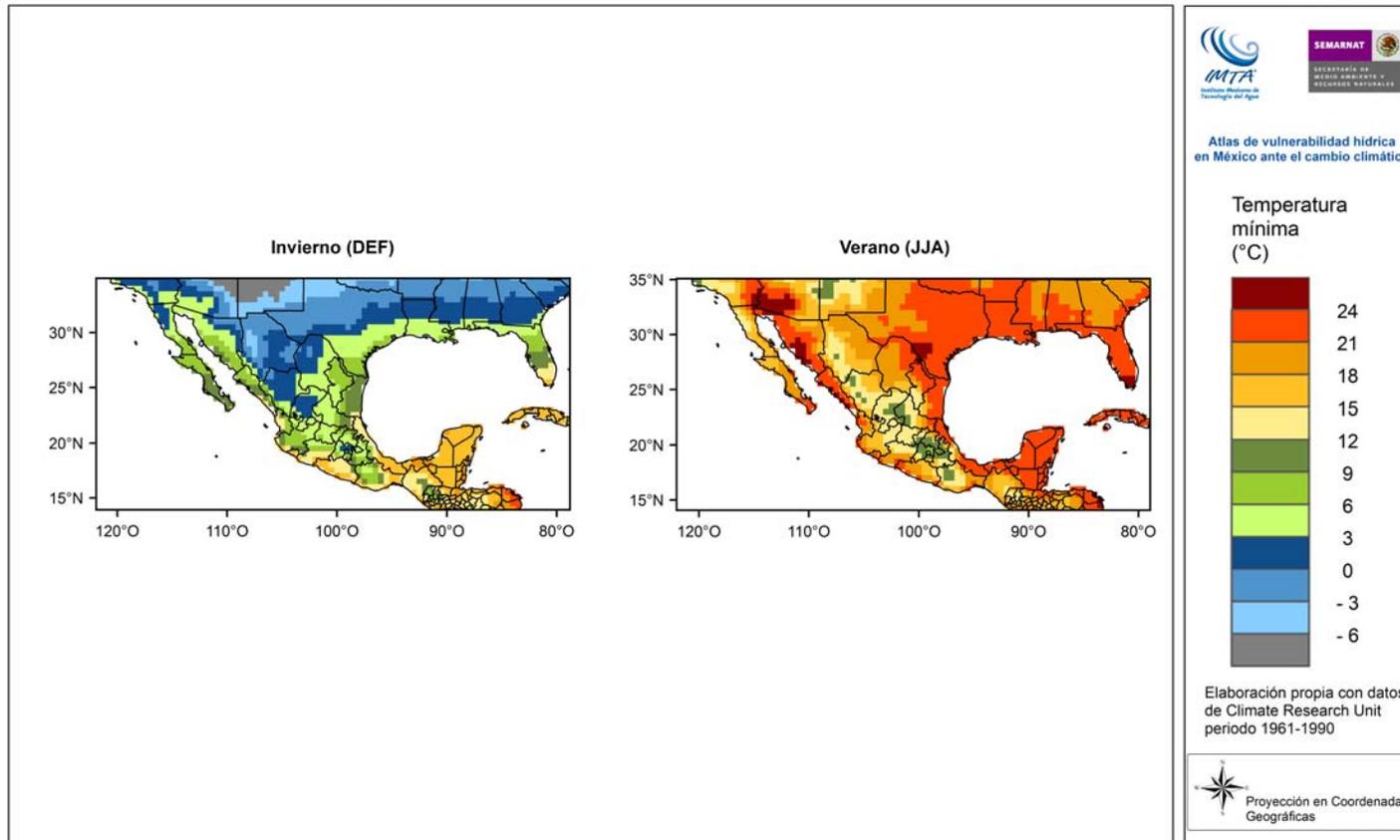
MAPA 2.1



Mapa geo-referenciado de precipitación estacional acumulada en el periodo 1961-1990.

TEMPERATURA MÍNIMA ESTACIONAL 1961-1990

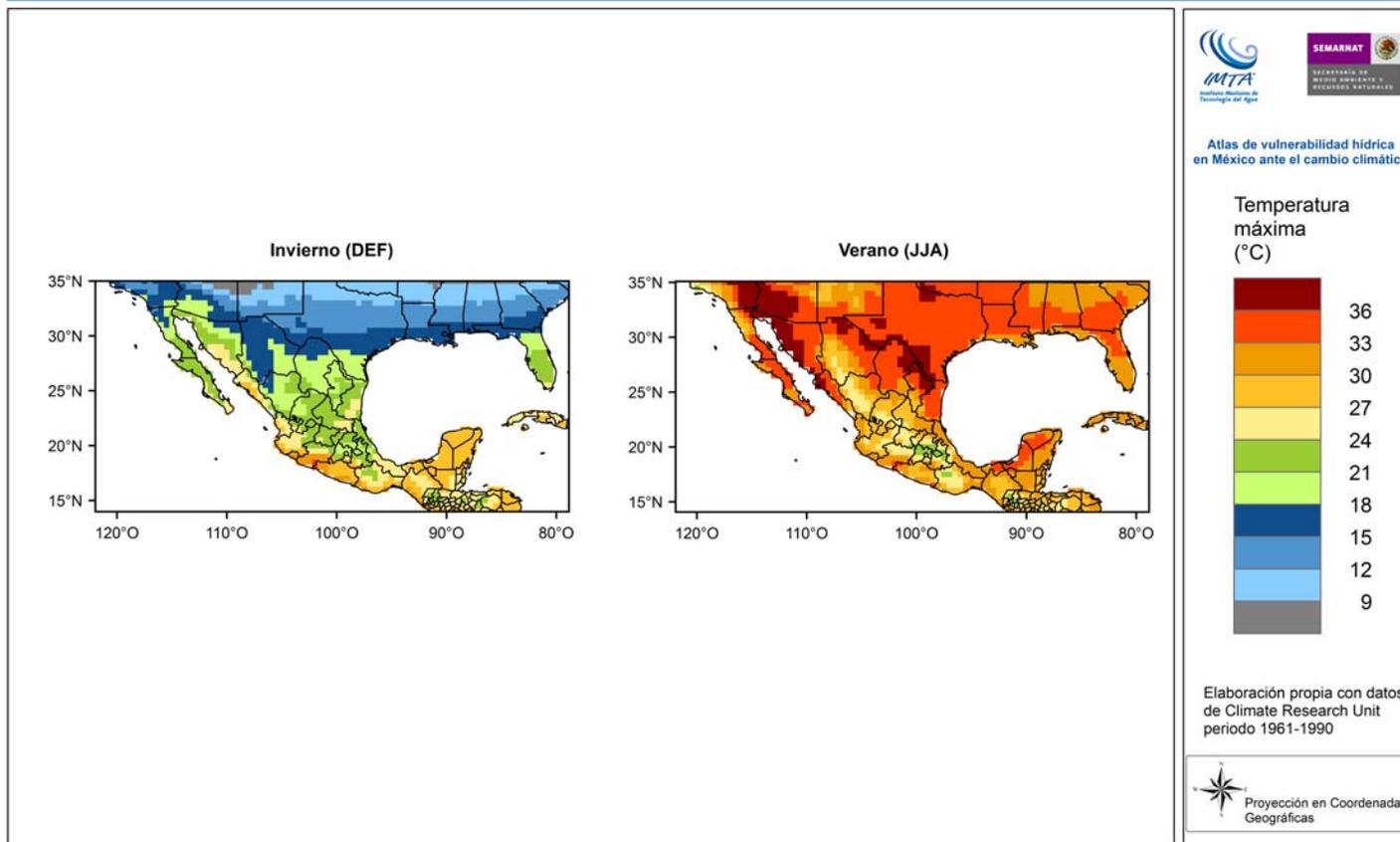
MAPA 2.2



Mapa geo-referenciado de temperatura mínima estacional en el periodo 1961-1990.

TEMPERATURA MÁXIMA ESTACIONAL 1961-1990

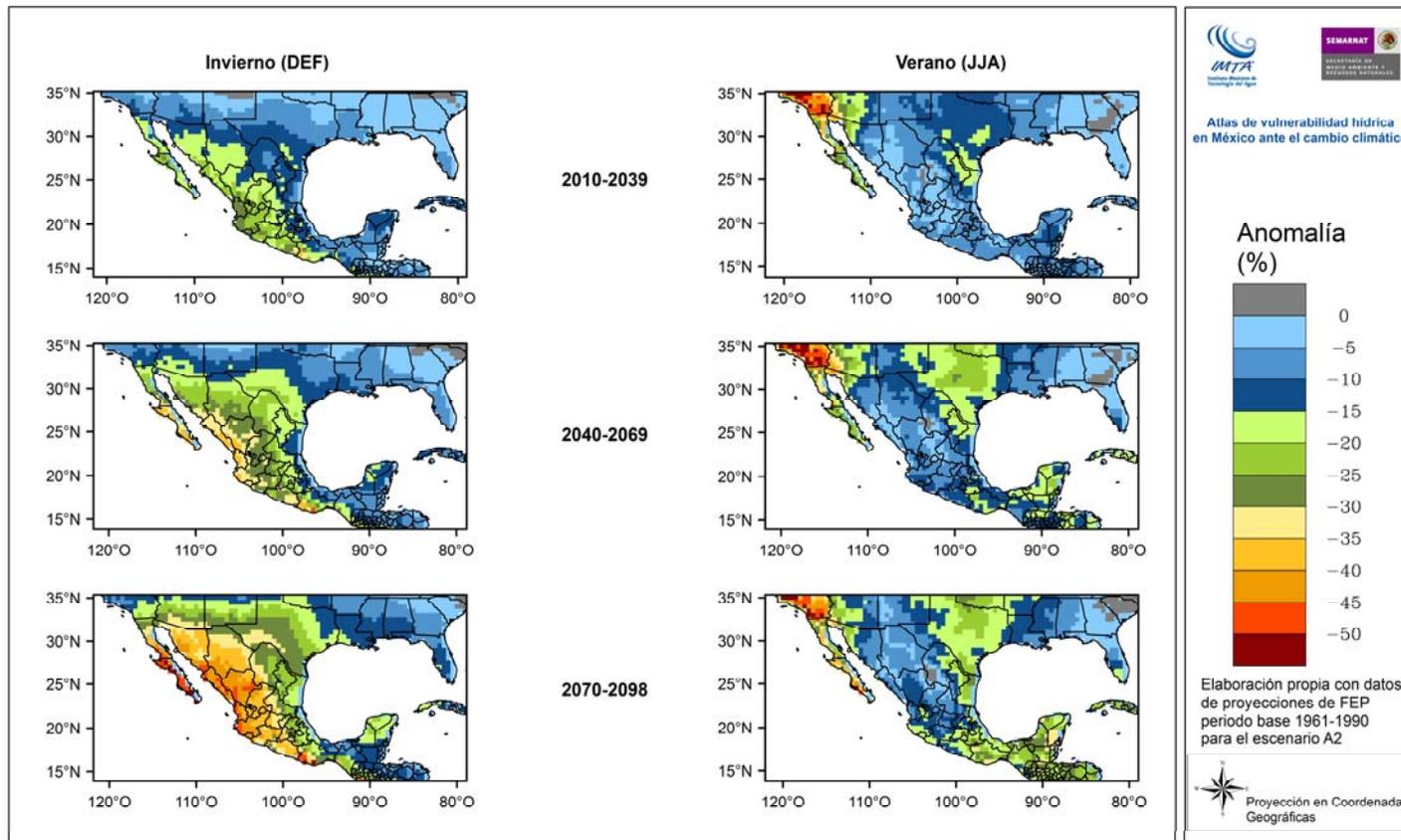
MAPA 2.3



Mapa geo-referenciado de temperatura máxima estacional en el periodo 1961-1990.

ANOMALÍA PROMEDIO ESTACIONAL DE PRECIPITACIÓN

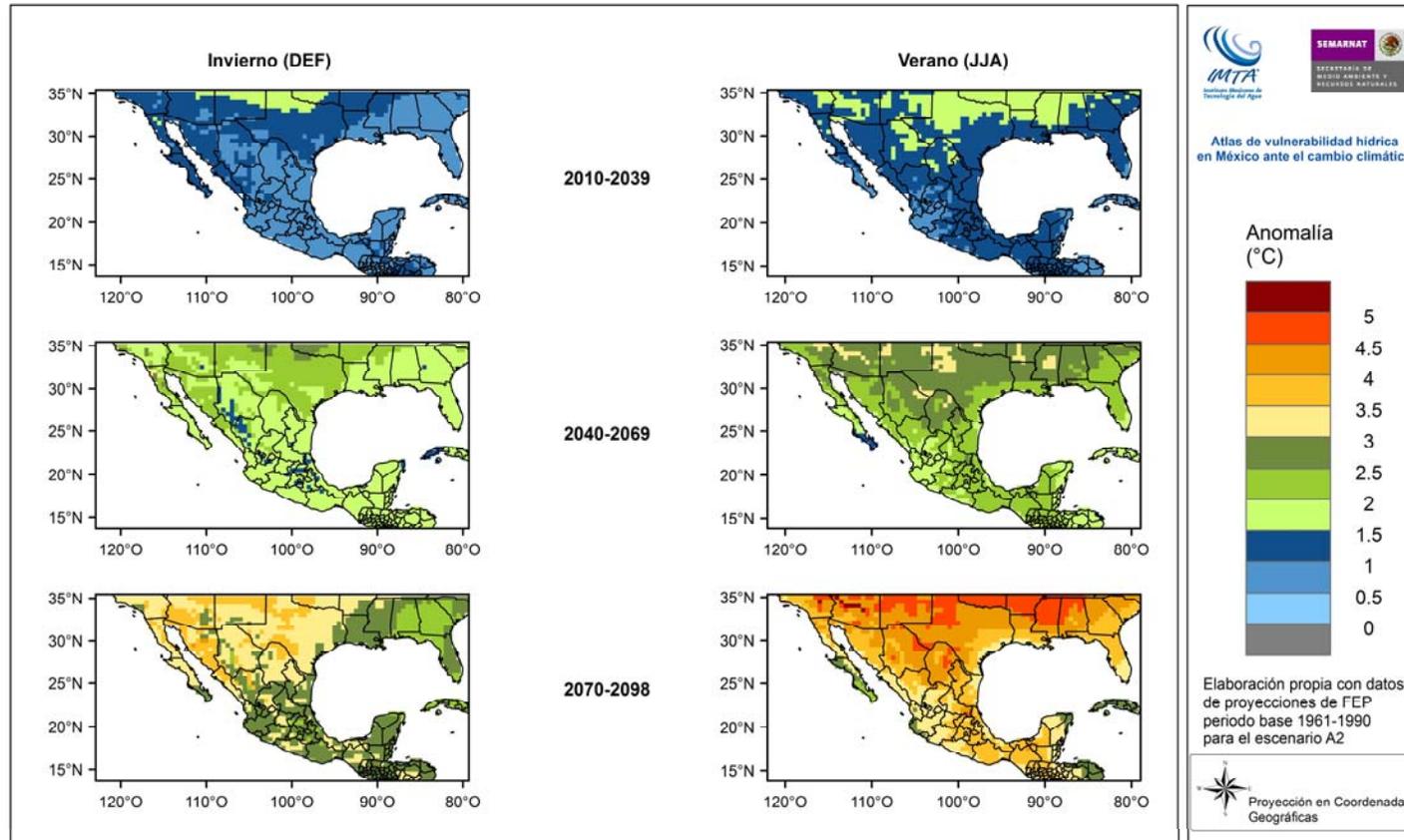
MAPA 2.4



Mapa geo-referenciado de anomalía promedio estacional de precipitación.

ANOMALÍA PROMEDIO ESTACIONAL DE TEMPERATURA MÍNIMA

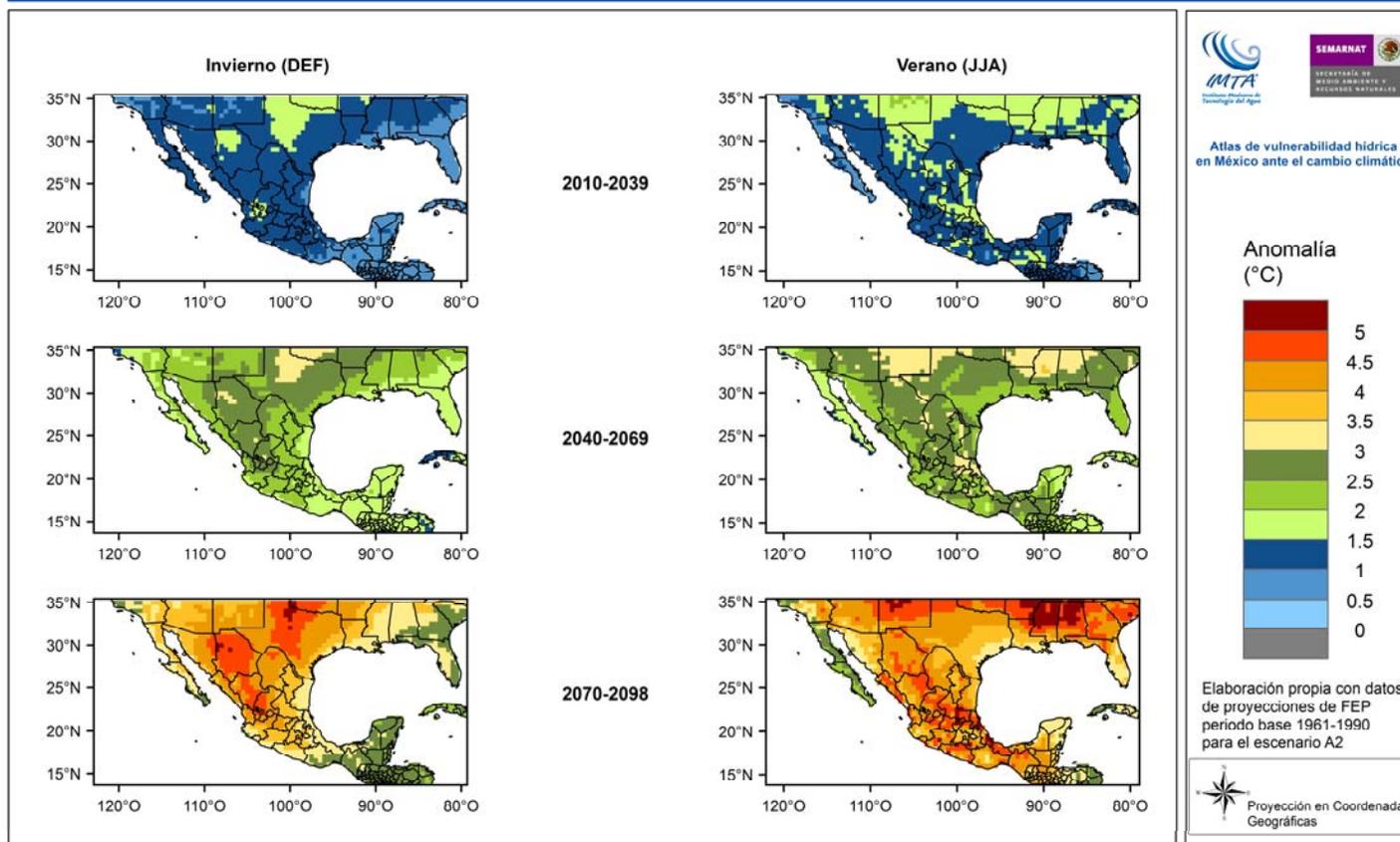
MAPA 2.5



Mapa geo-referenciado de anomalía promedio estacional de temperatura mínima.

ANOMALÍA PROMEDIO ESTACIONAL DE TEMPERATURA MÁXIMA

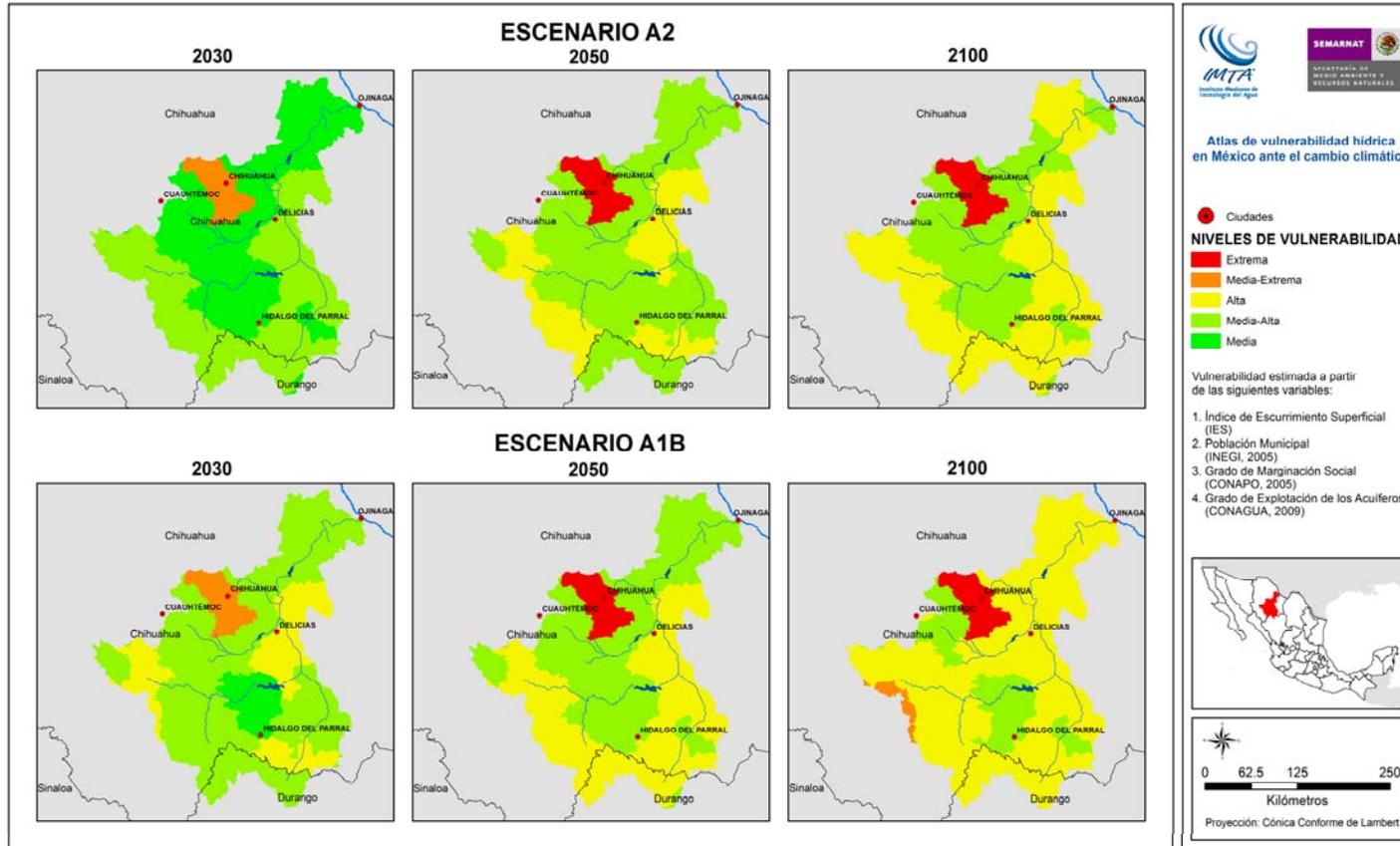
MAPA 2.6



Mapa geo-referenciado de anomalía promedio estacional de temperatura máxima.

VULNERABILIDAD HÍDRICA GLOBAL EN LA CUENCA DEL RÍO CONCHOS

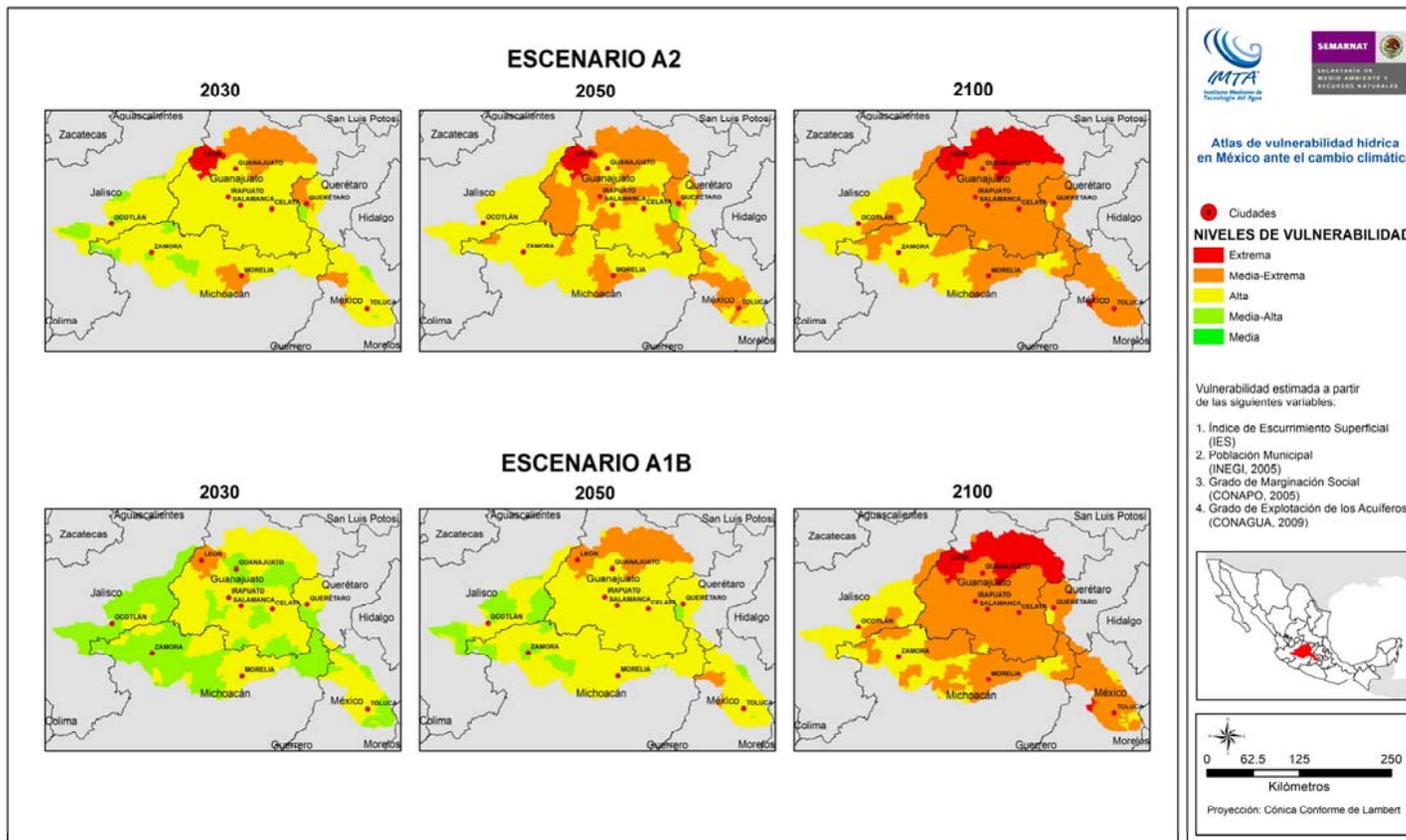
MAPA 4.7



Mapa geo-referenciado de vulnerabilidad hídrica global en la cuenca del río Conchos.

VULNERABILIDAD HÍDRICA GLOBAL EN LA CUENCA LERMA-CHAPALA

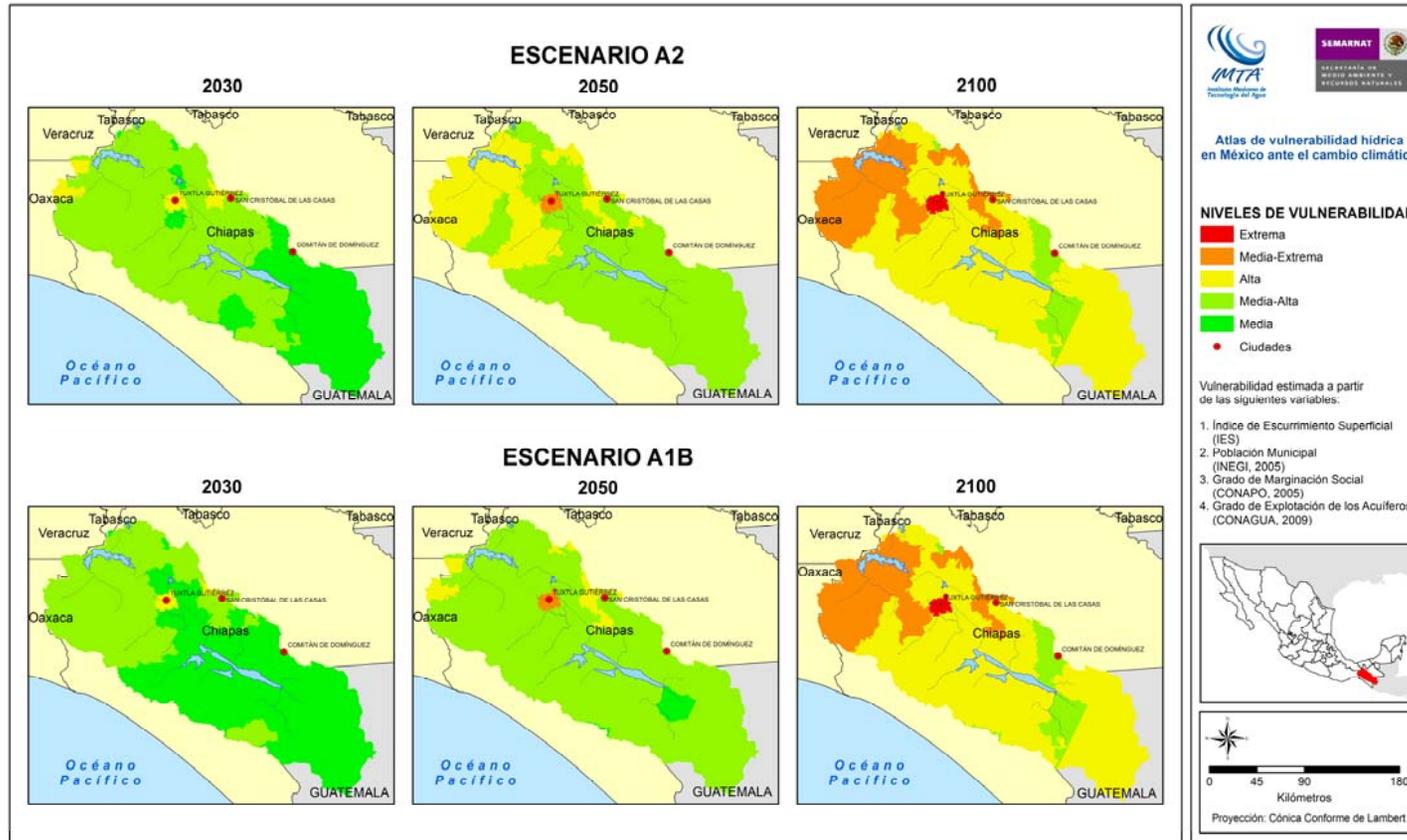
MAPA 4.13



Mapa geo-referenciado de vulnerabilidad hídrica global en la cuenca Lerma-Chapala.

VULNERABILIDAD HÍDRICA GLOBAL EN LA CUENCA DEL RÍO GRIJALVA

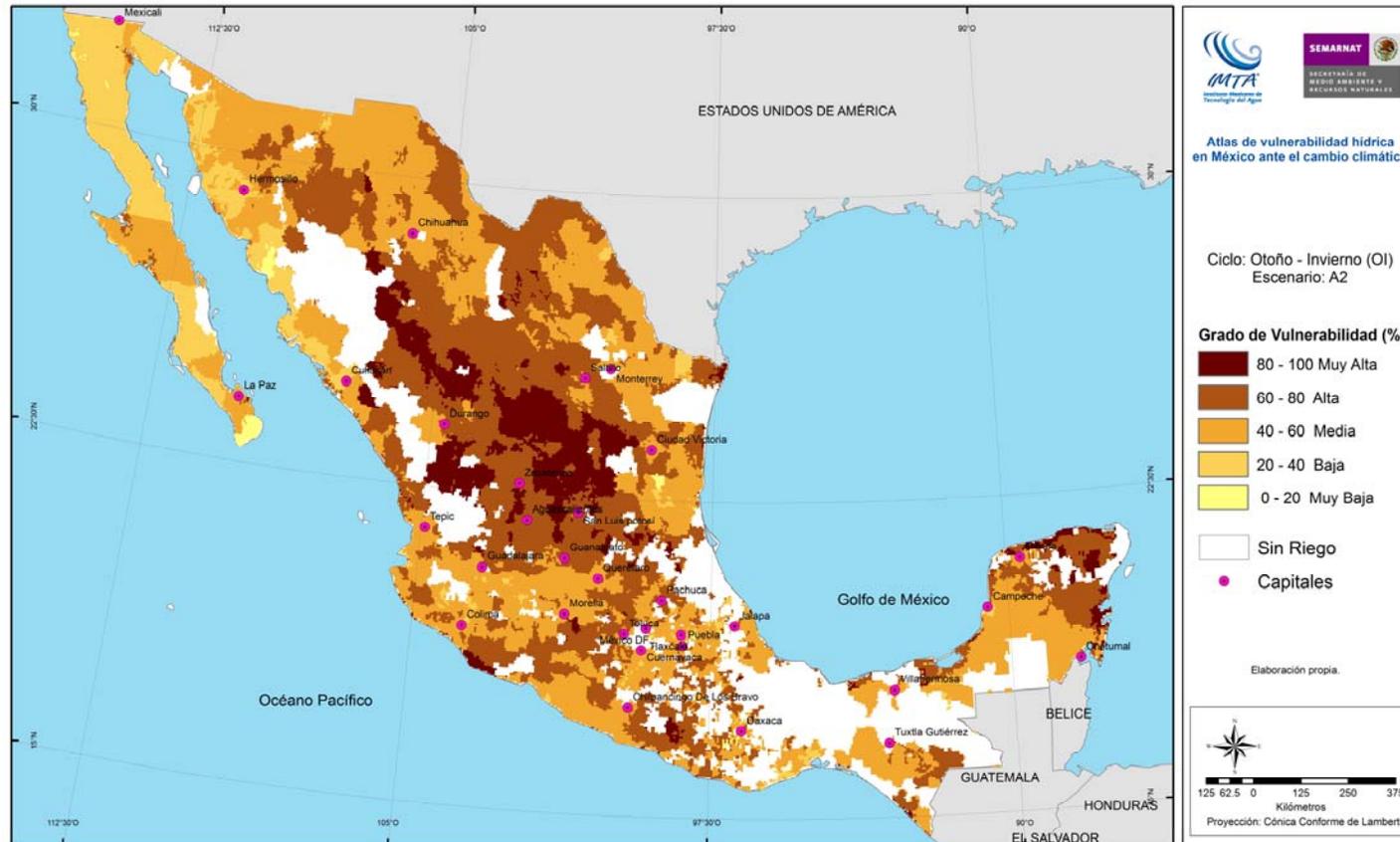
MAPA 4.18



Mapa geo-referenciado de vulnerabilidad hídrica global en la cuenca del río Grijalva.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO (OI - A2) 2/4

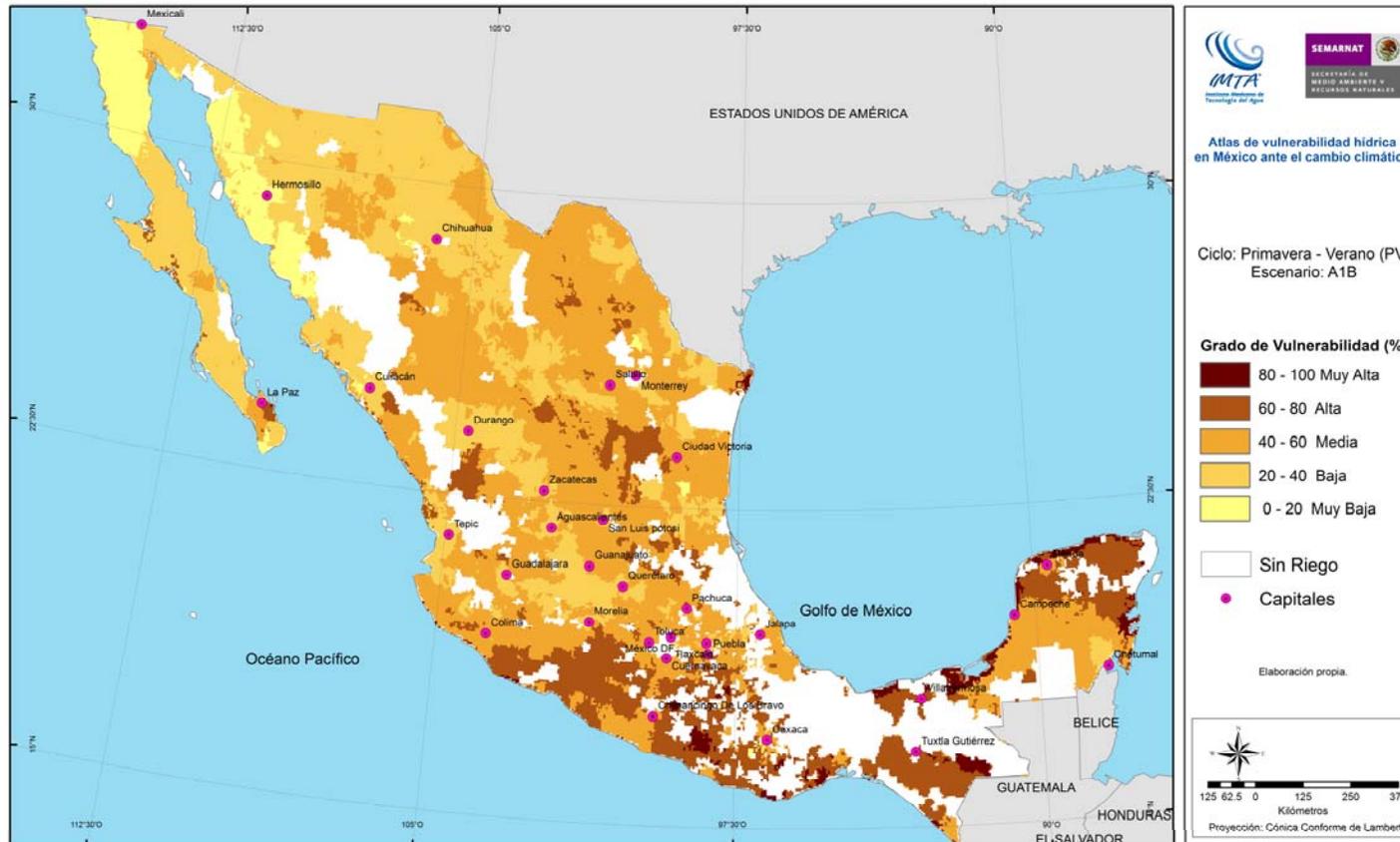
MAPA 5.17



Mapa geo-referenciado de vulnerabilidad agrícola al cambio climático para el ciclo otoño-invierno bajo el escenario A2.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO (PV - A1B) 3/4

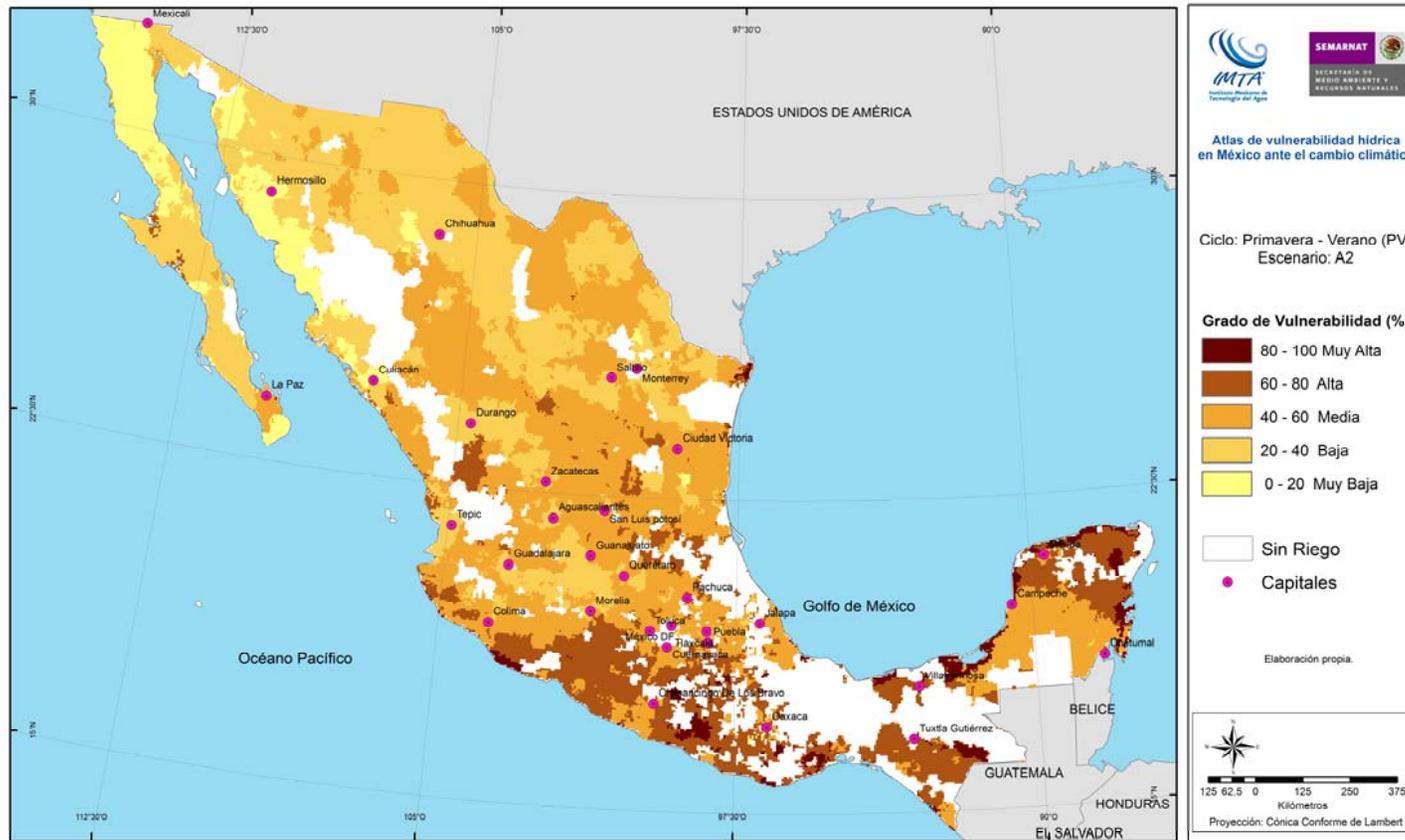
MAPA 5.18



Mapa geo-referenciado de vulnerabilidad agrícola al cambio climático para el ciclo primavera-verano bajo el escenario A1B.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO (PV - A2) 4/4

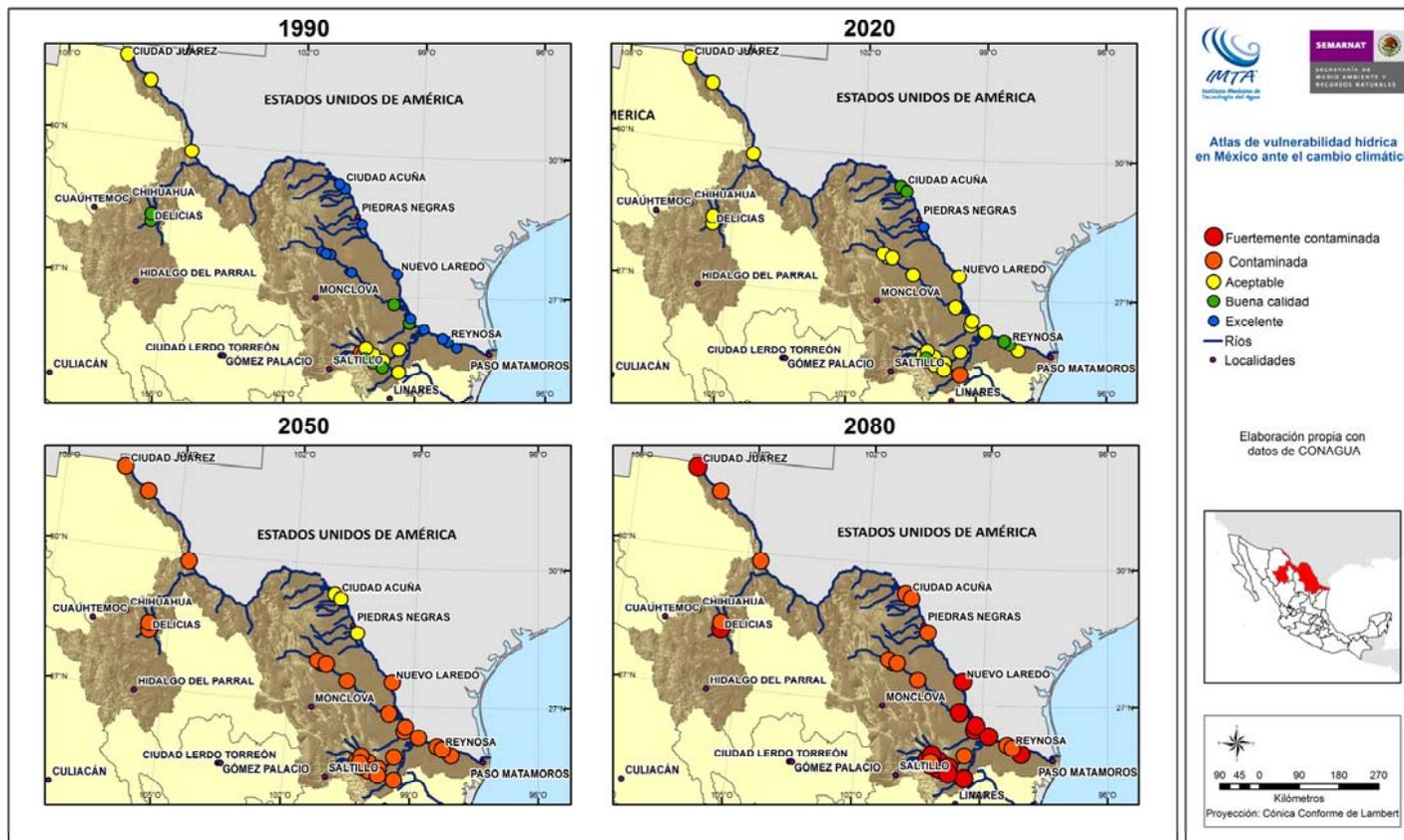
MAPA 5.19



Mapa geo-referenciado de vulnerabilidad agrícola al cambio climático para el ciclo primavera-verano bajo el escenario A2.

CUENCA DEL RÍO BRAVO ESCENARIO A2 (DBO)

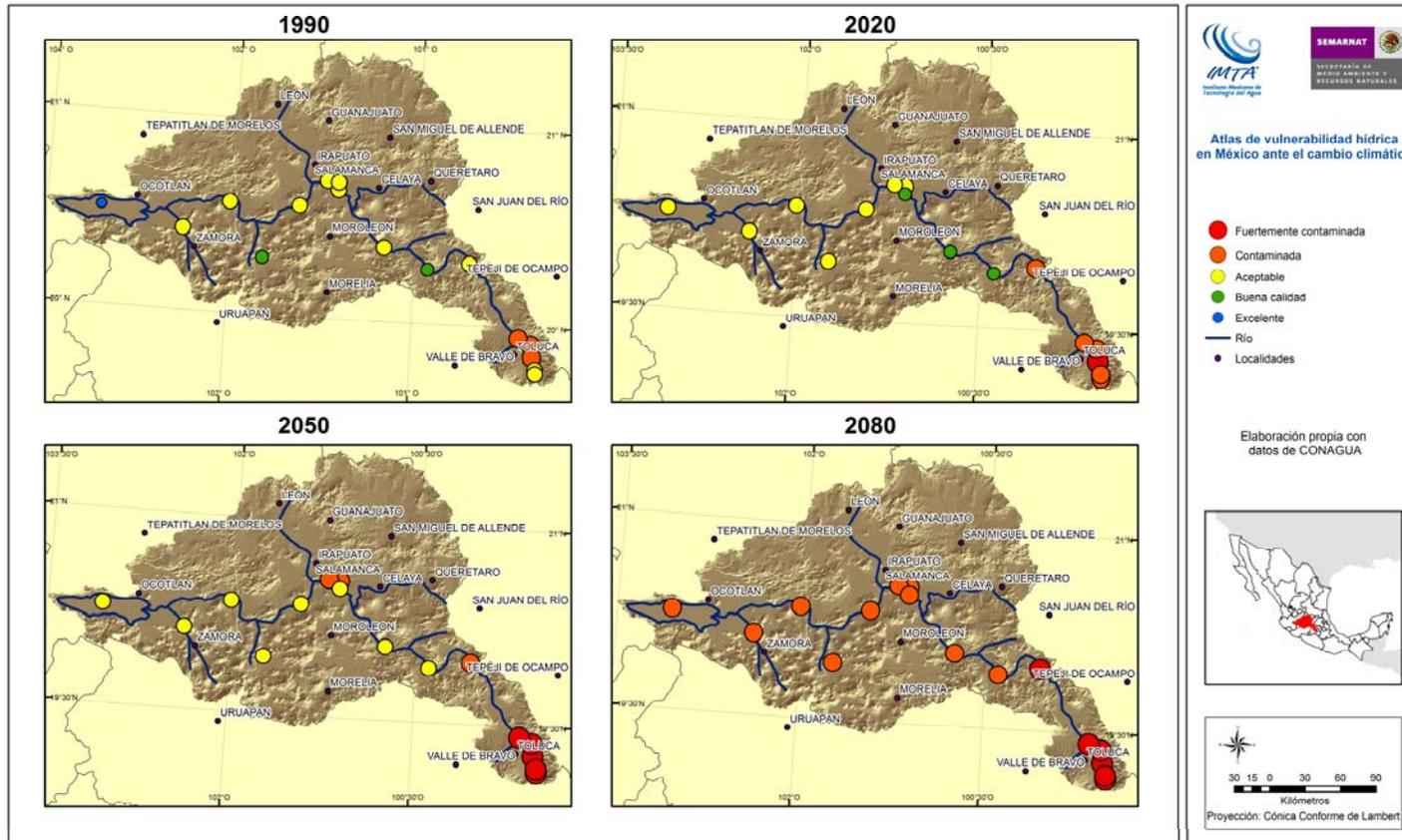
MAPA 6.3



Mapa geo-referenciado del comportamiento futuro del indicador de calidad del agua DBO en la cuenca del Río Bravo para el escenario A2, proyectado para los años 2020, 2050 y 2080.

CUENCA LERMA-CHAPALA ESCENARIO A2 (DBO)

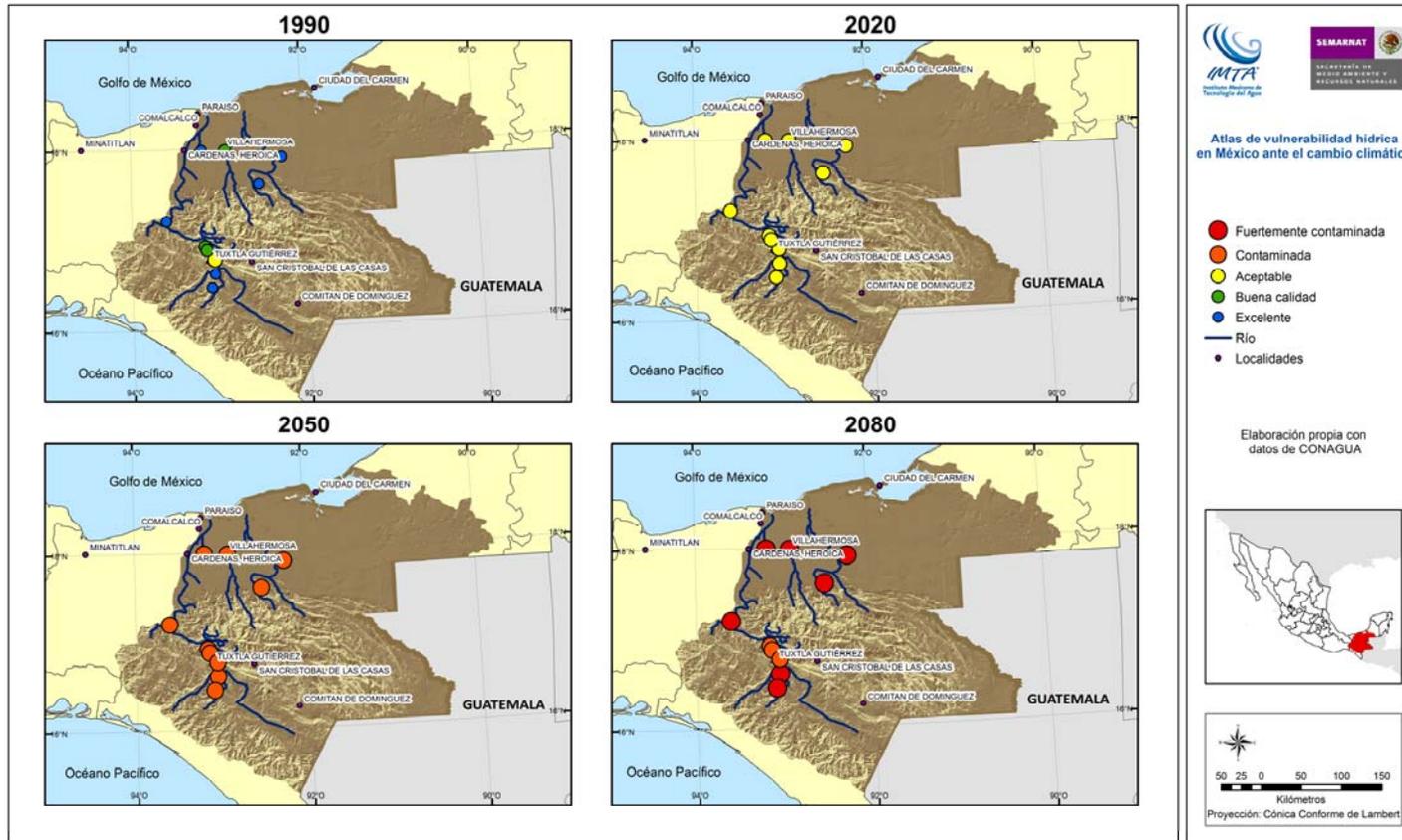
MAPA 6.7



Mapa geo-referenciado del comportamiento futuro del indicador de calidad del agua DBO en la cuenca Lerma-Chapala para el escenario A2, proyectado para los años 2020, 2050 y 2080.

CUENCA DEL RÍO GRIJALVA ESCENARIO A2 (DBO)

MAPA 6.11



Mapa geo-referenciado del comportamiento futuro del indicador de calidad del agua DBO en la cuenca del Río Grijalva para el escenario A2, proyectado para los años 2020, 2050 y 2080.