

Impacto del cambio climático en las tierras y sus características



**GOBIERNO
FEDERAL**

SEMARNAT



www.gobiernofederal.gob.mx

www.semarnat.gob.mx



Vivir Mejor

Impacto del cambio climático en las tierras y sus características

DR © 2009, SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

Edificio sede

Boulevard Adolfo Ruíz Cortinez Núm. 4209

Jardines en la Montaña, CP 14210

Tlalpan, México D.F.

<http://www.semarnat.gob.mx>

Impreso en México

ISBN 978-968-817-935-2

Como citar esta obra:

SEMARNAT. Impacto del cambio climático en las tierras y sus características. México 2009.

Este documento fue realizado para la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales y financiado por el Gobierno de Japón a través del Banco Mundial como parte de su asistencia técnica. La SEMARNAT desea agradecer el apoyo financiero recibido y en especial extiende un reconocimiento a la jefa de proyectos del Banco Mundial, Adriana Moreira, por su valiosa colaboración.

Este estudio fue coordinado por M. en C. Martha Lucía Alviar Nieto y contó con la colaboración especial de Gonzalo Chapela.

El M. en C. Daniel López López aportó el modelo de vulnerabilidad y apoyó la revisión de la adaptación del mismo.

El enfoque, la metodología, las opiniones y las conclusiones son responsabilidad exclusiva de la coordinadora.

CONTENIDO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUCCIÓN | 7 |
| 2 VULNERABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO | 11 |
| 2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD | 13 |
| 2.2 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS | 13 |
| 3 ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS | 15 |
| 3.1 MODELO DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL | 17 |
| 3.2 ADAPTACIÓN DEL MODELO PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS | 19 |
| 3.3 ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL | 20 |
| 4 VULNERABILIDAD AMBIENTAL ACTUAL DE LAS TIERRAS CON ÉNFASIS EN EL USO AGRÍCOLA | 21 |
| 4.1 A ESCALA NACIONAL | 23 |
| 4.2 A ESCALA ESTATAL | 27 |
| 5 LA VULNERABILIDAD SOCIAL-AMBIENTAL ACTUAL DE LAS TIERRAS EN MÉXICO | 29 |
| 5.1 MAPA ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL | 31 |
| 5.2 VULNERABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL A ESCALA NACIONAL | 32 |
| 6 IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS | 35 |
| 6.1 A ESCALA NACIONAL | 38 |
| 6.2 A ESCALA ESTATAL | 41 |
| 7 LA FENOMENOLOGÍA Y ECONOMÍA DEL MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO | 51 |
| 7.1 PRODUCCIÓN | 56 |
| 7.1.1 PÉRDIDAS DIRECTAS DE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA | 56 |
| 7.1.2 PÉRDIDAS DIRECTAS POR INCIDENCIAS DE PLAGAS | 56 |
| 7.1.3 PÉRDIDAS DIRECTAS POR EFECTO DE SINIESTROS | 56 |
| 7.2 PÉRDIDA DE ACTIVOS | 60 |
| 7.2.1 PÉRDIDA DE VALOR DE EXISTENCIAS (VALOR DE LOS RECURSOS NATURALES AFECTADOS) | 60 |
| 7.2.2 PÉRDIDA DE INFRAESTRUCTURA POR OBSOLESCENCIA O DESPLAZAMIENTO DE APTITUD DE USOS DE LAS TIERRAS | 60 |
| 7.3 IMPACTOS INDIRECTOS EXTRAPARCELARIOS | 60 |
| 7.3.1 IMPACTOS POR EL INCREMENTO DE TOLVANERAS, SOBRE COSTOS DERIVADOS DE AFECTACIONES A LA SALUD | 60 |
| 8 EQUIVALENTES EN BONOS DE CO₂ DE LA AGRICULTURA COMO FUENTE DE EMISIONES (Y EL MST PARA LA REDUCCIÓN) | 61 |
| 8.1 PÉRDIDA DE CO ₂ DE LA MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS | 63 |
| 8.2 EMISIONES POR QUEMAS AGRÍCOLAS Y GANADERAS | 64 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 8.3 | LA FERTILIZACIÓN: AMONIACO VOLÁTIL Y N ₂ O DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA | 67 |
| 8.4 | METANO PROVENIENTE DE EXCRETAS Y DEL PROCESO DIGESTIVO DE LOS RUMIANTES | 68 |
| 8.4.1 | PROCESO DIGESTIVO DE LOS RUMIANTES | 68 |
| 8.4.2 | EXCRETAS | 68 |
| 8.5 | EQUIVALENTES POTENCIALES EN BONOS DE SECUESTRO DE CO ₂ EN LA AGRICULTURA | 69 |
| 9 | MEDIDAS DE ADAPTACIÓN | 71 |
| 9.1 | MEJORAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN POR MANEJO SUSTENTABLE DE LAS TIERRAS (MST) | 73 |
| 9.2 | RACIONALIZACIÓN DEL USO DEL AGUA | 76 |
| 9.3 | COBERTURAS DE RIESGO | 77 |
| 10 | COSTOS Y BENEFICIOS DE REFORMAS REQUERIDAS | 79 |
| 10.1 | REVISIÓN DE PRESUPUESTO Y PROGRAMAS | 81 |
| 10.2 | CREACIÓN DE CAPACIDADES | 82 |
| 10.3 | MEJORAMIENTO DEL ARREGLO INSTITUCIONAL | 82 |
| 10.4 | MEJORAMIENTO DEL MARCO JURÍDICO | 82 |
| 11 | CÁLCULO ECONÓMICO PRELIMINAR DE LA INTERACCIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA AGRICULTURA EN MÉXICO | 83 |
| | NOTA METODOLÓGICA 1: | 87 |
| | TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA DE DESVIACIONES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PARA LOS ESCENARIOS A2 Y B2 | |
| | NOTA METODOLÓGICA 2: | 88 |
| | COSTOS POR EROSIÓN | |
| | NOTA METODOLÓGICA 3: | 89 |
| | COSTOS ASOCIADOS A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS | |
| | NOTA METODOLÓGICA 4: | 90 |
| | COSTOS POR TOLVANERAS | |
| | NOTA METODOLÓGICA 5: | 91 |
| | PÉRDIDA DE EXISTENCIA POR SALINIZACIÓN | |
| | NOTA METODOLÓGICA 6: | 92 |
| | PÉRDIDAS POR REDUCCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA | |
| | NOTA METODOLÓGICA 7: | 92 |
| | CÁLCULO ECONÓMICO DE LAS EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO N ₂ O | |
| | NOTA METODOLÓGICA 8: | 93 |
| | ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR EXCRETAS EN EL GANADO PORCINO | |
| | NOTA METODOLÓGICA 9: | 93 |
| | ESTIMACIÓN DE LAS INVERSIONES INSTITUCIONALES PARA LA INDUCCIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO DE TIERRAS | |
| 12 | CONCLUSIONES | 95 |
| 13 | BIBLIOGRAFÍA | 99 |
| | ANEXO ELECTRÓNICO: | |
| | MAPAS ESTATALES DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LAS TIERRAS CON ÉNFASIS EN EL USO AGRÍCOLA | |

1 INTRODUCCIÓN

1 INTRODUCCIÓN

El problema global del cambio climático ha puesto en la agenda de la comunidad internacional la necesidad de actuar conjuntamente y emprender acciones que permitan controlar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En 1992, durante la primera Cumbre de la Tierra, los países reunidos en Río de Janeiro adoptaron los tres principales marcos ambientales vinculantes: la Convención de Diversidad Biológica, la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC), que México ratificó por decisión del Senado de la República en 1993. Una vez que la Convención fue ratificada por el número de países requeridos, entró en vigor el 21 de marzo de 1994. En 1998, en Kioto, Japón, la CMNUCC decidió establecer un protocolo para precisar los compromisos de los países; México suscribió y ratificó dicho instrumento en el 2000.

El objetivo de la Convención es lograr la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Con la finalidad de dar cumplimiento a los compromisos suscritos en la CMNUCC y demás instrumentos derivados de ella, nuestro país ha realizado cambios en sus políticas y en su marco institucional.

El gobierno mexicano ha buscado mecanismos para responder coordinadamente desde las diferentes dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal a los retos asociados al cambio climático, con un enfoque integral que descansa en la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC), constituida en 2005 por siete secretarías de Estado¹. Dentro de las atribuciones de la CICC destacan: la formulación de políticas y de estrategias nacionales en materia de mitigación y adaptación al cambio climático; la coordinación de la instrumentación de estas políticas y estrategias; la promoción de actividades conducentes a la instrumentación de la CMNUCC; y la formulación del posicionamiento de México ante los foros internacionales en materia de cambio climático.

Al respecto, la CICC ha establecido agendas en los diferentes sectores. En el sector energético se llevan a cabo acciones de reducción de la intensidad energética de los procesos del desarrollo, mientras que se trabaja en el desarrollo de la capacidad de generación mediante fuentes alternas, así como en el mejoramiento de la eficiencia energética de las viviendas, la ampliación de los servicios de transporte público y el desarrollo de fuentes energéticas alternativas o la recuperación de energía proveniente de los residuos sólidos².

Como parte del proceso que ha seguido el marco institucional para atender el cambio climático, un paso importante ha sido la definición de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENACC). Ésta considera el potencial de mitigación y captura de GEI en sectores clave, y establece objetivos generales para el periodo 2007-2012, así como algunas proyecciones a mayor plazo. Otro aspecto central es la identificación de la vulnerabilidad de México ante el cambio climático, y de una política orientada a la construcción de capacidades de adaptación que permitan enfrentar los efectos inmediatos del calentamiento global.

En el sector agropecuario se han planteado diversas acciones de mitigación del cambio climático, mismas que se abordan o se complementan en los programas agrícolas. Las líneas de acción se orientan hacia la reconversión productiva, el uso eficiente de fertilizantes, el uso controlado del fuego, la labranza de conservación, la reducción de las emisiones de metano en la ganadería intensiva, y mayor inversión en investigación y desarrollo³.

Es importante destacar que, en el sector agropecuario se ligan varios temas ambientales y de desarrollo que requieren un esquema concurrente de atención. Así, desde el plano de la gestión internacional, es indispensable la acción conjunta y la promoción armónica de compromisos internacionales contraídos en el marco de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación⁴ y la Convención de las Naciones Unidas para la Diversidad Biológica (SEMARNAT-PNUMA, 2006. Autoevaluación de Capacidades para la aplicación de las Convenciones Ambientales en México).

En el marco de la acción gubernamental, este enfoque concurrente, acorde con el espíritu y letra de la Ley de DRS, ha dado por resultado el estrechamiento de la coordinación intersecretarial, como parte de la agenda de transversalidad que promueve la SEMARNAT con otras dependencias del sector público, principalmente la SAGARPA.

Entre otras acciones, la de transversalidad incluye revisar los contenidos y enfoques de los programas, específicamente los de apoyo a las actividades productivas, para mejorar su desempeño en términos de la conservación y mejora de los recursos naturales y los servicios ambientales.

La agricultura es uno de los sectores de la economía más vulnerables a los efectos del cambio climático. Esto se debe a la gran dependencia de la productividad y estabilidad de las actividades agrícolas respecto de las variables climáticas y de la fragilidad, tanto de la propia producción como de los activos de los que depende esa producción frente a episodios de ocurrencia extrema de sequías, precipitaciones y vientos, en el corto plazo, y frente al cambio, más pausado pero más profundo, de las condiciones ambientales en que se desarrolla la actividad agropecuaria.

De acuerdo con las evaluaciones y los pronósticos más recientes y reconocidos, en prácticamente todo el mundo los cambios esperados en los valores de temperatura y precipitación están ya reconfigurando la geografía de adaptabilidad de cultivos y variedades; estos cambios se reflejan en incrementos de producción en algunas zonas y disminución en otras, en la ampliación o reducción de áreas de cultivo e incrementos en las zonas de afectación de plagas y enfermedades.

¹ La CICC integra a las Secretarías de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Comunicaciones y Transportes (SCT), Economía (SE), Desarrollo Social (SEDESOL), Energía (SENER) y Relaciones Exteriores (SRE). La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) es invitada permanente a las reuniones.

² CICC, SEMARNAT (2007). Estrategia Nacional de Cambio Climático. México.

³ *Ibidem*.

⁴ CNUCLD, 1997. La CNUCLD tiene una dedicatoria a las tierras secas; sin embargo, en México dicho concepto se aplica en todas las condiciones climáticas, según lo establece la Ley de Desarrollo Rural Sustentable (Ley de DRS, 2001).

En el futuro los aumentos de las concentraciones de CO₂ introducirán una posible elevación de la productividad de algunos cultivos. Asimismo, el mayor número de acontecimientos climáticos extremos, que ya están ocurriendo, están cambiando rápidamente el potencial de la producción agropecuaria y los riesgos de pérdidas.

Estos fenómenos afectan mayormente a los países, zonas y grupos sociales con mayor dependencia de la agricultura y peores condiciones de seguridad y soberanía alimentaria (Millenium Assessment; IPCC, 2006). Aunque los productores agropecuarios van aprendiendo a afrontar la variabilidad del clima, y muchas veces han tenido que adaptar sus cultivos y prácticas agrícolas a las nuevas condiciones, la intensidad y velocidad del cambio climático presenta un desafío sin precedentes. La mayoría de los efectos del cambio climático en la agricultura dependerá del grado de adaptación de los sistemas productivos, lo que a su vez está determinado por los niveles de ingreso, la estructura de mercado, el tipo de agricultura, temporal o riego y los esfuerzos de adaptación que realicen los países y los productores (Stern 2007: 68).

La evidencia disponible muestra que los impactos del cambio climático afectarán en todo el mundo, lo que es una consecuencia de la circulación atmosférica. Sin embargo, dicho impacto afectará de manera regional y microregional diferenciada. En México se espera un incremento en la humedad y precipitación en el sur, junto con mayores riesgos de inundaciones y daños por viento, a la vez que en el Altiplano y costa del Pacífico Norte se espera una menor disponibilidad de agua y riesgos de sequías prolongadas (Gay, 2008). En general, se espera que los cambios negativos se concentren en el oeste y sur del país, y que los impactos positivos se localicen en el centro y noroeste. (Flores, et al, 1996).

En este sentido, este estudio pretende analizar y modelar el impacto que puede tener el cambio climático sobre las características de las tierras. Para ello se desarrolla un análisis geoespacial de la vulnerabilidad de las mismas, por medio de la implementación y adaptación de un modelo de vulnerabilidad propuesto por D. López (2008). Para determinar el impacto del cambio climático en la tierras agrícolas del país, se utilizaron resultados cartográficos del modelo (Plan Nacional de México, 2003). En esta adaptación del modelo de vulnerabilidad de las tierras antes mencionado se consideran como variables climatologías los escenarios hipotéticos planteados en el modelo hidroclimatológico.

En el ejercicio llevado a cabo para la estimación económica de las interrelaciones del cambio climático con la agricultura y la degradación de las tierras, se toman en cuenta tres aspectos básicos:

- a) Impactos del cambio climático sobre la productividad y los activos productivos, principalmente la condición de las tierras.
- b) Impactos extraparcelarios de la agricultura causados por el cambio climático.
- c) La agricultura como fuente de gases de efecto invernadero.

A partir de las evidencias disponibles, se asume que las principales medidas de mitigación y adaptación al cambio climático atañen al cambio de prácticas en el manejo productivo de las tierras, por lo que cobra importancia el papel de las políticas públicas y la acción del Estado en la inducción de dichas prácticas sustentables; de lo anterior se consideró importante realizar un análisis sumario de las posibilidades y necesidades de reformas y mejora administrativa gubernamental, con un énfasis en el mejoramiento de la calidad del gasto, considerando a los programas gubernamentales disponibles para lograr efectos significativos en la transformación de las prácticas productivas.

Dada la complejidad del tema, en un contexto extremadamente restrictivo de recursos humanos, de equipo y tiempo, el resultado del presente estudio no es, de ninguna manera, concluyente ni cuenta con un rigor que permita que sus conclusiones puedan ser utilizadas de manera amplia; sin embargo, permiten establecer un orden de magnitud inicial sobre las implicaciones económicas de la acción u omisión en la aplicación de las medidas e inversiones necesarias para enfrentar el problema del cambio climático a la vez que aprovechar las posibilidades del sector para contribuir a la reducción de emisiones y ofrecer a los productores opciones para sortear esos desafíos con mejores probabilidades de éxito.

La estimación de costos asociados al impacto del cambio climático en la agricultura se basó en dos escenarios de emisiones a largo plazo identificados por el IPCC: A2 y B2. Las características más distintivas de A2 son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales; una población mundial en continuo crecimiento; un crecimiento económico alto; cambio tecnológico lento; y una cantidad de emisiones medio alta (IPCC, 2000). Respecto del escenario B2, éste se caracteriza por un crecimiento poblacional menor al de A2, con un crecimiento económico medio, y un cambio tecnológico lento, pero diverso. Este escenario está orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social; además, se centra principalmente en los niveles local y regional. Las emisiones de B2 corresponden a la categoría medio baja. Las estimaciones fueron realizadas para el 2030 considerando las condiciones previstas en los escenarios climáticos seleccionados (A2 y B2).

De esta forma, el estudio se centra en el análisis de la vulnerabilidad de las tierras y sus características, y en la estimación de costos asociados al impacto del cambio climático en la agricultura. El presente informe se divide en 12 capítulos que muestran la metodología y los resultados finales del estudio. Un primer capítulo resume la revisión bibliográfica de la vulnerabilidad y el cambio climático. Un segundo capítulo describe la metodología empleada. Los siguientes cuatro capítulos presentan y analizan los resultados del estudio, con los datos geoespaciales y estadísticas que representan, tanto a escala nacional como estatal, el grado de vulnerabilidad de las tierras ante el cambio climático; sobre la base de las diferencias en las características de la tierra, en el contexto de su aptitud para la producción agrícola. En el capítulo siete se consideran los impactos del cambio climático sobre los rendimientos y los activos productivos, estimados en términos de valor de la producción y de los activos; en el capítulo ocho se representan los impactos de la agricultura sobre el calentamiento global, en términos de emisiones equivalentes de CO₂. El capítulo 9 presenta las oportunidades de la agricultura como medio de secuestro de CO₂, valoradas en términos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). En el capítulo 10 y 11 se consideran los costos y beneficios de: a) los mecanismos de adaptación y b) de las reformas requeridas para la instrumentación. El capítulo doce presenta el cálculo económico preliminar de la interacción del cambio climático y la agricultura en México. En el último capítulo se presentan las conclusiones generales.

2 VULNERABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

2 VULNERABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO

Los cambios inducidos por la actividad antrópica en la composición de la atmósfera, en el clima y en el uso de la tierra, explican en su mayor parte el cambio ambiental global. Así, uno de los componentes fundamentales del cambio ambiental global es la dimensión antrópica, que incluye la alteración de los sistemas biofísicos y el efecto consiguiente sobre el bienestar humano. La vulnerabilidad, entendida como el grado o la intensidad del daño que puede experimentar un sistema o unidad (tal como un grupo humano o un lugar) debido a su exposición a perturbaciones o estrés, es un aspecto fundamental del cambio ambiental global (Parry, 1996, después de Palutikof J.P., 2007).

2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA VULNERABILIDAD

Kasperson (2002), junto con otros investigadores, han creado un marco conceptual para evaluar la vulnerabilidad que afecta al megasistema hombre-ambiente, conformado por dos subsistemas, de por sí complejos: el sistema sociocultural y el sistema ambiental. Es de esperar por lo tanto, que dicha complejidad se manifestará igualmente en las múltiples interacciones tanto a nivel de los subsistemas como dentro del megasistema. El modelo reconoce dos partes básicas del problema y de la evaluación: la tensión-perturbación y el binomio sistema hombre-ambiente. De los dos emerge la vulnerabilidad a partir de los atributos del sistema, conformado por componentes paralelos a las categorías de exposición, sensibilidad (susceptibilidad) y resiliencia. De esta manera, la vulnerabilidad de la tierra, resulta de interacciones complejas entre factores físicos, biológicos, políticos, sociales, culturales y económicos.

Cuando se consideran sistemas muy complejos, como el descrito, el número de factores que intervienen en su comportamiento es tan grande que resulta imposible considerarlos todos. Cualquiera que sea el enfoque que se utilice en su estudio, tiene un margen de error. Como es imposible la predicción exacta, la incertidumbre es un componente ineludible del proceso. La complejidad es en sí misma una causa potencial del comportamiento particular de los ecosistemas. Por ello los impactos del cambio climático no se distribuirán uniformemente. Algunos individuos, sectores, sistemas y regiones serán menos afectados, o aun pueden beneficiarse, mientras que otros individuos, sectores o sistemas y regiones pueden sufrir pérdidas significativas.

La base de conocimiento para evaluar los elementos claves de la vulnerabilidad y de los riesgos del cambio climático está evolucionando rápidamente. Al mismo tiempo, hay lagunas significativas en nuestro conocimiento con relación a los impactos, el potencial y naturaleza de la adaptación y de la vulnerabilidad de los sistemas naturales y antrópicos (Kundzewicz, et al (2007)).

A pesar de la importancia reconocida de los múltiples determinantes de los cambios de los ecosistemas, raramente se incluyen todos en los modelos actuales del clima, usados para determinar impactos del cambio climático en los ecosistemas. La inclusión explícita de determinantes no-climáticos y de sus interacciones asociadas en el análisis de los impactos futuros del cambio climático podría conducir a resultados inesperados. Por tanto, muchos estudios del impacto del cambio climático que ignoran las tendencias de cambios en el uso del suelo —por ejemplo, la conversión de tierras forestales a usos agrícolas— pueden representar estimaciones inadecuadas de las respuestas proyectadas de los ecosistemas (Fischlin, 2007).

La evaluación de aspectos claves de la vulnerabilidad requiere considerar la respuesta de los sistemas biofísicos y socioeconómicos a los cambios en el tiempo de las condiciones climáticas y no climáticas. Entre los aspectos no climáticos, uno de los factores determinantes del cambio ambiental global es el cambio en el uso de la tierra.

Hay muchos factores de estrés ambientales que el recurso tierra y específicamente los suelos pueden experimentar. Sin embargo, uno o dos factores importantes de estrés inhabilitan una unidad de tierra para la mayoría de los usos agrícolas (Buol & Eswaran, 1994, después de Moncharoen, et al, 2001).

La vulnerabilidad actual al clima se correlaciona fuertemente con la variabilidad del clima, particularmente la variabilidad de la precipitación. Ésta es mayor en las regiones semiáridas y áridas, donde la precipitación y la escorrentía se concentran durante algunos meses, y donde se presentan altas variaciones interanuales (Lenton, 2004).

2.2 EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS

En México, las variadas condiciones de clima, geología, suelo y relieve generan una gran heterogeneidad ecológica, la cual, sumada a las diferentes condiciones culturales, sociales y económicas hacen de las tierras mexicanas y sus condiciones un mosaico extremadamente complejo. Debido a esto la respuesta de este mosaico, con características variadas, al impacto de los diferentes procesos, en caso particular al cambio climático, también será compleja y diferencial.

Hasta el momento, se han llevado a cabo diferentes estudios sobre el tema de impacto del cambio climático sobre la vulnerabilidad de las tierras del país. Para el análisis del efecto del cambio climático se han aplicado dos modelos *Canadian Climate Center Model (CCCM)* y *Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL-R30)*, los cuales concluyen que el territorio mexicano está sujeto a cambios variables de acuerdo con la región geográfica y que estos cambios son contrastantes. De igual manera, estos modelos indican que los cambios no solo varían según la región geográfica sino que serán diferenciales conforme a los sectores de la economía mexicana. Existen áreas geográficas y sectores que deben tolerar condiciones más secas y cálidas que las actuales, en caso de que disminuya la precipitación (modelo CCCM) o, por el contrario, estar expuestas a condiciones de mayor humedad con igual o mayor temperatura como lo propone el modelo GFDL-R30 (Gay, 2000).

Por otra parte, estudios sobre la vulnerabilidad actual de las tierras debido al déficit de precipitación y de la disponibilidad del agua, afirman que en México la vulnerabilidad es extremadamente severa en 3.6% del territorio, muy severa en 33%, severa en 24% y no severa en 6.3%. Los sectores más vulnerables al cambio climático son el agua, la agricultura y los bosques.

La tierra de uso agrícola en México abarca aproximadamente 30 millones de hectáreas, de las cuales cerca del 80% es de temporal; esta condición hace que la agricultura mexicana sea muy vulnerable a las fluctuaciones climáticas. Según este estudio, los cultivos bajo irrigación no se ven en principio tan afectados como los de temporal, a menos que la disponibilidad de agua en presas se reduzca substancialmente. Sin embargo, tanto los cultivos de temporal como los de irrigación están expuestos de la misma manera a los cambios en la temperatura y precipitación (Gay, 2000).

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC, 2001^a) la capacidad de los sectores económicos para ajustarse a cambios climáticos depende en gran medida de los factores políticos, económicos, institucionales y biofísicos específicos que dan estructura a las actividades económicas. En el caso del sector primario, la combinación de los efectos del cambio climático y otros detonantes del cambio global, como es el cambio de uso de la tierra, reducirán en el futuro la resiliencia de muchos de los ecosistemas del país, lo cual incrementará la vulnerabilidad de la población al cambio climático. Mucha de la población marginada y pobre, tales como agricultores, pescadores y otros dependen directamente, para su supervivencia, de los servicios de los ecosistemas, y son por lo tanto vulnerables a cambios en las condiciones ambientales. Si la vulnerabilidad de los ecosistemas al impacto del cambio climático no se reduce, la pobreza se podrá incrementar, por lo tanto, se reduce la probabilidad de lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio (Fischlin et al 2007).

La investigación sobre el cambio ambiental global ha mejorado significativamente nuestro entendimiento de la estructura y funcionamiento de la biosfera y el sistema antrópico. La emergencia de la ciencia de la sustentabilidad se ha enfocado hacia un entendimiento de la condición antrópico-ambiental con un doble objetivo, satisfacer las necesidades de la sociedad y al mismo tiempo conservar la vida que soporta el planeta (Turner, 2008).

La ciencia de la sustentabilidad busca entender el complejo sistema socio-ecológico de tal manera que sea útil a diferentes actores. Una preocupación de muchas de estas comunidades es mejorar el entendimiento de la vulnerabilidad de las personas, lugares y ecosistemas frente al cambio climático (Turner, et al, 2003).

La vulnerabilidad del sistema antrópico-ambiental es uno de los elementos centrales de este diálogo e investigación sobre sustentabilidad. Enfoca su atención en aspectos tales como: ¿quién y qué es vulnerable a los múltiples cambios antrópicos y ambientales?, ¿dónde radica la vulnerabilidad?, ¿cómo estos cambios y consecuencias se atenúan o amplifican por las diferentes condiciones antrópicas y ambientales?, ¿qué puede hacerse para reducir la vulnerabilidad al cambio? Las respuestas a estas preguntas requieren un marco conceptual que considere de una manera integral la vulnerabilidad del sistema antrópico-ambiental con sus diversas y complejas interacciones.

Uno de los elementos que deben incluirse en cualquier análisis de vulnerabilidad, particularmente si se enfoca hacia la sustentabilidad, es la sensibilidad (susceptibilidad) del sistema. Sus condiciones antrópico-ambientales determinan su susceptibilidad a un conjunto de estresores. Estas condiciones incluyen tanto el capital social como biofísico que incide en los mecanismos de adaptación existentes, los cuales determinarán el efecto de los impactos de los estresores así como aquellos mecanismos de ajuste del sistema (Turner, 2003). Turner plantea que, aunque seguramente no es completo este esquema para el análisis de la vulnerabilidad, la literatura existente y algunos casos de estudio sugieren las siguientes lecciones, las cuales se aplican directamente a la evaluación de la vulnerabilidad para la toma de decisiones: a) las vulnerabilidades antrópica y ambiental están conectadas y deben ser tratadas como tal; b) no se debe asumir que todas las partes del sistema tienen la misma vulnerabilidad, pues subsistemas y componentes, especialmente unidades sociales, pueden experimentar exposiciones diferentes, registrar diferentes impactos y tener diferentes opciones de respuesta.

Este esquema se propone con base en la noción de que la vulnerabilidad reside en la condición y funcionamiento de un sistema dual y complejo (socio-ecológico) incluyendo la capacidad de respuesta y la retroalimentación de dicho sistema a las amenazas a que está expuesto. (Turner, et al, 2003). Según Turner, una evaluación completa de la vulnerabilidad no es tarea fácil por la complejidad de los factores, procesos y retroalimentación que funcionan dentro del sistema socio-ecológico. Por razones prácticas, tal esquema debe ser modificado (simplificado) para satisfacer situaciones específicas de una aplicación dada.

A la misma conclusión habían llegado dos años antes cuando se planteaba que la vulnerabilidad está en la raíz de la condición humana, está embebida en la forma como funciona el mundo, incluyendo su economía política (Kasperson & Kasperson, 2001). Según estos autores, en relación con los problemas que surgen en la caracterización y mapeo de la vulnerabilidad, uno de los aspectos que se deben abordar es cómo conectar los fenómenos espaciales con las estructuras y procesos sociales. Se plantea la necesidad de tratar la unidad de exposición como un sistema dual socioecológico, e identificar las interacciones

El calentamiento global puede empeorar los cambios sociales y económicos, particularmente para aquellas sociedades dependientes de recursos sensibles al cambio climático. El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ha evaluado la capacidad del mundo para afrontar y adaptarse a los impactos del cambio climático. En las evaluaciones se ha encontrado que los impactos no se distribuirán por igual, sino que afectarán desproporcionadamente a los más pobres y menos capaces de afrontar los impactos del cambio climático (Medalye & Douglas, 2007). Según Medalye y Douglas el impacto del cambio climático sobre el complejo sistema antrópico-ambiental se manifiesta a través de sus efectos sobre el capital natural, el capital social y el capital humano. El capital natural se define como el stock de los recursos naturales a partir de los cuales se deriva el flujo de los recursos útiles para la supervivencia. Los recursos naturales tienen un gran significado para la población pobre, la cual tiende a ser más dependiente del ambiente y del uso directo de dichos recursos. El cambio climático amenaza la funcionalidad e integralidad de los ecosistemas, lo cual a su vez determina la supervivencia de aquellos que dependen más del ambiente. De igual forma, el cambio climático es una amenaza para el capital humano, el cual incluye, entre otras cosas, las habilidades, el conocimiento, el acceso a la educación, la condición de salud, que es esta última un elemento fundamental para supervivir.

3 ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS

3 ANÁLISIS GEOESPACIAL DE LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS

La tierra es un ambiente complejo que resulta de la interacción de factores, tales como el clima, el relieve, los suelos, la hidrología y la vegetación, así como los resultados de la actividad humana del pasado y presente, por ejemplo, deforestación, salinización del suelo.

De la definición anterior se desprende que las características de las tierras varían en función de los factores que intervienen en su composición, lo cual da como resultado un mosaico complejo. Éste responde de una manera diferencial a factores de estrés, como los que se pueden originar con el cambio climático.

Por otra parte, es importante considerar que dependiendo de sus características las tierras tienen aptitudes particulares para determinados usos, es decir su vulnerabilidad (en términos de su sensibilidad o susceptibilidad) a la degradación ambiental depende, en última instancia, del uso de ellas.

Hay muchos factores de estrés ambientales que el recurso tierra y específicamente los suelos pueden experimentar. Sin embargo, uno o dos factores importantes inhabilitan una unidad de tierra para la mayoría de los usos agrícolas (Buol & Eswaran, 1994, después de Moncharoen, et al, 2001).

Con base en lo anterior, se aplicó y adaptó un modelo de análisis de la vulnerabilidad de las tierras con el propósito de evaluar el grado de vulnerabilidad de las tierras al cambio climático, con base en las diferentes características de la tierra, particularmente su aptitud para la producción agrícola. Como características de las tierras, se consideran, en este caso, *la disponibilidad* de agua, determinada por el promedio de precipitación anual, *la pendiente*, como factor determinante de procesos de erosión hídrica y estrés hídrico, y características de los suelos, con énfasis en su respuesta diferencial a los procesos de degradación hídrica, eólica y química, así como su vulnerabilidad al estrés hídrico. Estos factores determinantes de la vulnerabilidad de las tierras, el clima, el relieve y los suelos se combinaron en un modelo de decisión, y el resultado de su implementación es la cartografía de la distribución de las tierras dedicadas a la producción agrícola en México, de acuerdo al grado de vulnerabilidad.

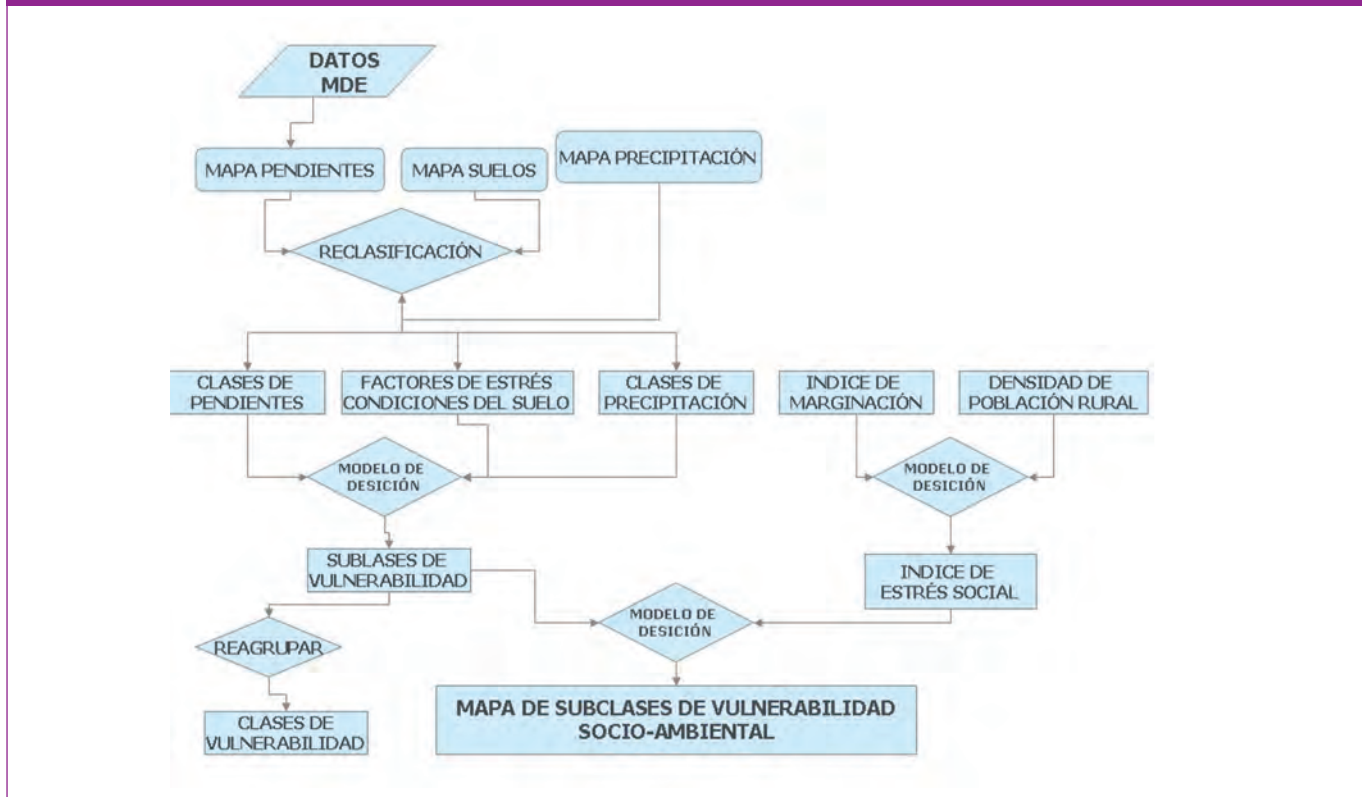
De acuerdo con lo planteado y con el fin de llevar a cabo un análisis geoespacial para estudiar la vulnerabilidad de las tierras de uso agrícola, se tomó como base el mapa de vulnerabilidad ambiental elaborado por D. López (2008), el cual se basa en su modelo de vulnerabilidad de las tierras. A continuación se describe brevemente el modelo con el propósito de explicar la aproximación metodológica que se adoptó para definir la vulnerabilidad ambiental de las tierras agrícolas.

3.1 MODELO DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL

El modelo de vulnerabilidad ambiental (López, 2008) analiza espacialmente las condiciones de vulnerabilidad, con base en la interacción de las variables de precipitación, relieve (pendiente) y condiciones del suelo. Este modelo se aplicó a escala nacional con énfasis en el uso agrícola de las tierras. Uno de los aspectos a resaltar es la inclusión de la variable relieve (pendiente) como factor importante que determina la susceptibilidad de las tierras a posibles impactos climáticos, por ejemplo el estrés hídrico. Además, el modelo considera las condiciones de suelos como un factor de estrés, así como, finalmente, las variables de densidad de población y la marginación como determinantes de la vulnerabilidad.

El modelo de vulnerabilidad ambiental se construye a partir de tres insumos cartográficos, a saber: el mapa de suelos de México, escala 1:250 000, un mapa de precipitación y un mapa de pendientes. Este último fue elaborado a partir de datos del programa de Radar Topográfico. El mapa de suelos se reclasificó tomando en cuenta los siguientes factores de estrés: profundidad (suelos líticos y fases líticas), condición de drenaje, presencia de sales, presencia de suelos orgánicos, capacidad de retención de agua y nutrientes, y suelos de texturas muy finas (vertisoles).

FIGURA 1 MODELO DE VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LAS TIERRAS 2008



Fuente: López, D. 2008

El mapa de precipitación se reclasificó en cuatro clases: a) menor a 400 mm (estrés de humedad muy severo); b) 400–800 mm (estrés de humedad severo); c) 800–1200 mm (estrés de humedad moderado) y d) mayor de 1200 mm (estrés de humedad ligero). La pendiente se reclasificó en siete clases: a) 0–3%, b) 4–9, c) 10–15%, d) 16–30%, e) 30–50%, f) 50–70% y g) mayor a 70%. Las tres variables reclasificadas (los suelos, la precipitación y la pendiente) se combinaron mediante un modelo de decisión, de acuerdo a las reglas de decisión descritas en la tabla 1, lo que da como resultado las nueve subclases de vulnerabilidad, siendo la subclase 1 la menos vulnerable, porque tiene pocos factores de estrés y en grado muy ligero, y la subclase 9 que tiene factores de estrés muy severos, y es la más vulnerable.

TABLA 1 SUBLASES DE VULNERABILIDAD Y FACTORES DE ESTRÉS

| Subclase de vulnerabilidad | Factores de estrés |
|----------------------------|---|
| 1 | Sin limitantes o pocos limitantes, pendientes < 3%, estrés de humedad ligero |
| 2 | Pendiente 3 - 10% , estrés de humedad moderado, suelos desaturados |
| 3 | Pendiente 10 - 15% , estrés de humedad moderado, Textura muy finas, expansión-contracción, suelos desaturados |
| 4 | Pendiente 16 - 30% , estrés de humedad moderado, Textura muy finas, expansión-contracción, suelos desaturados Fases líticas |
| 5 | Estrés de humedad severo, fases líticas, drenaje pobre |
| 6 | Estrés de humedad severo, Pendiente 16 - 30%, baja capacidad de retención de humedad y nutrientes |
| 7 | Pendiente 31 - 50%, estrés de humedad muy severo, baja capacidad retención de nutrientes, suelos líticos |
| 8 | Pendiente 51 - 70% , salinidad moderada, suelos orgánicos |
| 9 | Pendiente >- 70%, salinidad, suelos líticos, suelos líticos, estrés de humedad severo a muy severo |

Fuente: López, D. 2008

En la construcción del modelo de decisión propuesto, se tomaron en cuenta los siguientes supuestos:

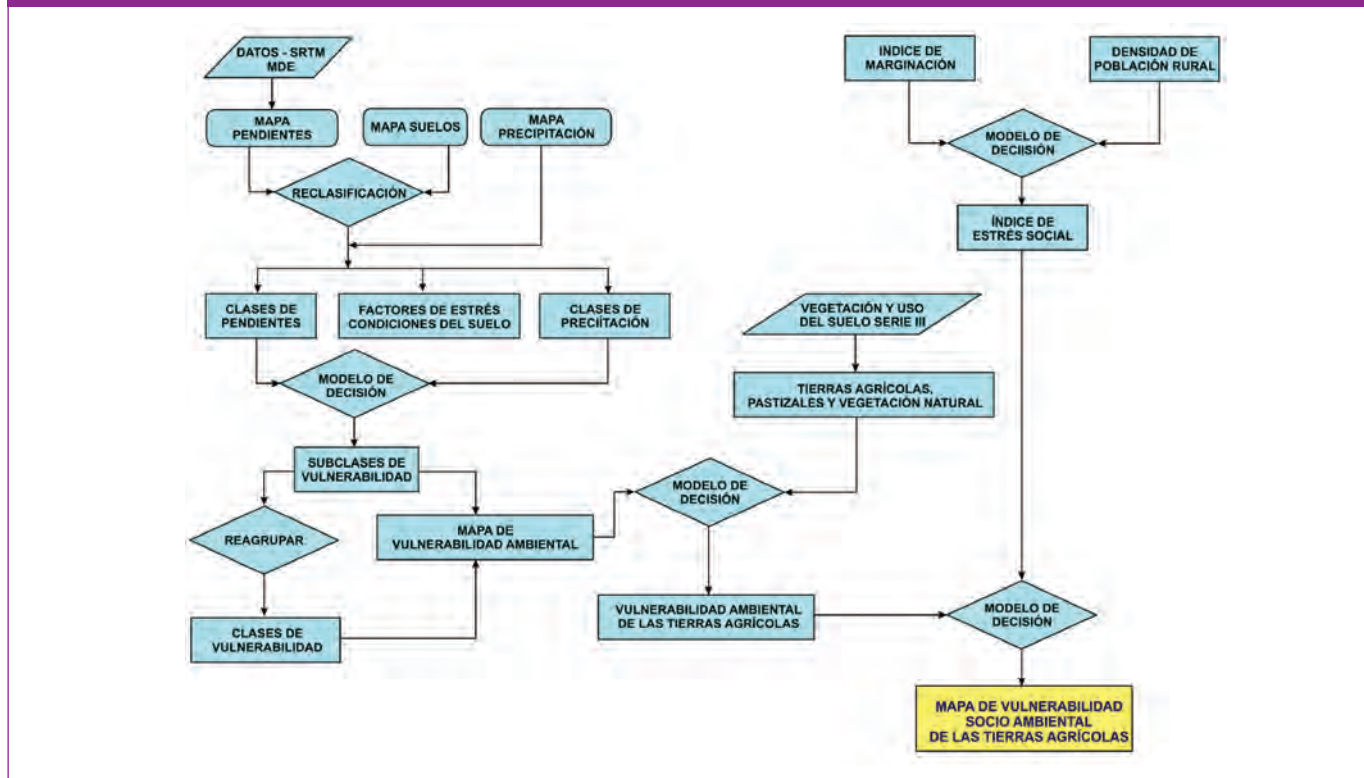
- Se consideraron como factores de estrés los siguientes: pendiente, profundidad del suelo, estrés por humedad, capacidad de retención de agua y nutrientes, condición de drenaje, presencia de suelos orgánicos, presencia de suelos calcáreos, presencia de suelos salinos/alcalinos.
- A medida que se incrementa la pendiente por encima del 9% las actividades agrícolas hacen que las tierras sean más propensas a la erosión hídrica.
- El estrés por humedad está determinado principalmente por los niveles de precipitación, pero también por otros factores tales como la pendiente y la profundidad del suelo.
- La presencia de suelos superficiales hace que las tierras sean más vulnerables a la erosión hídrica.
- Los suelos orgánicos son muy vulnerables a procesos de degradación física.
- Los suelos de las regiones áridas y muy áridas son muy vulnerables a procesos de erosión eólica e hídrica.

La combinación de dos o más factores de estrés aumenta el grado de vulnerabilidad. Así, por ejemplo, un suelo superficial (lítico o con fase lítica) en una pendiente mayor del 16% es más vulnerable que otros suelos profundos en la misma pendiente.

3.2 ADAPTACIÓN DEL MODELO PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD AMBIENTAL DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS

La adaptación de este modelo para definir la vulnerabilidad de las tierras se describe en la figura 2. Para esta adaptación se consideró la variable geoespacial del uso de las tierras como una variable condicionante de la vulnerabilidad. Este modelo presenta dos insumos como bases geoespaciales: el mapa de vulnerabilidad ambiental, resultado del modelo de López (2008) y el mapa de las áreas agrícolas, de pastizales y vegetación natural (bosques, selvas y matorrales), resultado de la reclasificación del mapa de vegetación y uso del suelo, serie III del INEGI.

FIGURA 2 ADAPTACIÓN DEL MODELO DE VULNERABILIDAD CON ÉNFASIS EN LAS TIERRAS AGRÍCOLAS



Fuente: López, D. 2008

El mapa de vulnerabilidad de las tierras se combinó con el de vegetación y uso del suelo (áreas agrícolas, pastizales, vegetación natural), generando así el mapa de vulnerabilidad de las tierras agrícolas. El análisis espacial se llevó a cabo en formato raster, sobre la base de un tamaño de pixel de 90 metros.

De acuerdo con el número e intensidad de los factores de estrés presentes, las nueve subclases se han agrupado en cinco clases de vulnerabilidad, tal como se describe en la tabla 2; corresponde la clase I a las tierras menos vulnerables y la clase V a las tierras con mayor vulnerabilidad.

TABLA 2 CLASES DE VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS

| Clases de Vulnerabilidad | Subclases | Características |
|-------------------------------|-----------|---|
| I Sin Vulnerabilidad a Ligera | 1,2 | Esta clase incluye las tierras agrícolas con pocos limitantes para la producción de granos; su vulnerabilidad a la degradación ambiental es nula a ligera. El principal factor de estrés es la pendiente. |
| II Ligera | 3 | La conforman las tierras agrícolas con vulnerabilidad ligera a la degradación ambiental. Los factores de estrés son la pendiente (10–15%) y la presencia de suelos de texturas muy finas, con estrés de humedad moderado. |
| III Moderada | 4,5,6 | La conforman las tierras agrícolas con vulnerabilidad moderada a la degradación ambiental. Esta vulnerabilidad está determinada por la presencia de uno de los siguientes limitantes o una combinación de ellos: Pendientes 16–30%, o pendientes menores al 15% pero con suelos superficiales, con estrés de humedad moderado a severo, drenaje impedido, baja retención de humedad y nutrientes. |
| IV Severa | 7 | La conforman las tierras agrícolas con vulnerabilidad severa a la degradación ambiental. Esta vulnerabilidad está determinada por la presencia de uno de los siguientes limitantes o una combinación de ellos: Pendiente 31–50%, o pendientes menores con fases líticas, estrés de humedad severo a muy severo. |
| V - Muy Severa | 8, 9 | La conforman las tierras agrícolas con vulnerabilidad muy severa a la degradación ambiental. Está determinada por la presencia de uno de los siguientes limitantes o una combinación de ellos: presencia de suelos salinos, suelos líticos, pendientes mayores del 50%, presencia de suelos orgánicos, estrés de humedad severo a muy severo. |

Fuente: López, D. 2008

3.3 ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL

Las condiciones sociales son un factor de estrés que pueden determinar la calidad y cantidad de recursos naturales que se requieren para un desarrollo sustentable. En este estudio se utilizó el índice de estrés social propuesto por López (2008). Dicho índice se construyó sobre el supuesto que tanto la marginación como la densidad de la población son factores de estrés determinantes de la degradación de las tierras. Se utilizó el índice de marginación propuesto por la CONAPO, con cinco categorías, que se describen en la tabla 3. La densidad de población se calculó con base en los datos de población del año 2005; se consideró sólo la población rural (localidades menores de 2,500 habitantes).

Se construyó un mapa de densidad de población con cuatro categorías que se describe en la tabla 4. Las dos variables (marginación y densidad de población) se combinaron en un modelo de decisión, generando así el índice de estrés social, con las clases descritas en la tabla 5.

TABLA 3 ÍNDICE DE MARGINACIÓN

| Clases de Marginación | Grado de Marginación |
|-----------------------|----------------------|
| 1 | Muy bajo |
| 2 | Bajo |
| 3 | Medio |
| 4 | Alto |
| 5 | Muy alto |

Fuente: López, D. 2008

TABLA 4 CLASES DE DENSIDAD DE POBLACIÓN

| Clases de población | Rangos de densidad de población (habitantes /km ²) |
|---------------------|--|
| 1 – Baja | < 10 |
| 2 – Media | 10 – 50 |
| 3 – Alta | 50 – 100 |
| 4 – Muy alta | > 100 |

Fuente: López, D. 2008

TABLA 5 ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL

| Clases de estrés social | Rangos de densidad de población (habitantes /km ²) |
|-------------------------|--|
| 1 | Muy alto |
| 2 | Alto |
| 3 | Medio |
| 4 | Bajo |

Fuente: López, D. 2008

El mapa resultante de la implementación de índice de estrés social se combinó con el mapa de vulnerabilidad de las tierras agrícolas. El resultado es un mapa que muestra dónde se localizan las tierras de acuerdo a su grado de vulnerabilidad y de acuerdo con el índice de estrés social, es decir para cada grado de vulnerabilidad ambiental qué índice de estrés social está asociado.

4 VULNERABILIDAD AMBIENTAL ACTUAL DE LAS TIERRAS CON ÉNFASIS EN EL USO AGRÍCOLA

4 VULNERABILIDAD AMBIENTAL ACTUAL DE LAS TIERRAS CON ÉNFASIS EN EL USO AGRÍCOLA

A continuación se presentan los resultados del análisis geoespacial para determinar la vulnerabilidad de las tierras agrícolas. Los resultados de este análisis se presentan a escala nacional y permiten conocer la situación de daños potenciales en los diferentes tipos de tierras del país, en términos de su susceptibilidad a la degradación ambiental.

4.1 A ESCALA NACIONAL

El modelo de vulnerabilidad permite conocer el grado de vulnerabilidad ambiental potencial de las tierras de México, de acuerdo con su uso (tabla 6, figuras 3, 4 y 5). En esta tabla se presenta el número de hectáreas y el porcentaje con respecto de la extensión total, separada en tres tipos de uso: las tierras dedicadas a la agricultura, a pastizales y aquellas con vegetación natural o secundaria.

El análisis de los resultados muestra que aproximadamente sólo un 9.3% (18 millones de hectáreas) del total de las tierras del país tienen una vulnerabilidad muy ligera a ligera, es decir que se clasifican en subclases 1 a la subclase 3. Éstas son las más aptas para la producción agrícola, con suelos bastante productivos, con pocas restricciones en el manejo. El limitante principal es la pendiente, y, en algunos casos, la presencia de suelos expansivos (vertisoles).

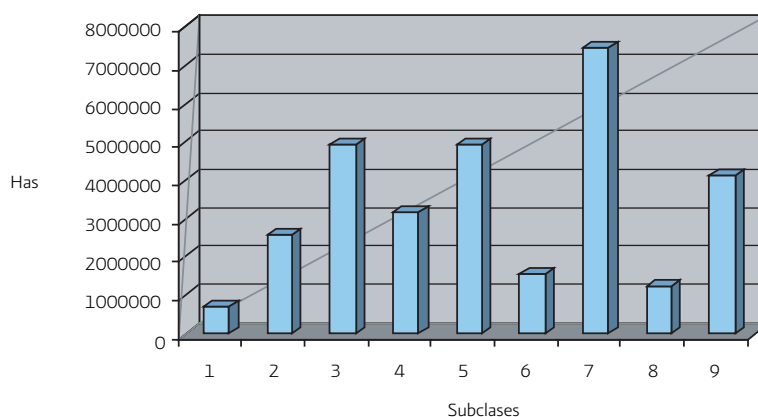
Las tierras con vulnerabilidad moderada incluyen las clases 4, 5 y 6 que ocupan aproximadamente el 25.7% del total del área (46.25 millones de hectáreas) de tierras en México. Son varios los factores que las hacen vulnerables: son los principales la poca profundidad de los suelos y el déficit estacional de humedad. Estos dos limitantes abarcan a más del 50% de las tierras con vulnerabilidad moderada. Otros factores de vulnerabilidad son la pendiente, la baja reserva de nutrientes y la condición de drenaje.

TABLA 6 CLASES Y SUBCLASES DE GRADO DE VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS EN EL PAÍS

| Clases | Subclase | Tierras Agrícolas Área (Has) | % | Tierras Pastizales Área (Has) | % | Tierras Vegetación Natural Área (Has) | % |
|--------|----------|------------------------------|------|-------------------------------|------|---------------------------------------|-------|
| I | 1 | 698 948.981 | 0.36 | 1 255 519.47 | 0.64 | 707 774.094 | 0.36 |
| | 2 | 2 573 991.41 | 1.33 | 1 152 559.81 | 0.59 | 2 875 810.28 | 1.48 |
| II | 3 | 4 927 354.98 | 2.54 | 1 919 167.99 | 0.99 | 2 037 424.51 | 1.05 |
| III | 4 | 3 171 745.75 | 1.64 | 2 391 017.39 | 1.23 | 15 735 177.2 | 8.14 |
| | 5 | 4 920 294.89 | 2.54 | 4 954 418.66 | 2.56 | 9 536 417.53 | 4.93 |
| | 6 | 1 565 575.12 | 0.8 | 2 278 644.28 | 1.17 | 5 285 654.58 | 2.73 |
| IV | 7 | 7 474 871.05 | 3.86 | 7 783 161.67 | 4.02 | 47 672 085.9 | 24.66 |
| V | 8 | 1 233 750.85 | 0.63 | 866 037.794 | 0.44 | 9 663 499.17 | 4.99 |
| | 9 | 4 131 918.09 | 2.13 | 3 739 494.72 | 1.93 | 4 081 5561.1 | 21.11 |

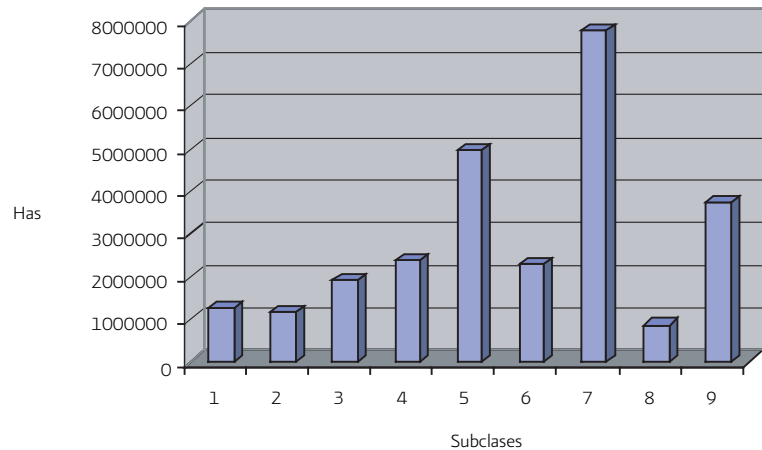
Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

FIGURA 3 SUBCLASES DE VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS



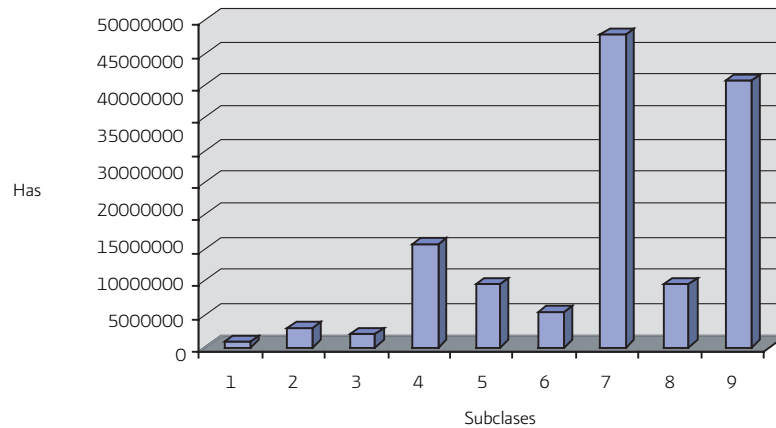
Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

FIGURA 4 SUBCLASES DE VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS DE PASTIZALES



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

FIGURA 5 SUBCLASES DE VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS CON VEGETACIÓN NATURAL Y SECUNDARIA



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

La subclase 7 ocupan cerca del 33% (62.9 millones de hectáreas) del área incluyen zonas con vulnerabilidad severa. Varias características las hacen vulnerables. Son las más importantes la poca profundidad de los suelos, el déficit estacional de humedad, baja capacidad de retención de nutrientes. Estas tierras se distribuyen en todo el país, principalmente en las áreas de montaña.

Los resultados muestran que el 31.2% (60.4 millones de hectáreas) del país incluyen tierras muy vulnerables. Si éstas son dedicadas a la agricultura, corresponden a las subclases 8 y 9. Las principales características que las hacen vulnerables son: tierras con pendientes pronunciadas (pendiente > 50%), salinidad y alcalinidad, presencia de suelos orgánicos, fases líticas y litosoles y déficit estacional de humedad muy severo. Corresponden a ecosistemas frágiles y muy frágiles que no deben ser utilizados para la producción agrícola, ya que ello desencadenaría rápidamente procesos de degradación, principalmente por erosión hídrica. La mayor parte de esta tierra se localiza en el norte del país, donde se combinan condiciones de aridez y pendientes empinadas; en la parte meridional y sur del país las tierras más vulnerables se asocian con suelos muy escarpados y superficiales.

A continuación se presentan los mapas resultados del modelo de vulnerabilidad. El mapa 1 presenta el grado de vulnerabilidad actual ambiental en las tierras dedicadas a la agricultura. El mapa 2 presenta el grado de vulnerabilidad de los pastizales y el mapa 3 presenta las tierras en vegetación secundaria y natural.

El mapa 1 presenta la vulnerabilidad actual ambiental de las tierras agrícolas. Notamos que sólo el 6.6% de éstas se encuentra entre las subclases 7, 8 y 9, las cuales reflejan una vulnerabilidad de severa a muy severa a la degradación ambiental. Sin embargo, es importante destacar que aproximadamente el 41% (12.6 millones de hectáreas) de las tierras del país dedicadas a la agricultura tiene un grado de vulnerabilidad severa a muy severa (tabla 7). Éstas corresponden a la agricultura de riego, y temporal en zonas áridas y muy áridas del país y el factor determinante es el estrés hídrico que es de severo a muy severo.

TABLA 7. VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS, EXTENSIÓN Y % DEL TOTAL DE LAS ZONAS CON AGRICULTURA

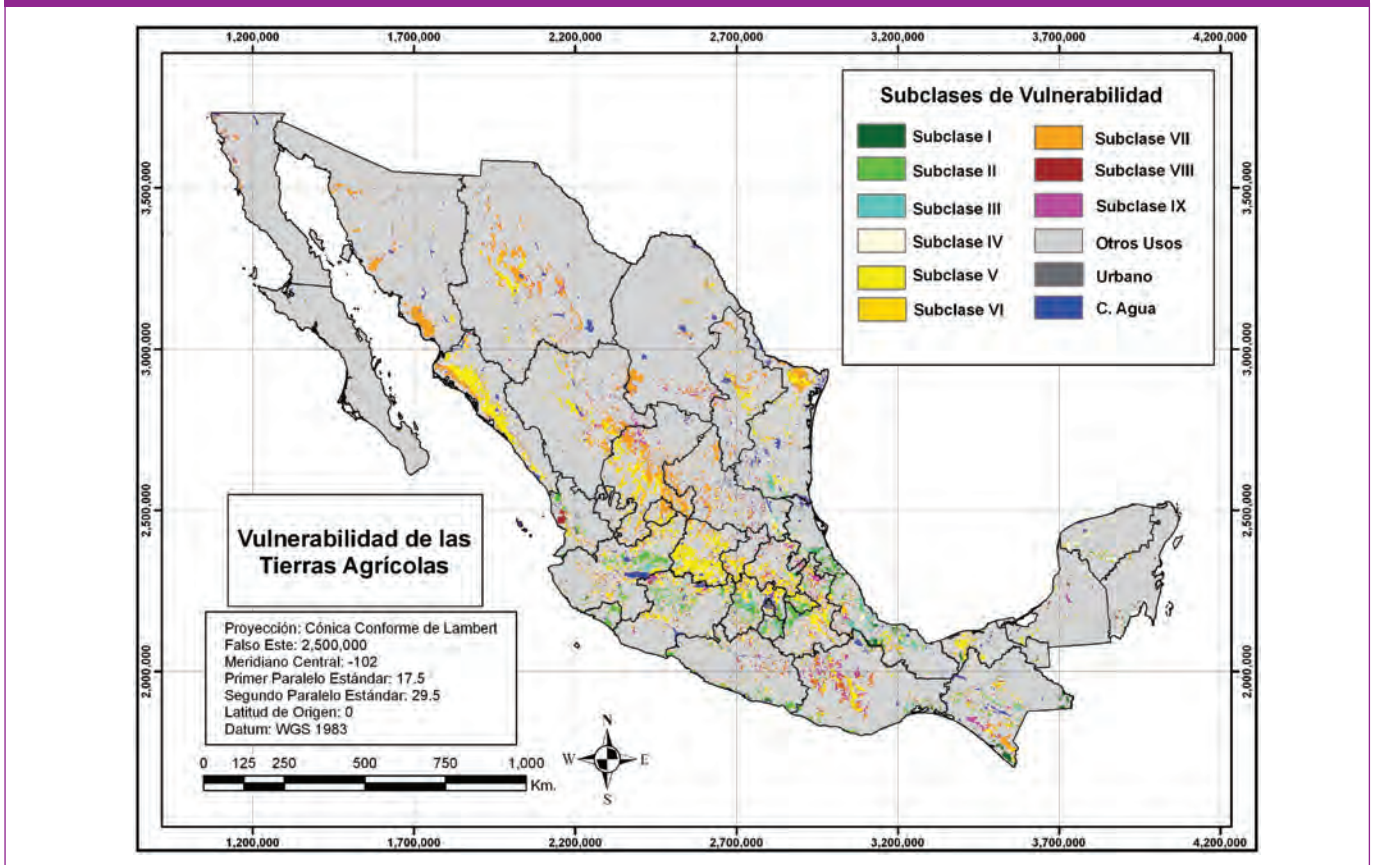
| Subclases | % del total de las tierras agrícolas |
|-----------|--------------------------------------|
| 1 | 2.3 |
| 2 | 8.4 |
| 3 | 16.0 |
| 4 | 10.3 |
| 5 | 16.02 |
| 6 | 5.1 |
| 7 | 24.3 |
| 8 | 4.0 |
| 9 | 13.4 |

| Clases de Vulnerabilidad | Extensión (Has) |
|--------------------------|-----------------|
| I Muy ligera | 3 272 940.39 |
| II Ligera | 4 927 354.98 |
| III Moderada | 9 657 615.76 |
| IV Severa | 7 474 871.05 |
| V Muy severa | 5 365 668.94 |

Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

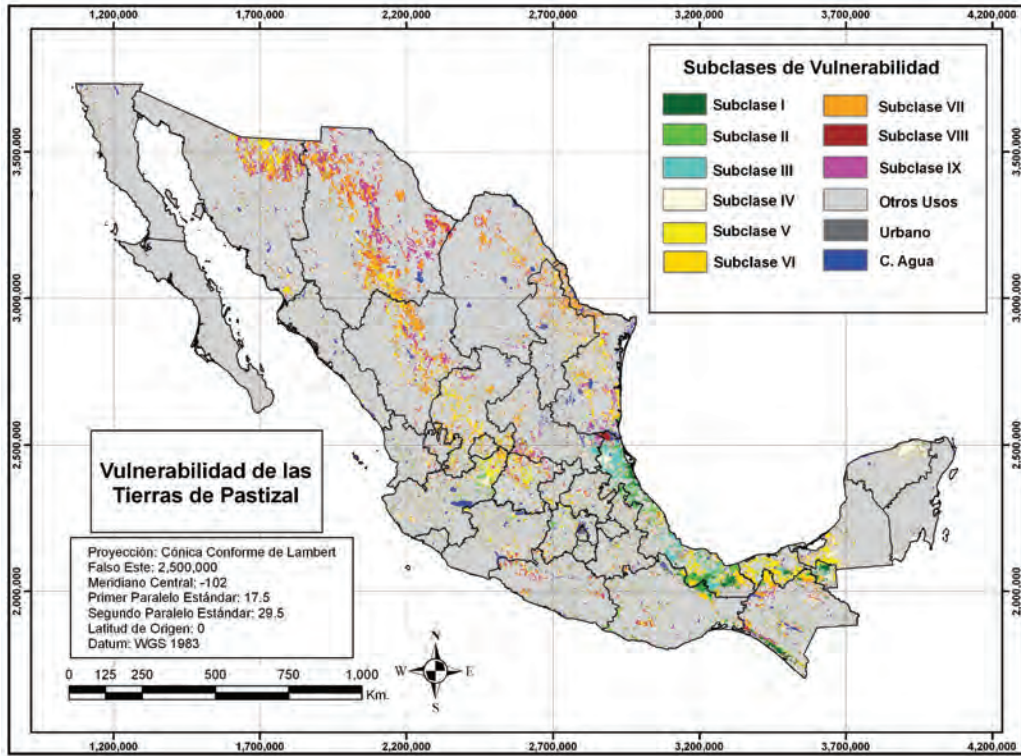
El 31.4% (9,6 millones de hectáreas.) de las tierras agrícolas tiene un grado de vulnerabilidad moderado. Esta vulnerabilidad está determinada por la presencia de uno de los siguientes limitantes o por la combinación de ellos: pendientes que van entre el 16- 30%, o pendientes del 15% con suelos superficiales, estrés de humedad moderado a severo, mal drenaje, baja retención de humedad y nutrientes. Un gran porcentaje de estas tierras se encuentra en zonas semiáridas del país.

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS



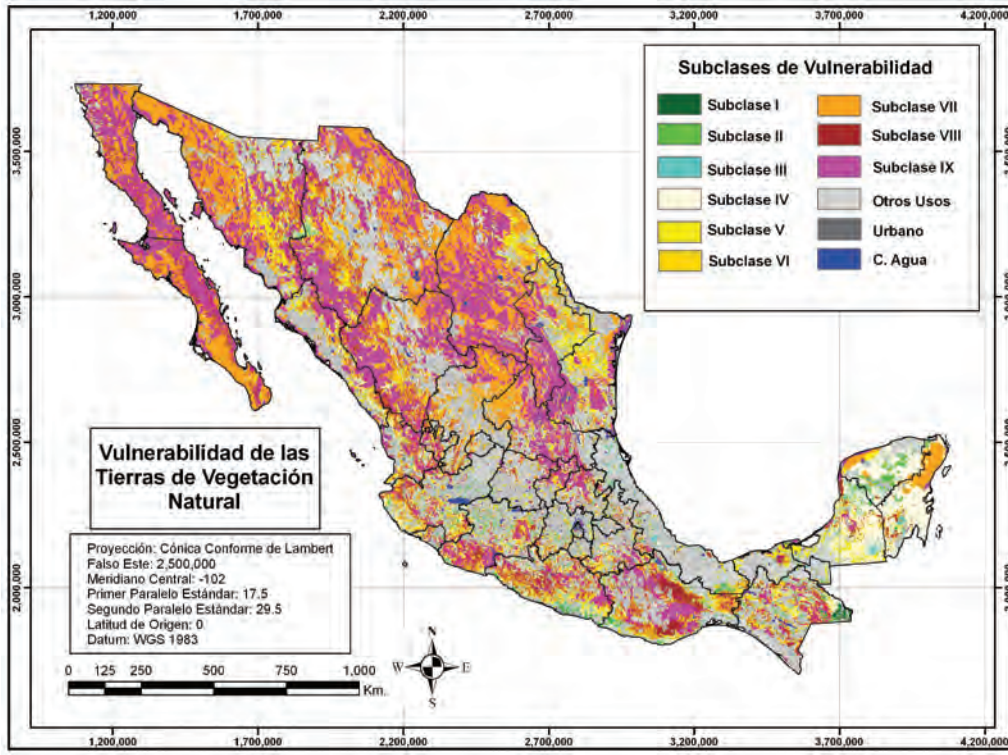
Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

VULNERABILIDAD DE PASTIZAL



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS DE VEGETACIÓN NATURAL



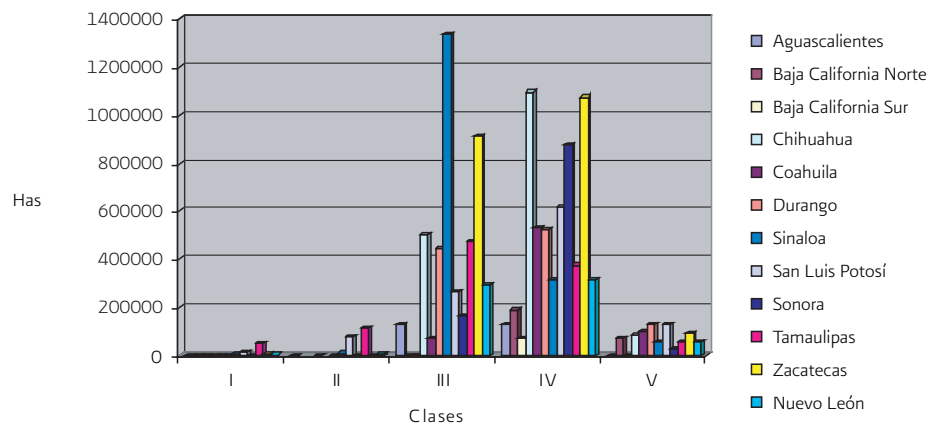
Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

4.2 A ESCALA ESTATAL

Para un análisis preliminar de la vulnerabilidad de las tierras en el ámbito estatal se agruparon los estados en tres regiones: Región Norte, Región Centro y Región Sureste (véase anexo electrónico).

Región Norte: la conforman los siguientes estados: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Sinaloa, San Luis Potosí, Sonora, Zacatecas y Tamaulipas. La figura 6. muestra la distribución de las tierras de acuerdo al grado de vulnerabilidad. Se puede apreciar que, en su mayoría, las tierras se agrupan en tres clases de vulnerabilidad: moderada, severa y muy severa, con una dominancia de las dos primeras, que corresponden a las clases III y IV y una proporción menor de tierras de la clase V, con vulnerabilidad muy severa. Con excepción de Tamaulipas y San Luis Potosí, en los estados de esta región no se encuentran tierras de las clases I y II.

FIGURA 6 CLASES DE VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS DE LA REGIÓN NORTE

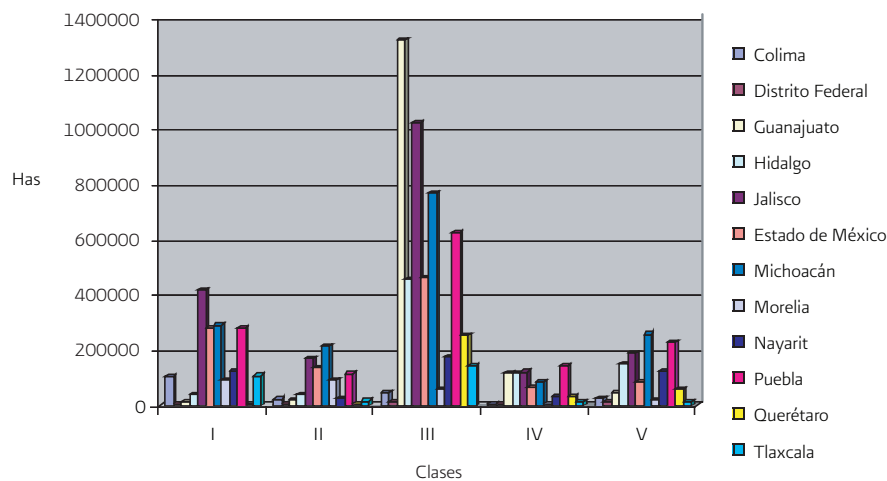


Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

Los factores determinantes de esta vulnerabilidad son, en primer lugar, el estrés de humedad que es muy severo, y menor grado la presencia de fases líticas, pendiente ligeras, y presencia de suelos calcáreos en las clases III y IV y procesos de salinización en la clase V.

Región Centro: conforman esta región los siguientes estados: Colima, Distrito federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Tlaxcala y Querétaro. En la figura 7 se presenta la distribución de las tierras de acuerdo al grado de vulnerabilidad. Se puede apreciar que las tierras agrícolas presentan vulnerabilidad desde muy ligera hasta muy severa, con una dominancia de tierras con vulnerabilidad moderada (clase III).

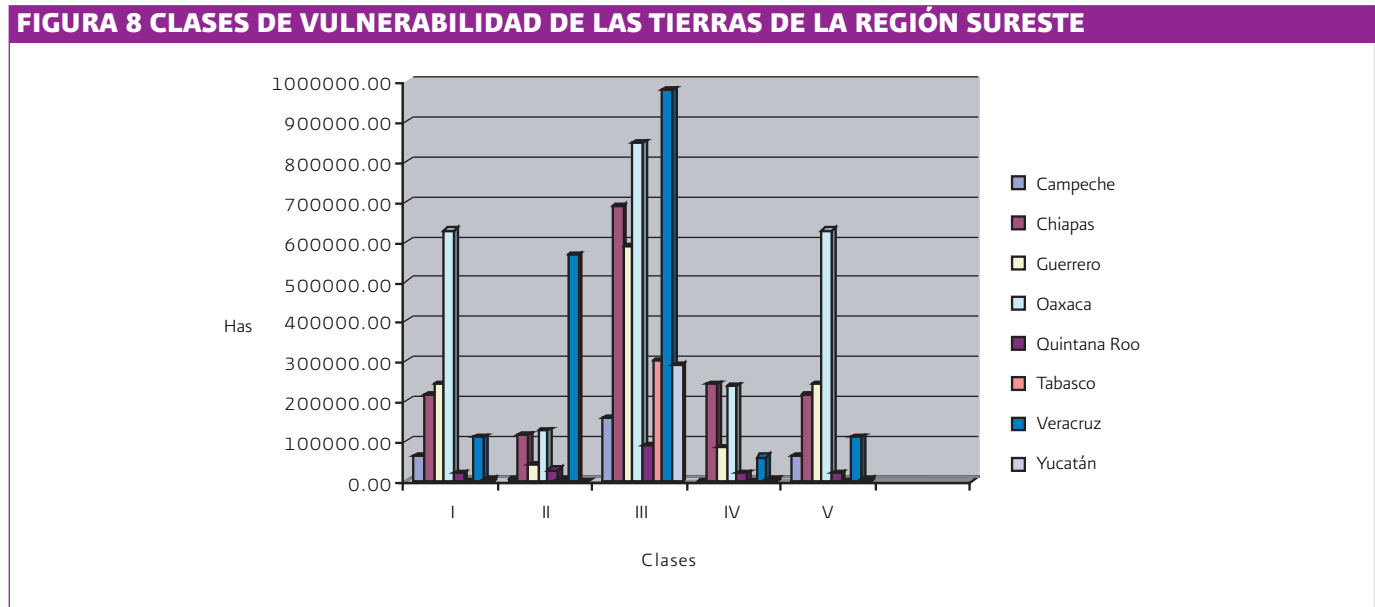
FIGURA 7 CLASES DE VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS DE LA REGIÓN CENTRO



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

Los factores determinantes de esta vulnerabilidad son, en primer lugar, el estrés de humedad que es severo a muy severo, y, en menor grado, la presencia de fases líticas y pendiente ligeras, en las clases III y IV, y procesos de salinización en la clase V. En la clase II la vulnerabilidad está determinada por la pendiente y presencia de suelos de texturas muy finas.

Región Sureste: Conforman esta región los siguientes estados: Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán. La figura 8 muestra la distribución de las tierras de acuerdo al grado de vulnerabilidad. Se puede apreciar que igual que en la Región Centro, las tierras agrícolas presentan desde vulnerabilidad muy ligera hasta muy severa, con un predominio de tierras con vulnerabilidad moderada (clase III), aunque no tan marcado como en la región anterior.



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

En primer lugar, los factores determinantes de esta vulnerabilidad son el estrés de humedad que es severo a muy severo, la presencia de suelos superficiales y fases líticas con pendiente moderadas (10 -30%) en las clases IV y V y estrés de humedad severo, suelos superficiales y fases líticas con pendientes menores del 10% en la clase III. En esta región el estrés de humedad muy severo es el resultado de una combinación de bajas precipitaciones (400 a 800 mm) con pendientes moderadas y suelos superficiales, a diferencia de la Región Norte donde el estrés muy severo se asocia con precipitaciones muy bajas (menos de 400 mm).

5 LA VULNERABILIDAD SOCIAL-AMBIENTAL ACTUAL DE LAS TIERRAS EN MÉXICO

5 LA VULNERABILIDAD SOCIAL-AMBIENTAL ACTUAL DE LAS TIERRAS EN MÉXICO

Una forma de analizar el impacto del cambio climático sobre el complejo sistema antrópico-ambiental, particularmente en las tierras agrícolas, es por medio de su efecto sobre la seguridad alimentaria.

La seguridad alimentaria se deriva de los procesos de producción de alimentos a lo largo de la cadena alimenticia. El cambio climático la afectará a través de su impacto en todos los componentes de los sistemas de producción de alimentos a escala global, nacional y local. Esto repercutirá sobre la salud humana, los medios de supervivencia, la producción de comida. Probablemente la población que ya es vulnerable será la primera en ser afectada. Los sistemas de supervivencia basados en la agricultura, vulnerables a la inseguridad alimentaria, afrontarán riesgos inmediatos por su efecto sobre los cultivos, los nuevos patrones de plagas y enfermedades, entre otros. La población que viva en las costas, planicies inundables, regiones montañosas, zonas secas y áridas será la que esté en mayor riesgo. Los impactos potenciales deben ser vistos dentro de un gran esquema de la dinámica cambiante del sistema terrestre y de los cambios observables en múltiples variables tanto socioeconómicas como ambientales (FAO, 2008).

En investigación sobre peligros naturales y la seguridad alimentaria, se ha hecho una conexión directa con la susceptibilidad que ha confirmado que la pobreza reduce la capacidad de una sociedad para adaptarse a la tensión ambiental (Blaikie *et al* 1994; Bohle *et al* 1994, después de Alcano *et al*, 2008).

En este contexto, la agricultura es importante para la seguridad alimentaria por dos razones: produce lo que la población consume y (quizás aún más importante) provee la fuente primaria de supervivencia para el 36% de la fuerza laboral mundial. Si en las zonas de ingreso bajo la producción agrícola es afectada por el cambio climático, la supervivencia de muchos pobres rurales serán arriesgados y su vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria aumentará. La evaluación del cambio climático sobre la producción agrícola, el suministro de alimentos y la sustentabilidad de los sistemas agrícolas deben considerar las características de los agro-ecosistemas, particularmente donde están ocurriendo cambios inducidos por el clima en procesos bioquímicos, para determinar el grado en que tales cambios tendrán efectos positivos, negativos o neutros. Los grupos marginales incluyen aquellos con pocos recursos y poco acceso a la energía, lo cual puede limitar la capacidad de la población para adaptarse al cambio climático que tendría impactos negativos sobre ellos. Es generalmente esta población poco productiva la que está en mayor riesgo frente a los impactos del cambio climático. La agricultura está a menudo en el corazón de las estrategias de supervivencia de la población marginal; el empleo agrícola, ya sea en su propia tierra o trabajen en otras, es clave para la supervivencia (FAO, 2008).

En resumen, con relación al análisis y mapeo de la vulnerabilidad, de la revisión de la literatura en los párrafos anteriores, se puede concluir dos aspectos: a) que un análisis completo de la vulnerabilidad debe incluir tanto aspectos ambientales como sociales, y b) que hay grupos más vulnerables que otros; entre los grupos más vulnerables está la población pobre que depende de los recursos naturales. Son estos aspectos la razón por la cual se pretende de una manera muy sencilla tratar de incluir en una primera aproximación, en el análisis espacial de la vulnerabilidad algunos aspectos sociales, los cuales se modelan a través del índice de estrés social. Las variables sociales incluidas obedecen a dos razones fundamentales: una, la pertinencia de dichas variables (que se desprende de la revisión bibliográfica) en el análisis de la vulnerabilidad, en el sentido de que pueden enriquecer el entendimiento de dicho fenómeno, y mejorar la toma de decisiones con respecto al mismo, y en segundo lugar, porque se trata de información fácilmente disponible, y fácil de integrar en un modelo espacial.

5.1 MAPA ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL

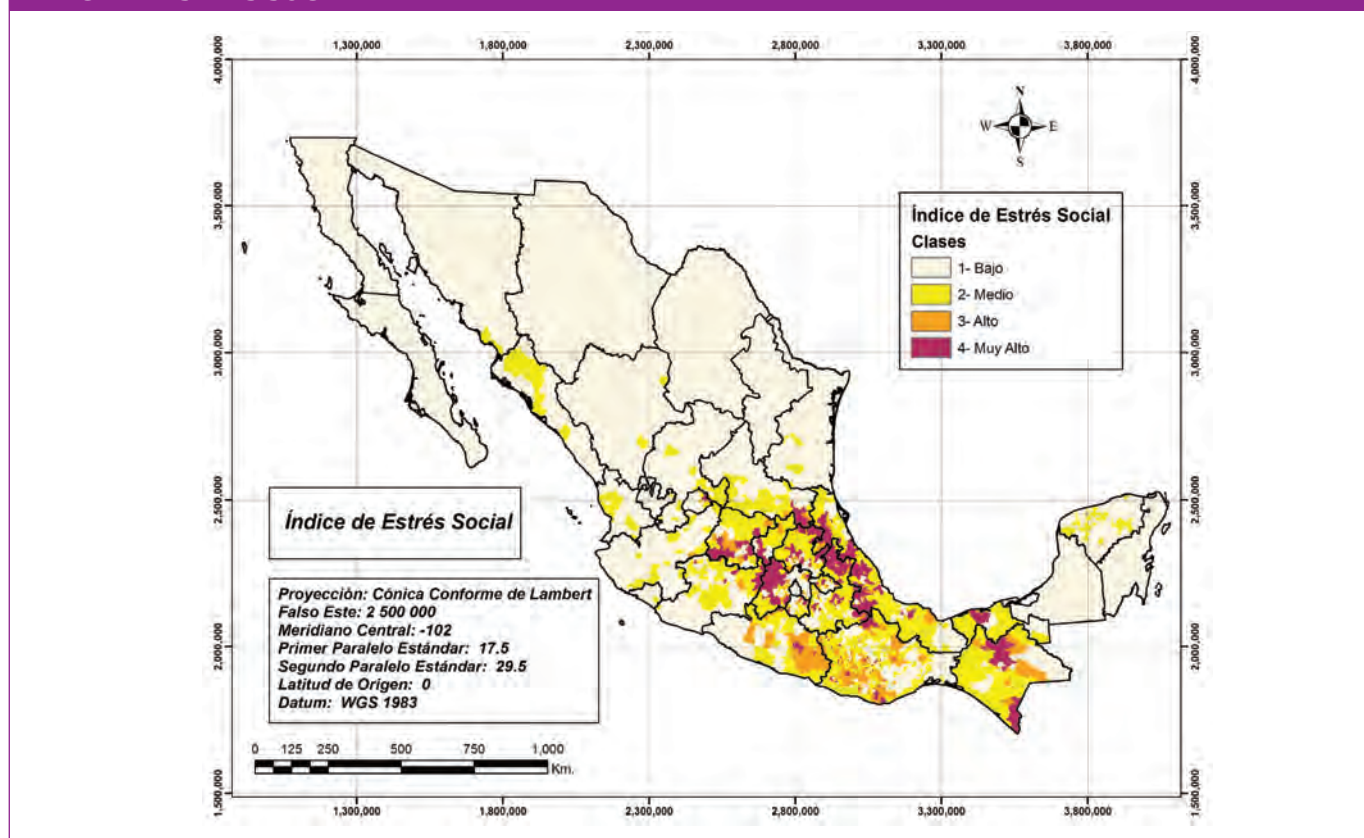
El índice de estrés social muestra las zonas del país donde la densidad poblacional y la marginación de la población son los factores determinantes de la vulnerabilidad de las tierras. Como se explica en el capítulo de la aproximación metodológica del modelo, para su construcción utilizó el índice de marginación de la CONAPO, y la densidad de población, la cual se calculó con los datos de población de 2005; se consideró solo la población rural (localidades menores de 2 500 habitantes). Las dos variables (marginación y densidad de población) se combinaron en un modelo de decisión, generando así el índice de estrés social, con cuatro clases:

| Clases de estrés social | Grados de estrés social |
|-------------------------|-------------------------|
| 1 | Muy alto |
| 2 | Alto |
| 3 | Medio |
| 4 | Bajo |

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de este proceso metodológico se obtuvo el mapa del índice de estrés social a escala nacional, el cual se presenta a continuación:

ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

5.2 VULNERABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL A ESCALA NACIONAL

El mapa del índice de estrés social se combinó con el de vulnerabilidad ambiental de las tierras agrícolas, con el fin de obtener un mapa que mostrara la localización de las tierras agrícolas de acuerdo a su grado de vulnerabilidad y de acuerdo al índice de estrés social.

La tabla 8 y el mapa de vulnerabilidad socioambiental muestran las estadísticas y la distribución espacial de las relaciones entre la vulnerabilidad ambiental y el Índice de estrés social.

TABLA 8 VULNERABILIDAD AMBIENTAL VS ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL

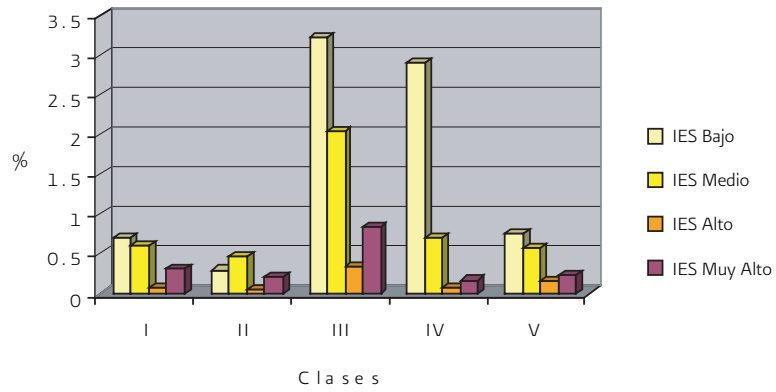
| Í ES* | Bajo | | Medio | | Alto | | Muy Alto | |
|-------|--------------|------|--------------|------|-------------|------|-------------|------|
| | Has | % | Has | % | Has | % | Has | % |
| I | 1 353 772.39 | 0.7 | 1 169 033.35 | 0.6 | 137 671.769 | 0.07 | 608 932.824 | 0.31 |
| II | 572 455.689 | 0.29 | 895 454.839 | 0.46 | 80 014.3614 | 0.04 | 409 485.262 | 0.21 |
| III | 6 212 291.49 | 3.21 | 3 941 883.98 | 2.04 | 628 348.074 | 0.32 | 159 3815.48 | 0.82 |
| IV | 5 630 422.35 | 2.91 | 1 347 300.64 | 0.69 | 152 968.632 | 0.08 | 318 292.423 | 0.16 |
| V | 1 462 027.12 | 0.75 | 1 112 552.63 | 0.57 | 304 760.583 | 0.15 | 432 430.556 | 0.22 |

* índice de estrés social.

Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

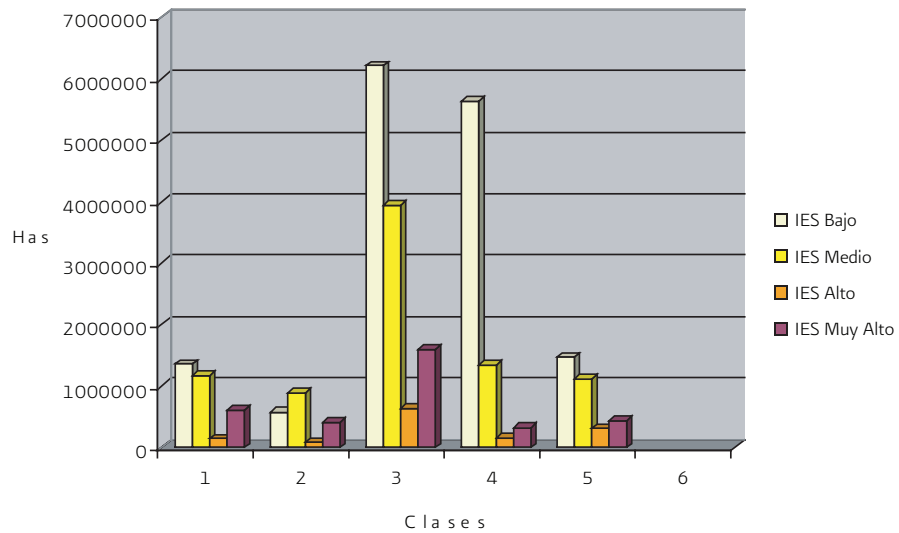
De acuerdo con estos resultados, las áreas del país donde la vulnerabilidad ambiental de las tierras es de grado moderado, alto y muy alto y el índice de estrés social es alto y muy alto, corresponden al 1.75% del total de las tierras del país (3 430 615 ha). Considerando que las tierras agrícolas del país suman aproximadamente un total de 30 millones de hectáreas, el 10% presentan vulnerabilidad ambiental de moderada a muy alta e índices de estrés social alto y muy alto. En éstas tierras, que se localizan en el centro y sur del país, donde la política pública debe focalizar los esfuerzos y la inversión para ayudar a la población involucrada a afrontar el problema ambiental de la vulnerabilidad, así como establecer programas y proyectos relacionados con la aptitud de uso de la tierra, conservación del suelo y del agua.

FIGURA 9 VULNERABILIDAD AMBIENTAL VS ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL (IES)



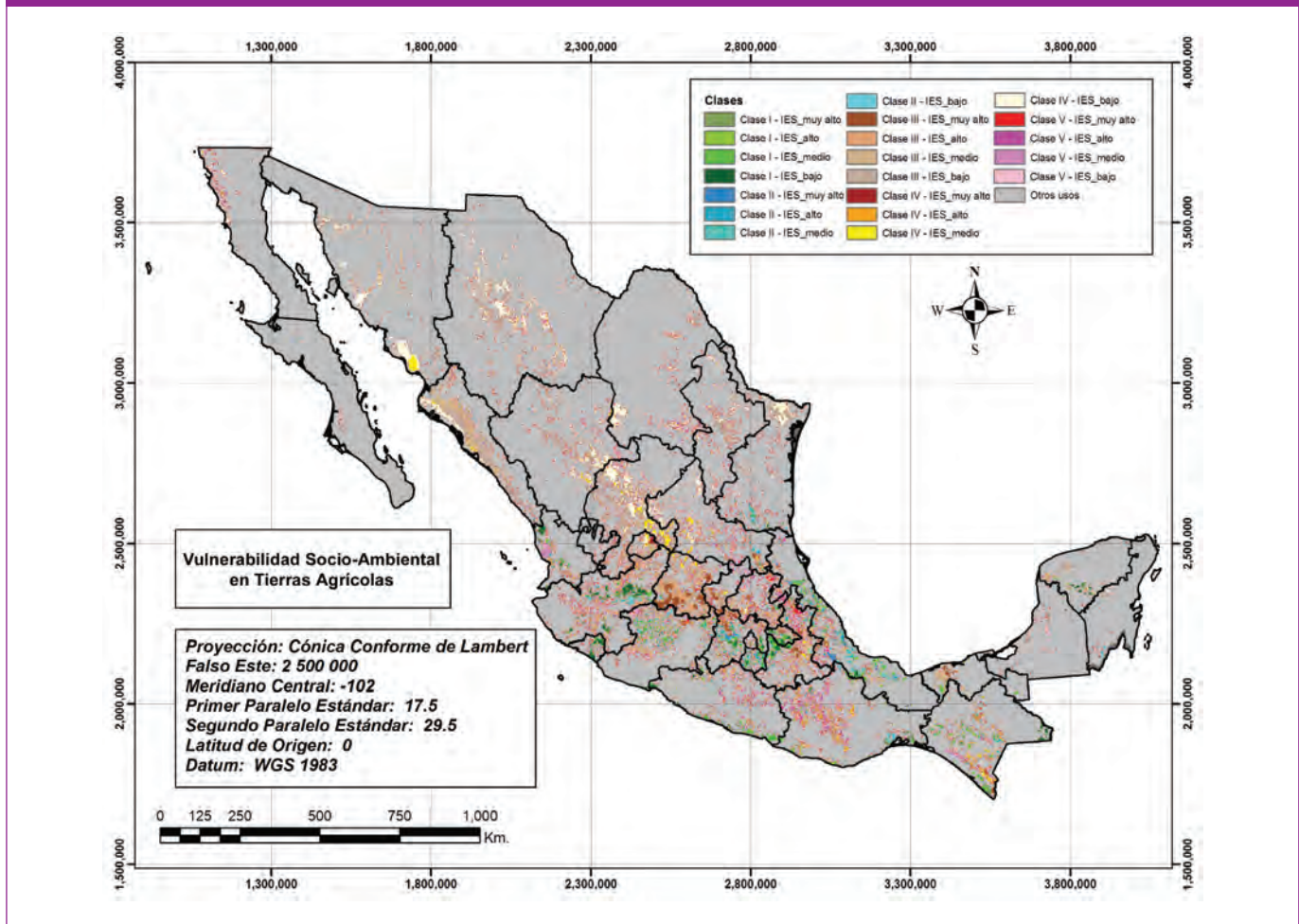
Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

FIGURA 10 VULNERABILIDAD AMBIENTAL VS ÍNDICE DE ESTRÉS SOCIAL EN HECTÁREAS



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

VULNERABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL EN TIERRAS AGRÍCOLAS



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

6 IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS

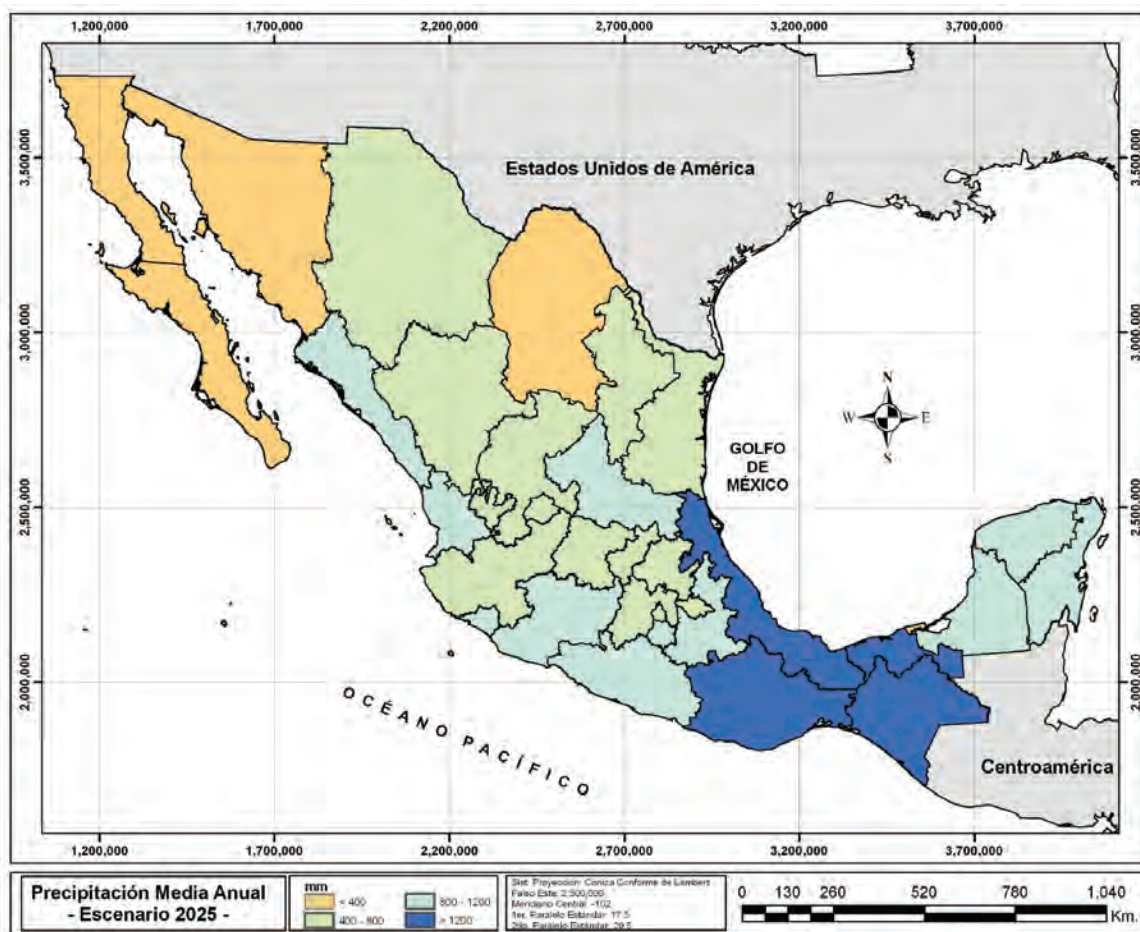
6 IMPACTO POTENCIAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS

En México diversas investigaciones han demostrado que el sector agrícola es uno de los más sensibles a cambios en la disponibilidad de agua y en los patrones climáticos (Magaña & Conde, 2000; Mendoza *et al*, 2004; Conde *et al*, 2004).

Con el fin de elaborar el escenario potencial del impacto del cambio climático sobre las tierras agrícolas del país, se aplicó nuevamente el modelo de vulnerabilidad ambiental, reemplazando la variable espacial de clima (precipitación) con los datos de precipitación del escenario A2 de cambio climático para el año 2025, calculado por estados (IPCC, 2007). El escenario de emisiones A2 de cambio climático para el año 2025 es bastante heterogéneo, ya que el desarrollo económico es regional, el crecimiento de la población crecería considerablemente en los siguientes años y la distribución del ingreso per cápita y utilización de la tecnología estaría muy alejada de la homogeneidad entre los países. De modo que la convergencia hacia el desarrollo sustentable sería muy lento.

Las demás variables geospaciales del modelo como pendientes, condiciones del suelo y uso de la tierra son las mismas que se emplearon en la aplicación del modelo de vulnerabilidad actual, es decir que la vulnerabilidad de las tierras se analizó en las condiciones actuales con arreglo a un escenario de cambio climático determinado. Las áreas analizadas para el impacto potencial del cambio climático son las mismas que se dedican actualmente a la agricultura.

ESCENARIO A2 DE CAMBIO CLIMÁTICO, PRECIPITACIÓN PARA EL AÑO 2025



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

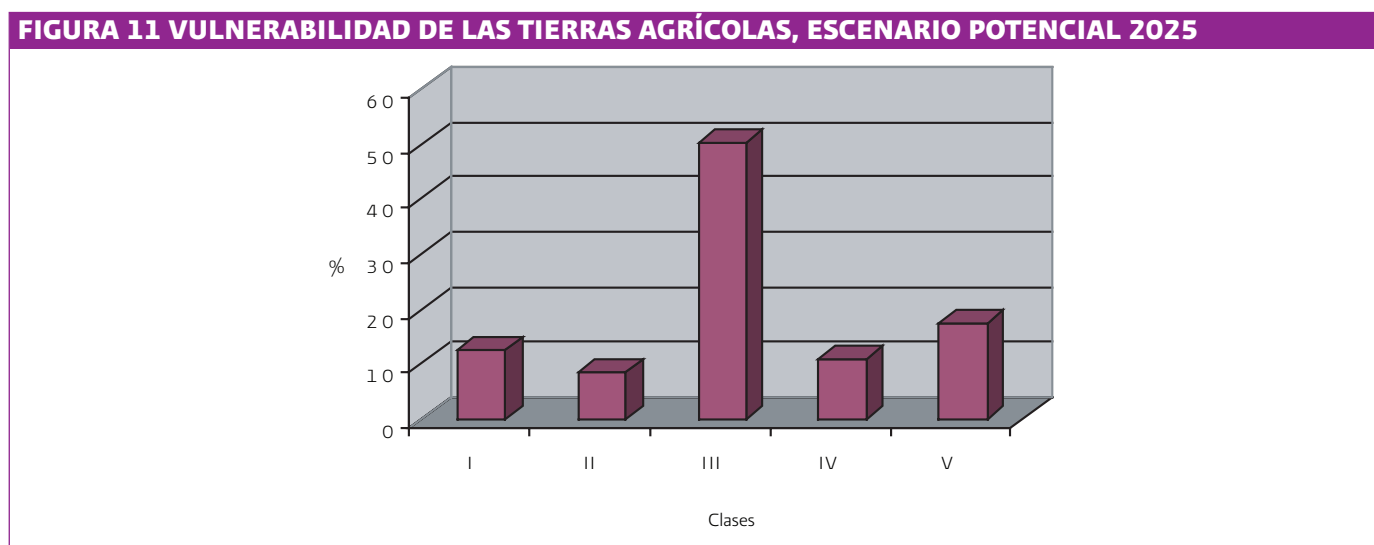
6.1 A ESCALA NACIONAL

En la tabla 9 y figura 11 muestran las estadísticas de vulnerabilidad de las tierras agrícolas de acuerdo al escenario climático de 2025; el mapa de la vulnerabilidad de las tierras agrícolas escenario de 2025 muestra su distribución espacial.

TABLA 9 VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS. ESCENARIO 2025

| Clases | Escenario año 2025 Area - has. | % |
|--------|--------------------------------|-------|
| I | 3 894 816.71 | 12.68 |
| II | 2 595 171.68 | 8.45 |
| III | 15 448 066.8 | 50.33 |
| IV | 3 392 373.59 | 11.05 |
| V | 5 365 668.94 | 17.47 |

Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

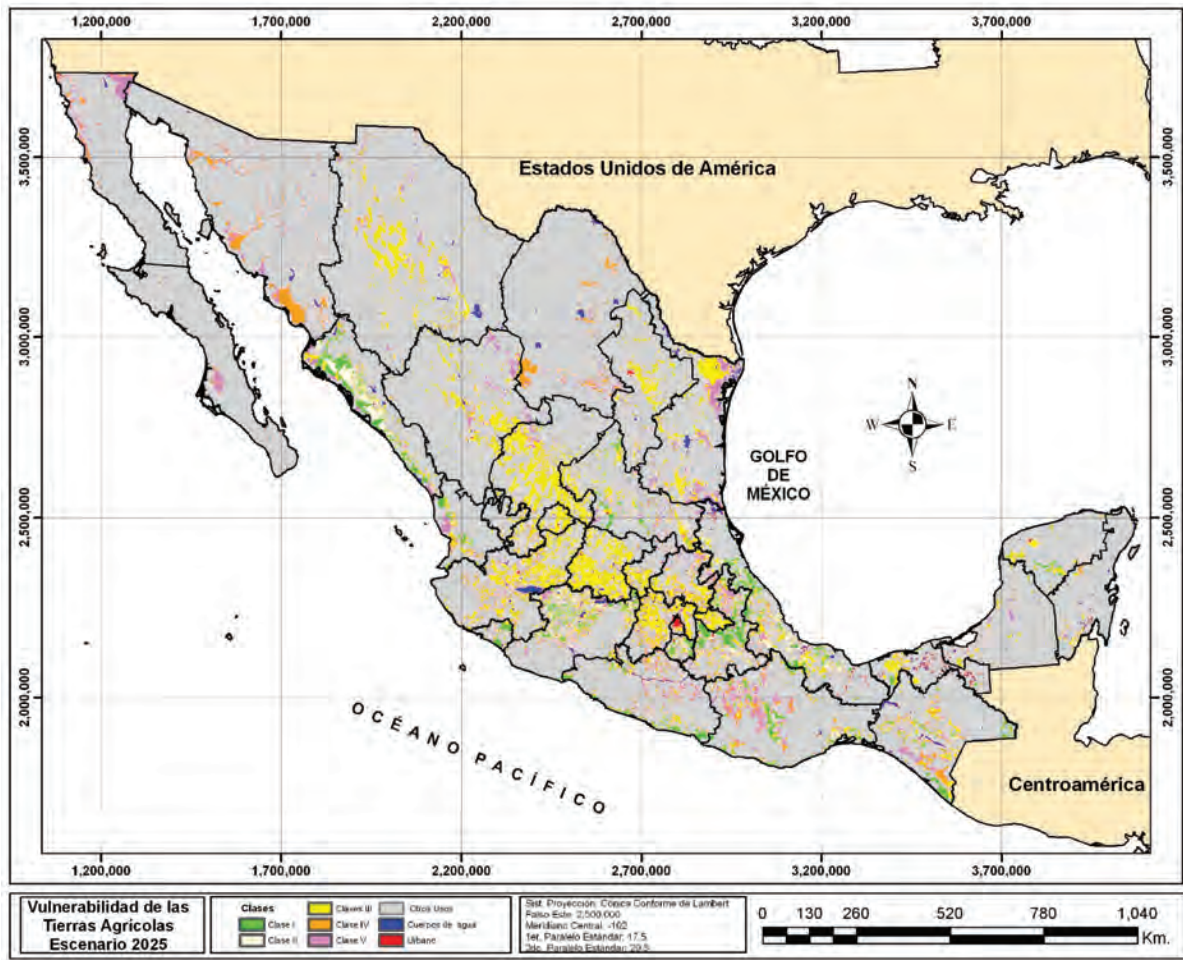
Los resultados de la tabla 10 y figura 11 muestran que, considerando el escenario de cambio climático al año 2025, un 12.68% (3 894 816.71 has.) de las tierras no serían vulnerables o su vulnerabilidad es muy ligera. En la Región Norte estas tierras se localizan principalmente en Sinaloa; en la Región Centro se localizan principalmente en los estados de Colima y Puebla y en la Región Sureste se localizan principalmente en los estados de Veracruz, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

El 8.45% (2 595 171.68 has.) presentan una vulnerabilidad ligera, mientras que el 50.33% (15 448 066.8 has.) ostentan vulnerabilidad moderada. En la Región Norte estas tierras se localizan principalmente en los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Nuevo León, Tamaulipas y San Luis Potosí; en la Región Centro se encuentran principalmente en Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Querétaro, Estado de México y Tlaxcala; y en la Región Sur en Veracruz, Tabasco, Chiapas y Yucatán.

Sin embargo, el 11.05% (3 392 373.59 has.) de las tierras agrícolas presentan una vulnerabilidad severa. En la Región Norte éstas se localizan principalmente en los estados de Baja California, Sonora y San Luis Potosí; en la Región Centro el Estado de México y en Puebla y en la Región Sur en Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas.

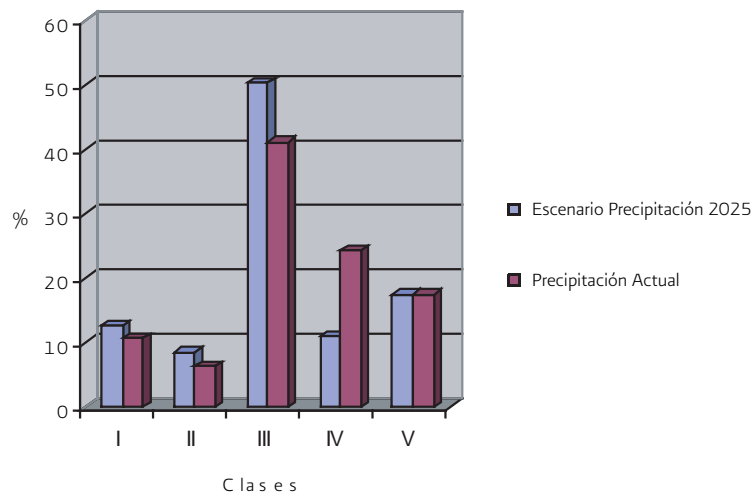
El 17.47% (5 365 668.94 has.) de las tierras presentan vulnerabilidad muy severa. En la Región Norte estas tierras se localizan principalmente en Baja California, Baja California Sur, Coahuila, Durango y Sonora; en la Región Centro en Jalisco, Guanajuato, Hidalgo y Puebla y en la Región Sur en los estados de Oaxaca, Guerrero y Chiapas.

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS. ESCENARIO 2025



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

FIGURA 12 IMPACTO CLIMÁTICO EN LA VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

En la figura 12 se muestra el impacto del clima a escala nacional, considerando los cambios previsto en la precipitación promedio anual, sobre la variación en la vulnerabilidad de las tierras agrícolas. Con el fin de facilitar la interpretación de estos resultados, en la tabla 10 se presentan los cambios en precipitación por estado. De acuerdo con estos resultados, se puede apreciar que la clase I que corresponde a tierras invulnerables o muy poco vulnerables aumentó del 10.6 al 12.6%. La clase II que corresponde a tierras con ligera vulnerabilidad aumento en un 2%. Este aumento en las clases I y II, se debe a un cambio en la precipitación en dichas áreas, que pasaron de lluvias entre 400 y 800 mm (c1 y c2) a precipitaciones entre 800 y 1200 mm (c3). Estos cambios se presentaron fundamentalmente en la Región Norte, en Sinaloa y San Luis Potosí, y en la Región Centro en el estado de Puebla.

TABLA 10 CAMBIOS EN LA PRECIPITACIÓN PROMEDIA ANUAL POR ESTADOS, SEGÚN ESCENARIO 2025

| Estado | Clima Actual | Escenario Climático 2025 | Estado | Clima Actual | Escenario Climático 2025 |
|---------------------|--------------|--------------------------|--------------------|--------------|--------------------------|
| Aguascalientes | C2 | C2 | Querétaro+ | C2 | C2 |
| Baja California | C2 | C1 | | C3 | C2 |
| Baja California Sur | C2 | C1 | Estado de México++ | C3 | C2 |
| Sonora++ | C2 | C1 | | C4 | C2 |
| Chihuahua++ | C1 | C2 | Nayarit | C4 | C3 |
| | C3 | C2 | Michoacán | C2 | C3 |
| Coahuila++ | C2 | C1 | | C4 | C3 |
| Nuevo León++ | C1 | C2 | Distrito Federal | C3 | C2 |
| Tamaulipas | C3 | C2 | | C4 | C2 |
| | C4 | C2 | Tlaxcala+ | C3 | C2 |
| San Luis Potosí+++ | C1 | C3 | Hidalgo+ | C4 | C2 |
| | C2 | C3 | Puebla+++ | C2 | C3 |
| | C4 | C3 | Guerrero+ | C4 | C3 |
| Sinaloa+++ | C1 | C3 | Oaxaca++ | C2 | C4 |
| | C2 | C3 | Chiapas++ | C3 | C4 |
| | C4 | C3 | Yucatán+ | C2 | C3 |
| Durango++ | C1 | C2 | Quintana Roo+ | C2 | C3 |
| Zacatecas+ | C1 | C2 | Campeche+ | C2 | C3 |
| Jalisco++ | C3 | C2 | Veracruz++ | C4 | C3 |
| | C4 | C2 | Tabasco++ | C4 | C3 |
| Guanajuato+ | C2 | C2 | | | |
| | C1 | C2 | | | |

+ Pequeño % de tierras afectadas, ++ moderado%, +++ alto%
 Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

Las tierras de la clase III, que corresponde a tierras de vulnerabilidad moderada, aumentaron en un 9%. Corresponden a áreas con precipitaciones menores de 400 mm (c1) o a áreas con precipitaciones mayores de 800 mm.(c3) que pasaron a áreas con precipitaciones de entre 400 mm y 800 mm (c2). Estas áreas están localizadas fundamentalmente en la Región Norte y Centro, en Chihuahua, Nuevo León, San Luis Potosí, Estado de México y Jalisco. En las condiciones actuales estas tierras pertenecen a la clase IV.

La clase IV, que abarca tierras con vulnerabilidad severa, disminuyó en un 13.3. Corresponde a áreas que pasaron de precipitaciones menores de 400 mm (c1) a lluvias de entre 400 mm y 800 mm (3). Estos cambios se presentaron fundamentalmente en la Región Norte, en Sinaloa y San Luis Potosí. Para el año 2025, el 9.2% de estas tierras se ubican en la clase III y el 4% en las clases I y II.

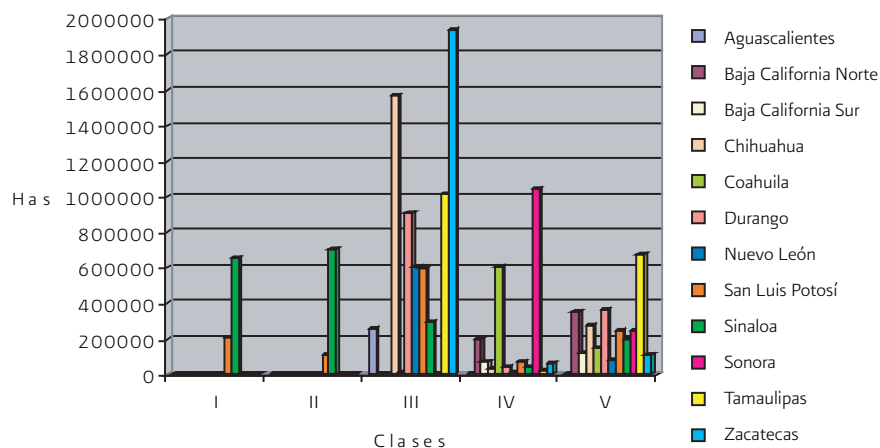
La clase V no presenta variación ya que los factores determinantes de la vulnerabilidad no están asociados con el clima sino con condiciones de suelo y pendientes.

6.2 A ESCALA ESTATAL

REGIÓN NORTE

Conforman esta región los siguientes estados: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Sinaloa, San Luis Potosí, Sonora, Zacatecas y Tamaulipas. La figura 13 muestra la distribución de las tierras de acuerdo con el grado de vulnerabilidad. Se puede apreciar que la mayoría de las tierras se agrupan en tres clases de vulnerabilidad moderada, severa y muy severa, con una dominancia de la clase III, seguida por las clases V y IV. Sinaloa y San Luis Potosí presentan una situación diferente, ya que se proyectan áreas de tierras con vulnerabilidad de muy ligera a ligera, que pertenecen a las clases I y II.

FIGURA 13 REGIÓN NORTE. VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS. ESCENARIO 2025



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

Los factores que determinan esta vulnerabilidad son, en primer lugar, el estrés de humedad, que es muy severo, y en menor grado, la presencia de fases líticas, pendiente ligeras, presencia de suelos calcáreos en las clases III y IV, y en algunos casos la presencia de procesos de salinización principalmente en la clase V.

En Baja California el 35.2% de las tierras pertenecen en la subclase 7, que presentan una vulnerabilidad severa, y el 64.8% a las subclase 9, de vulnerabilidad muy severa.

En Baja California Sur el 36.9% de las tierras pertenecen a la subclase 7, con una vulnerabilidad severa, y el 63.1% a las subclase 9, de vulnerabilidad muy severa.

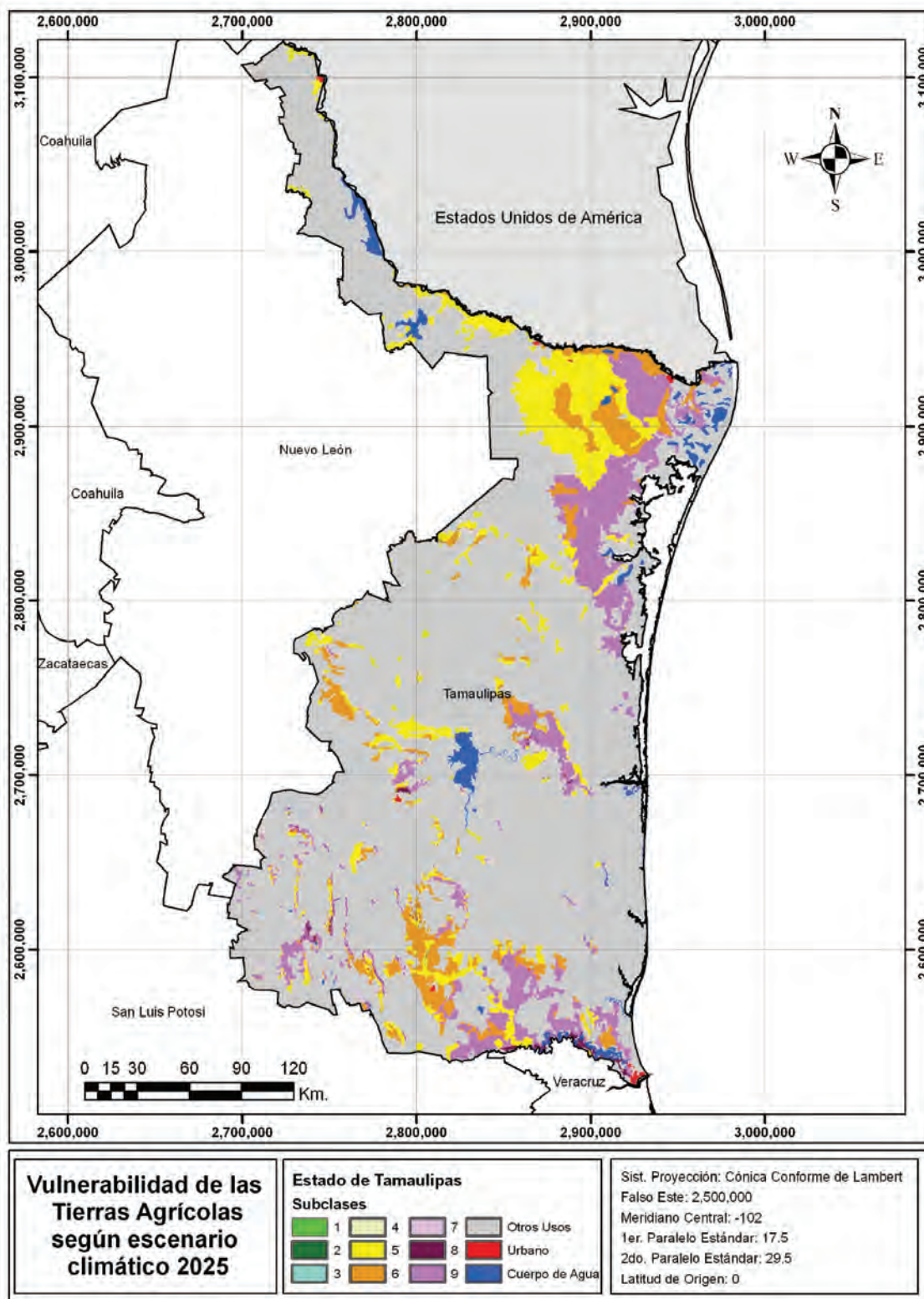
En Coahuila el 80.45.9% de las tierras pertenecen a la subclase 7 y el 19.5% a la subclase 9.

En Tamaulipas el 36.07% de las tierras pertenecen a la subclase 5, el 23.53 a la subclase 6 (una vulnerabilidad moderada); 1.21% a la subclase 7 y el 1.5% a las subclase 8, y 37.7% a la subclase 9.

Finalmente, en Sonora el 81.2% de las tierras pertenecen a la subclase 7, y el 18.8% a las subclase 9.

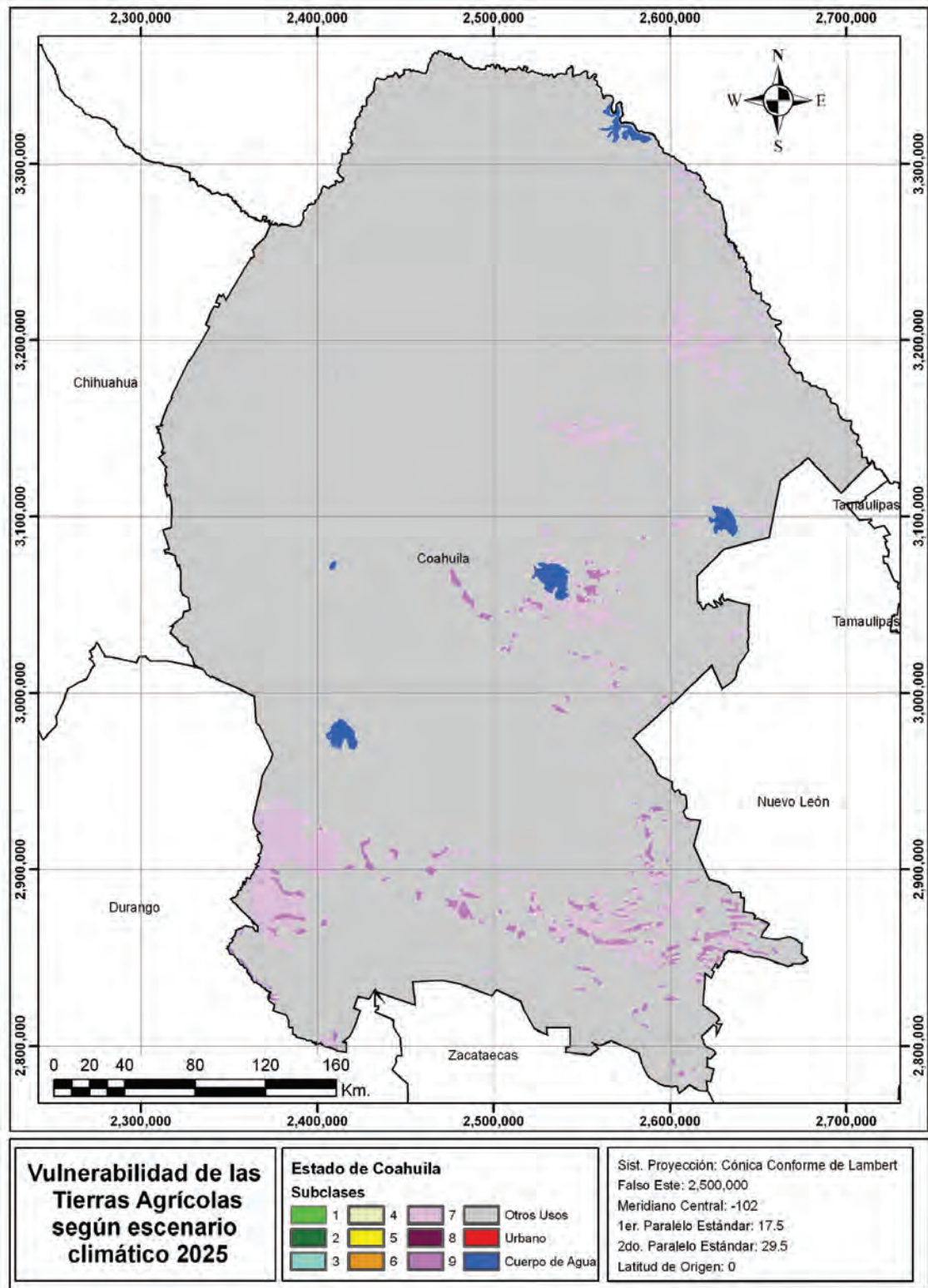
Los mapas de los estados de Tamaulipas, Coahuila y Sonora, que se muestran a continuación, son los mas representativos de la región norte en cuanto a la vulnerabilidad de las tierras agrícolas proyectadas al escenario climático 2025.

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS SEGÚN ESCENARIO CLIMÁTICO 2025



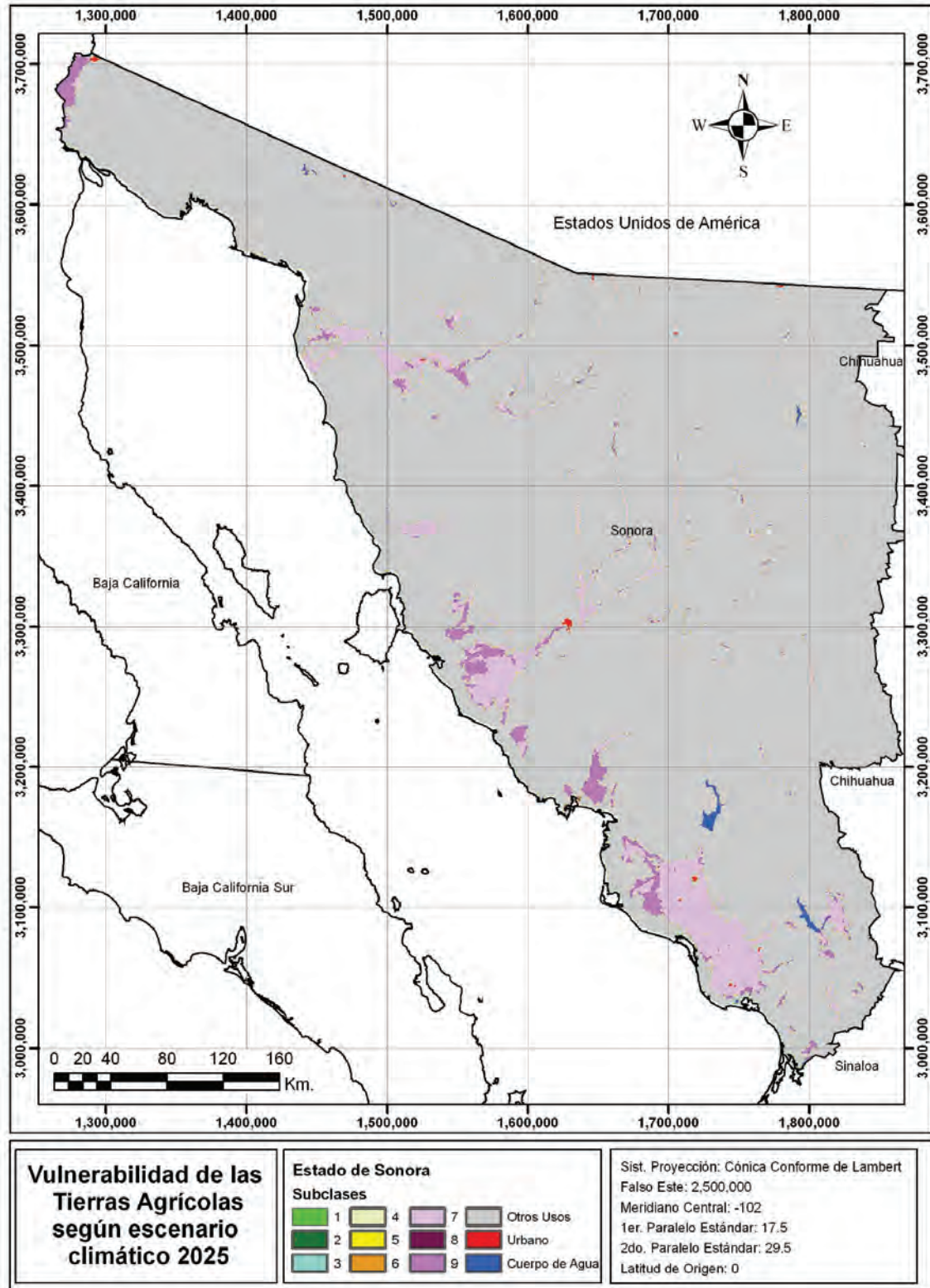
Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS SEGÚN ESCENARIO CLIMÁTICO 2025



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS SEGÚN ESCENARIO CLIMÁTICO 2025

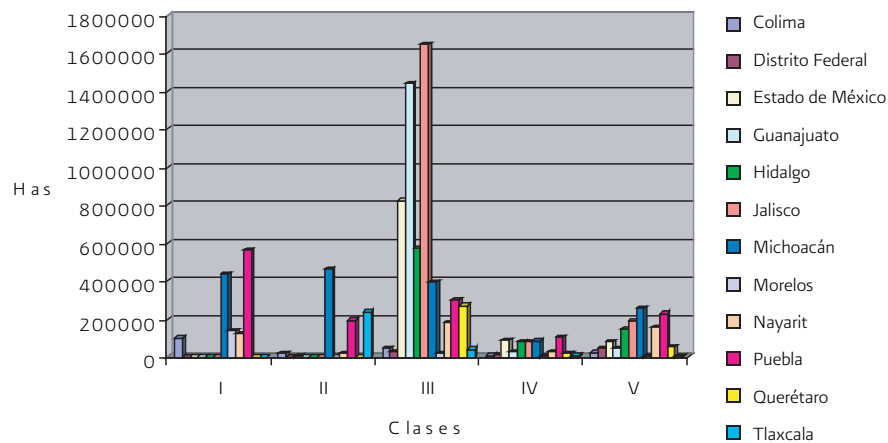


Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

REGIÓN CENTRO

Conforman esta región los siguientes estados: Colima, Distrito Federal, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Tlaxcala y Querétaro. En la figura 14 se presenta la distribución de sus tierras de acuerdo al grado de vulnerabilidad. Las tierras agrícolas presentan desde vulnerabilidad muy ligera hasta muy severa, con un predominio de tierras con vulnerabilidad moderada (clase III). Sobresalen los estados de Michoacán y Puebla, donde la vulnerabilidad de las tierras disminuye debido al posible aumento en la precipitación en algunas áreas, que pasan de semiáridas a subhúmedas. Lo contrario sucede en Jalisco y el Estado de México, donde se prevé que la precipitación disminuye en algunas áreas, pasando de subhúmedo a semiárido. En estos estados la vulnerabilidad de dichas tierras aumenta de ligera a moderada.

FIGURA 14 REGIÓN CENTRO. VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS. ESCENARIO 2025

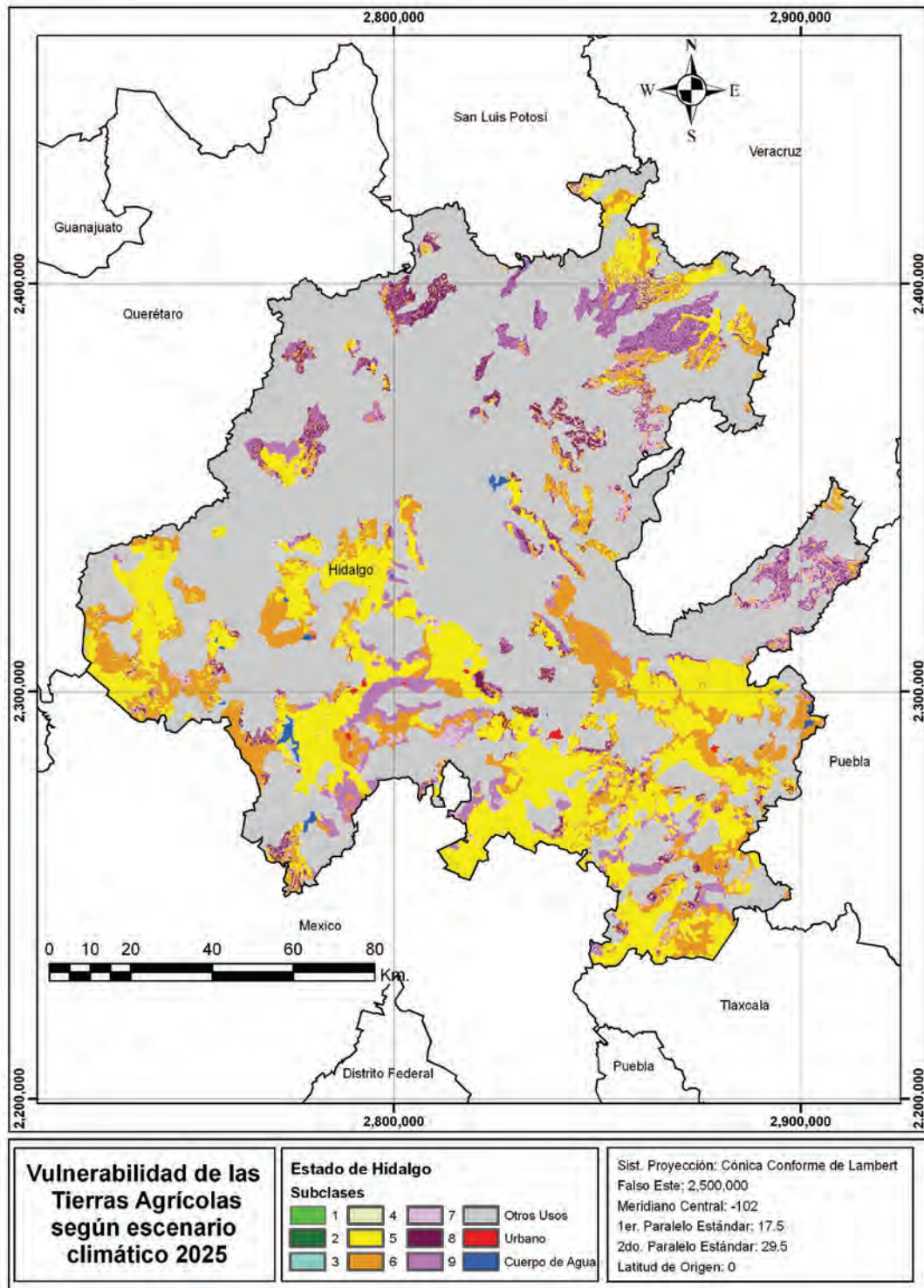


Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

En Hidalgo el 44.5% de las tierras pertenecen a la subclase 5, el 26.9 a la subclase 6, de una vulnerabilidad moderada; 9.8% a la subclase 7 de vulnerabilidad severa y el 6.42% a las subclase 8 y 12.3% a la subclase 9 (véase mapa).

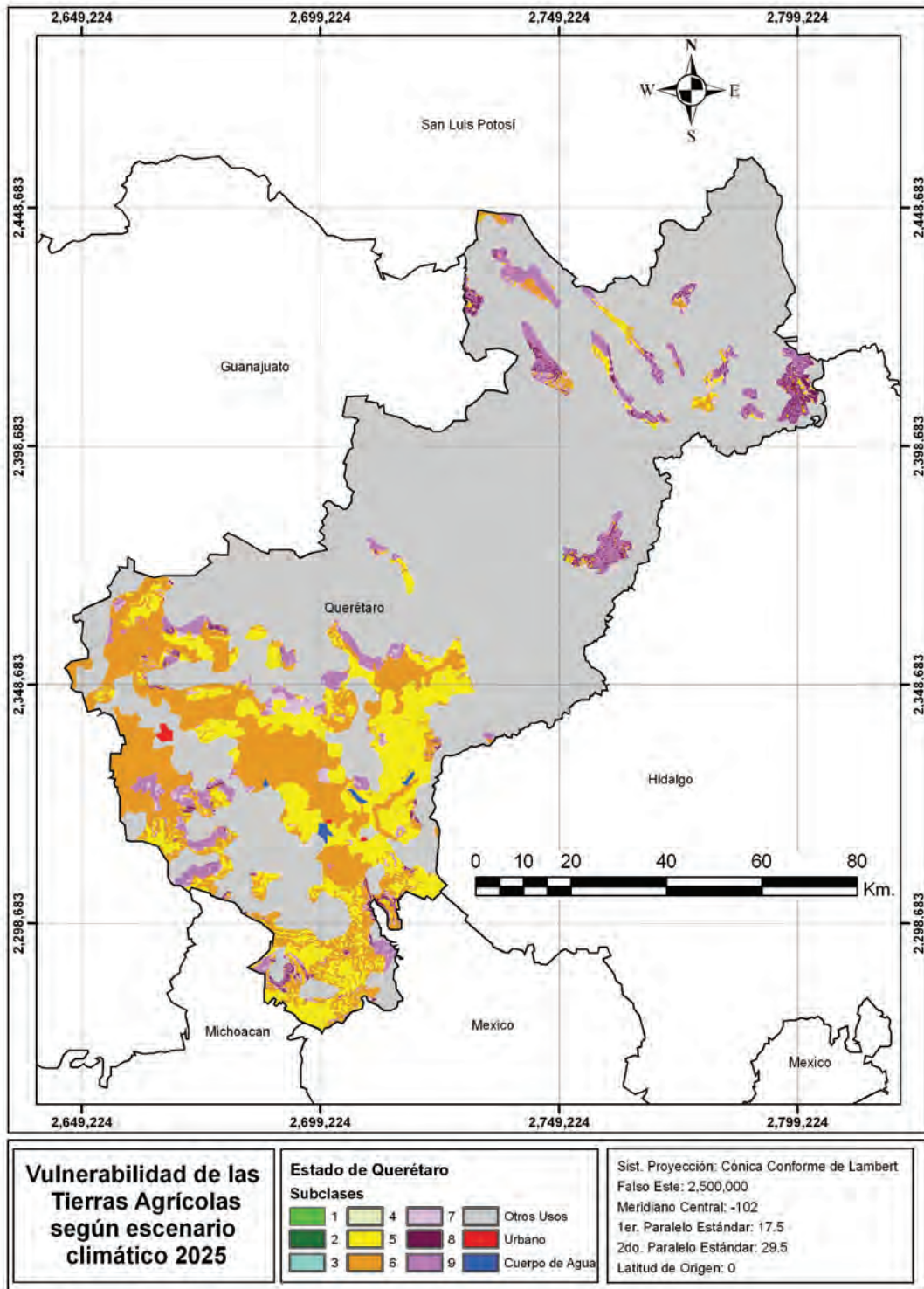
En el estado de Querétaro el 0.8% de las tierras pertenecen a la subclase 5, el 44.9% a la subclase 6; 8.91% a la subclase 7 de a vulnerabilidad severa y el 15.1% a las subclase 8 y 10.1% a la subclase 9 (véase mapa).

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS SEGÚN ESCENARIO CLIMÁTICO 2025



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

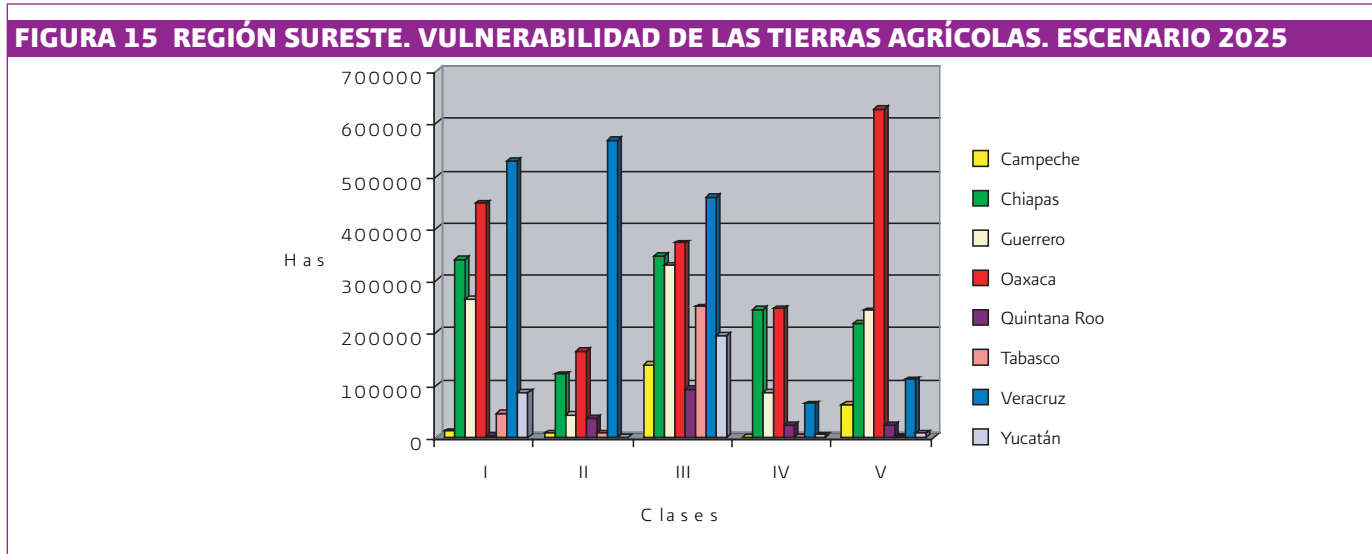
VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS SEGÚN ESCENARIO CLIMÁTICO 2025



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

REGIÓN SURESTE

Conforman esta región los estados de Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán. La figura 15 muestra la distribución de las tierras de acuerdo al grado de vulnerabilidad. Igual que en la Región Centro, las tierras agrícolas presentan desde vulnerabilidad muy ligera hasta muy severa, con un predominio de tierras en las clases I y III, con vulnerabilidad de muy ligera y moderada, aunque no tan marcada como en la región anterior.

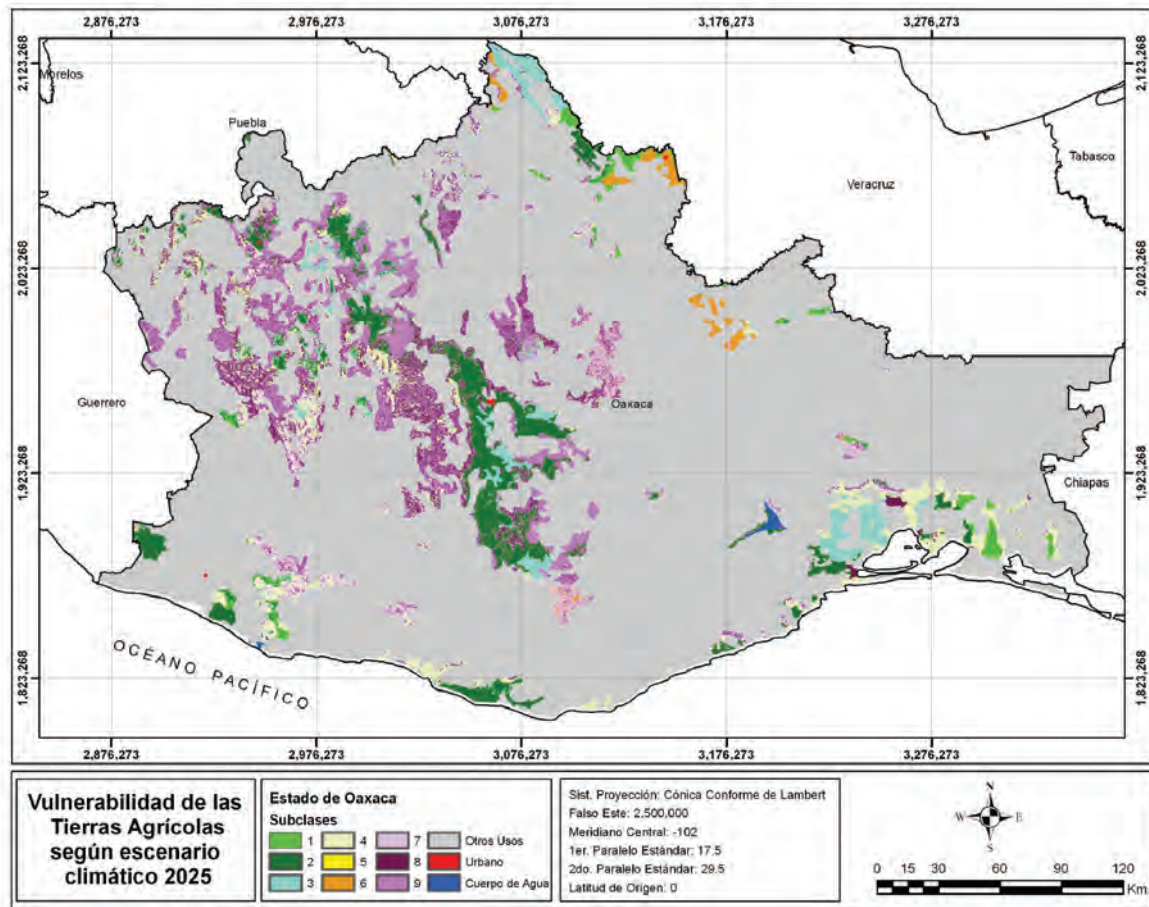


Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

En Guerrero el 32.9% de las tierras pertenecen a las subclases 2 y 3 de vulnerabilidad muy ligera a ligera; el 32.33% de las tierras pertenece a la subclase 5, el 44.9% a la subclase 6; 6.32% a la subclase 7 y el 3.73% a las subclase 8 y 12.61% a la subclase 9 (véase mapa).

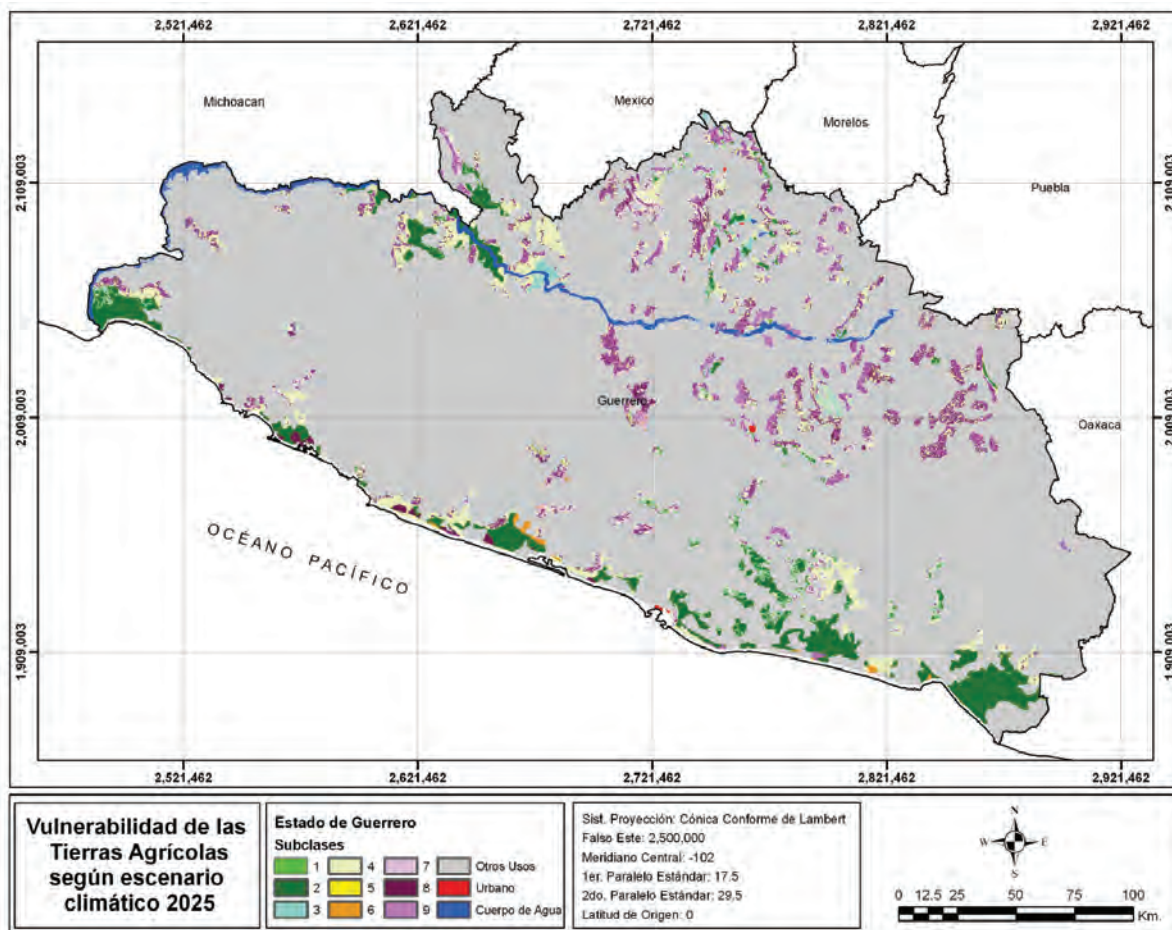
En el estado de Oaxaca el 32.9% de las tierras pertenecen a las subclases 1, 2 y 3 de vulnerabilidad de muy ligera a ligera; el 17.5% de las tierras pertenecen a la subclase 4, el 2.5% a la 6; 13.3% a la subclase 7 y el 13.5% a la subclase 8 y 20.3% a la subclase 9 (véase mapa).

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS SEGÚN ESCENARIO CLIMÁTICO 2025



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

VULNERABILIDAD DE LAS TIERRAS AGRÍCOLAS SEGÚN ESCENARIO CLIMÁTICO 2025



Fuente: Alviar M. L., López, D. 2008

7 LA FENOMENOLOGÍA Y ECONOMÍA DEL MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

7 LA FENOMENOLOGÍA Y ECONOMÍA DEL MANEJO SUSTENTABLE DE TIERRAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

En la actualidad, el sector agropecuario contribuye con el 5% del Producto Interno Bruto (PIB). Sin embargo, en algunos estados la producción agropecuaria tiene un peso mayor. En los estados del norte, estas actividades representa en promedio 5% de su PIB, y hasta 15% en los estados del sur (FAO, 2005)⁵. Por tanto, es posible afirmar que los estados con mayor orientación agropecuaria tendrán un mayor riesgo de verse afectados por el cambio climático.

En la economía rural la agricultura todavía es muy significativa. Particularmente en la población rural (24% del total de la población nacional) la agricultura aún es la ocupación principal, y representa el 43.7% del empleo total (Gómez Oliver, 2007.). Aunque el empleo rural no agropecuario es cada vez más relevante y tiende a ser más productivo y mejor remunerado, la agricultura constituye una base fundamental de las actividades productivas del medio rural.

Para los grandes productores agropecuarios será más fácil adaptarse para reducir el riesgo asociado a los efectos del cambio climático o asumir los costos de transición; no así para la gran mayoría de los productores pequeños⁶. Específicamente, los productores excluidos del mercado globalizado serán más vulnerables a los efectos del cambio climático, debido a la falta de recursos para invertir en nuevas tecnologías, de acceso a la información para planear la producción tomando en cuenta las variables climatológicas, y menor posibilidad de adquirir un seguro agrícola, entre otros factores.

Sin embargo, los conocimientos de los agricultores familiares, sus redes de solidaridad y otros mecanismos de organización, incluido el régimen ejidal y comunal, así como estrategias de diversificación, entre otros aspectos, pueden proporcionar oportunidades para el desarrollo de mecanismos y estrategias de adaptación. De una manera u otra, en México existe una mayoría muy amplia de productores de subsistencia que requieren una atención prioritaria.

FIGURA 16 TIPO DE PRODUCTORES EN MÉXICO, 2008



Fuente: SAGARPA (2008) Informe al Consejo Mexicano para el Desarrollo Rural. México

En muchos casos, las consecuencias recaerán directamente sobre la población rural, y más específicamente en la población rural pobre, ya que a menudo su supervivencia depende de la producción agropecuaria. En 2005, el grado de marginación promedio del total de las localidades rurales en el país era alto, destacando las entidades federativas de Guerrero, Chiapas y Oaxaca con un grado de marginación muy alto en el medio rural (PNUD 2005. Informe. Índices de Desarrollo Humano en México. México). En este tipo de localidades, la mayoría de los productores se dedica a cultivar granos básicos para autoconsumo como frijol y maíz. A la vez, en algunas zonas combinan la producción para el autoconsumo con otras actividades como el cultivo del café o la recolección de productos forestales no maderables, que generalmente se vinculan a condiciones de mercado complejas y difíciles de predecir.

De manera sucinta, se pueden identificar algunos impactos del cambio climático en la agricultura:

⁵ La Región Norte incluye a Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Sonora y Tamaulipas. La región Sur considera a Chiapas, Guerrero, Michoacán y Oaxaca.

⁶ En México la estructura agraria es excesivamente fragmentada; de los 2.3 millones de productores de granos y oleaginosas, el 78% tiene menos de 5 hectáreas (FAO, 2006). En estos minifundios prevalece la producción de maíz y otros granos básicos

TABLA 11 IDENTIFICACIÓN DE PRINCIPALES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA Y GANADERÍA

| Impactos | Aspectos clave |
|--|---|
| Pérdida de especies esenciales | El cambio climático puede afectar la distribución y la abundancia de especies esenciales para la producción agropecuaria, lo que incluye a los polinizadores de cultivos y a organismos del suelo que mantienen la productividad y la fertilidad de la tierra (Stern2007.: 71) |
| Disminución neta de la superficie apta para cultivar maíz de temporal | En diferentes estudios se señalan los decrementos regionales en la superficie apta para el cultivo de maíz (Flores et al.1996). Se estima una reducción de la superficie apta para el cultivo de maíz de temporal de 4.2% (INE-PNUD, 2008: 34) |
| Reducción de los rendimientos de cultivos de maíz en algunas regiones | Para algunos estados se han estimado fuertes reducciones en los rendimientos de maíz. La producción de maíz ha mostrado una gran vulnerabilidad ante la variabilidad climática, en particular ante las sequías. |
| Riesgo incremental de siniestros causados por eventos hidrometeorológicos extremos en zonas productivas (sequías, inundaciones, huracanes) | En el último informe del IPCC se prevé que los eventos hidrometeorológicos extremos afecten en mayor medida a la agricultura de subsistencia, los minifundios, la pesquería artesanal, las comunidades de zonas costeras, entre otros. Los eventos extremos pueden generar pérdidas de cultivos, reducción de cosechas, pérdidas de activos (ganado), una mayor erosión de los suelos agrícolas. |
| Expansión de plagas por el cambio de condiciones ambientales | El aumento de las temperaturas puede influir en las interacciones entre patógenos y cultivos acelerando el ritmo de crecimiento de los patógenos, lo que incrementa las generaciones reproductivas por ciclo vegetativo, disminuyendo la mortalidad de los patógenos debida a las frías temperaturas del invierno y que provocan efectos en los propios cultivos, aumentando su vulnerabilidad. |
| Reducción de la superficie apta para la ganadería extensiva en el centro y norte del país debido a mayor aridez, sequías más agudas y degradación de tierras | |

Fuente: Elaboración propia con base en la Estrategia Nacional de Cambio Climático (2007: 114).

En algunos estudios, se analizan las medidas de adaptación que adoptaron los productores en México ante variaciones de clima; por ejemplo, ajustar las fechas de siembra (considerando el inicio de las lluvias del año anterior), cambiar la variedad del cultivo, o cambiar de cultivo (Conde, et al, 2004: 235). Otras medidas que pueden ayudar a incrementar la capacidad adaptativa de los productores ante condiciones de cambio climático son:

- I) el uso de sistemas de irrigación por goteo, que evita el impacto de lluvias irregulares o sequías, al tiempo que favorece un uso más eficiente del agua;
- II) el establecimiento de invernaderos;
- III) ajustes en las fechas de siembra y en la selección de cultivos;
- IV) la reconversión productiva; y
- V) el uso de fertilizantes no nitrogenados (INE-PNUD, 2008: 35).

El marco para el análisis económico de la relación entre el cambio climático y la agricultura, se puede sintetizar considerando: a) los impactos del cambio climático sobre los rendimientos y los activos productivos, estimados en términos de valor de la producción y de los activos; b) los impactos de la agricultura sobre el calentamiento global, en términos de emisiones equivalentes de CO₂; y c) las oportunidades de la agricultura como medio de secuestro de CO₂, siempre valorados en términos del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). Por otro lado, consideramos los costos y beneficios de: a) los mecanismos de adaptación y b) de las reformas requeridas para la instrumentación, básicamente, de la Estrategia Nacional de Cambio Climático, con algunas consideraciones adicionales, como sigue:

| | | | |
|---|--|---|--|
| 1. Impactos económicos del cambio climático sobre la agricultura. | 1.1 Producción | 1.1.1. Pérdidas directas de productividad primaria. | |
| | | 1.1.2. Pérdidas directas por incidencias de plagas. | |
| | | 1.1.3. Pérdidas directas por efecto de siniestros. | |
| | 1.2 Pérdida de activos | 1.2.1. Pérdida de valor de existencias (valor de los recursos naturales afectados). | |
| | | 1.2.2. Pérdida de infraestructura por obsolescencia o desplazamiento de aptitud de usos de las tierras. | |
| | 1.3 Impactos indirectos extraparcenarios | 1.3.1. Impactos por el incremento de tolvaneras, sobre costos derivados de afectaciones a la salud. | |
| 2. Equivalentes en bonos de CO ₂ de la agricultura como fuente de emisiones. | 2.1. Pérdida de CO ₂ de la mineralización de la materia orgánica de los suelos. | | |
| | 2.2. Emisiones por quemas agrícolas y ganaderas. | | |
| | 2.3. CO ₂ de los motores de combustión interna y equivalente de los motores eléctricos para la roturación y el bombeo (se excluye el procesamiento de los productos agropecuarios). | | |
| | 2.4- Fertilización: amoníaco volátil y NO ₂ de la fertilización nitrogenada. | | |
| | 2.5. Metano proveniente de excretas. | | |
| | 2.6. Metano del proceso digestivo de los rumiantes. | | |
| 3. Equivalentes potenciales en bonos de secuestro de CO ₂ en la agricultura. | 3.1. Deforestación evitada. | 3.1.1. Mejores prácticas de ganadería en selva baja. | |
| | | 3.1.2. Reconversión a esquemas silvopastoriles en el trópico húmedo | |
| | 3.2. Potencial de secuestro de carbono en tierras agropecuarias. | 3.2.1. Incremento de MO por buenas prácticas: en ganadería de pastoreo extensivo, silvopastoril tropical, agricultura de riego y temporal | |
| | | 3.3.2. Prácticas silvopastoriles como reforestación. | |
| | | 3.2.3. Estimación de la productividad agropecuaria como sumidero en materiales con vida limitada. | |
| | | | |
| 4. Costos y beneficios económicos de las medidas de adaptación. | 4.1. Mejoramiento de la producción por Manejo Sustentable de las Tierras (MST). | 4.1. 1. MST en la agricultura. | |
| | | 4.1. 2. MST en la ganadería. | |
| | 4.2. Racionalización del agua. | 4.2.1. Entrega volumétrica del agua. | |
| | | 4.2.2. Relocalización de cultivos y desarrollo de genotipos hídrico - eficientes en condiciones de riego (incluye relocalización de la producción lechera, con reconversión de ganadería becerra en el trópico húmedo). | |
| | | 4.2.3. Mejora de operación, reparación y mejora física de infraestructura de conducción. | |
| | | 4.2.4. Prácticas eficientes de uso del agua. | |
| | 4.3 Coberturas de riesgo. | | |
| | 4.4. Mejoramiento de cuencas para reducción de desastres. | | |
| | 5. Costos y beneficios de reformas requeridas. | 5.1. Revisión de presupuesto y programas. | |
| | | 5.2. Establecimiento de sistema de asesoría de calidad en DDR y local. | |
| 5.3. Mejora de arreglo institucional. | | | |
| 5.4. Mejora de marco jurídico. | | | |
| 5.5. Desarrollo y aplicación de mecanismos de certificación de buenas prácticas. | | | |

A continuación se describen los detalles de dichos componentes de la valoración económica del cambio climático en la agricultura:

7.1 PRODUCCIÓN

El impacto del cambio climático en la agricultura abarca aspectos centrales en todo el proceso productivo. La cuantificación de este impacto se observa directamente en el nivel de producción.

El cambio climático incidirá en la agricultura de diversas maneras, ya sea por una mayor ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos (inundaciones, sequías, huracanes) o una mayor intensidad de éstos; la pérdida de suelos aptos para la producción agropecuaria; la pérdida de especies esenciales; la expansión de plagas por el cambio de condiciones ambientales; entre otros.

En regiones con limitaciones por heladas o temperaturas bajas, ya se observan los efectos del calentamiento atmosférico, como en los Andes, en que se está extendiendo el cultivo de la papa hacia cotas de elevación más altas (Bastidas, 2008). En el mismo sentido, las pérdidas por heladas tienden a disminuir y con ello aparece la posibilidad de aplicar estrategias de cultivo que impliquen una composición genética de las plantas cultivadas que incremente el periodo fotosintético y con ello los rendimientos.

Por el contrario, las sequías y el incremento de la evapotranspiración son factores de riesgo, reducción de rendimientos y, en última instancia, de migración de las regiones de adaptabilidad agronómica de los cultivos. Mientras en el norte del país se esperan este tipo de cambios, en el sur la mayor temperatura ya provoca una mayor evaporación de las aguas oceánicas y mayores valores de presión atmosférica, con lo cual se incrementan los valores de precipitación y también, con ello, los riesgos de inundaciones y avalanchas en cuencas deficientemente manejadas, capaces de destruir los activos productivos.

Los efectos de los cambios en la concentración de gases termogénicos no son unívocos, sino que ejerce influencia diferenciada; en general y dentro de los rangos que se pueden esperar en los próximos cien años, la mayor disponibilidad de CO₂ tendrá un efecto "fertilizador", con el incremento esperado en los rendimientos, especialmente en las especies más evolucionadas, cuyo metabolismo energético es de tipo C4. Entre estas especies están principalmente las gramíneas, como la caña de azúcar, el bambú, el maíz y los pastos forrajeros.

En el presente estudio se cuantifican los principales impactos con base en el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) de la SAGARPA, a las estimaciones de temperatura y precipitación para 2030 realizadas por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM y la literatura acerca del tema.

7.1.1 PÉRDIDAS DIRECTAS DE PRODUCTIVIDAD PRIMARIA

La relación entre la productividad agrícola y el cambio climático por el aumento de la temperatura promedio, los cambios en los patrones de lluvia, y el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera. En este entorno, los agricultores enfrentan cada año mucha incertidumbre en el nivel de producto y también a su valor en el mercado. Para este apartado, se cuantificaron las pérdidas de cosechas y de producción ganadera asociadas a las sequías y a la reducción de agua disponible para riego y aumento consuntivo.

- Para el fenómeno de sequía se estimaron pérdidas por 8 mil millones de pesos y 7 mil millones de pesos para los escenarios B2 y A2 respectivamente. En ambos escenarios, las pérdidas se concentraron en la agricultura en más de 80%.
- Para el caso de la reducción de agua disponible para riego y el aumento consuntivo se estimaron pérdidas de 38 mil millones en el escenario B2 y de 34 mil millones para el escenario A2.

7.1.2 PÉRDIDAS DIRECTAS POR INCIDENCIAS DE PLAGAS

El incremento de temperatura está provocando desequilibrios en los delicados procesos relacionados con plagas y enfermedades, como la supresión de la reducción de poblaciones por frío en invierno o, simplemente por la expansión de las áreas de adaptabilidad de los organismos que dañan los cultivos, de manera semejante a lo que se ha observado respecto de la reconfiguración espacial del paludismo por presencia de su vector.

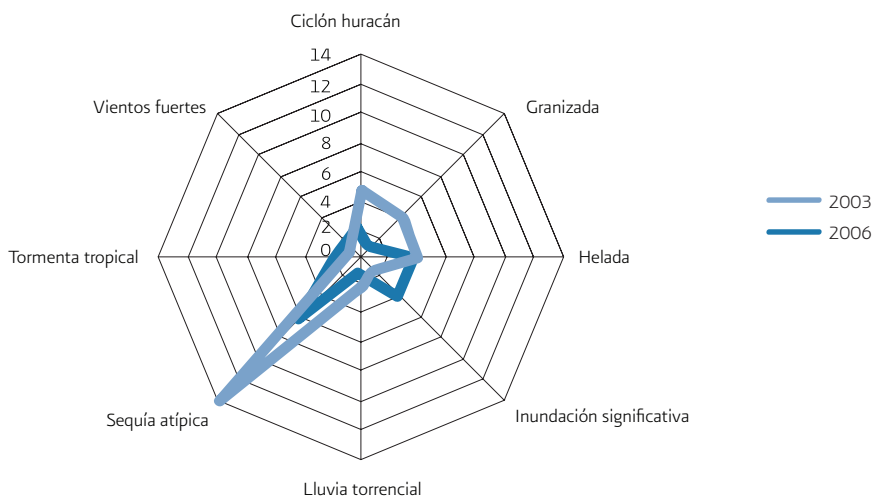
Sin embargo, hasta donde se tiene información, es incierto el patrón de incidencia de plagas y enfermedades, y muy poco confiables las estimaciones sobre su impacto económico, por lo que es un tema que en estudios posteriores se deberá profundizar.

7.1.3 PÉRDIDAS DIRECTAS POR EFECTO DE SINIESTROS

El territorio nacional está expuesto a eventos extremos, como huracanes, sequías, ondas de calor, lluvias torrenciales, nevadas y heladas. En el mediano y largo plazos se espera que éstos aumenten en intensidad y en frecuencia como consecuencia del fenómeno de cambio climático.

Diversos estudios coinciden en que como consecuencia del cambio climático, la temperatura aumentará en 3 o 4°C hacia finales del siglo. Ello incidirá en la precipitación. En el norte del país se espera lluvias en promedio menos frecuentes, sequías más recurrentes e intensas y una disminución en el escurrimiento (Martínez 2007) (Figura 17). Actualmente, la producción agropecuaria ya es afectada por la mayor frecuencia de contingencias climatológicas.

FIGURA 17 FRECUENCIA DE CONTINGENCIAS CLIMATOLÓGICAS EN MÉXICO EN 2003 Y 2006



Fuente: Elaboración propia en base a la información reportada en la "Evaluación externa 2006-2007 del Fondo para atender a la población rural afectada por contingencias climatológicas". Universidad Autónoma de Chapingo.

Sequías. En las regiones áridas, es previsible que sucedan sequías más intensas. En los últimos años se ha visto una mayor incidencia de sequías atípicas, sobre todo en los estados y regiones de transición entre las zonas hiperáridas y áridas, respecto de las subhúmedas secas, como en Zacatecas, el sur de Coahuila, en zonas de San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro y el norte de Jalisco.

Inundaciones. El incremento del nivel del mar en las costas de México propiciará la vulnerabilidad de algunas regiones a las inundaciones. De acuerdo con Martínez (2007), son de mayor riesgo las desembocaduras del río Grijalva en Tabasco y los ríos de Coatzacoalcos y Pánuco, en Veracruz.

En cuanto a las inundaciones, se estimaron pérdidas directas por 72 mil millones de pesos y 127 mil millones de pesos para los escenarios B2 y A2 respectivamente. En ambos casos, la mayor parte de las pérdidas se concentraron en la agricultura (95%).

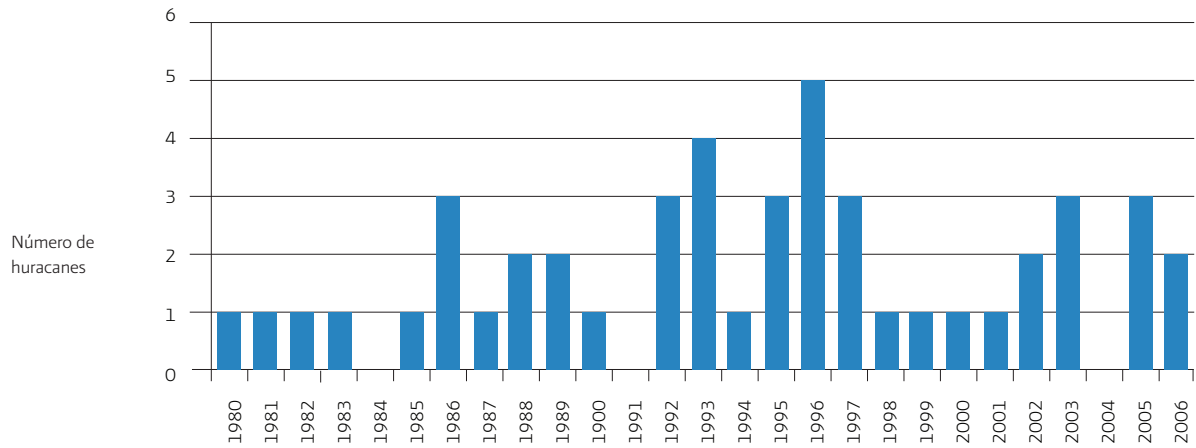
Huracanes. Por el calentamiento global se espera que ocurran huracanes de mayor intensidad. Se estima una reducción de huracanes de intensidad baja y en contraparte un aumento de huracanes de mayor intensidad. Actualmente, éstos representan un alto costo para el sector agropecuario (Tabla 12).

TABLA 12 SERIE NUMÉRICA DE HURACANES QUE HAN IMPACTADO EN MÉXICO, 1980-2006

| Año | Número de huracanes | Año | Número de huracanes | Año | Número de huracanes |
|------|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|
| 1980 | 1 | 1990 | 1 | 2000 | 1 |
| 1981 | 1 | 1991 | 0 | 2001 | 1 |
| 1982 | 1 | 1992 | 3 | 2002 | 2 |
| 1983 | 1 | 1993 | 4 | 2003 | 3 |
| 1984 | 0 | 1994 | 1 | 2004 | 0 |
| 1985 | 1 | 1995 | 3 | 2005 | 3 |
| 1986 | 3 | 1996 | 5 | 2006 | 2 |
| 1987 | 1 | 1997 | 3 | | |
| 1988 | 2 | 1998 | 1 | | |
| 1989 | 2 | 1999 | 1 | | |

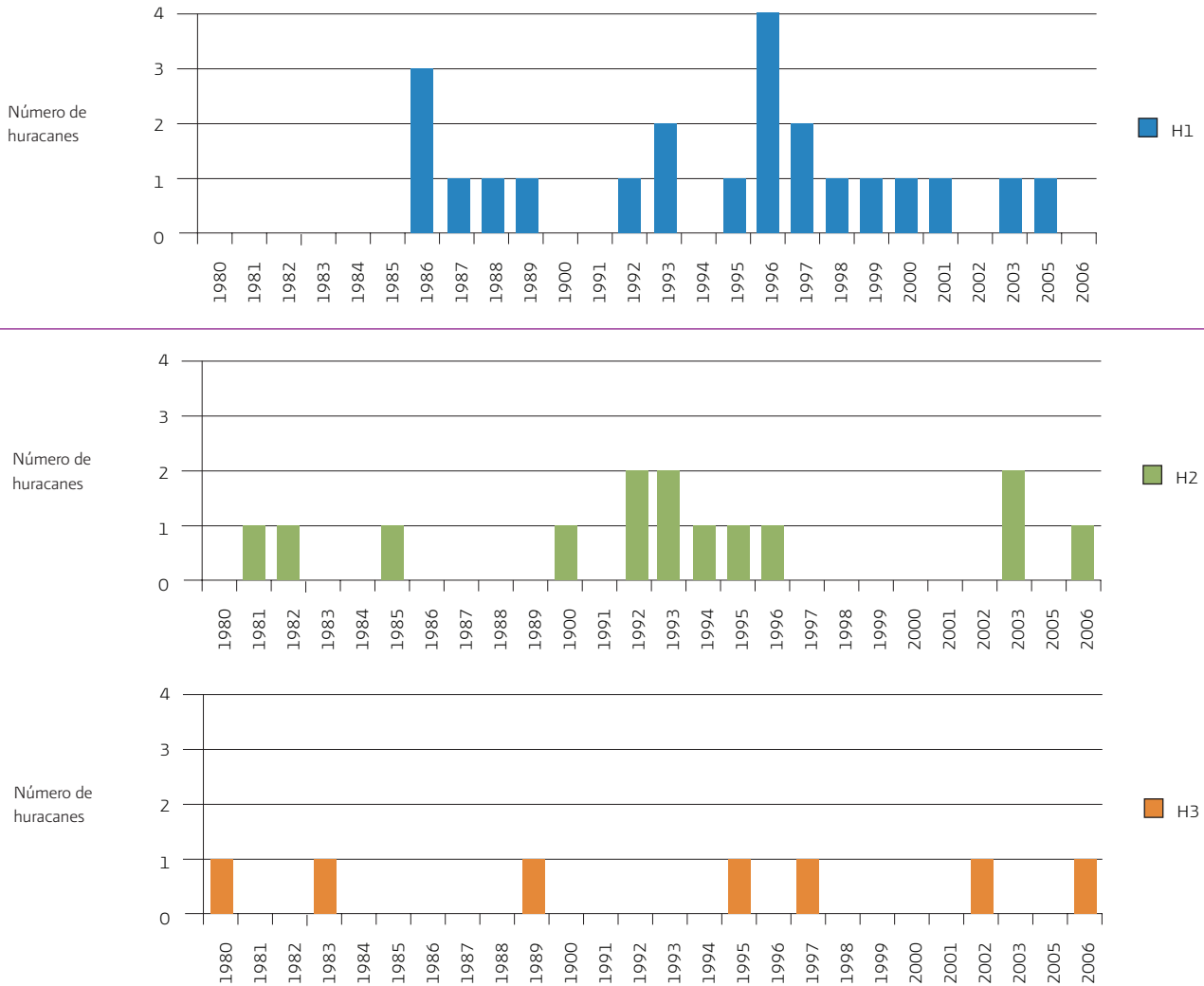
Fuente: Estadísticas del Agua en México 2007.

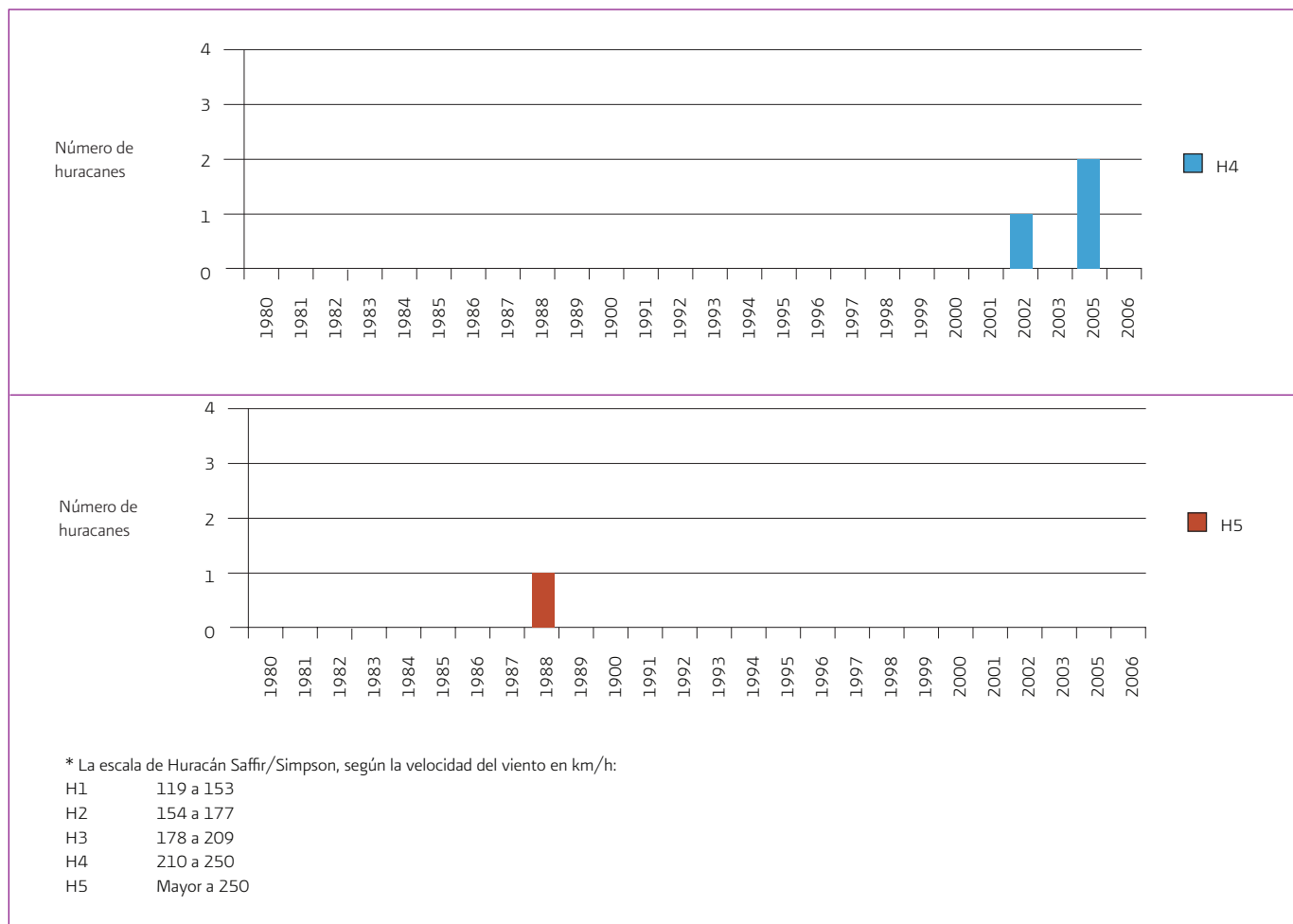
FIGURA 18 NÚMERO DE HURACANES QUE HAN IMPACTADO EN MÉXICO, 1980-2006



Fuente: Elaboración propia con información de Estadísticas del Agua en México 2007.

FIGURA 19 HURACANES QUE HAN IMPACTADO EN MÉXICO, SEGÚN CATEGORÍA 1980-2006





Fuente: Elaboración propia con información de Estadísticas del Agua en México 2007.

TABLA 13 RESUMEN DE DAÑOS EN EL SECTOR AGROPECUARIO (AGRICULTURA), 2001-2002

| Evento | Año | Estados afectados | Intensidad | Costo total (millones de pesos) | Daños en el sector agropecuario (millones de pesos) | Agricultura | | |
|--------------------|------|-----------------------------|------------|---------------------------------|---|--|-----------------------------|--------------------------------|
| | | | | | | Daños a la agricultura (millones de pesos) | Área de cultivo dañada (ha) | Costo por ha cultivada (pesos) |
| Huracán Juliette | 2001 | Sonora, Baja California Sur | H1 | 1 755.30 | 165.91 | 119.87 | 1 451 | 82 612.72 |
| Huracán Iris | 2001 | Oaxaca, Aguascalientes | | 200.90 | 18.08 | 13.02 | 11 440 | 1 137.97 |
| Huracán Isidore | 2002 | Yucatán, Campeche | H3 | 8 877.55 | 855.41 | 855.53 | 266 678 | 3 208.12 |
| Huracán Kenna | 2002 | Nayarit, Jalisco | H4 | 1 244.83 | 92.06 | 70.76 | 203 434 | 347.83 |
| Promedio 2001-2002 | | | | 3 019.65 | 282.86 | 264.80 | 120 750.75 | 21 826.66 |

Fuente: CENAPRED, Serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurredos en la República Mexicana (años 2001 y 2002).

TABLA 13 RESUMEN DE DAÑOS EN EL SECTOR AGROPECUARIO (GANADERÍA), 2001-2002

| Evento | Año | Estados afectados | Intensidad | Costo total (millones de pesos) | Daños en el sector agropecuario (millones de pesos) | Ganadería | | |
|--------------------|------|-----------------------------|------------|---------------------------------|---|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| | | | | | | Daños a ganadería (millones de pesos) | Área de superficie de pastizal dañada (ha) | Costo por ha de pastizal (pesos) |
| Huracán Juliette | 2001 | Sonora, Baja California Sur | H1 | 1 755.30 | 165.91 | 46.04 | 5 747 | 8 010.30 |
| Huracán Iris | 2001 | Oaxaca, Aguascalientes | | 200.90 | 18.08 | 5.06 | 111 631 | 45.35 |
| Huracán Isidore | 2002 | Yucatán, Campeche | H3 | 8 877.55 | 855.41 | - | 553 179 | - |
| Huracán Kenna | 2002 | Nayarit, Jalisco | H4 | 1 244.83 | 92.06 | 21.30 | 233 070 | 91.38 |
| Promedio 2001-2002 | | | | 3 019.65 | 282.86 | 18.10 | 225 906.70 | 2 036.76 |

Fuente: CENAPRED, Serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Occurridos en la República Mexicana (años 2001 y 2002).

7.2 PÉRDIDA DE ACTIVOS

Además de los impactos en la productividad, el calentamiento atmosférico afectará en los activos productivos, en diversas circunstancias:

7.2.1 PÉRDIDA DE VALOR DE EXISTENCIAS (VALOR DE LOS RECURSOS NATURALES AFECTADOS)

En algunos casos, la elevación de la temperatura reduce la cubierta vegetal protectora de los suelos. Esto puede suceder de manera directa así como por el sobrepastoreo que disminuye la capacidad forrajera de los potreros; en otros casos, el exceso de precipitación o su mayor intensidad, junto con vientos de alta velocidad, pueden conducir a la degradación paulatina de las tierras o, en el caso de fenómenos hidrometeorológicos intensos, a la pérdida de tierras, pasturas y plantaciones.

Para este apartado se cuantificó la pérdida en el valor de existencia de las tierras ante la erosión eólica y la salinización. Por erosión eólica, en el escenario B2 se estimaron pérdidas por 154 millones de pesos y en el escenario A2 por 106 millones de pesos. Por salinización, se estimaron pérdidas para la agricultura del orden de 66 y 95 millones de pesos, para los escenarios B2 y A2 respectivamente.

7.2.2 PÉRDIDA DE INFRAESTRUCTURA POR OBSOLESCENCIA O DESPLAZAMIENTO DE APTITUD DE USOS DE LAS TIERRAS

En algunas condiciones, los cambios de clima pueden provocar procesos de salinización que convierten la infraestructura de riego en obras ociosas, debido a la degradación de las tierras hasta, en ocasiones, quedar estériles. Otro tanto puede ocurrir, por ejemplo, con la infraestructura de almacenamiento en frío instalada en las regiones manzaneras, que dejan de ser aptas para el cultivo de dicha fruta, que requiere de cierto número de horas frío.

7.3 IMPACTOS INDIRECTOS EXTRAPARCELARIOS

Los procesos de degradación de tierras impactan considerablemente en aspectos indirectos, como el azolve de la infraestructura hidroagrícola o la reducción de la vida útil de los álabes en las centrales hidroeléctricas.

7.3.1 IMPACTOS POR EL INCREMENTO DE TOLVANERAS, SOBRE COSTOS DERIVADOS DE AFECTACIONES A LA SALUD

Las partículas sólidas suspendidas en la atmósfera impactan de manera importante en la salud humana. Esto a su vez puede traducirse en términos económicos, al incluir los costos de la atención médica y el impacto del ausentismo laboral en el valor de la mano de obra. Estimamos que el incremento de zonas afectadas por erosión eólica que incrementa las partículas dañinas a la salud, aunque la información, escasa y contradictoria, no permite un abordaje más adecuado de este importante aspecto. Con estas restricciones se estimaron los costos derivados de afectaciones a la salud del orden de 20 millones de pesos para los dos escenarios.

En un ejercicio posterior, para estimar la evolución de la vulnerabilidad de las tierras a la erosión eólica, será conveniente desarrollar cartas de modificaciones en las condiciones climáticas y contrastarlas con los parámetros de adaptación de cada cultivo y cobertura vegetal.

8 EQUIVALENTES EN BONOS DE CO₂ DE LA AGRICULTURA COMO FUENTE DE EMISIONES (Y EL MST PARA LA REDUCCIÓN)

8 EQUIVALENTES EN BONOS DE CO₂ DE LA AGRICULTURA COMO FUENTE DE EMISIONES (Y EL MST PARA LA REDUCCIÓN)

La producción agropecuaria constituye una fuente de gases de efecto invernadero; en su mayor parte son de metano (vía el ganado y los arrozales), óxido nitroso (por el uso de fertilizantes, quemadas de residuos agrícolas) y bióxido de carbono (asociado a quemadas y la pérdida de biomasa).

En México, el sector agropecuario contribuyó con el 7% de las emisiones de GEI totales en 2002. Las emisiones contabilizadas en el sector agropecuario incluyen: i) las emisiones del ganado generadas por la fermentación entérica y el manejo de estiércol, y ii) las emisiones de cultivos, por el cultivo de arroz, las quemadas programadas de suelos y las quemadas in situ de residuos agrícolas, y el manejo de suelos. Adicionalmente, conviene resaltar que el sector agropecuario es indirectamente responsable de las emisiones de otros sectores; por ejemplo, las emisiones de CO₂ generadas por la combustión y descomposición de biomasa derivada de procesos de conversión de bosques a usos agropecuarios⁷.

En México el 84% de las emisiones de CO₂e proviene de la ganadería, y el 16% restante corresponde a la agricultura (Tabla 14). Esta distribución porcentual no corresponde a la distribución porcentual de dichas actividades al PIB agropecuario, mientras que la agricultura aporta el 65% al PIB agropecuario, la ganadería solamente el 35%. La producción ganadera es una actividad que emite mucho más GEI que la agricultura. Lo anterior debería tomarse en cuenta, porque la ganadería es la actividad productiva más diseminada en el medio rural, ya que se desarrolla aproximadamente en 55.8% del territorio nacional (109.7 millones de hectáreas) (PACDS, 42). Esta actividad se realiza sin excepción en todas las regiones ecológicas del país y aun en condiciones climáticas adversas (PACDS, 41).

TABLA 14 MÉXICO: EMISIONES DEL GANADO Y CULTIVOS DEL SECTOR AGRICULTURA, 1990-2002 (GG DE CO₂ EQUIVALENTE)

| Categoría | 1990 | 1992 | 1994 | 1996 | 1998 | 2000 | 2002 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Ganado | 39 976.14 | 39 080.54 | 38 424.07 | 36 882.85 | 37 688.41 | 37 458.45 | 38 527.47 |
| Cultivos | 7 456.61 | 6 974.21 | 7 084.91 | 7 198.56 | 7 761.40 | 8 073.34 | 7 623.56 |
| TOTAL | 47 432.75 | 46 054.75 | 45 508.98 | 44 081.41 | 45 449.81 | 45 531.79 | 46 151.03 |

Fuente: INE, 2006: 26.

8.1 PÉRDIDA DE CO₂ DE LA MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE LOS SUELOS

La materia orgánica contribuye de manera importante a la fertilidad del suelo, porque tiene una función ambiental muy importante como reservorio de carbono. Sin embargo, por procesos biológicos, como la mineralización de la materia orgánica, y por un mal manejo de las tierras, el suelo puede ser fuente de CO₂.

La materia orgánica se deposita en la superficie del suelo, con una tasa alta de descomposición y liberación del CO₂. Al depositarse en los estratos más profundos del perfil edáfico, va incrementando su estabilidad, con lo que aumenta el contenido de este compuesto junto con la profundidad (Robert, 2002).

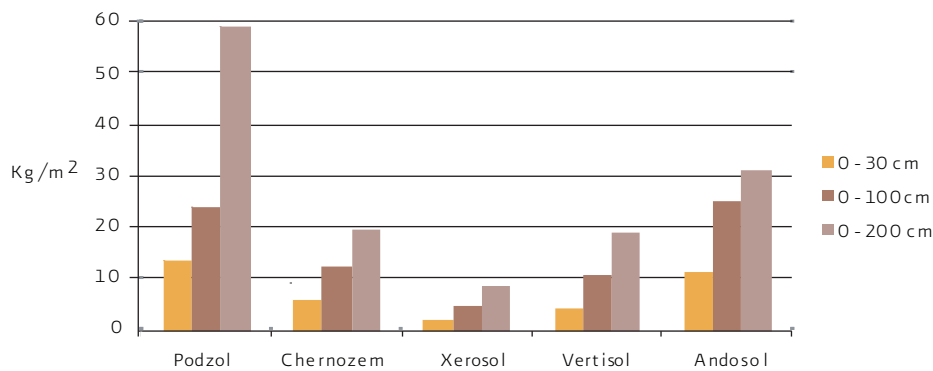
TABLA 15 CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA EN ALGUNOS TIPOS DE SUELOS A TRES PROFUNDIDADES (KG / M²)

| Tipo de suelo | 0-30 cm | 0-100 cm | 0 – 200 cm |
|---------------|---------|----------|------------|
| Podzol | 13.6 | 24.2 | 59.1 |
| Chernozem | 6.0 | 12.5 | 19.6 |
| Xerosol | 2.0 | 4.8 | 8.7 |
| Vertisol | 4.5 | 11.1 | 19.1 |
| Andosol | 11.4 | 25.4 | 31.0 |

Fuente: FAO- UNESCO, 1974 citado por Robert (2002).

⁷ El INEGI contabiliza las emisiones de CO₂ generadas por el cambio de uso de suelo de bosques a agricultura, en la categoría "Uso del Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura" (USCUSS) de acuerdo a la metodología del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

FIGURA 20 CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA POR TIPO DE SUELO, A TRES PROFUNDIDADES



Fuente: FAO-UNESCO, 1974 citado por Robert (2002).

En los suelos agrícolas, las prácticas de labranza convencional reducen la materia orgánica en los suelos, lo que conlleva la liberación de CO₂ a la atmósfera. Por otra parte, la labranza de conservación o cero labranza, la incorporación de rastrojos y los abonos verdes, con composta o estiércol, pueden contribuir al incremento del contenido de materia orgánica en los suelos (Ponce-Hernández, 2004). En el caso de una cobertura forestal abierta para el cultivo, donde se aplique la labranza convencional, la pérdida de carbono será considerable: 40 o 50% en unas décadas (FAO, 2005: 18).

Por otra parte, los estudios sobre erosión hídrica y eólica indican la remoción de la materia orgánica, que al moverse es liberada hacia la atmósfera en un 20% (Stockins 2007).

Si bien el suelo forma parte del problema del cambio climático, al ser una fuente de emisión de CO₂, también puede formar parte de la solución, si se maneja adecuadamente. Si se considera que los contenidos de materia orgánica regularmente oscilan entre el 2 y el 6% (INE, 2006), es de interés para los efectos de los artículos 3.3. y 3.4. de la CMNUCC, calcular que, tan sólo en las 21 millones de hectáreas cultivadas hay un potencial de incremento de un 3%, al pasar del 2.5 actual (SEMARNAT-COLPOS, 2002) a un 5.5%, lo que equivale a una cantidad de carbono del orden de 10,000 millones de toneladas. Adicionalmente es importante considerar que las tierras con pasturas tienen una mayor capacidad de almacenamiento de carbono, tanto por la cantidad de actividad fotosintética, como por la mayor estabilidad del carbono almacenado en los suelos con pastos (Ibrahim, 2008).

Estimamos en 10 mil millones de pesos la pérdida económica valorada en términos de bonos de CO₂ generada por la mineralización de la materia orgánica en los suelos agrícolas.

8.2 EMISIONES POR QUEMAS AGRÍCOLAS Y GANADERAS

En México, al igual que en otros países en desarrollo, la quema de residuos agrícolas es una práctica común. Consiste en quemar los restos vegetales que quedan en el terreno después de la cosecha, con el objeto de preparar la tierra para la próxima siembra antes de las lluvias. En las zonas más áridas de México esta práctica no existe ya que todo es aprovechado para alimentar el ganado (INE, 2005: 4-10).

La quema de residuos agrícolas y de pastizales provoca graves problemas ambientales, ya que su aplicación genera pérdida de la microfauna del suelo, aumenta la erosión y la pérdida de fertilidad del suelo, reduce la capacidad de retención de agua, y aumenta la emisión de GEI (metano, monóxido de carbono, óxido nitroso y óxidos de nitrógeno). Además, reduce la cantidad de nitrógeno en el suelo, que posteriormente debe suplirse mediante el uso de fertilizantes nitrogenados⁸.

En el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero se calculan las emisiones por la quema de residuos a partir del cultivo de caña de azúcar, ya que es el único cultivo para el cual se reportan datos confiables sobre su volumen de producción, superficie sembrada y superficie cosechada (INE, 2006: 4-10). Para este apartado, actualizamos la información de superficie cosechada y de volumen de producción de la caña de azúcar en México en 2007 (Tabla 16). Con esta información fue posible estimar las emisiones asociadas a la quema de residuos de caña entre 2005 y 2007, completando la serie presentada por el INEGI.

De acuerdo con nuestros cálculos, la quema de residuos agrícolas tiene un alto costo ambiental; si se dejaran de quemar los residuos de la caña de azúcar, se obtendrían en bonos de carbono de aproximadamente 13 millones de pesos anualmente. Adicionalmente, en un estudio posterior, se deberá estimar el conjunto de quemas agrícolas y ganaderas, tanto para mantener los pastizales como para eliminar residuos de cosechas.

⁸ Se calcula que la quema de una hectárea de rastrojo hace desaparecer 200 kg de nitrógeno, que luego deberán de ser añadidos de modo artificial para que crezca una nueva cosecha (<http://www.guanajuato.gob.mx/sda/programas/rastrojo.htm>)

TABLA 16 SUPERFICIE COSECHADA Y VOLUMEN DE PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR INDUSTRIAL EN MÉXICO, 1990-2007

| Año | Superficie cosechada (Ha) | Volumen de producción (Ton) |
|---------|---------------------------|-----------------------------|
| 1990 | 571 200 | 39 907 900 |
| 1991 | 546 200 | 38 387 200 |
| 1992 | 557 400 | 41 652 400 |
| 1993 | 560 800 | 42 879 700 |
| 1994 | 586 800 | 40 538 600 |
| 1995 | 570 800 | 44 324 000 |
| 1996 | 621 800 | 44 295 000 |
| 1997 | 614 800 | 44 465 200 |
| 1998 | 630 600 | 47 129 800 |
| 1999 | 643 200 | 45 105 700 |
| 2000 | 618 300 | 42 866 623 |
| 2001 | 623 700 | 46 329 200 |
| 2002 | 632 215 | 45 635 329 |
| 2003 | 644 400 | 47 386 484 |
| 2004 | 651 911 | 48 662 243 |
| 2005 | 669 800 | 51 645 500 |
| 2006 | 662 800 | 50 060 300 |
| 2007 p/ | 663 000 | 50 908 900 |

p/ Cifras preliminares

Fuente: Presidencia de la República. Segundo Informe de Gobierno, 2008.

FIGURA 21 SUPERFICIE COSECHADA Y VOLÚMEN DE PRODUCCIÓN CAÑA DE AZÚCAR INDUSTRIAL EN MÉXICO, 1990-2007



p/ Cifras preliminares

Fuente: Presidencia de la República. Segundo Informe de Gobierno, 2008.

TABLA 17 EMISIONES GENERADAS DE LA QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN EL CULTIVO DE CAÑA DE AZÚCAR (GIGAGRAMOS)

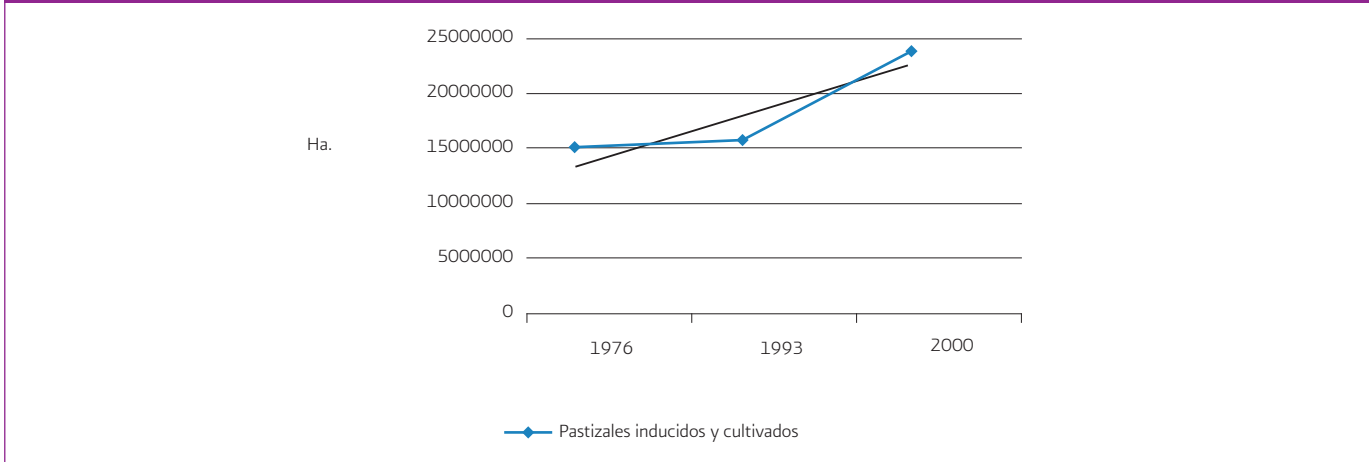
| Año | CH ₄ | CO | N ₂ O | NO _x |
|---------|-----------------|--------|------------------|-----------------|
| 1990 | 1.560 | 32.761 | 0.026 | 0.930 |
| 1992 | 1.628 | 34.193 | 0.027 | 0.971 |
| 1994 | 1.585 | 33.279 | 0.026 | 0.945 |
| 1996 | 1.732 | 36.362 | 0.029 | 1.033 |
| 1998 | 1.842 | 38.690 | 0.030 | 1.099 |
| 2000 | 1.676 | 35.190 | 0.028 | 0.999 |
| 2002 | 1.784 | 37.463 | 0.029 | 1.064 |
| 2004 | 1.902 | 39.948 | 0.031 | 1.134 |
| 2006 | 1.957 | 41.095 | 0.032 | 1.167 |
| 2007 p/ | 1.990 | 41.792 | 0.033 | 1.187 |

p/ Calculado con base en cifras preliminares de la producción de caña de azúcar

Fuente: INE (2006) para el periodo 1990-2002 y cálculos propios para los años 2004, 2006 y 2007, con base a la metodología del INEGI.

En cuanto a las quemas de pastizales, no se cuenta con información para estimar emisiones de CO₂. En el INEGI solamente se reportan las emisiones por quemas agrícolas. Sin embargo, considerando la superficie tan amplia que cubren los pastizales en el territorio nacional, se puede inferir que mediante mejores prácticas de manejo, se pueden mitigar sustancialmente las emisiones por quemas ganaderas.

FIGURA 22 SUPERFICIE DE PASTIZALES INDUCIDOS Y CULTIVADOS EN MÉXICO (HECTÁREAS)



Fuente: Carta de uso de suelo, INEGI (1993 Y 2000)

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Las recomendaciones para mitigar las emisiones por quemas agrícolas y ganaderas están orientadas a instrumentar prácticas alternativas de agricultura, que incluyen:

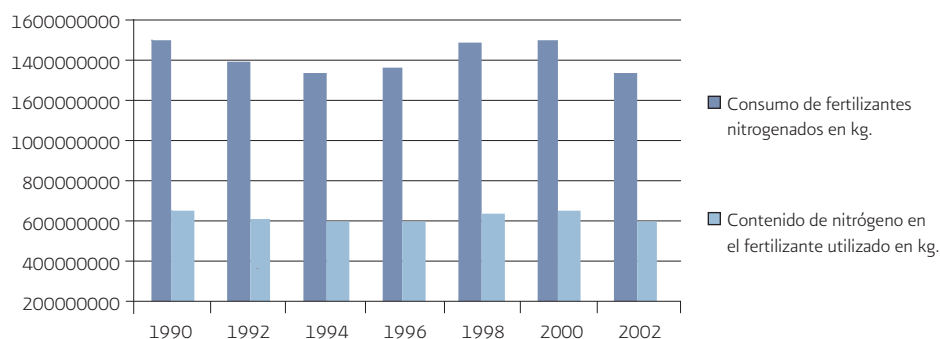
- Mejorar la productividad en las tierras agrícolas, para evitar la quema para uso agrícola de superficies con cobertura vegetal.
- Labranza de conservación que permite que una parte de los residuos de las cosechas se queden en el suelo al momento de sembrar.
- Mejorar el manejo de pastizales, por medio de la rotación del ganado por diferentes áreas del predio para permitir el crecimiento de pastizales, sin tener que recurrir a la quema para inducir un crecimiento acelerado.
- Incorporar los residuos agrícolas al suelo. Esta opción además de reducir las emisiones por quema, tiene el beneficio de aumentar la materia orgánica en el suelo.

8.3 LA FERTILIZACIÓN: AMONIACO VOLÁTIL Y N₂O DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

En el suelo el nitrógeno sufre diversos procesos de transformación, entre los cuales finalmente está la formación de óxido nitroso (N₂O), el cual tiene una capacidad de efecto invernadero equivalente a 296 del CO₂. El uso excesivo de fertilizantes nitrogenados tiene impactos significativos en el ambiente. En México, en 2002 se consumieron cerca de 1.5 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados (INE, 2005: 4-110). Las emisiones generadas por la fertilización tienen un valor en bonos de carbono que ascienden a 757 millones de pesos anualmente.

Algunas de las prácticas para reducir las emisiones de óxido nitroso proveniente de los fertilizantes consisten en incrementar los contenidos de materia orgánica, lo que contribuye a estabilizar el nitrógeno dentro del suelo; aplicar las cantidades necesarias de nitrógeno, de acuerdo con los requerimientos del cultivo, de manera espaciada y mediante el seguimiento de las concentraciones de nitrógeno en el suelo; sustituir fertilizantes por procesos microbianos de fijación de nitrógeno, tanto en leguminosas como en no leguminosas; rotar cultivos y reducir la roturación del suelo mediante técnicas de labranza mínima o supresión de la labranza.

FIGURA 23 MÉXICO: CONSUMO DE FERTILIZANTES NITROGENADOS Y CONTENIDO DE NITRÓGENO, 1990-2002 (KILOGRAMOS)

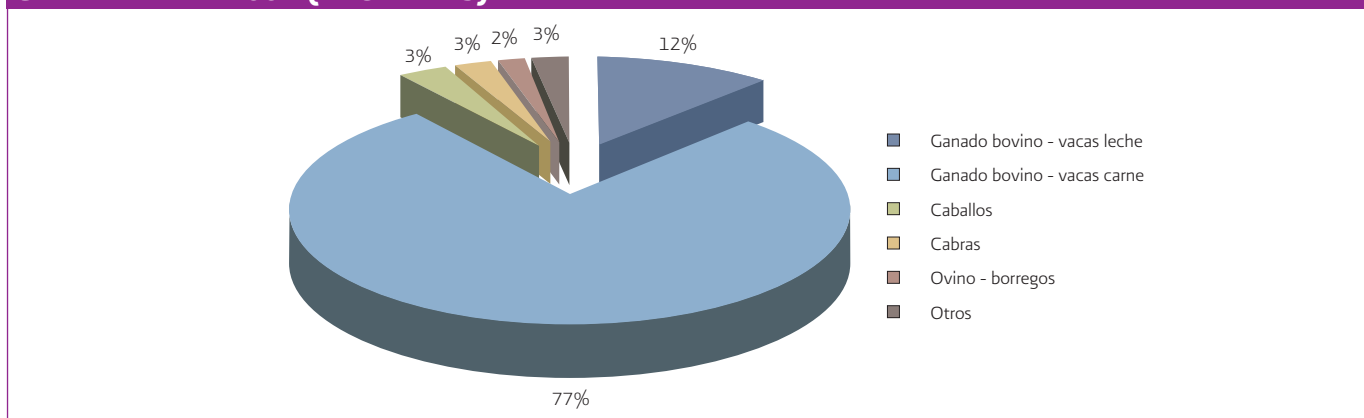


Fuente: Elaboración propia con base al INEGI (2005).

8.4 METANO PROVENIENTE DE EXCRETAS Y DEL PROCESO DIGESTIVO DE LOS RUMIANTES

Las emisiones de metano consideradas en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero incluyen las generadas en la ganadería, vía la fermentación entérica y el manejo de estiércol (que también es una fuente de óxido nítrico). Estas emisiones fueron generadas principalmente por el ganado bovino, donde el de carne y de doble propósito aportó el 89% al total (Figura 24).

FIGURA 24 MÉXICO: DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LAS EMISIONES DE METANO GENERADAS EN LA GANADERÍA EN 2002 (HECTÁREAS)



* La categoría "Otros" incluye: mulas, asnos, cerdos, aves, búfalos y camellos.

Fuente: Elaboración propia con base a la información reportada en el INEGI, 2005.

8.4.1 PROCESO DIGESTIVO DE LOS RUMIANTES

La producción de metano es parte de los procesos digestivos normales de los animales. Durante la digestión, los microorganismos en el aparato digestivo fermentan el alimento consumido por el animal. Este proceso, conocido como fermentación entérica, produce metano, que puede ser exhalado o eructado por el animal. En el caso del ganado bovino, el 98% de sus emisiones de metano provienen de la fermentación entérica (Tabla 18).

TABLA 18 MÉXICO: EMISIONES DE METANO EN EL GANADO BOVINO EN 2002. (TONELADAS AL AÑO)

| Ganado Bovino | Emisiones de CH ₄ generadas por fermentación entérica |
|---------------|--|
| Vacas leche | 226 044.15 |
| Vacas carne | 1 385 494.03 |
| Total | 1 611 538.18 |

Fuente: Elaboración propia con base a la información reportada en el INE, 2005.

Aunque la contribución del metano proveniente de la actividad entérica de los rumiantes es la principal fuente de este GEI, hasta donde hemos tenido conocimiento no existen prácticas para reducir en términos realistas las emisiones en el plantel de rumiantes del país.

8.4.2 EXCRETAS

En México, el ganado bovino contribuye en mayor medida a las emisiones de metano generadas por el manejo de estiércol. En 2002, sus emisiones fueron de aproximadamente 31 mil toneladas de CH₄. Otra fuente importante de metano es el ganado porcino; en 2002, sus excretas generaron 10 500 toneladas de metano (Tabla 19).

TABLA 19 MÉXICO: EMISIONES DE METANO EN EL GANADO EN 2002, GENERADOS POR EL MANEJO DE ESTIÉRCOL, (TONELADAS AL AÑO)

| Ganado | Emisiones de CH ₄ generadas por manejo de estiércol |
|----------|--|
| Bovino | 30 728.39 |
| Porcino | 10 500.86 |
| Caballos | 5 681.29 |
| Aves | 4 008.47 |
| Cabras | 1 362.21 |
| Otros | 2 692.49 |

Fuente: Elaboración propia con base a la información reportada en el INEGI, 2005.

El INEGI menciona apuntado la falta de información para estimar las emisiones generadas por el ganado. Así, en el apartado acerca de la agricultura se recomienda que en los nuevos inventarios censales de ganado se reporte la estructura de la población, peso medio, tasa anual de incremento de peso, dieta y peso promedio por tipo de ganado. Esto sin duda ayudará a mejorar las estimaciones de las emisiones de GEI en la ganadería. Para el caso del ganado porcino, se estimaron las emisiones generadas por las excretas y su valor en bonos de carbono equivalente, lo cual asciende a 3 mil millones de pesos. Este ejercicio permitió dimensionar a la ganadería como un área de oportunidad para mitigar las emisiones de GEI.

MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Respecto del manejo de estiércol, esta fuente se puede controlar mediante mejores prácticas de manejo. Cuando se deposita en sistemas que promueven las condiciones anaeróbicas, su descomposición tiende a producir metano. Pero, cuando el estiércol se maneja en forma sólida, depositado sobre las pasturas y los campos naturales, éste tiende a descomponerse aeróbicamente y produce muy poco o nada de metano. De ahí la importancia de inducir mejores manejos del estiércol para reducir las emisiones de GEI.

El metano que se libera del estiércol líquido puede capturarse y usarse como fuente de energía limpia. Así pues, el desarrollo de proyectos tipo MDL en la ganadería puede reducir las emisiones de CH₄ y ofrecer fuentes alternativas de energía. Para los granjeros, ésta sería una buena alternativa para obtener ingresos adicionales por la venta de bonos de CO₂e.

Las opciones para reducir las emisiones de metano son:

- I) Tratamiento de residuos sólidos orgánicos a través del compostaje.
- II) Sistemas de manejo de estiércol (animales en confinamiento).
- III) Tratamiento de aguas residuales con excretas.
- IV) Instalación de estanques anaeróbicos cubiertos, digestores de gasto tipo pistón, digestores de mezclado completo y digestores de escala pequeña, para la recuperación del gas metano⁹.

Dado que el ganado porcino generalmente se encuentra confinado, la mayoría de las prácticas para mitigar las emisiones de metano se aplican a esta especie o, en su caso, a los bovinos estabulados (como las vacas lecheras).

8.5 EQUIVALENTES POTENCIALES EN BONOS DE SECUESTRO DE CO₂ EN LA AGRICULTURA

Diversas investigaciones han demostrado que las prácticas alternativas en el sector agropecuario tiene un gran potencial para la captura de carbono y la reducción de emisiones de GEI, que la Estrategia Nacional de Cambio Climático (2007) estima en 9.7 Mt CO₂ como meta para el 2012, cuantificando la parte de reconversión productiva, labranza de conservación y conservación de suelos y captura de carbono en tierras de pastoreo (ENACC 2007: 99). Las acciones para fomentar el uso de técnicas de labranza de conservación y la reducción de intensidad en el uso de la tierra ayudarán a aumentar la fijación de carbono en suelos agrícolas y pecuarios.

Mediante la aplicación del manejo sustentable de tierras (MST) es posible mantener mayores cantidades de carbono en el suelo. De esta forma, se contribuye a reducir el CO₂ en la atmósfera, al tiempo que se mejora la capacidad de recuperación del suelo. En el presente estudio, se estimó un potencial de 10 mil millones de toneladas de CO₂e para 2030.

⁹ www.methanetomarkets.org

TABLA 20. POTENCIAL DE CAPTURA DE CO₂ EN ACTIVIDADES ADICIONALES EN LA AGRICULTURA

| Concepto | Potencial captura de CO ₂ al 2030 | Valor estimado (pesos) |
|---|--|------------------------|
| Incremento de materia orgánica por buenas prácticas de manejo de tierras agropecuarias | 8 249 925 120 | 536 245 132 800 |
| Prácticas silvopastoriles como reforestación | 2 206 557 918 | 143 426 264 668 |
| Incremento de la productividad agropecuaria como sumidero en materiales con vida limitada | 32 522 388 | 3 334 442 160 |
| Total | 10 489 005 426 | 683 005 839 627 |

9 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

9 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

9.1 MEJORAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN POR MANEJO SUSTENTABLE DE LAS TIERRAS (MST)

MST EN LA AGRICULTURA:

- **Cambio a labranza de conservación**

Al reducir la inversión del prisma del suelo con los instrumentos de roturación, la labranza de conservación incide de manera importante efecto en la acumulación de materia orgánica en el suelo y mantiene una cubierta vegetal protectora contra la erosión de origen hídrico y eólico; con esto último, se preserva la materia orgánica que puede variar de acuerdo con el tipo de suelo, desde 2 hasta 13.6 kg por metro cuadrado en los primeros 30 centímetros (Robert, 2002).

En cuanto a la deposición de carbono en los horizontes del suelo, se distinguen sustancialmente los comportamientos de los depósitos de acuerdo con la profundidad. De manera que en los primeros 30 centímetros una actividad orgánica intensa sobre los residuos de las cosechas o la hojarasca y mantillo de los pastos es sometida a un rápido proceso de mineralización, a la vez que fracciones de carbono son trasladadas por lixiviación hacia los horizontes inferiores del perfil del suelo. Ello resulta en una creciente estabilidad de ese elemento. Así, la duración de la materia orgánica es de cuatro a treinta meses para la hojarasca de la capa superficial; de 25 años para el humus en el horizonte de 30 cm a 2 metros y carbono estable a partir de los dos metros (de acuerdo con Balesdent, 2000).

Se considera que el lento proceso de deposición de carbono en formas estables está regido por el suministro constante de dicho elemento, capturado por el proceso fotosintético. La labranza reducida puede tener un efecto positivo de incrementar el contenido de materia orgánica superficial del orden de dos puntos porcentuales, lo que equivale, de acuerdo con el tipo de suelo, a unos 0.3 kg de carbono por metro cuadrado (Smith, 1999).

- **Acolchado vegetal**

El acolchado (o mulch) por medio de materia orgánica en forma de rastrojos y otros materiales que pueden ser importados a la parcela, tiene un efecto semejante al de la labranza reducida o no labranza, en cuanto a la protección y la reducción de emisiones por la mineralización de la materia orgánica expuesta a los agentes degradantes. Al mismo tiempo, significa una extensión temporal a la vida orgánica del carbono, aunque se puede considerar que este efecto es poco significativo, ya que la degradación de la materia en la superficie del suelo podría acelerarse. Se puede incorporar, de manera genérica, al catálogo de buenas prácticas que, en conjunto se asumen para un efecto de reducción de emisiones.

Adicionalmente, el acolchado se puede considerar también como una práctica de adaptación, en la medida que reduce grandemente la evapotranspiración y, con ello, el uso consuntivo de los cultivos, tanto en condiciones de riego como en temporal, pues esa reducción es una forma de reducir la vulnerabilidad frente a la sequía.

- **Utilización de cultivos de cobertera**

Los cultivos de cobertera proveen la misma función protectora del acolchado y de la labranza de conservación, y pueden estar asociados a esta última práctica. Generalmente se trata de establecer, en diversos arreglos de tiempo y espacio dentro de la parcela, cultivos leguminosos que, a la vez que cubren el suelo, fijan también el nitrógeno de la atmósfera edáfica y, potencialmente, son fuente de forrajes o alimentos de consumo humano.

Esta práctica tiene varias significaciones en términos del metabolismo del carbono: comparten con las prácticas anteriormente descritas, el efecto de protección contra la erosión hídrica y eólica; reducen la necesidad de aplicación de fertilizantes nitrogenados y, con ello, las emisiones de N_2O contribuyen al incremento de la producción y, con ello, a la producción de materia orgánica que puede ser exportada como cosecha y quedar como remanente que se acumula en abono de la cuenta de carbono depositado.

Hasta donde conocemos, no existen datos precisos que permitan valorar en detalle y no está al alcance de este estudio la precisión de datos que requeriría su estimación, pero se asimila de manera agregada con las otras prácticas que aquí se describen.

- **Bordos, terrazas y muros vivos para incrementar la eficiencia de la precipitación**

Las estructuras que podemos llamar genéricamente de control hidráulico parcelario o de microcuenca, tienen un doble efecto de, por un lado, contener y retener alguna cantidad de suelo ya removido de su localización y función productiva y, por otro, incrementar la infiltración de la lluvia.

Cuando se trata de estructuras practicadas dentro de las parcelas, la humedad retenida tiene un efecto directo sobre la productividad de los cultivos en condiciones fronterizas de régimen climático, particularmente proporcionando un mayor remanente de humedad, crucial en el caso de los cultivos susceptibles a la sequía intraestival (García, 1964) y aumentando la extensión del ciclo fotosintético de los cultivos, proporcionando a los productores alternativas para la utilización de genotipos de ciclo más largo y, por tanto, más productivo, una mayor resistencia contra la sequía y más productividad que aporta a la captura de carbono.

Al incluir las estructuras hidroagrícolas parcelarias como prácticas en el contexto de la problemática del cambio climático reconocemos su aportación a la mejoría del balance de carbono y, a la vez, su valor como mecanismo de adaptación, particularmente en condiciones de agricultura de ladera.

- **Estrategias de manejo de fertilidad de suelos: utilización de mediciones de laboratorio, biofertilización y rotación de cultivos**

Las prácticas de manejo de fertilidad de los suelos son relevantes para el cambio climático en términos de emisiones y de adaptación, desde la perspectiva de la elevación de la productividad y de las emisiones de N_2O .

En este sentido, la racionalización del empleo de fertilizantes nitrogenados químicos y su sustitución por otras prácticas está contribuyendo a la reducción de los costos, de forma particularmente importante en el contexto de un mercado de energéticos inestable, sujeto a especulación y con precios que tienden a aumentar.

Entre las prácticas que sería conveniente impulsar, está el análisis de laboratorio para aplicar el tipo de fertilizante, en las cantidades y formas de aplicación que los cultivos requieren y romper así las limitaciones de un concepto de asistencia técnica basado en paquetes. Experiencias de campo indican la posibilidad de reducción en órdenes de 50% en los fertilizantes aplicados, lo que ha incrementado la productividad en un orden del 25% (FAO, 2008; SEMARNAT, 2002).

Otras prácticas agronómicas pueden incidir sustancialmente en la reducción de necesidad de fertilizantes químicos, particularmente los nitrogenados. Entre ellas, ha adquirido importancia creciente la biofertilización. Éste es el empleo de inóculos de micorrizas y bacterias específicas fijadoras de nitrógeno, desarrolladas recientemente por la ciencia biotecnológica. Hacen posible la fijación de nitrógeno en especies no leguminosas, como las gramíneas o frutales. Debe mencionarse que la biofertilización conlleva riesgos respecto de la biodiversidad edáfica, lo que actualmente se encuentra en debate, el cual va orientando hacia la necesidad de establecer trabajos de desarrollo biotecnológico que utilicen diversos materiales genéticos colectados localmente y evitar la homogeneización de inóculos que, por otro lado, presumiblemente tendrían menor eficacia nitrogenadora.

Al reducir significativamente los costos (en un orden de 70%) la biofertilización, hace posible incorporarla con rapidez a las prácticas regulares de los productores. Constituyen a su vez una mejora en la calidad de los suelos, al regenerar las condiciones de reproducción de los organismos edáficos, en general, al reducir la contaminación por fertilización química, al tener un efecto esterilizador en los suelos (FAO, 2008).

Otras prácticas de manejo de fertilidad, alternativas a la fertilización química, son la rotación de cultivos con diferentes requerimientos nutricios, lo que tiene mayor posibilidades de aplicación extensa en la agricultura empresarial de zonas de riego, y la de abonos orgánicos que tienen la limitación de su bajo contenido de nutrimentos disponibles para las plantas en el corto plazo y los grandes costos de transporte que significan los amplios volúmenes necesarios para su utilización.

No obstante, cabe señalar la importancia de la fertilización orgánica en áreas de cercanía a concentraciones importantes de materia orgánica, como en el caso de las zonas donde se concentran unidades productivas pecuarias en confinamiento (granjas de cerdos, establos, etc.), los programas de manejo de residuos sólidos municipales o el manejo de lodos de plantas de tratamiento de aguas, en cuyo caso sí se pueden establecer relaciones sinérgicas virtuosas entre las actividades generadoras de residuos orgánicos y la producción agrícola.

- **Supresión o reducción de quemas**

Las quemas agrícolas y pecuarias contribuyen sustancialmente a la generación de GEI (INE, 2006). Particularmente, se ha señalado el peso específico que tiene la práctica de quemar caña de azúcar durante la cosecha, cuando el corte y carga se lleva a cabo de forma manual. La mecanización de la zafra reduce sustancialmente las emisiones de esta fuente, aunque su aplicación implica inversiones que no son viables en todos los casos y, por otro lado, un impacto en la disponibilidad de plazas de empleo.

Además de las quemas de caña, la producción agrícola frecuentemente incluye la quema de residuos de cosechas anteriores, particularmente cuando la intensidad de los ciclos agrícolas requiere la inmediata utilización de la tierra después de la cosecha. Esto degrada los suelos por cuanto reduce su contenido de materia orgánica, la destrucción de la estructura del suelo y el incremento en las dificultades de laboreo. Esto se traduce en mayor caballaje, en la aplicación de agua de riego para acondicionar el suelo, (con su consecuente inducción de salinidad) y otros efectos detrimentales de la productividad. La aplicación de métodos de labranza de conservación, la incorporación de la materia orgánica y la utilización de los residuos de cosecha como acolchado, sustituyen con mucha ventaja a las quemas, especialmente si se considera el largo plazo; sin embargo, aparece como un factor determinante el tipo de producción y las relaciones contractuales en caso de tierras arrendadas, para hacer viable técnicas que sustituyan, supriman o reduzcan el uso del fuego.

Debe considerarse en una valoración más amplia de la problemática del fuego, el efecto de las quemadas agrícolas y pecuarias sobre la incidencia de incendios forestales, ya que éste es el origen principal de dichos siniestros (SEMARNAT, 2005).

MST EN LA GANADERÍA

- **Ordenamiento de agostaderos incluye sistemas tipo Savory u holístico.**

En las tierras de pastoreo extensivo de las zonas secas, se encuentra la principal problemática de degradación de tierras por erosión eólica (SEMARNAT, 2002). Dicha problemática impacta sustancialmente sobre las emisiones de carbono, que se han incluido como parte de los cálculos de este estudio. A la vez, la ganadería extensiva en tierras secas se prevé como una de las actividades más vulnerables (SEMARNAT 2007. Estrategia Nacional de Cambio Climático).

Ya que la escasa capacidad de carga no permite inversiones sustanciales para mejorar las tierras y aumentar la productividad, en este nicho ecológico es crucial adaptar las prácticas de manejo de las tierras y el ganado, en función de las limitaciones y potencial de las tierras, zonificadas en detalle (nos referimos a valores de capacidad de carga de 20 a 40 hectáreas por unidad animal, contra cuya productividad se debe amortizar cualquier inversión realizada en la unidad de producción, según los datos de COTECOCA 2007); en estas condiciones, la principal herramienta de manejo es el ganado mismo, por lo que el ordenamiento de esa actividad es la principal forma de reducción de emisiones y adaptación a condiciones esperadas de creciente vulnerabilidad.

El ajuste en la dotación de ganado es la principal medida de manejo de las tierras de agostadero, pero esta medida se puede complementar acciones sistémicas, desarrolladas en diferentes escuelas, (Bingham, 1999; García Moya, 1972; Heady, 1994). Entre éstas se encuentra: la construcción de aguajes que permiten una mejor distribución del ganado, la rotación de potreros, el diferimiento de segmentos para su recuperación, la programación de los ciclos de parición y venta, mediante el empadre restringido, el pastoreo con varias especies animales, incluidas las de fauna silvestre, así como algunas acciones de intervención directa como el establecimiento de parcelas con pasturas irrigadas de carácter estratégico, o el paso de rodillo aereador.

- **Reconversión a sistema silvopastoril (incluye uso cinegético)**

Principalmente en las zonas de trópico húmedo a subhúmedo seco, las prácticas de manejo silvopastoril pueden contribuir a la captura de carbono, al incluir simultáneamente el aumento de la cobertura y productividad de las praderas y el establecimiento complementario de árboles que pueden tener o no un valor forrajero (Ibrahim, 2008).

Desde la perspectiva de la captura de carbono, se ha estimado que las pasturas, con metabolismo energético tipo C4, son más eficientes que las plantaciones forestales (Robert, 2002). Sin embargo, la reforestación parcial por medio de cercos vivos y sombreaderos aporta un depósito más duradero en el corto plazo.

- **Supresión de quemadas**

Generalmente, las quemadas ganaderas son una manera de eliminar especies arbustivas y, sobre todo, para remover las partes lignificadas de los pastos que consume el ganado. En todo caso, esta práctica es una fuente de emisiones a la vez que causa de incendios forestales.

Si se entiende que el objetivo de las quemadas es remover dichas partes vegetativas, la supresión de las quemadas puede significar una ventaja para los productores si se sustituye por una forma de manejo de las pasturas que elimine o reduzca la generación de dichos materiales, de acuerdo con el tipo de ecosistema de que se trate.

En el caso de la quema de gramíneas con alto contenido de lignina que se desarrollan en los bosques templados, reconocidos como zacatones, (especies de los géneros Muhlenbergia, Stipa, Sporobolus y otras), la quema se lleva a cabo antes de las aguas, justamente cuando el peligro de incendios es mayor, con el objeto de provocar el rebrote de partes tiernas o pelillo. En estas condiciones, es muy difícil sustituir dicha práctica por otras formas de manejo del pastizal forestal, aunque sí se podría trabajar, si la supresión del pastoreo es imposible, en inducir la proliferación de pastos nativos de esos ecosistemas con mayor calidad y que no requieran de quemadas, como algunas especies de Agrostis, Festuca y Bouteloua (Chapela, 1978). Pero el conocimiento de las formas de manejo de los pastizales forestales es incipiente y se requiere de mucho más información.

En condiciones de pasturas en trópico húmedo a subhúmedo seco, el manejo rotacional de ganado puede erradicar la necesidad de uso del fuego, particularmente si se sustituyen las especies más propensas a la lignificación, como el zacate Jaragua (*Hyparrhenia rufa*). La división de potreros, de manera que el ganado consuma toda la planta y no tenga oportunidad de seleccionar las especies y plantas más tiernas y apetecibles, ha mostrado su potencial de manera muy contundente desde hace décadas (Voisin, 1973; Mc Meekan, 1973).

Adicionalmente, la complementación de forrajes mediante el manejo integrada de los recursos naturales , puede incluir la conservación de forrajes mediante el ensilado de los residuos de cultivos o la producción imbricada de pasturas de corte que sustituyan con ventaja el pastoreo de los zacatones, las zonas forestales de clima templado, y aumente el potencial productivo en los otros ecosistemas. Las definiciones al respecto, por otra parte, deberán ser parte de los elementos de juicio para considerar la factibilidad de reubicar la ganadería lechera que presiona sobre los recursos hídricos en las zonas hidro-deficitarias del país, lo que requiere, entre otros aspectos, garantizar el abasto de forrajes.

9.2 RACIONALIZACIÓN USO DEL AGUA

Como consecuencia del calentamiento global se prevén cambios en la precipitación pluvial, la evaporación del agua desde el suelo y la transpiración de las plantas, lo que afectará sin duda el reabastecimiento de agua. En México, el sector agrícola consume el 77% del agua, donde el 62% proviene de aguas superficiales y el 38% de aguas subterráneas (Landa & Carabias, 2005: 30). La mayor parte del agua extraída para uso agropecuario es utilizada para el riego.

De la superficie total cultivable en México, el 56.5% corresponde a áreas de temporal no tecnificado, muy vulnerables a la variabilidad de lluvias y eventos de sequías; en estas tierras será difícil asegurar la estabilidad de la producción.

En las áreas de temporal tecnificado y tierras con infraestructura de riego, el riesgo se perfila por la reducción en la recarga de acuíferos, sobre todo si se considera que más del 50% de la superficie de riego se localiza en zonas áridas y semiáridas de las regiones del norte y el centro del país. Ante esto, se hace necesario promover un uso más eficiente del agua para la agricultura, ya que se calcula que la eficiencia promedio del uso del agua para riego es de 46% (PEC, 2002)¹⁰.

Ante una perspectiva limitativa en la disponibilidad de agua, hay que emprender acciones para su mejor utilización, aprovechando el gran margen de reducción del uso consuntivo sin disminuir la producción ni los servicios consuntivos humanos. En el siguiente cuadro se presenta el volumen ahorrado y el valor del agua ahorrada por las siguientes medidas:

- I) entrega volumétrica de agua,
- II) relocalización de cultivos,
- III) mejora en la infraestructura de conducción, y
- IV) prácticas eficientes de agua.

En total, se estima que con estas medidas se podrían ahorrar 16 mil millones de metros cúbicos de agua, lo que representa 218 mil millones de pesos.

TABLA 21 VOLUMEN Y VALOR DE AGUA AHORRADA EN LA AGRICULTURA

| Concepto | Volumen ahorrado m ³ | Valor del agua ahorrada (pesos) |
|--|---------------------------------|---------------------------------|
| Entrega volumétrica del agua | 3 207 600 000 | 43 623 360 000 |
| Relocalización de cultivos y desarrollo de genotipos hídrico – eficientes | 3 207 600 000 | 43 623 360 000 |
| Mejora de operación, reparación y mejora física de infraestructura de conducción | 3 207 600 000 | 43 623 360 000 |
| Prácticas eficientes de uso del agua | 6 415 200 000 | 87 246 720 000 |
| Total | 16 038 000 000 | 218 116 800 000 |

¹⁰ Esto implica que el 54% del agua asignada para riego no es aprovechada en los cultivos y regrese a los acuíferos y cuerpos superficiales (Carabias y Landa, 2005: 31).

ENTREGA VOLUMÉTRICA DEL AGUA Y ADECUACIÓN DE LOS ESQUEMAS DE COBRO DE DERECHOS

Ha sido ampliamente reconocida la necesidad de establecer señales claras sobre el costo del agua, tanto la medida base para racionalizar su uso por parte de los consumidores, como para financiar la mejora de la infraestructura necesaria para un manejo eficiente de este recurso. La gestión volumétrica, y no por bloque, es un paso para cualquier estrategia de mejora en la administración del agua. Pero esto exige inversiones en el confinamiento y aforo de los abastos del líquido.

RELOCALIZACIÓN DE CULTIVOS Y DESARROLLO DE GENOTIPOS HÍDRICO - EFICIENTES EN CONDICIONES DE RIEGO.

Cada cultivo tiene una tasa diferente de necesidad de agua (o uso consuntivo), la cual varía de acuerdo con las condiciones ambientales de las localidades, por lo que la selección de cultivos que requieren poca agua es una de las primeras alternativas a explorar y aplicar. Por ejemplo, el agua necesaria para el cultivo de la alfalfa es suficiente para producir 4 a 6 hectáreas de sorgo.

MEJORA DE OPERACIÓN, REPARACIÓN Y MEJORA FÍSICA DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONDUCCIÓN Y PRÁCTICAS EFICIENTES DE USO DEL AGUA

La reducción de los volúmenes de agua no aprovechados en los cultivos es fundamental para mantener y acaso extender la superficie agrícola bajo riego. Entre las acciones a emprender están inversiones públicas para reparar y mantener los sistemas de riego, lo que incluye el revestimiento de canales o su confinamiento, la limpieza y nivelación de los canales no revestidos y revestidos, así como un fuerte esfuerzo para mejorar el uso del agua en las parcelas. Ello demanda la capacitación y asesoramiento técnico en el diseño de las laminas de riego, la selección de especies y variedades con mejor eficiencia en el aprovechamiento del agua, la distribución y aplicación volumétrica del agua en las parcelas y la reconversión a sistemas de riego presurizado y localizado, lo que está considerado en el Plan Nacional Hidráulico, pero que deberá profundizarse en lo futuro (CNA, Plan Nacional hidráulico 2006–2010).

9.3 COBERTURAS DE RIESGO

El incremento en los eventos hidrometeorológicos extremos generará pérdidas considerables para los productores agropecuarios, en términos de pérdida de activos (ganado, infraestructuras diversas, cercos), daños a cultivos, y erosión de tierras agrícolas. Estos costos serán asumidos por los productores, a no ser que éstos adquieran un seguro contra riesgos por contingencias climatológicas. Los seguros basados en índices meteorológicos son un instrumento para afrontar los riesgos asociados al cambio climático en la agricultura. Las primas de este tipo de seguro deben obedecer a variables objetivas, como la lluvia o la temperatura, y su monto es proporcional a la diferencia presentada en las variables elegidas.

En México, los agentes económicos rurales tienen acceso limitado al crédito y aseguramiento¹¹. Algunas razones que limitan el acceso al aseguramiento son: a) el tamaño de las unidades de producción, b) el perfil de ingresos del productor, c) la falta de una cultura de prevención, d) el marco público de operación de crédito y manejo de riesgo. En este contexto es muy importante fomentar el aseguramiento contra riesgos agrícolas y pecuarios, para proteger el capital productivo de los agricultores, especialmente en condiciones de cambio climático.

En el país hay algunas opciones de aseguramiento que permitirían a los productores un mejor manejo del riesgo asociado a contingencias climatológicas, como, por ejemplo, el Seguro Agrícola Catastrófico para Eventos Climáticos que ofrece Agroasemex (Ver recuadro 1).

¹¹ Por ejemplo, en 1991, del total de unidades de producción con actividad agropecuaria o forestal, solamente el 20% tuvo acceso a algún tipo de crédito o seguro (Yúñez-Naude, 2000: 42).

Actualmente, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA) cuenta con el Programa de Atención a Contingencias Climatológicas (PACC), anteriormente denominado Fondo de Apoyo a los Productores Afectados por Contingencias Climatológicas (FAPRACC), cuyo objetivo es “apoyar a productores agropecuarios, pesqueros y acuícolas de bajos ingresos para reincorporarlos a sus actividades productivas en el menor tiempo posible ante la ocurrencia de contingencias climatológicas atípicas, relevantes, no recurrentes e impredecibles”. Este programa incluye la contratación de un Seguro Agrícola, Pecuario, Acuícola y Pesquero Catastrófico¹². Sin embargo, es poco confiable utilizar la evolución de solicitudes atendidas por el FAPRACC-PACC como parámetro de incidencia de siniestros, ya que puede confundirse la mayor cantidad de solicitudes con cuestiones como la mayor capacidad de negociación y otras.

En 2007, la superficie agrícola asegurada en el país fue de 4.4 millones de hectáreas (Presidencia de la República, 2008: 191), que representa aproximadamente el 20% de la superficie sembrada.

RECUADRO 1 EJEMPLO DE UN SEGURO AGRÍCOLA EN MÉXICO

Seguro Agrícola Catastrófico para Eventos Climáticos

AGROASEMEX cuenta con un seguro agrícola catastrófico para eventos climáticos orientado a proteger al productor de bajos ingresos contra los efectos que tiene en su economía, la presencia del riesgo de sequía de características catastróficas. De esta forma se protege a los productores ante eventos de sequía, con alto impacto regional y una severidad tal, que origine la pérdida total del cultivo en una zona geográfica determinada.

Este seguro da respuesta a la necesidad que hay en México para minimizar el riesgo asociado a las sequías, especialmente en las tierras de temporal, donde hay una alta sensibilidad al retraso, irregularidad o deficiencia persistente de las lluvias.

El Seguro Agrícola Catastrófico para Eventos Climáticos está dirigido principalmente al gobierno federal y a los gobiernos de los estados para apoyar sus esfuerzos orientados hacia el sector agropecuario.

En 2005, el Seguro fue contratado en diversas regiones de 18 estados de la República Mexicana para cultivos de maíz, sorgo, frijol y cebada. La superficie asegurada fue de 1 160 537 hectáreas.

Fuente: www.agroasemex.gob.mx

¹² En 2006, el FAPRACC dio una amplia cobertura, asegurando 1.1 millón de hectáreas de cultivo y 261 mil unidades animal, con una erogación de 143 millones de pesos.

10 COSTOS Y BENEFICIOS DE REFORMAS REQUERIDAS

10 COSTOS Y BENEFICIOS DE REFORMAS REQUERIDAS

10.1 REVISIÓN DE PRESUPUESTO Y PROGRAMAS

La reducción de emisiones en el sector agropecuario, así como la mitigación del impacto del cambio climático que se han descrito, pudiera ser más eficaz, no mediante la canalización de nuevas inversiones sino, fundamentalmente, por el alineamiento de los recursos del presupuesto de egresos que son canalizados anualmente en forma de subsidios e inversiones al campo, por un monto que, en el presupuesto de 2009 asciende a 204 mil millones de pesos (Cámara de Diputados 2007).

En la revisión del presupuesto observamos dos principales enfoques: por un lado, el balance entre los diversos rubros, se considera especialmente que una inversión por hectárea equivalente (en relación con la intensidad en el uso de la tierra), mayor para el apoyo a actividades agrícolas o pecuarias, resulta uno de los incentivos más poderosos a la apertura de tierras forestales (Madrid y Chapela, 1998).

Por otro lado, la forma de ejercicio de dichos presupuestos incide directamente en el estado de las tierras, o, en el mejor de los casos, puede tener un efecto positivo en la adopción de prácticas sustentables de manejo de tierras (Chapela, 1998, 2006 y 2008).

De acuerdo con dichas nociones, la SEMARNAT ha establecido una Agenda de Transversalidad con otras dependencias, y estimado el impacto de las acciones conjuntas en diversos rubros (CICC 2007).

Para efectos del cálculo económico de las reformas requeridas, se plantean los siguientes criterios:

1. Incremento general de 20% en el gasto de inversión a los programas del campo referidos al manejo directo de las tierras, conforme a la estimación de las solicitudes en la categoría de "aprobadas sin recursos" en el ejercicio presupuestal de 2008.
2. Mejora del ejercicio del gasto, en cuanto a la oportunidad en las ministraciones y desembolsos, problemática que se puede valorar, por ejemplo, por el retraso en el desembolso final del 47% de los recursos programados a junio de 2008 a cargo de la SAGARPA (Aguilar, 2008). Dicha problemática es compleja y se relaciona con aspectos que se encadenan y acumulan a través del proceso administrativo, desde la autorización de fondos por la Secretaría de Hacienda hasta la integración de las solicitudes por los productores,

Desde dicha perspectiva, el mejoramiento de la eficiencia del gasto se puede instrumentar, principalmente, a través de un incremento en los recursos de mejora operativa y capacitación en la gestión del ejercicio presupuestal, que incluya:

- a) Creación de capacidades de gestión de programas en los productores
 - b) Fortalecimiento de instancias locales de asesoría: agencias y servicios técnicos municipales y locales, así como servicios técnicos orgánicos de las asociaciones de productores.
 - c) Capacitación de agentes territoriales: asesores, gestores y funcionarios públicos distritales
 - d) Capacitación de funcionarios estatales
 - e) Desarrollo de trabajos de planificación concurrente estatal, distrital y local en municipios, microcuencas y territorios locales
 - f) Automatización y telematización de procesos, incluyendo el desarrollo de infraestructura de comunicación de voz y datos.
3. Establecimiento de un diseño institucional en el que exista un ente responsable especializado en la promoción del Manejo Sustentable de las Tierras; dicho diseño fue cotizado por la Cámara de Diputados (CEDRSSA, 2005).
 4. Desarrollo normativo: NOM para aprovechamiento de especies forestales no maderables, establecimiento de un sistema de laboratorios certificados de suelos, construcción de la carta nacional de las tierras frágiles y otras cartas de ordenamiento
 5. Mejora de la gestión. Cualquier cambio que adapte la agricultura al cambio climático, requiere indispensablemente de un esfuerzo importante para mejorar la gestión y superar las barreras y deficiencias que presenta la operación pública. Por este hecho, se incluye en este estudio el cálculo de las inversiones recomendables para obtener los máximos beneficios posibles de las acciones e inversiones orientadas a la mitigación y adaptación en la agricultura.

10.2 CREACIÓN DE CAPACIDADES

Entre los aspectos a considerar identificamos la creación de capacidades en los productores y los agentes que intervienen en el proceso del desarrollo rural, incluyendo entre ellos a los funcionarios de los órdenes federal, estatal y municipal y los diversos gestores sociales presentes en el campo.

Los principales campos que identificamos son: el desarrollo y operación de mejora de mercado de servicios técnicos y de tecnologías; un programa de multiplicación de buenas prácticas, incluidas las técnicas y también aquellas acciones de organización, acceso a mercados, financiamiento, etc., que hacen posible la aplicación de tecnologías adecuadas; el establecimiento de sistemas de asesoría de calidad en DDR y local, y el desarrollo y aplicación de mecanismos de certificación de buenas prácticas.

10.3 MEJORA DE ARREGLO INSTITUCIONAL.

Durante los últimos años se ha desarrollado una gran cantidad de cambios institucionales que aún deben ser consolidados; entre ellos destaca dotar de operatividad al SINADES y el establecimiento de una instancia promotora especializada en MST.

10.4 MEJORA DE MARCO JURÍDICO

La aplicación de todas las medidas estratégicas contenidas en la ENMCC (SEMARNAT 2007) requieren de un marco normativo adecuado. Entre los aspectos más importantes están (SEMARNAT – PNUD, 2006):

- a) Consolidación del proceso de la LDRS e integración – armonización de legislación asimilable (incluye el desarrollo de los contenidos de MST).
- b) Avanzar hacia un código ambiental. integración y armonización de legislación asimilable (que incluye el desarrollo de los contenidos de MST).
- c) Desarrollo de una agenda de normatividad.

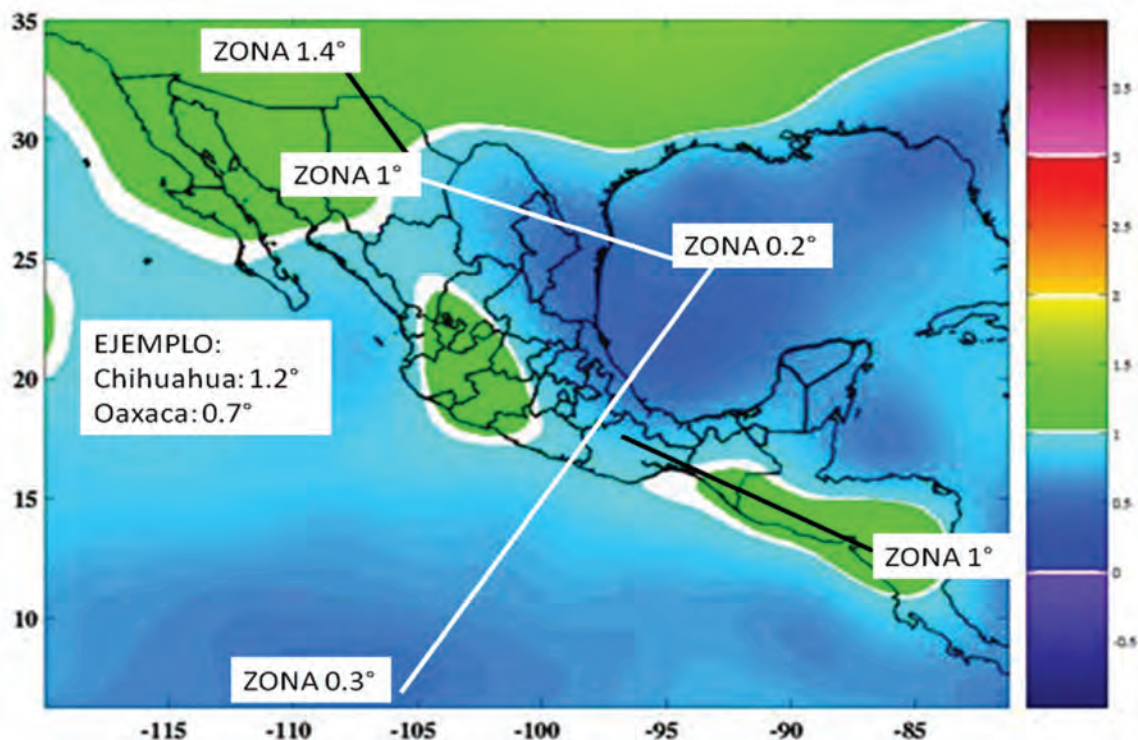
Aplicar las medidas mencionadas requeriría de una inversión de 15 260 millones de pesos al año, que representa el 8% del gasto público dirigido al medio rural. Estas inversiones ayudarán a disminuir la vulnerabilidad del sector agropecuario ante el cambio climático.

NOTA METODOLÓGICA 1:

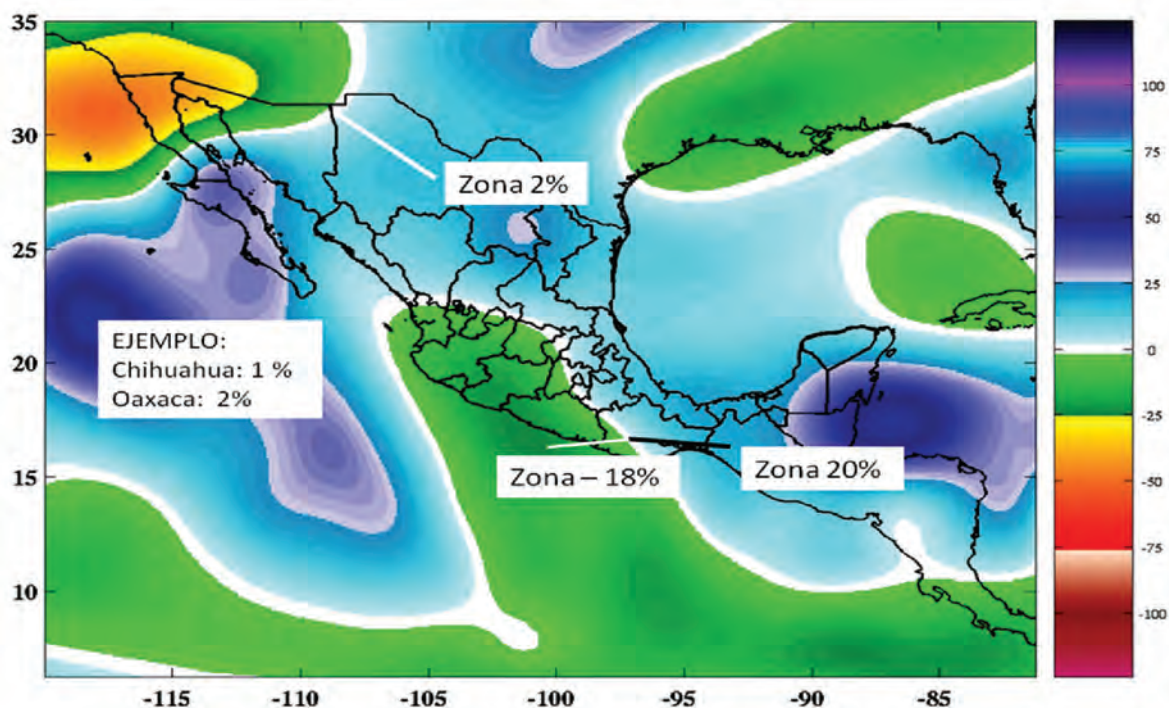
TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN CARTOGRÁFICA DE DESVIACIONES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN PARA LOS ESCENARIOS A2 Y B2

- Los escenarios de cambio climático para México, tanto de temperatura como de precipitación, se basan en los modelos HADLEY, GFDL y ECHAM. Estos modelos fueron aplicados para el caso mexicano por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (2008).
- Para el caso que nos ocupa, se consideró la información de las desviaciones de temperatura y de precipitación previstas por los modelos ECHAM (German Climate Research Center /Hamburg Model #4, Roeckner, 1992) para los escenarios A2 y B2 en 2030.
- Los mapas presentan la información de la desviación de temperatura y de precipitación en curvas de nivel mensualmente para cada escenario. Las desviaciones en temperatura están representadas en grados Celsius, con curvas con tonos diferentes a cada grado y las desviaciones en los valores de precipitación se expresan en 1% por cada cambio de tono en el mapa.
- A partir de estos mapas se tabularon las desviaciones en la precipitación y en la temperatura mensual, según el escenario. La tabulación se realizó en el nivel estatal, asumiendo cada entidad federativa como un pixel.
- Para la lectura de los valores asignados a cada entidad se considerando el tono dominante de cada envoltive por entidad, en los casos en que se presenta apreciablemente un mismo valor, o un promedio, si el patrón de distribución de colores es homogéneo. Cuando se presentaron efectos de núcleos de colores diversos, se trazaron transectos para establecer uno más parámetros y así promediar. Todo lo anterior se realizó mediante la prueba inicial de varios mapas y después de un periodo de entrenamiento y ajuste del lector, las lecturas se llevaron a cabo directamente del mapa al registro. En los siguientes mapas se muestra como se realizó la lectura de las desviaciones de precipitación y de temperatura mensualmente para cada entidad federativa.

DIFERENCIAS DE TEMPERATURA (°C), ECHAM5 A2 ESCENARIO 2030 ENERO



DIFERENCIAS DE PRECIPITACIÓN (%), ECHAM5 AZ ESCENARIO 2030 ENERO



NOTA METODOLÓGICA 2:

COSTOS POR EROSIÓN

Se considera que el cambio climático puede incrementar la erosión hídrica en las zonas con mayor precipitación y, especialmente, con mayor intensidad en cada evento. Sin embargo, no se cuenta con parámetros que permitan emprender algún tipo de cálculo sobre el efecto económico de estos eventos, excepto las consideraciones y cifras que se calcularon en el apartado de impactos de procesos hidrometeorológicos intensos.

Se procedió a una aproximación a la significación económica de la degradación de tierras por erosión hídrica, asumiendo un efecto directo del incremento de la temperatura en la tasa de evapotranspiración y en el índice de aridez reflejado en un incremento en la vulnerabilidad a la erosión eólica.

Los trabajos sobre estimaciones de la aridez coinciden en considerar alguna relación entre los valores de precipitación y la temperatura como factor de regulación de la eficiencia de la humedad y, así, de la disponibilidad de humedad para el desarrollo de las plantas. El desarrollo de las plantas tiene efecto directo sobre la productividad y vulnerabilidad de los cultivos y, en el caso de las tierras de pastoreo, sobre la cobertura y productividad forrajera. En ambos casos, y más acusadamente en el segundo, la productividad de las plantas se traduce en cobertura protectora ante el efecto cortante y transportador de los vientos (Figueroa, et al, 1991; Schwab, Frevert, Edminster & Barnes, 1990)

Las metodologías para la determinación de la aridez son múltiples y pueden ser considerablemente complejas (Deyanira Lobo *et al*, 2005). Entre éstas se destacan: el sistema basado en la relación de precipitación/evapotranspiración estimada, incluyendo el factor temperatura (Köppen, 1948), el Índice de aridez anual de Bailey (Bailey, 1983); basado en la precipitación media anual y temperatura media anual, sobre los trabajos de Thornthwaite (1948); los sistemas basados en la longitud del periodo de crecimiento, sistemas basados en el número de meses secos, precipitación, evapotranspiración de vegetación. Uno de los criterios más ampliamente utilizado para delimitar zonas climáticas es el índice climático P/ETP, desarrollado por la FAO y la UNESCO en 1977, tomando como base el índice de humedad propuesto por Thornthwaite (1948), el método de Penman (1948) y el procedimiento propuesto por Meigs (1953). Este índice expresa la relación entre la precipitación anual promedio y la evapotranspiración potencial en un área determinada (UNEP, 1992; UICN/CCD, 2002).

Dada la precariedad de los recursos técnicos disponibles y la conveniencia de utilizar métodos sencillos y baratos, recurrimos a la aplicación del índice sencillo propuesto por Enriqueta García (Evaluación del efecto de la sequía intraestival sobre el rendimiento de los cultivos), que consiste en considerar como disponibilidad de humedad al excedente de comparar el valor del doble de la precipitación mensual en milímetros con la temperatura expresada en grados Celsius. Tomando como criterio el patrón fenológico del maíz, establecimos como parámetro de comparación el número de meses con humedad disponible más uno, considerando que al final de la temporada de lluvias continúa el desarrollo de los cultivos mediante el aprovechamiento de la humedad remanente en los suelos.

De esta manera, integramos un mapa de las entidades de la República que deberá ser sustituido por mapas elaborado con técnicas cartográficas y funciones de interpolación a partir de estaciones meteorológicas.

Se asignó así una calificación de aptitud para el desarrollo de los cultivos, que se aplicó como un modificador de la incidencia de la erosión eólica, para efectos de los cálculos de pérdida de productividad de los cultivos y también de la pérdida de existencia.

En cuanto a la productividad, establecimos patrones de costos e ingresos en unidades de producción tipo, basadas en experiencias concretas de campo para ganadería bovina, maíz y frijol, a los cuales aplicamos reducciones en los rendimientos como efecto de la mayor incidencia de sequías y pérdidas por erosión eólica.

Por otra parte, también establecimos una estimación del costo por pérdida de existencias asumiendo la pérdida de suelo de 5 mm por año, de tal manera que la pérdida de 30 cm de suelo, considerado como el total disponible en una hectárea tipo, significa 1/60 del valor de la tierra. Dicho valor se calculó mediante la multiplicación de las utilidades netas calculadas en los perfiles de costos e ingresos, por diez años, como tiempo de amortización de la inversión de compra de la tierra.

NOTA METODOLÓGICA 3:

COSTOS ASOCIADOS A FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

ETAPA 1

De la información reportada por el CENAPRED en la Serie Impacto Socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana (años 2001 y 2002), se obtuvieron los costos totales de los huracanes ocurridos en esos años, así como los costos de sus daños en la actividad agropecuaria¹³.

Supuestos:

- Asumimos que para el 2030, se registrarán huracanes de mayor intensidad. De acuerdo con IPCC, se espera que en un ambiente más caliente, los eventos extremos sean más devastadores, aunque no un incremento en el número de eventos.
- Asumiendo que el excedente de precipitación está correlacionado con eventos hidrometeorológicos, estimamos el incremento porcentual en precipitación en los escenarios B2 y A2 para 2030. Por ejemplo:

Calculamos el promedio anual de las desviaciones positivas de precipitación, considerando que las desviaciones negativas no inciden sobre la ocurrencia de inundaciones. Luego, para los dos escenarios aplicamos el mismo incremento en precipitación media anual como incremento de hectáreas que pueden ser afectadas por eventos hidrometeorológicos futuros. Este tratamiento aplica a los casos en que el incremento de precipitación es significativo (mayor al 10%). Como con un incremento en precipitación menor a 10% no se esperaría un efecto significativo, ajustamos el incremento de precipitación restando esta cantidad en todos los casos.

$$\text{Precipitación} = \frac{\text{Precipitación} - \text{Precipitación Actual}}{\text{Precipitación Actual}}$$

¹³ Se usó la información disponible de CENAPRED para los años en que se encontró el mayor desglose de costos por eventos hidrometeorológicos (2001-2002), particularmente en lo referente a los daños en la actividad agropecuaria. En los documentos que conforman la "Serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en la República Mexicana", no siempre se sigue la misma metodología para el reporte de los daños, lo cual parece estar en función de la disponibilidad de información en las entidades afectadas.

ETAPA 2

Para el caso de la agricultura, se consideró el costo promedio por hectárea cultivada afectada en 2001 y 2002, como la reporta CENAPRED. Conviene señalar que el valor de daños en la actividad agrícola que CENAPRED reporta, además de la pérdida de cosechas, incluye la pérdida de activos¹⁴. Dado que esta pérdida depende de la inversión en las tierras de cultivo, este dato puede ser mejorado, en la medida en que se considere información con mayor desglose, y que se pueda rastrear al nivel municipal o, al menos al de Distrito de Desarrollo Rural (DDR).

Para el caso de ganadería, inferimos los costos de hectáreas de pastizales, a partir de la información sobre los perfiles de costos de ganadería, estimados con base a estudios de caso, información reportada por Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA) y los pilotos de SEMARNAT. Para estimar los costos de manera más precisa, se distinguió entre la ganadería del trópico y la del Altiplano. Para el resto del país, se usó el promedio de los costos obtenidos para los estados del trópico y del Altiplano.

En cada uno de los tres casos señalados se estimó el costo promedio por hectárea de pastizales considerando la pérdida del 50% de los ingresos brutos provenientes de la actividad ganadera en un año, más la pérdida de utilidades en cuatro años (que es el tiempo promedio en que el productor podría recuperar sus existencias).

ETAPA 3

Para obtener una estimación del costo en la agricultura por fenómenos hidrometeorológicos para 2030, se multiplicó la superficie con riesgo de ser afectada, por el costo promedio por hectárea de cultivo obtenido para los años 2001-2002 de acuerdo a lo reportado por CENAPRED.

En el caso de la ganadería el tratamiento fue similar al de agricultura, se multiplicó la superficie identificada con riesgo de ser afectada por el costo promedio por hectárea de daños en pastizales obtenido de los perfiles de costos en ganadería, como se menciona arriba.

NOTA METODOLÓGICA 4:

COSTOS POR TOLVANERAS

- Una parte de las partículas PM10 y PM2.5 en el aire provienen de las tolvaneras generadas por el proceso de erosión eólica. En la Zona Metropolitana del Valle de México la erosión del suelo es la fuente principal de PM10, así como los vehículos que usan diesel (camiones de 3 o más toneladas, tractocamiones y autobuses) y los autos particulares¹⁵.
- No existen datos que cuantifiquen el costo económico de las tolvaneras en términos de admisiones hospitalarias por problemas respiratorios y/o pérdidas de días laborales asociados a la inhalación de partículas PM10 y PM2.5.
- En el Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SCEEM) 1999-2004, se estiman las erogaciones necesarias para reducir o eliminar la contaminación del aire por partículas suspendidas, de acuerdo a ciertos estándares de calidad. En 2000, estas erogaciones fueron de aproximadamente 250 millones de pesos. Arbitrariamente, asumimos que solamente el 30% de dicho costo es atribuible a las tolvaneras. Este dato indirectamente nos ayuda a cuantificar el costo de mejorar la calidad del aire, y con ello reducir la vulnerabilidad de la población a sufrir enfermedades respiratorias ocasionadas por la inhalación de partículas PM10 y PM2.5.
- A partir del costo estimado de eliminar la contaminación del aire por partículas suspendidas atribuible a tolvaneras, procedimos a calcular el costo per cápita.
- Asumimos que la población del Altiplano y otras zonas afectadas por sequías y erosión, es la línea base. Para esos estados, tomamos como dato inicial la población en ciudades mayores a 250 mil habitantes y la corregimos aumentando proporcionalmente la población rural y en localidades menores, a partir de la media de cada entidad. Esto permitió trabajar con datos estatales, pero focalizando en zonas afectadas por erosión eólica y por tolvaneras.
- Establecemos un cuadro de entidades y localidades mayores con su población, su ajuste correspondiente y aplicamos el parámetro base de costo per cápita por 0.3.
- Realizamos la misma operación y afectamos el dato de costo agregado por el incremento que hemos calculado para las tierras (en tasa de superficie afectada por erosión eólica) para A2 y B2.

¹⁴ Por ejemplo, en el caso de Sonora, entidad que fue afectada por el huracán Juliette en 2001, para la actividad agrícola se reportan los daños a la producción, la erosión de tierras agrícolas, bolseos, roturas de canales y drenes, deslaves de canales, estructuras diversas, caminos, y la mitigación de daños en terrenos de cultivos.

¹⁵ Estadísticas del Medio Ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002.

NOTA METODOLÓGICA 5:

PÉRDIDA DE EXISTENCIA POR SALINIZACIÓN

En su Programa Sectorial Forestal y de Suelos 1995-2000 (SEMARNAP, 1995), citando datos del Colegio de Postgraduados, la SEMARNAP indica, que cada año 10 000 hectáreas de riego quedan prácticamente inservibles por la acumulación de sales y para el año 2000 se reportó una cifra acumulada de 425,000 hectáreas que han quedado inservibles en esas tierras (SEMARNAP, 2000). Posteriormente se pierde el rastro de dicha información, pero en el Diagnóstico de la Degradación de las Tierras Causada por el Hombre (SEMARNAP-COLPOS, 2002), aparece la información acerca de una importante degradación química de los suelos, dentro de la cual se encuentra la salinización, pero ésta no se diferencia.

Comparada con el conjunto de la degradación de las tierras y con la extensión territorial de México, la salinización no representaría aparentemente un problema de importancia, aun dentro de las seis millones de hectáreas irrigadas de que dispone México (CNA, 2008), pero al considerar que en estas tierras se lleva a cabo la más intensa producción agrícola, dicho dato tiene mayor relevancia en términos de la inoperancia de la costosa infraestructura hidroagrícola y la contribución de estas tierras al PIB nacional y a la generación de alimentos y empleo.

El proceso de salinización depende de la composición del material de que están formados los suelos, del proceso de lavado de iones de las cuencas tributarias de los valles y planicies y del manejo de los suelos y el agua; en cuanto a estos últimos aspectos antrópicos, la salinización tiene dos orígenes básicos relacionados: la intrusión de sales provenientes de la napa freática en las zonas cercanas al mar y los procesos dentro de la dinámica de las parcelas. En menor grado, en algunos acuíferos con altos contenidos de sales, la extracción y aplicación de agua salina produce la deposición de sales en el suelo.

La salinización por intrusión subterránea de agua marina ocurre mediante la dinámica de presiones hidrostáticas entre el agua salobre y el agua dulce dentro del medio poroso del subsuelo, donde la extracción excesiva de agua o la insuficiente recarga de agua dulce al acuífero, provoca el retroceso del agua dulce y la entrada del agua salobre, en forma de cuña.

La segunda forma de salinización sucede como resultado de una o varias deficiencias en el manejo de los suelos y el agua de riego. De manera general, bajo estas condiciones un exceso de agua aplicada al suelo conduce a la solubilización de las sales que naturalmente se encuentran en el complejo del suelo, como parte de su componente mineral. En condiciones de altas temperaturas y mal drenaje, el agua es extraída por capilaridad y evaporada en la superficie de las tierras, dejando las sales que tuviera en solución, las cuales se van acumulando a lo largo del tiempo (Allison, et al 1973)

La concentración de sales en la zona de desarrollo de las raíces de los cultivos tienen efectos muy importantes en el desarrollo de las plantas, entre los que destaca la llamada sequía fisiológica, que consiste en la imposibilidad de las raíces para extraer del suelo el agua necesaria para las funciones fisiológicas de las plantas; adicionalmente, ciertos compuestos pueden provocar otros efectos indeseables en las plantas al alcanzar concentraciones altas por acumulación (Schwab, Frevert, Edminster & Barnes, 1990).

La salinización es provocada o, en su caso, acentuada por ciertas prácticas de manejo que implican la aplicación de cantidades excesivas de agua. Por ejemplo, el mal diseño de las melgas o surcos de riego provoca una mala distribución del agua, lo que conduce a una dispareja distribución de la misma y, consecuentemente, al riesgo de concentración de sales. Melgas demasiado largas o riego lento, con aforo bajo de agua, pueden provocar concentración de agua en las cabeceras, mientras que su inverso genera una tendencia a la concentración de agua y sales hacia el fondo de los surcos o melgas; por otra parte, una mala nivelación de las tierras puede propiciar zonas bajas, con mayor concentración de agua y sales.

Otro de los factores de manejo más importantes para la salinización es el exceso de roturación que, al destruir la estructura y porosidad de los suelos, provoca grandes dificultades para el laboreo y una práctica impenetrabilidad del suelo respecto de los instrumentos de labranza; la compactación que alcanzan los suelos como producto de esta pulverización obliga a que los productores apliquen agua sólo para hacer posible el trabajo mecánico sobre los suelos y, siempre con el tiempo de por medio, lo que provocará la acumulación de sales. Una de las circunstancias que inducen este tipo de prácticas es el empleo de amoníaco anhidro como la fuente más barata de nitrógeno y también la más adaptable a los esquemas mecanizados que privan en las zonas de riego de agricultura intensiva, ya que la naturaleza gaseosa y volátil de este compuesto, provoca que se pierdan cantidades importantes de fertilizante, por lo que la pulverización del suelo, con sus consecuencias mencionadas, es parte sistémica de las prácticas de manejo que conducen a la salinización.

Para los efectos de la valoración de las variaciones en el clima sobre la incidencia de la salinización, asumimos que el factor que vincula ambos procesos es la temperatura, a través de su efecto en la velocidad de flujo desde los horizontes bajos a los altos, determinada por la velocidad de evaporación, directamente relacionada con la temperatura.

A partir de esta noción, se distribuyeron proporcionalmente a la superficie de riego de cada entidad federativa, la cantidad de 10 000 hectáreas anuales, que es el dato con que contamos, mientras se puede disponer de otro más preciso y diferenciado regionalmente, lo que da por resultado una tabla de áreas afectadas por estado.

Se asumió entonces que la velocidad de avance de la salinización es directamente proporcional a los incrementos marginales de temperatura en los dos escenarios considerados para este ejercicio, a partir del año base 2008, lo cual se operó multiplicando los valores iniciales de pérdidas de tierras por la tasa de incremento adicional de temperatura en los escenarios A2 y B2.

Con la estimación de la afectación adicional, se procedió a calcular un parámetro de valor de existencia de las tierras afectadas gravemente, considerando un precio estándar de la tierra de 130 000 pesos.

NOTA METODOLÓGICA 6:

PÉRDIDAS POR REDUCCIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA

Para la estimación económica de las pérdidas de disponibilidad de agua, se obtuvo primero la información sobre el consumo consuntivo de la agricultura por entidad federativa (CONAGUA, 2008).

Se calculó entonces el incremento del uso consuntivo como una relación directa de los incrementos de la temperatura en los dos escenarios considerados, tomando por separado los valores de incrementos de temperatura previamente determinados mediante el procedimiento mencionados en la nota correspondiente.

A los volúmenes que arrojó dicho cálculo, se les consideró como un recurso adicional que tendrá el costo promedio del agua, a partir de los montos que el mismo informe mencionado establece, calculado como el promedio de los derechos por m³ en cada una de las tres primeras zonas de disponibilidad de las nueve en las que divide el país la CONAGUA, tomando como criterio para utilizar sólo las tres primeras zonas, el que en las zonas restantes el efecto de la temperatura y la relación $2P/temp$ es superavitaria en el resto de zonas.

Finalmente, se multiplicó la estimación de los volúmenes adicionales por el costo por metro cúbico de dicho suministro del líquido.

RÉGIMEN GENERAL: DERECHOS POR M3 SEGÚN ZONA DE DISPONIBILIDAD*

| Zona de disponibilidad | Tarifa |
|----------------------------|--------------------------|
| 1 | 16.56 |
| 2 | 13.25 |
| 3 | 11.04 |
| 4 | 9.11 |
| 5 | 7.17 |
| 6 | 6.48 |
| 7 | 4.88 |
| 8 | 1.73 |
| 9 | 1.30 |
| Promedio de zonas 1, 2 y 3 | \$13.62 / m ³ |
| Subsidio: | \$13.50 / m ³ |
| PRECIO ESTIMADO DEL AGUA | \$27.12 / m ³ |

Fuente: CONAGUA (2007).

* Precio del agua para uso agrícola sobre el volumen concesionado: 11.73 centavos/ m³.

NOTA METODOLÓGICA 7:

CÁLCULO ECONÓMICO DE LAS EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO N₂O

El óxido nitroso tiene un poder como GEI estimado en el Inventario Nacional de Emisiones de Efecto Invernadero (2006), en 296 (valor estimado en la Tercera Comunicación), lo que lo hace un aspecto digno de ser tomado en cuenta.

El óxido nitroso proviene fundamentalmente de los procesos de transformación química del nitrógeno amoniacal o nítrico, que puede observarse regularmente en la naturaleza, pero que ocurre con mayor intensidad como derivado de la aplicación de fertilizantes nitrogenados.

En función de la consideración básica anterior, la estimación de las emisiones de N₂O fueron basadas en la dinámica de consumo nacional de fertilizantes nitrogenados, si bien la información más consistente que se encontró fue de urea y sulfato de amonio (se utilizó la base de datos FAOSTAT y la información de SIACON).

De las series de información estadística de SIACON, se tomó el volumen de producción nacional por producto y se integró en datos agregados quinquenalmente.

Se aplicó la misma tasa de crecimiento en el consumo nacional de fertilizantes nitrogenados, para contar con una idea de la proyección del consumo de estos materiales.

Del INEGI (2006), se tomó la tasa de N_2O fugado del suelo, proveniente de los fertilizantes nitrogenados, de 0.189 por kilogramo, de donde se derivó la determinación de la cantidad de N_2O emitida por los fertilizantes.

Las cifras obtenidas de la multiplicación de la tasa de fuga por las cantidades de fertilizante se transformaron a toneladas de CO_2 aplicando el factor de equivalencia de 296 toneladas de CO_2 por tonelada de N_2O (INE, 2006).

A las cifras resultantes se les aplicó un costo como bono de emisión en MDL de 5 dólares por tonelada de CO_2 y una tasa de cambio de 13 dólares por peso mexicano.

NOTA METODOLÓGICA 8:

ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR EXCRETAS EN EL GANADO PORCINO

La Subsecretaría de Fomento y Normatividad Ambiental de la SEMARNAT cuenta con información sobre el registro de las granjas porcinas por entidad federativa, que nos permitió analizar las emisiones del ganado porcino por manejo de excretas al nivel estatal.

- Para estimar las emisiones de metano se consideraron los siguientes parámetros:
- Factor de producción de excretas por Kg de peso vivo= 0.06
- Factor de peso promedio de los cerdos en Kg =55
- Factor de producción de biogás (m^3/kg de excretas)=0.7
- Porcentaje de metano en el biogás=60%
- Densidad de metano (T/m^3)= 0.0007168
- Factor de Equivalencia de Efecto Invernadero del metano=21

A partir de esta información fue posible estimar las emisiones de metano generadas por las excretas de porcinos; considerando solamente las granjas con una población mayor o igual a 500 unidades, bajo el supuesto de que en este tipo de unidades económicas es factible implementar proyectos de MDL.

Las emisiones estimadas de metano por excretas, en granjas \geq 500 unidades, fueron de 51 148 Gg de CO_2e . Lo anterior nos habla de una importante área de mitigación, para reducir las emisiones de metano y desplazar el uso de combustibles fósiles. Si las emisiones estimadas de CH_4 fueran empleadas para producir energía, podrían sustituir 2.6 millones de toneladas de GPL.

Las entidades federativas con mayor potencial para reducir las emisiones de metano son: Sonora, Jalisco, Yucatán, Guanajuato, Puebla, Veracruz, Michoacán, Nuevo León y Sinaloa.

NOTA METODOLÓGICA 9:

ESTIMACIÓN DE LAS INVERSIONES INSTITUCIONALES PARA LA INDUCCIÓN DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANEJO DE TIERRAS

En la estimación de este apartado de costos, se parte de la noción de que la mejor opción en términos de costo-eficiencia es la inducción de buenas prácticas de manejo de tierras, con un enfoque preventivo antes que correctivo, en vista de que las inversiones en prácticas correctivas no tienen un efecto productivo contra el cual amortizarlas, así como por lo cuantioso de dichas inversiones, lo que, en términos de costos, indica una relación general de costos por hectárea intervenida de 1:80 entre las obras correctivas y las prácticas sustentables de manejo de tierras con capacidad productiva (PNUMA, 1998. Evaluación del Plan de Acción Regional de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación).

Lo anterior no entraña omitir las acciones correctivas, pero sí un enfoque hacia la inducción masiva de prácticas de MST, fundamentalmente basadas en los efectos sustanciales de dichas prácticas sobre los rendimientos físicos y económicos de las tierras bajo MST en comparación con las tratadas de manera convencional.

Para los efectos de cálculos, se llevó a cabo un análisis general del equilibrio entre los diversos componentes del presupuesto de egresos de la Federación para el año 2008 (en el momento de formulación de este informe, no había sido publicada la Ley del Presupuesto de Egresos de la Federación para el año fiscal 2009). En dicho análisis se diferenciaron los programas orientados al manejo de las tierras, de entre los cuales se distinguen:

- a) Programas de inversión directa
- b) Programas de financiamiento de proyectos productivos (con perfil integral)
- c) Programas de microplaneación
- d) Programas de creación de capacidades
- e) Programas de subsidios no productivos

Se consideró que los recursos disponibles año con año resultan menores a las solicitudes aunque, a la vez, existe un problema estructural de subejercicio o ejercicio fuera del calendario programado, debido principalmente a deficiente capacidad de integración de expedientes, incluyendo la planeación básica, el manejo de información de la gestión y especialmente el manejo de las reglas de operación.

Por lo anterior, se perfiló una estrategia basada en la creación y fortalecimiento multinivel de capacidades como aspecto principal, con un incremento ligero en los montos de inversión a través de los programas actuales y la instalación de algunas capacidades estratégicas, especialmente en instrumentos de planeación, descentralización y mejora de la calidad del gasto y de la capacidad de gestión y negociación de los productores.

12 CONCLUSIONES

12 CONCLUSIONES

A pesar de que este trabajo fue elaborado en poco tiempo y someramente, es posible ver con claridad la importancia de la interrelación entre los cambios en el clima, el estado de las tierras y la producción agropecuaria.

De acuerdo con el modelo de vulnerabilidad y teniendo en cuenta que está basado en las características de las tierras (como las condiciones del suelo, la pendiente y la precipitación), el grado de vulnerabilidad para el escenario A2 del año 2025 cambia conforme a la proyección de los datos de precipitación para ese año. Así los resultados muestran que en la Región Norte del país, especialmente, en Sinaloa, Chihuahua, Durango, Zacatecas y San Potosí, y en la Región Centro, en Puebla, la precipitación aumenta cambiando el régimen de humedad de árido a semiárido y de semiárido a subhúmedo. Esto determina que el grado de vulnerabilidad de estas tierras disminuye en términos del estrés hídrico. En estas zonas la mayoría de las tierras cambian su grado de vulnerabilidad de severo a moderado o de moderado a ligero, mejorando las condiciones de agronómicas de las tierras.

Por otra parte, el escenario de cambio climático mencionado, en la Región Centro particularmente en Jalisco y el Estado de México, la precipitación disminuye, cambiando el régimen de humedad subhúmedo y húmedo a semiárido, lo que aumenta el estrés hídrico de estas tierras, lo cual hace que el grado de vulnerabilidad pase de ligero a moderado.

Por otra parte, en relación a la economía del manejo sustentable de las tierras, se puede decir que las inversiones adicionales requeridas para enfrentar la problemática del cambio climático en el sector agropecuario son mínimas. Éstas no son diferentes de las que también se requieren para abordar otros problemas estructurales prioritarios, como la seguridad alimentaria y la reducción de la pobreza. Así, los montos que este estudio sugiere no necesariamente deberían ser amortizados contra los beneficios directos de la relación clima-producción-existencias.

En este marco, destaca que el beneficio de las inversiones requeridas es de entre 24 y 35 veces lo invertido, y ese parámetro aumenta en la medida que aumenta el efecto del calentamiento atmosférico. Es de suponer que, si se practican las proyecciones a un plazo más allá de 2030, el impacto del cambio climático será mayor, ya que se alcanzarían puntos de inflexión en que los rendimientos responderán mejor a los cambios en la temperatura y sus efectos en la precipitación y la eficiencia de la humedad disponible para los cultivos y aún quedan por hacerse operaciones de cálculos para establecer conclusiones más completas sobre los escenarios más probables y sobre parámetros para la toma de decisiones.

| Inversiones Requeridas | General | Escenario B2 | Escenario A2 |
|------------------------|---------|--------------|--------------|
| 15,260 | 364 983 | 484 307 | 534 037 |
| 0.12% | 2.92% | 3.87% | 4.27% |
| Relación | | | |
| costo: impacto | 24,3 | 32.2 | 35.6 |

Los avances científicos de los últimos años respecto al cambio climático han sido notables y crecientemente confiables. Sin embargo, es difícil acceder a los métodos más adecuados y posiblemente sería necesario hacer un esfuerzo para elaborar métodos que, sin perder su robustez, sean más fáciles de aplicar.

En el mismo sentido, sería conveniente la generación de materiales que comprenden los métodos, el lenguaje y algunos de los datos básicos para el estudio del cambio climático; en este ejercicio, la mayor parte del tiempo y esfuerzos fue empleado en revisar los métodos y parámetros generalmente válidos o reconocidos y muy probablemente sus fallas se deban en mucho a dicha circunstancia.

Algunos aspectos del tema estudiado no fueron abordados, principalmente porque no disponíamos de los parámetros que pudieran proporcionar un marco de los órdenes de magnitud del fenómeno, lo cual preferibles mejor que omitirlos, como en otros temas relevantes de los cuales se contaba con poca información, o capacidad de generarla. Se pueden señalar, entre ellos, los siguientes:

MANEJO DE RIESGO

En términos económicos, el factor de riesgo es un elemento que incide sustancialmente sobre los costos financieros y sobre la viabilidad de las inversiones. Será conveniente establecer y aplicar un protocolo especialmente diseñado para el impacto de los fenómenos hidrometeorológicos y para el incremento en la variabilidad de la frecuencia, profundidad y extensión de las sequías atípicas, aspecto que no fue estudiado de manera rigurosa y, en cambio, estimado mediante asunciones de carácter muy general.

EFFECTO DE FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Este aspecto fue uno de los que adolecen de mayor grado de fragilidad; sin embargo se tomó la decisión de incorporarlo, ya que el error introducido al omitirlo sería mayor que los errores al calcularlo. No obstante, es muy necesario generar la información de base que pudiera proporcionar una mejor idea de este aspecto particular.

EMISIONES POR QUEMAS

En este renglón, únicamente se consideraron las quemas de caña de azúcar que, con ser de importancia, no son las únicas; será conveniente, para un estudio posterior, revisar información y, en su caso, establecer los medios para generar los datos para contar con una estimación más amplia de este particular.

EMISIONES POR METANO PROVENIENTE DE EXCRETAS

En este renglón sólo se consideró el valor de las excretas del ganado porcino en granjas de más de 500 animales; sin embargo, no se logró establecer un valor más general sobre el potencial de captura de valor de la reducción del metano y su aprovechamiento, proveniente de unidades porcícolas de menor tamaño y las de otras especies pecuarias.

EMISIONES DE N₂O POR FERTILIZANTES Y PROVENIENTES DEL SUELO

La información disponible sobre el uso de los fertilizantes es poco detallada y particularmente, se puede señalar que solo se tuvo acceso a la información proveniente de fuentes secundarias (FAOSTAT), que no incluye todos los fertilizantes nitrogenados. Será conveniente mejorar esa fuente de información y completar este rubro de emisiones con información adicional sobre las emisiones del suelo no provenientes de la aplicación de fertilizantes.

REGIONALIZACIÓN DEL ANÁLISIS

Es conveniente señalar que, en general, las conclusiones de este estudio son limitadas por la imposibilidad de establecer procesos de la información basados en las diferencias espaciales de los procesos naturales y sociales, lo que requiere de la aplicación de importantes capacidades técnicas para transitar de los datos tabulares puntuales a las extrapolaciones espaciales y viceversa. Será muy recomendable, para una oportunidad posterior, llevar a cabo los estudios sobre esa base.

ESTABLECIMIENTO DE MECANISMOS DE COTEJO DE CAMPO Y MONITOREO DE LOS PARÁMETROS

La validez y utilidad de un estudio económico, como el que el presente bosqueja, puede nutrirse y mejorar considerablemente mediante un esquema de cotejo de campo y monitoreo de largo plazo, como muestran algunas de las mediciones más confiables de que se dispone, lo que debería ser atendido en el corto plazo.

Este ejercicio está basado en asunciones extremadamente generales (incluyendo su desagregación por entidades federativas, de poca precisión); en el futuro será conveniente establecer una suerte de ventanas de aproximación, donde se puedan observar en escala real de unidad de producción los supuestos que construyen las cifras agregadas que ahora se muestran.

REVISIÓN Y MEJORA GENERAL DE LOS PARÁMETROS Y ASUNCIONES EMPLEADOS

Como se ha dicho, éste fue un ejercicio hecho con apremio; mejores datos requerirán una revisión general de los parámetros básicos y los procedimientos de cálculo, así como de su perfeccionamiento.

Finalmente, se puede concluir que éste es el informe de un trabajo estrictamente exploratorio y que sus conclusiones no pueden ser sino provisionales. Sin embargo, apuntan con claridad a la urgencia de que en nuestro país sean tomadas las medidas necesarias para mitigar el efecto del cambio climático sobre la producción y la vida del campo, a la vez que desarrollar el potencial muy considerable del sector para contribuir a la reducción de emisiones.

No sería aconsejable esperar por mayores evidencias o precisiones para actuar cuando, por otro lado, la mayor parte de los recursos ya existen; por el contrario, sí se requiere de una decisión muy clara de política así como esfuerzos muy sustanciales para promover la toma de conciencia que conduzca a la adopción de las innumerables acciones necesarias en los diversos ámbitos frente a la magnitud de los efectos del cambio climático.

13 BIBLIOGRAFÍA

13 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, Patricia, R. González y V Lira (2008). Problemática del Subejercicios del Presupuesto de Egresos de la Federación 2008, destinado al Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía alimentaria. H. Cámara de Diputados. México.
- Alcamo J., Eierdanz F., Krömker D., Acosta L., Michlik, R. Klein, Carius A. & Tänzler D. (2008). A New Approach to Quantifying and Comparing Vulnerability to Drought. *Reg Environ Change*, DOI 10.1007/s10113-008-0065-5.
- Arnoldus H.M. (1980). An Approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss.
- Balesdent, J; C. Chenu & M Balabane (2000). Relationship of Soil Organic Matter Dynamics to Physical Protection and Tillage. *Soil and Tillage Research* 53: 215-220 (citado por Robert, 2002).
- Banco Mundial (2004) Gestión de recursos hídricos en México: el papel del PADUA en la sostenibilidad hídrica y el desarrollo rural. Volumen 1. Banco Mundial, México.
- Bastidas, Soledad (2008). Observaciones en el proceso de armonización de políticas públicas para el Manejo Sustentable de Tierras en el Ecuador. Quito, Ecuador.
- Berra, Guillermo & Finster, Laura (2006). Influencia de la ganadería argentina. Emisión de Gases de Efecto Invernadero 212-215.
- Cámara de Diputados (2007). Ley del Presupuesto de Egresos de la Federación para el año Fiscal de 2009. México.
- Carabias, Julia & Landa, Rosalva (2005). Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos en México. UNAM, El Colegio de México, Fundación Gonzalo Río Arronte. México.
- Carter, T.R., R.N. Jones, X. Lu, S. Bhadwal, C. Conde, L.O. Mearns, B.C. O'Neill, M.D.A. Rounsevell & M.B. Zurek (2007). New Assessment Methods and the Characterisation of Future Conditions. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L.
- CENAPRED (2001). Serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurredos en la República Mexicana años 2001. México.
- CENAPRED (2002). Serie Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurredos en la República Mexicana años 2002. México.
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2005). Impacto Presupuestario del Proyecto de Ley para la Conservación y Restauración de las Tierras. H. Cámara de Diputados, México.
- Chapela, Gonzalo (1998). Unir esfuerzos. Armonización de políticas y desarrollo rural sustentable. Cuadernos para la Agenda 21 de México. SEMARNAP – PNUD. México.
- Chapela, Gonzalo (2007). Armonización de programas de desarrollo rural y Manejo Sustentable de las Tierras. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. H. Cámara de Diputados. México.
- Chapela, Gonzalo (2008). Integración de filtros negativos y positivos para la conservación de la biodiversidad en las reglas de operación de SAGARPA. Informe al Corredor Biológico Mesoamericano – México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Diversidad Biológica. México
- Chapela, Gonzalo, 1977. Evaluación de ensilados de partes vegetativas de maíz con agregados de tejocote (*Crataegus mexicana*) y urea. *Revista Chapingo* No 2 pp 36-40.
- Coleen, Vogel (1998). Vulnerability and Global Environmental Change. *Newsletter* 16
- Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (2007). Estrategia Nacional de Cambio Climático. México.
- Comisión Intersecretarial para el Desarrollo Rural Sustentable (CIDRS) (2002) Programa Especial Concurrente para el Desarrollo Rural Sustentable, 2002-2006 (PEC, 2002)
- Comisión Nacional del Agua (2007) Estadísticas del agua en México. Comisión Nacional del Agua. SEMARNAT. México.

- Comisión Nacional del Agua (2007). Plan Nacional Hidráulico 2006-2010. México.
- Conde, C., R. M. Ferrer, C. Gay & R. Araujo (2004). Impactos del cambio climático en la agricultura de México. En: Martínez, J. & A. Fernández Bremauntz, Cambio climático: Una visión desde México. INE y SEMARNAT, México.
- Conde, Cecilia & Gay, Carlos (Responsables del proyecto) (2008). Escenarios de cambio climático México 2008.
- Equation. En: De Boedt M., & Gabriels D. (eds) Assessment of Erosion. John Wiley and Sons, Inc. Chichester, West Sussex, UK. pp. 127-132.
- FAO (1977). Assessing Soil Degradation: Report of an FAO/UNEP expert consultation. FAO Bull.
- Figueroa, Benjamín et. al, (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Centro Regional para Estudios de Zonas Áridas y Semiáridas. Colegio de Postgraduados. San Luis Potosí.
- Fischlin, A., G.F. Midgley, J.T. Price, R. Leemans, B. Gopal, C. Turley, M.D.A. Rounsevell, O.P. Dube, J. Tarazona, & A.A. Velichko (2007).: Ecosystems, their Properties, Goods, and Services. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof.
- Flores, E.M., R. Araujo, E. Betancourt & D. Liverman (1996). Comportamiento de la superficie potencialmente apta para el cultivo de maíz de temporal ante un cambio climático. Memorias del Segundo Taller de Estudio de País: México. México Ante el Cambio Climático, 8 a 11 de mayo, 1996. Cuernavaca, México. pp. 179-184.
- Food Agriculture Organization of The United Nations (FAO) (2008). Climate Change and Food Security: A Framework Document, ROME. N° 34, Rome, Italy.
- Fournier, F. (1960). Climat et érosion. Ed. Presses Universitaires de France. Paris.
- Galaz V. et al, (2008). Ecosystems under Pressure. A Policy Brief for the International Commission on Climate Change and Development. Stockholm Environment Institute.
- García Moya, Edmundo (1972). Manejo de agostaderos. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo.
- García, Enriqueta (1964) Evaluación del efecto de la sequía intraestival sobre el rendimiento de los cultivos.
- Giugale, Marcelo, O. Lafourcade & Vin H. Nguyen (eds), (2001). Mexico. A Comprehensive Development Agenda for the New Era. World Bank, Washington, D.C.
- Gomez Oliver, Luis (2007) Análisis integral del gasto público agropecuario en México.
- Heady, H & Child, D (1994). Rangeland Ecology and Management. Wesview press. San Francisco, Ca.
- http://www.atmosfera.unam.mx/cclimatico/escenarios/Escenarios_de_cambio_climatico_Mexico_2008.htm
- Ibrahim, Mohammad (2008). Mecanismos Financieros para Promover la Adopción a Buenas Prácticas para Recuperación de Tierras de Pastoreo Degradadas en condiciones de Trópico Húmedo. Conferencia en el II Taller Mesoamericano de diseño de estrategias Financieras Integradas para el Manejo Sustentable de Tierras. Mecanismo Mundial de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación. Cantalagua, Michoacán. México.
- INE (2006) Inventario Nacional de Emisiones de Gases Efecto Invernadero 1990-2002. Instituto Nacional de Ecología y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- INEGI (2004) Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas de México (SCEEM) 1999-2004. México.
- Intergovernmental Panel of Climate Change IPCC, 2001^a. Third assessment Report: Climate Change 2001. Cambridge University.
- IPCC (2000). Escenarios de emisiones. Resumen para responsables de políticas. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).
- IPCC (2007) Cuarto Informe de Evaluación. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

- Kasperson, Jeanne X & Kasperson, Roger E. (2001). International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change Stockholm A Workshop Summary. Stockholm Environment Institute (SEI) Risk and Vulnerability Programme Report 2001-01 Stockholm, Sweden.
- Kasperson, Roger E. (2002). Vulnerability to environmental change: A conceptual framework for analyzing human – ecological interactions. Discussion paper UNEP-SCOPE workshop on “Making science more policy relevant”: A new generation of assessment, 13-14 June, Praga.
- Lobo, Deyanira. et al (2005). Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. Cazala, Santiago de Chile.
- López L., Daniel (2008). Spatial Analysis and Modelling for Mapping Environmental and Social Land Vulnerability in México' EUROSOIL, August 25 – 29, 2008, Vienna, Austria.
- M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 779-810
- Madrid, Sergio & G. Chapela (1998). Criterios para la Caracterización del Proceso de Deforestación en México. Informe a la SEMARNAP, México.
- Martínez Austria, Polioptro F. (2007) Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) Jiutepec, Morelos.
- Mc Meekan, C.P. (1973). De pasto a leche. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo.
- Medalye, Jacqueline & Graham Douglas (2007). “Human development and climate change.” In: Encyclopedia of Earth. (eds.) Cutler J. Cleveland (Washington, D.C.: Environmental Information Coalition, National Council for Science and the Environment). [Published in the Encyclopedia of Earth November 27.
- Ibrahim, Mohammad (2008). Mecanismos Financiero para Promover la Adopción a Buenas Practicas para Recuperación de Tierras Degradadas. CATIE, Costa Rica.
- Moncharoen P., Vearasilp T & Eswaran H. (2001). Land Resource Constraints for Sustainable Agriculture in Thailand. En: D.E. Stott, R.H. Mohtar & G.C. Steinhardt (eds). Sustaining the Global Farm. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Moreno Sánchez, Ana Rosa & Urbina Soria, Javier (2008) Impactos sociales del cambio climático en México. INE-PNUD, México.
- OCDE (2007) Estudios de las Políticas Rurales de la OCDE: México (2007). México.
- OCDE, 2003. Evaluación del desempeño ambiental México. OCDE-SEMARNAT. México.
- Oliver J. E. (1980). Monthly precipitation distribution: A comparative index. Professional Geographer, 32(3) pp. 300 – 309.
- P.J. van der Linden & C.E. Hanson, (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 211-272.
- PACDS (2007) Programa Nacional de Acción contra la Degradación de las Tierras (Desertificación) y Mitigación de los Efectos de la Sequía 2007-2030. México.
- Parry, O.F., Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden & C.E. Hanson, (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 133-171.
- PNUD (2005). Informe. Índices de Desarrollo Humano en México. México.
- Ponce-Hernández, Raúl (2004). Assessing Carbon Stock and Modeling win-win Scenarios of Carbon Sequestration Through Land-Use Change. FAO, Rome.
- Presidencia de la República (2008) Segundo Informe de Gobierno, 2008. México.
- Robert, Michel (2002). Captura de carbono en los suelos para un Mejor Manejo de la Tierra. FAO, Serie Informes sobre los Recursos Mundiales de Suelos. Roma.
- SAGARPA (2008). Informe al Consejo Mexicano para el Desarrollo Rural Sustentable. México.
- SAGARPA, Comisión Técnico Consultiva para la Determinación Regional de los Coeficientes de Agostadero en México. (2008). Coeficientes de

Agostadero en las Entidades de la República Mexicana. México.

Bingham, Sam & Allan Savory (1990). *Hollistic Resource Management*. Island Press. Washington, D.C.

Schneider, S.H., S. Semenov, A. Patwardhan, I. Burton, C.H.D. Magadza, M. Oppenheimer, A.B. Pittock, A. Rahman, J.B. Smith, A. Suarez & F. Yamin (2007). *Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change*. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

Schwab, Glenn, R. Frevert, T. Edminster y K. Barnes (1990) *Ingeniería de conservación de suelos y agua*. Limusa, México

SEMARNAT–Asesoría para el Desarrollo Rural, A.C. (2002). *Informe de avances del Centro Piloto de Validación de Tecnología para la Lucha contra la Desertificación en el ejido Cosío, Aguascalientes*. Mecanoescrito. México.

SEMARNAT–Colegio de Postgraduados (2002). *Evaluación de la Degradación de las Tierras Causada por el Hombre*. México.

SEMARNAT–COMADEP OXFAM. (2002). *Informe de avances del Centro Piloto de Validación de Tecnología para la Lucha contra la Desertificación en la región de Los Chenes, Campeche*. Mecanoescrito. México.

SEMARNAT–PNUD (2006). *Capacidades y sinergias: el desafío ambiental en México*. Autoevaluación de capacidades para la aplicación de las convenciones de diversidad biológica, cambio climático y de combate a la desertificación. México

SEMARNAT–UNAM. (2002). *Informe de avances del Centro Piloto de Validación de Tecnología para la Lucha contra la Desertificación en el ejido Dexthí, Hidalgo*. Mecanoescrito. México.

SEMARNAT (2005). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México*. Compendio de estadísticas ambientales. México.

Smith P, Fallon, et al, (1999). *Modeling Soil Carbon Dynamics in Tropical Ecosystems* In Lal, R et al,(eds) *Global Climate and Tropical Ecosystems*. Adv. In Soil Science. CRC Press. 341: 364 (citado por Robert, 2002),

Solís, L. M. (2005). *La escasez, el costo y el precio del agua en México*. Ponencia al Primer Seminario de Mercados de Agua. Querétaro..

Stockins (2007) *Global Impacts of Land Degradation*. Overseas Development Group, 2006. University of East Anglia Norwich, United Kingdom.

Turner, B. L. *A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science.*, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America- PNAS*, July 8, 2003, vol. 100, No. 14: 8074–8079 . www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1231335100

Turner B. L., et al, (2003). *Illustrating the Coupled Human–Environment System for Vulnerability Analysis: Three Case Studies*. Clark University, Worcester, MA, March 7, 2003.

United Nations Environment Programme (1992). *World Atlas of Desertification*. Arnold E. (ed). 69p.

United Nations Environment Programme (1997). *World Atlas of Desertification*. Second Edition. Middleton N. and Thomas D. (Eds). 182p.

Universidad Autónoma de Chapingo (2007) *Evaluación externa 2006–2007 del Fondo para Atender a la Población Rural Afectada por Contingencias climatológicas*, México.

Voisin, André (1971). *Productividad de la hierba*. Editorial Tecnos. Madrid.

Wischmeier W.H. & Smith D.D. (1978). *Predicting Rainfall–Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning*. Agric. Handbook N° 537. U.S.D.A. Washington, D.C.

Yuñez- Naude, Antonio (comp.) (2000) *Los pequeños productores rurales en México: las reformas y las opciones*. El Colegio de México, México.

Impacto del cambio climático en las tierras y sus características.

Se termino de imprimir en el mes de agosto de 2009, en Servicios y Publicaciones Grande, S.A. de C.V. el tiro consta de 500 ejemplares.

El contenido es responsabilidad de la Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental.

El cuidado del la edición estuvo a cargo de la Coordinación General de Comunicación Social
de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

