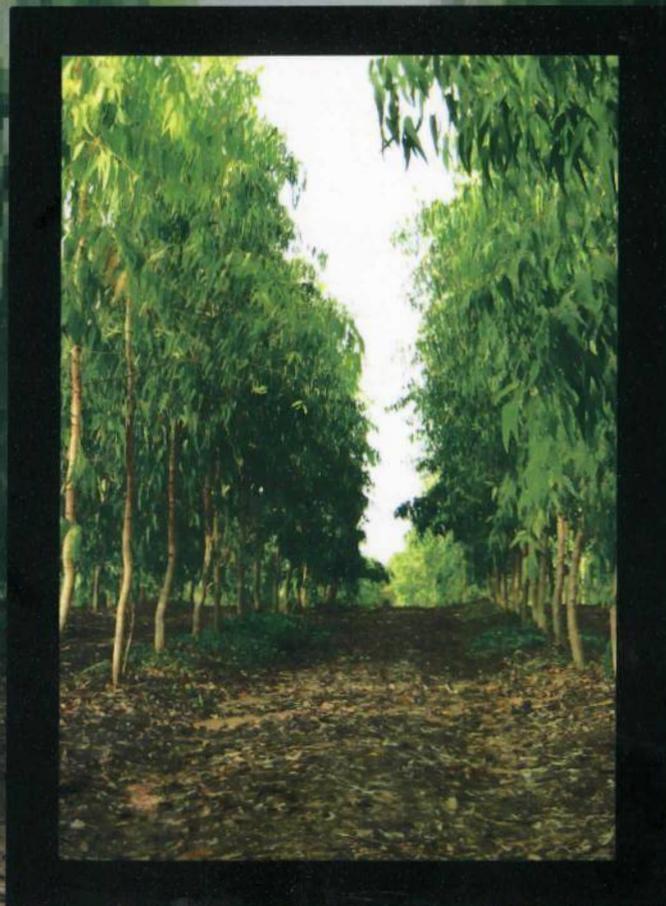


Escenarios de cambio de uso de suelo hacia una economía baja en emisiones



Roberto Escalante Semerena



Escenarios de cambio de uso de suelo hacia una economía baja en emisiones

Roberto Escalante Semerena

Escenarios de cambio de uso de suelo hacia una economía baja en emisiones.

Roberto Escalante Semerena

Primera Edición, 2013.

D.R. UNIÓN DE UNIVERSIDADES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Edificio UDUAL, Circuito Norponiente del Estadio Olímpico
Ciudad Universitaria, México.

ISBN: 978-607-8066-04-9

Impreso en México / Printed in Mexico

Edición: Gisela Rodríguez Ortiz

Diseño y formación: Olivia González Reyes.

CONTENIDO

1. Introducción	9
2. Emisiones asociadas a cambio de uso de suelo	12
2.1 Emisiones de CO ₂ por cambio de uso de suelo a nivel mundial	13
2.2 Emisiones de CO ₂ por cambio de uso de suelo en México	21
3. Descarbonización del uso del suelo	34
4. Identificación de Políticas de mitigación	37
5. Escenarios de descarbonización	46
5.1 En el sector agrícola: suelos agrícolas	46
5.2 Cambio de uso de suelo	50
5.2.1 Censos Agropecuarios 1991 y 2007, Censo Ejidal 1992-2006	55
5.2.2 Escenarios de descarbonización por cambio de uso de suelo en actividades agropecuarias y forestales	108
6. Conclusiones	123
7. Referencias	127
8. Anexo 1. Metodología econométrica: modelos panel	132
9. Anexo 2. Funcionamiento del Programa de Pagos por Servicios Ambientales	136

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Estimaciones de pérdida de carbono en bosques atribuido a la deforestación. Pérdida de carbono en Gigatoneladas por año (Gt/año)/Gigatoneladas de dióxido de carbono por año (GtCO ₂ /año)	14
Cuadro 2. Deforestación y degradación de bosques de acuerdo con las principales actividades responsables en los 90's	14
Cuadro 3. Degradación mundial de suelos de acuerdo con los cuatro procesos principales de degradación (Terreno moderado a extremadamente degradado, millones de ha.) (de Oldeman <i>et al.</i> , 1991)	16
Cuadro 4. Estadísticos Básicos emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) por cambio de uso de suelo global y América Latina (Centroamérica y Sudamérica): 1850-2005	18
Cuadro 5. Prueba Bai-Perron para múltiples cambios estructurales de las trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) por cambio de uso de suelo global y América Latina (Centroamérica y Sudamérica): 1850-2005	21
Cuadro 6. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Gigagramos de CO ₂ eq)	22
Cuadro 7. Participación porcentual por categoría de Emisión 1990-2006	23
Cuadro 8. Emisiones de las subcategorías de Agricultura en Gigagramos de CO ₂ eq 1990-2006	24
Cuadro 9. Estadísticos Básicos emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) por cambio de uso de suelo México: 1990-200	28
Cuadro 10. Prueba Bai-Perron para múltiples cambios estructurales. Trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) por cambio de uso de suelo por subcategorías: 1990-2006	33
Cuadro 11. Fuente y uso final de las emisiones de CO ₂ por sectores	35
Cuadro 12. Estimación de secuestro de carbono de suelos por mejor manejo de las tierras	39
Cuadro 13. Actividades financiadas por REDD+	45
Cuadro 14. Estadísticos del procedimiento de Johansen (1988) de las emisiones de co ₂ en el sector agrícola: $co_{2t} = \beta_0 + \beta_1 * ya_t + \beta_2 * fert_t + u_t$	47

Cuadro 15. Reducciones de emisiones de CO ₂ (en gigagramos) por reducción en el consumo de fertilizantes en suelos agrícolas respecto al 2006	50
Cuadro 16. Tasa de crecimiento media anual del valor de la producción, 1991-2007	85
Cuadro 17 . Montos Apoyados por Ha en ProCampo, PFC y PSA por Estado 2007	97
Cuadro 18 . Prueba de Hausman del modelo Panel	109
Cuadro 19 . Resumen de Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030	110
Cuadro 20 . Resumen de Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Censo Agrícola (sección cruzada)	112
Cuadro 21 . Resumen de Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Núcleos Agrarios – Ejidal (sección cruzada)	115
Cuadro 22. Contenido de COS según uso del suelo	117

Índice de Mapas

Mapa 1. Distribución global de emisiones de CO ₂ del suelo, promedio anual 1980-1994	16
---	----

Índice de Gráficas

Gráfica 1. Distribución global de emisiones de CO ₂ del suelo, Promedio Anual 1980-1994	17
Gráfica 2. Trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) por cambio de uso de suelo global y América Latina (Centroamérica y Sudamérica): 1850-2005	19
Gráfica 3. Filtro Hodrick-Prescott y Ciclo de las trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) por cambio de uso de suelo global y América Latina (Centroamérica y Sudamérica): 1850-2005	20
Gráfica 4. Participación de las categorías de Agricultura de Emisiones en 2006	25
Gráfica 5. Trayectoria de Emisiones de Suelos Agrícolas y Consumo Nacional de fertilizantes 1990-2006	26
Gráfica 6. Emisiones netas anuales de CO ₂ eq de las categorías tierras forestales, tierras agrícolas y praderas 1990 – 2006	27

Gráfica 7. Trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) por cambio de uso de suelo, para subcategorías: 1990-2006	29
Gráfica 8. Filtro Hodrick-Prescott y Ciclo de las Trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO ₂) por cambio de uso de suelo por subcategorías: 1990-2006	31
Gráfica 9. Participación promedio porcentual en el consumo total de energía por sector 1965-2007	37
Gráfica 10. Destino del financiamiento de REDD+	45
Gráfica 11. Valores actuales, estimados y residuales de las emisiones de CO ₂ del suelo agrícola: 1993 - 2006	49
Gráfica 12. Escenarios de emisiones de CO ₂ de suelo agrícola con variaciones en el consumo de fertilizantes: 1990 - 2030	50
Gráfica 13. Porcentaje por uso de suelo a nivel nacional, 1991 y 2007	56
Gráfica 14. Porcentaje de superficie de labor por Entidad Federativa, 1991 y 2007	58
Gráfica 15. Porcentaje de superficie de Pastos y Agostadero por Entidad Federativa, 1991 y 2007	60
Gráfica 16. Porcentaje de superficie de Bosques y Selvas por Entidad Federativa, 1991 y 2007	62
Gráfica 17. Porcentaje de superficie sin vegetación por Entidad Federativa, 1991 y 2007	64
Gráfica 18. Rendimientos por tipo de superficie a Nivel Nacional, 1991 y 2007	66
Gráfica 19. Rendimientos agrícolas ciclo Primavera-Verano por Estado, 1991 y 2007	67
Gráfica 20. Rendimientos agrícolas ciclo Otoño-Invierno por Estado, 1991 y 2007	69
Gráfica 21. Rendimientos ganaderos por estado, 1991 y 2007	71
Gráfica 22. Rendimientos de pastos por estado, 1991 y 2007	73
Gráfica 23. Rendimientos de bosques por estado, 1991 y 2007	75
Gráfica 24. Valor Agrícola ciclo Primavera-Verano por estado, 1991 y 2007	77
Gráfica 25. Valor Agrícola ciclo Otoño-Invierno por estado, 1991 y 2007	78
Gráfica 26. Valor Ganadero por estado, 1991 y 2007	80
Gráfica 27. Valor de la Madera por estado, 1991 y 2007	82
Gráfica 28. Valor de pastos por estado, 1991 y 2007	84
Gráfica 29. Precios de Productos Agrícolas por estado, 1991 y 2007	86
Gráfica 30. Precios de Pastos por estado, 1991 y 2007	88

Gráfica 31. Precios de Ganado por estado, 1991 y 2007	90
Gráfica 32. Precios de la Madera por estado, 1991 y 2007	92
Gráfica 33. Montos Apoyados por Ha en ProCampo por estado, 1991 y 2007	94
Gráfica 34. Montos Apoyados por Ha en ProCampo, PFC y PSA por estado 2007	96
Gráfica 35. Montos de programas de apoyo forestal, 2007	98
Gráfica 36. Porcentaje de suelo con problemas de erosión y ensalitramiento de hasta 5 años por estado 1991	100
Gráfica 37. Porcentaje de suelo con problemas de erosión y ensalitramiento de hasta 5 años por estado 2007	101
Gráfica 38. Porcentaje por tipo de superficie ejidal, 1992-2006	102
Gráfica 39. Porcentaje por superficie agrícola ejidal por estado, 1992-2006	103
Gráfica 40. Porcentaje por superficie ganadera ejidal por estado, 1992-2006	105
Gráfica 41. Porcentaje por superficie forestal ejidal por estado, 1992-2006	107
Gráfica 42. Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030	110
Gráfica 43. Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030 Censo Agrícola (sección cruzada)	112
Gráfica 44. Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Núcleos Agrarios – Ejidal (sección cruzada)	114
Gráfica 45. Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Censo Agrícola	118
Gráfica 46. CO orgánico en el suelo bajo los escenarios de modelo ecuaciones simultáneas, Censo Agrícola	119
Gráfica 47. Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Núcleos Agrarios-Ejidal	121
Gráfica 48. CO orgánico en el suelo bajo los escenarios de modelo ecuaciones simultáneas, Núcleos Agrarios – Ejidal	122

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático antropogénico es la mayor externalidad negativa a nivel mundial cuyas características son exclusivas por su dimensión, temporalidad y complejas interacciones entre procesos ambientales, climáticos, económicos, políticos, institucionales, sociales y tecnológicos (IPCC, 2001) poniendo en riesgo el desarrollo económico y bienestar social. Por ello, es necesario emprender una serie de acciones y medidas para evitar los efectos adversos del cambio climático, como mitigación y adaptación, siendo la primera menos costosa y más benéfica que la segunda (Stern, 2007).

La presencia de medidas de mitigación puede disminuir los costos que trae consigo el cambio climático, reduciendo los impactos más intensos y disminuir la probabilidad de enfrentarse a escenarios con consecuencias económicas, políticas y sociales más lamentables. Ahí radica la importancia de identificar una serie de medidas que puedan contribuir en alcanzar las metas de disminución de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de acuerdo a sus condiciones y capacidades. Las diferencias en la distribución y adelanto tecnológico, recursos financieros, naturales y ecosistémicos a nivel regional son consideraciones esenciales en el análisis de los potenciales de mitigación (IPCC, 2001), siendo necesaria la contribución internacional en el objetivo en común de estabilización climática. En el esfuerzo de contribución con la reducción de emisiones de GEI, observando las responsabilidades comunes pero diferenciadas, México ha asumido un compromiso voluntario de reducción de sus emisiones de 30% hacia el año 2020 respecto a las emisiones del año 2002.

En cuanto a sectores emisores, existe amplia evidencia científica de que el proceso de Cambio de Uso de suelo en los ecosistemas modifica el equilibrio del carbono, lo que puede derivar en liberación GEI, pero también en captura. Hoy en día, la pérdida de cobertura forestal ha variado de un tercio a casi la mitad en comparación con el inicio de la humanidad (Noble y Dirzo 1997; Cincotta *et al.*, 2000) siendo las actividades humanas la principal fuente de su deterioro y transformación (Vitousek *et al.*, 1997). Dado que los bosques tienen una importancia económica y ambiental por los servicios que otorgan, incluida su función como sumidero de carbono¹, si la deforestación no puede ser

detenida, debe manejarse adecuadamente para minimizar pérdidas de carbono. Cabe señalar, que la deforestación (incluyendo uso de suelo y cambio de uso de suelo) así como la degradación de bosques son las fuentes principales de emisiones en varios países en desarrollo (Stern, 2007).

Por lo anterior, el proceso de cambio de uso de suelo por factores antropogénicos es una pieza clave, tanto en contribución en las emisiones y al mismo tiempo en la captura de carbono en la atmósfera, es decir, tiene la característica de poder derivar en contribuciones de cero emisiones de carbono, con la capacidad única, incluso, de contribuir negativamente a los procesos de carbono. Por ello, el sector Uso de Suelo tiene un alto potencial de ser una estrategia de mitigación del cambio climático y es necesario su análisis, ya que las políticas en su sector pueden ser factor determinante para poder reforestar, cambiar el modo de producción y disminuir las emisiones de carbono para enfrentar el cambio climático.

En el corto plazo, los beneficios de la reducción de emisiones por deforestación y degradación traen consigo mayores beneficios que la reforestación y en algunas circunstancias, la deforestación y degradación puede evitarse en los bosques con regulaciones, prácticas sustentables, enriquecimiento de zonas y planeación para evitar su degradación.

En el caso de México, las causas de mayor impacto en deforestación están asociadas con la producción agrícola y ganadera, reconociendo un menor impacto por parte de los productos forestales en este proceso. De acuerdo con la Cuarta Comunicación de México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, el sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura, representa el 9.9% del total de emisiones del país en el año 2006, provenientes principalmente de procesos de combustión y descomposición de biomasa, resultante de la conversión de sistemas forestales a otros usos, así como bosques a algún sistema de manejo. En los últimos años, en México se han incrementado, tanto en el cambio de uso de suelo, como en las emisiones derivadas de ello, por lo cual, es importante llevar a cabo un análisis que evalúe los principales motores de dichos cambios de uso de suelo, para poder generar políticas que permitan disminuir las emisiones de carbono de acuerdo con la evidencia empírica y las posibles trayectorias que se podrían presentar en los siguientes años.

En este sector existe un gran potencial de mitigación de emisiones, que podría permitir al país participar en el mecanismo REDD, propuesto por primera vez en el año 2005, durante la Conferencia de las Partes número 11, el cual tiene como objetivo contribuir a la mitigación de los gases de efecto invernadero mediante la preservación de la biomasa boscosa actual, evitando

la deforestación y degradación de bosques y selvas por medio de pagos que garanticen la preservación de la biomasa existente. Asimismo, fomenta un incentivo adicional por servicios ambientales a la población rural para motivarlos a conservar y mejorar sus sistemas productivos, incluyendo prácticas sustentables que capturen y conserven el carbono de biomasa y suelos.²

En este contexto, el objetivo del estudio es identificar cuáles son y han sido los principales impulsores del proceso de Cambio de Uso de Suelo, particularmente en deforestación, para poder generar escenarios en los cuales se consideren políticas públicas alternativas para el control y reducción de emisiones de carbono en este sector. Asimismo, se buscará identificar los potenciales de mitigación en el sector, y analizar la inclusión de estas actividades en los programas REDD y REDD+, para maximizar por una parte las oportunidades de mitigación del país y a su vez sea un impulsor de desarrollo económico para comunidades en situación de marginación.

El documento se conforma de 6 secciones, la primera es la introducción, en la segunda se presenta la evolución histórica de las emisiones por cambio de uso de suelo, tanto a nivel mundial, como para el caso de México. En la sección tres se presenta un esquema para identificar en qué sectores o áreas específicas se debe intervenir para generar descarbonización en este sector. A continuación de la sección anterior, se buscó identificar las políticas específicas para la reducción de emisiones. Los escenarios de descarbonización en el uso de suelo agrícola, asociada a fertilizantes, y en el cambio de uso de suelo de propiedad privada y ejidal son presentados en la sección 5. Finalmente se presenta un apartado de conclusiones y comentarios generales.

Este libro ve la luz gracias al apoyo brindado por la USAID para poder realizar la investigación. La Secretaría del Medio Ambiente de México (SEMARNAT), también brindó un apoyo decidido para hacer posible este trabajo. En particular en la persona del Lic. Roberto Cabral Bowling. Agradezco los comentarios al texto de Karina Caballero y de Luis Miguel Galindo. Por supuesto que la responsabilidad del contenido del texto es personal. Le agradezco mucho a Olivia González todo el trabajo de edición. Sin su ayuda no hubiera sido posible la publicación.

2. EMISIONES ASOCIADAS A CAMBIO DE USO DE SUELO

El cambio de uso de suelo, como resultado de las actividades humanas, constituye hoy en día el aspecto más importante entre los procesos de cambio global (Dale, 2007). Se estima que cerca de la mitad de la cobertura vegetal del planeta ha sufrido alguna transformación a causa de la deforestación, degradación o fragmentación (Daily, 1995), generando a su vez nuevas alteraciones como en los ciclos Biogeoquímicos y en la pérdida de la biodiversidad (Houghton 1994; Dale 1997).

Mientras que el CO₂ derivado de los combustibles fósiles es el principal gas en otros sectores, en el uso de suelo y sector agrícola hay otros gases que son los principales contribuyentes:

N₂O: Dióxido Nitroso

CH₄: Metano.

CO₂: Dióxido de carbono liberado de los suelos.

El potencial de calentamiento global de cada uno de estos gases puede expresarse en equivalentes de CO₂. El potencial de calentamiento global de N₂O y del CH₄ es 296 y 23 veces el valor de una unidad de CO₂, respectivamente. El metano en el sector agrícola es producido principalmente por rumiantes en sus procesos digestivos (Defra, 2010). El óxido nitroso proviene principalmente de suelos agrícolas. Para incrementar los cultivos y el pasto es necesario regar sustancias nitrogenadas en la tierra o bien, sembrar cultivos arreglados que contienen nitrógeno (Brown & Jarvis, 2001). No todo el nitrógeno es tomado por las plantas y algo de su residuo se oxida (Saggar *et al.*, 2004).

El CO₂ desprendido del suelo es como consecuencia de cambios en el uso de suelo, particularmente conversión de bosques o pastizales en uso arable. Los suelos que no han sufrido disturbios tienden a ser reservas de carbono en forma de materia orgánica, que puede liberarse en circunstancias externas (Dawson & Smith, 2006).

Puede considerarse que emisiones, de metano y dióxido de carbono están fuertemente asociadas con el lado del sector ganadero por el lado de la agricultura con que se alimentan, mientras las emisiones de CO₂ de suelo están asociadas a los cultivos agrícolas.

2.1 Emisiones de CO₂ por cambio de uso de suelo a nivel mundial

Los flujos entre el carbono orgánico del suelo o terrestre y la atmósfera son importantes y pueden ser positivos bajo la forma de captura o negativos como emisión de CO₂. Teniendo grandes variaciones:

- Houghton (1995) estima que las emisiones correspondientes al cambio de uso de la tierra -deforestación e incremento del pastoreo y de las tierras cultivadas- fueron cerca de 140 Pg (petagramo) entre 1850 y 1990 (de 0.4 Pg/año en 1850 a 1.7 Pg/año en 1990), con una liberación neta hacia la atmósfera de 25 Pg de carbono.
- De acuerdo con IPCC (2000), la pérdida histórica de los suelos agrícolas fue de 50 Pg de carbono en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación.
- En el pasado, el desarrollo de la agricultura fue la principal causa del incremento de la concentración de CO₂ en la atmósfera, pero hoy día, los mayores contribuyentes son la combustión de los combustibles fósiles por parte de la industria y el transporte (6.5 Pg/año).
- La deforestación de muchas áreas tropicales produce emisiones de carbono estimadas en 1.5 Pg/año, al mismo tiempo se produce una acumulación en los ecosistemas terrestres de 1.8 a 2 Pg/año.

En este sentido, el sector de uso de suelo, incluyendo el sector forestal y agrícola es una fuente muy importante de emisiones de GEI antropogénicas. El uso de suelo, principalmente la deforestación, contribuye con el 20% de las emisiones antropogénicas entre 1989 y 1998 (IPCC 2000 y 2007c).

Las reservas de carbono relativas a actividades USCUS pueden encontrarse en los siguientes elementos:

- Biomasa bajo la tierra.
- Biomasa sobre la tierra.
- Basura y desechos.
- Madera muerta.
- Carbono orgánico del suelo.

La estimación de pérdida de carbono atribuida a la deforestación y degradación, por regiones de acuerdo con diferentes autores se presenta en el Cuadro 1, donde se observa que las estimaciones oscilan entre 0.43 Gt/año a 0.94 en América, en Asia entre 0.35 Gt/año y 1.09.

Cuadro 1: Estimaciones de pérdida de carbono en bosques atribuido a la deforestación. Pérdida de carbono en Gigatoneladas por año (Gt/año)/Gigatoneladas de dióxido de carbono por año (GtCO₂/año)

Región	Feamside (2000) 1981-1990	Malhiand Grace (2000) 1980-1995	Houghton (2003) 1990's	Defries <i>et al.</i> (2002) 1990's	Achard <i>et al.</i> (2004) 1990's
América	0.94 (3.45)	0.94 (3.45)	0.75 (2.75)	0.43 (1.58)	0.44 (1.61)
África	0.42 (1.54)	0.36 (1.32)	0.35 (1.28)	0.12 (0.44)	0.16 (0.59)
Asia	0.66 (2.42)	1.08 (3.96)	1.09 (4.00)	0.35 (1.28)	0.39 (1.43)
Total	2 (7.33)	2.4 (8.8)	2.2 (0.86)	0.91 (3.33)	0.99 (3.63)

Fuente: UNFCC (2008).

Los impulsores de la deforestación y degradación de bosques difieren mucho de acuerdo a actividades, regiones, sistemas, etcétera. El Cuadro 2 presenta las actividades responsables de la deforestación y degradación. La actividad con mayor peso es la agricultura a pequeña escala y la rotación de cultivos con 42%, le siguen los cultivos comerciales con el 20%. El comercio de madera leña y carbón contribuyen en 19% y la ganadería en 12%.

Cuadro 2: Deforestación y degradación de bosques de acuerdo a las principales actividades responsables en los 90's

Principales actividades responsables	Deforestación y degradación (% del total)	Área de deforestación y degradación (millones de ha.)
1. Agricultura Comercial		
1.1 Cultivos Comerciales	20	2.6
1.2 Ganadería (gran escala)	12	1.6
2. Agricultura de subsistencia		
2.1 Agricultura a pequeña escala / rotación de cultivos	42	5.5
2.2 Recolección de leña para combustible	6	0.75

Principales actividades responsables	Deforestación y degradación (% del total)	Área de deforestación y degradación (millones de ha.)
3. Extracción de madera		
3.1 Comercio de madera (legal e ilegal)	14	1.8
3.2 Comercio de leña y carbón	5	0.7
Total	100	12.9

Fuente: UNFCC (2008).

La materia orgánica del suelo es indicador clave de la calidad del suelo en funciones agrícolas, ambientales (captura de carbono y calidad del aire). La actividad de la fauna en el suelo, su diversidad, cantidad, etcétera, están directamente relacionadas con la materia orgánica, lo cual tiene gran influencia en las propiedades físicas y químicas de los suelos (Robert, 1996b), teniendo mayor estabilización de la estructura del suelo aumentando el contenido de materia orgánica, incrementando la tasa de infiltración y agua disponible en el suelo, así como resistencia contra erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo mejora la dinámica y biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas.

El contenido de materia orgánica del suelo es más bajo donde la degradación es severa, la cantidad de carbono que puede capturarse por la rehabilitación de las tierras será importante en áreas donde es técnica y socioeconómicamente una opción viable. La degradación física y química que son los procesos principales, resultan en la degradación biológica (Robert y Stengel, 1999). En los suelos tropicales, la degradación de los suelos inducida por el hombre afecta del 45 al 65% de las tierras agrícolas, dependiendo del continente (GLASOD, Oldeman *et al.* 1991). Ello hace que el margen para la captura de carbono en suelos tropicales degradados sea muy alto.

Como se observa en el Cuadro 3, la degradación de suelos en relación con los cuatro procesos principales de degradación se concentra en Asia y África, y el principal proceso de degradación es la erosión hídrica. Las causas de la degradación, de importancia similar, son deforestación, sobrepastoreo y mal manejo agrícola. Asimismo, los ecosistemas forestales contienen más carbono por unidad de superficie que cualquier otro tipo de tierra y suelo, 40% del total del carbono, con gran importancia en el manejo de bosques. Se estima que la tasa anual de deforestación está entre 15 y 17 millones de ha., que se concentra en los trópicos (FAO, 1993), se pierde carbono orgánico dando lugar a grandes

emisiones de CO₂. Como resultado de la degradación de los suelos y las altas tasas de deforestación se observa que en las zonas tropicales de América, Asia y África las emisiones de CO₂ son de mayor magnitud (Mapa 1).

Cuadro 3: Degradación mundial de suelos de acuerdo a los cuatro procesos principales de degradación (Terreno moderado a extremadamente degradado, millones de ha.) (de Oldeman *et al.*, 1991)

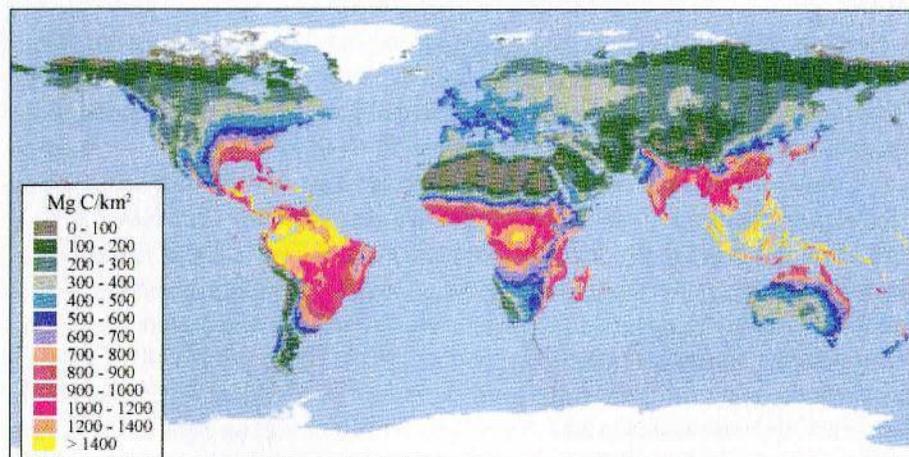
Área	Erosión hídrica	Erosión eólica	Degradación química	Degradación física	Total (x10 ⁶ ha.)
África	170	98	36	17	321
Asia	315	90	41	6	452
América del Sur	77	16	44	1	138
América Central y del Norte	90	37	7	5	139
Europa	93	39	18	8	158
Australia	3	15	1	2	21
Total	748	295	147	39	1,229**

*Los tres factores causantes de importancia similar son deforestación, sobrepastoreo y mal manejo agrícola.

**El total llega a 1965 millones de hectáreas si se agregan los usos ligeramente afectados.

Fuente: FAO (2002).

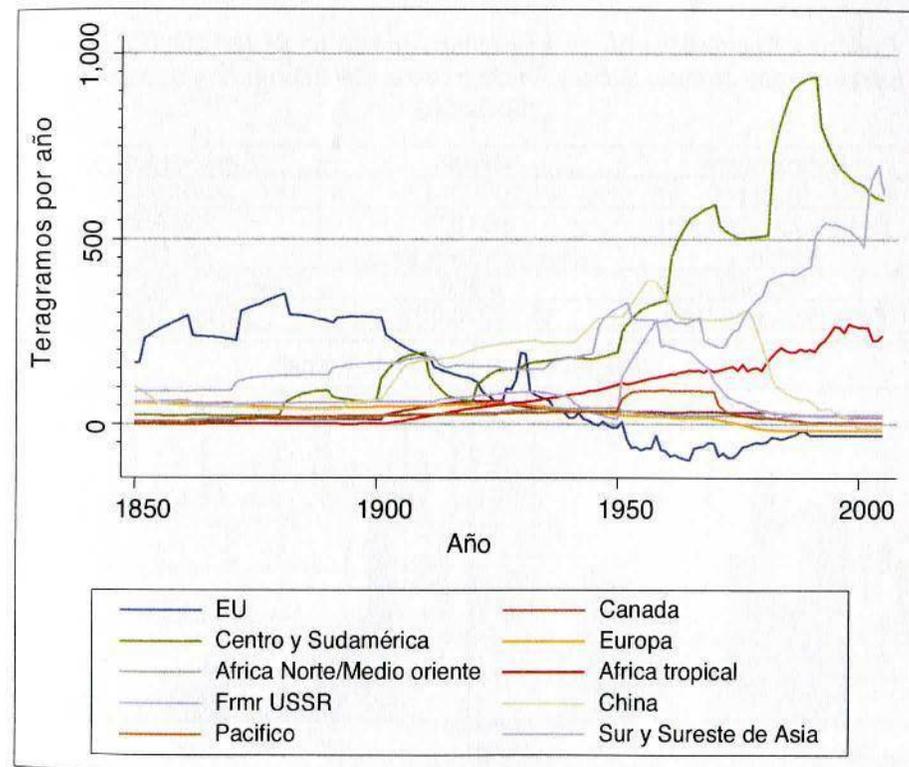
Mapa 1: Distribución global de emisiones de CO₂ del suelo, promedio anual 1980-1994



Fuente: Raich, JW, CS Potter y D. Bhagawati (2003).

Históricamente se ha incrementado de forma sustancial las emisiones globales de CO₂ asociadas a cambios de uso de suelo, sin embargo este incremento no ha sido de forma heterogénea entre las diferentes regiones del mundo (Gráfica 1). Regiones como Centro y Sudamérica, sur y sureste de Asia, y África tropical han incrementado de forma sustancial sus emisiones causadas por la degradación y deforestación de suelos. El caso contrario es Estados Unidos, donde se han reducido las emisiones de forma significativa.

Gráfica 1: Distribución global de emisiones de CO₂ del suelo, Promedio Anual 1980-1994



Fuente: Elaboración propia con información de Raich, JW, CS Potter y D. Bhagawati. (2003) <http://cdiac.ornl.gov/eprints/ndp/ndp081/ndp081.html>

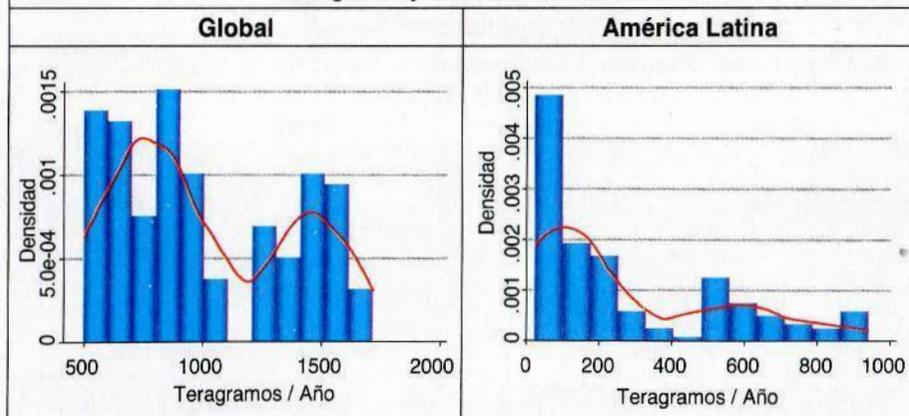
A nivel global, durante el periodo de estudio, la serie de emisiones de CO₂ por cambio de uso de suelo presenta una distribución que no se distribuye de forma normal, concentrándose en niveles bajos y después en niveles altos, lo cual indica que la trayectoria no presentó un crecimiento homogéneo, sino que se mantuvo constante por un periodo largo de tiempo, y después se incremen-

tó de forma importante (Cuadro 4). Lo mismo ocurre para las emisiones de América Latina, sin embargo se observa que tiene una mayor concentración de valores hacia la derecha. Asimismo, el promedio de participación de América Latina en el global del periodo es de 26.8%, pasando de 4.6% en 1850 a 41.3% en 2005. En la Gráfica 2, se presentan las trayectorias de las emisiones y sus tasas de crecimiento globales y de América Latina, las tasas de crecimiento a nivel global son muy variables, mientras que las de América Latina de 1875 a 1925 muestran las mayores tasas de crecimiento, de hasta el 93%. En los años siguientes la tasa de crecimiento de emisiones disminuye, pero sigue siendo importante.

Cuadro 4: Estadísticos Básicos emisiones de bióxido de carbono (CO₂) por cambio de uso de suelo global y América Latina (Centroamérica y Sudamérica): 1850-2005

Estadísticos	Global	América Latina
Media	1000.161	268.347
Desviación Estándar	363.316	266.956
Kurtosis	1.737	2.792
Sesgo	0.388	1.021
Prueba Jarque-Bera	14.292 (0.001)*	27.388 (0.000)*

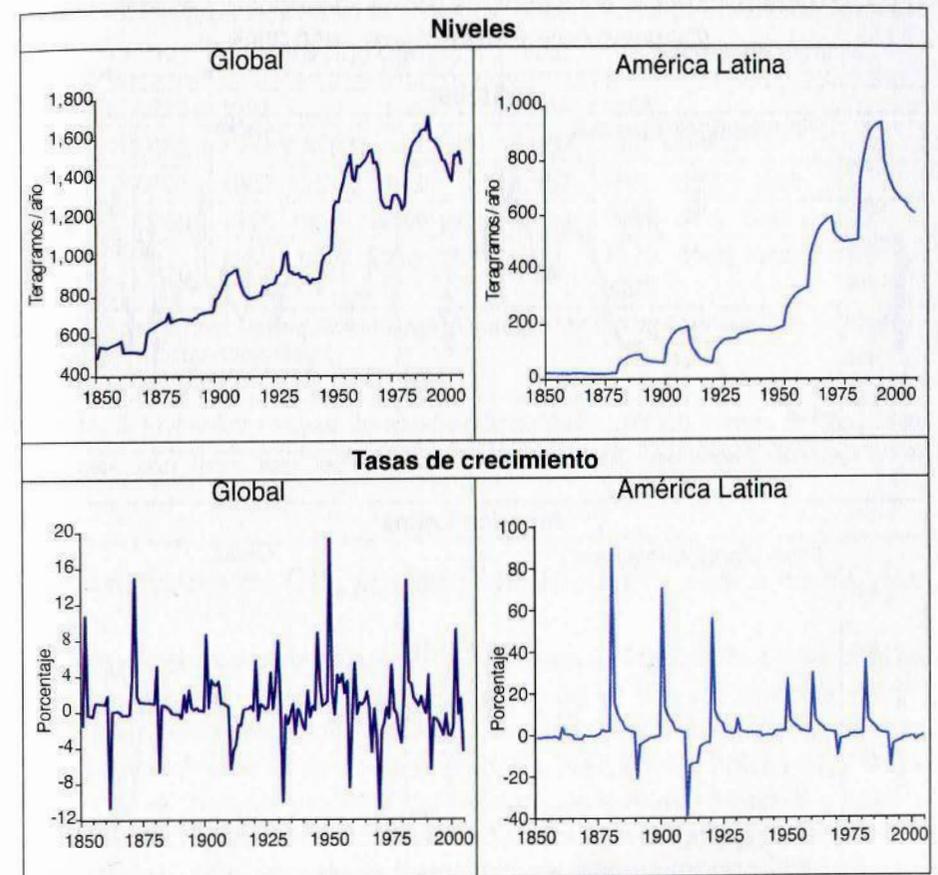
Histograma y Densidad de Kernel



Notas: Los valores entre paréntesis indican la probabilidad de la distribución chi-cuadrada. (*) Indica el rechazo de la hipótesis nula. Período: 1850-2005.

Fuente: Elaboración propia con información de Raich, JW, CS Potter y D. Bhagawati. (2003) <http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp081/ndp081.html>

Gráfica 2: Trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) por cambio de uso de suelo global y América Latina (Centroamérica y Sudamérica): 1850-2005

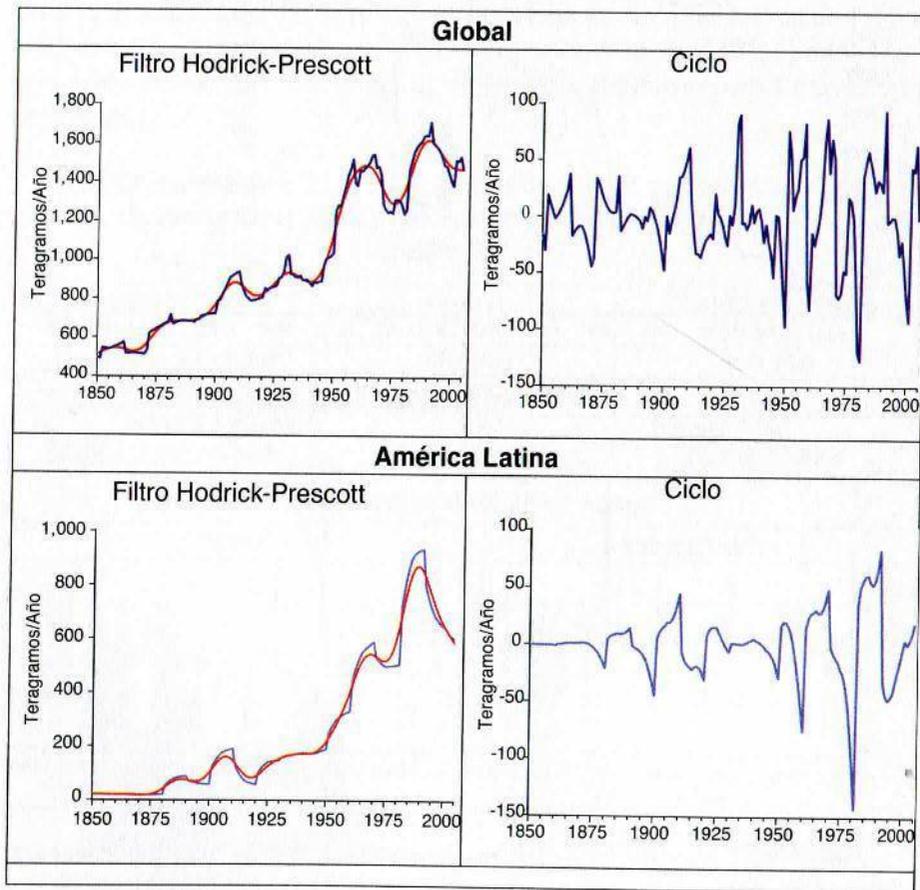


Fuente: Elaboración propia con información de Raich, JW, CS Potter y D. Bhagawati. (2003) <http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp081/ndp081.html>

El Filtro Hodrick-Prescott³ indica que las series desestacionalizadas de emisiones de CO₂ mantienen una tendencia creciente en todo el periodo, particularmente elevada en el periodo de 1940 a 1960 a nivel global y de 1950 a 1990 en América Latina (Gráfica 3). El ciclo se vuelve más volátil a partir de los años 50 a nivel global, mientras que para América Latina es en la década de los 60. A partir de la década de los 90, particularmente en el año de 1991,

se encuentra un cambio estructural de las series (ver Cuadro 5), hacia la baja, indicando que las emisiones de CO₂ por cambio de uso de suelo están comenzando a disminuir.

Gráfica 3: Filtro Hodrick-Prescott y Ciclo de las trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) por cambio de uso de suelo global y América Latina (Centroamérica y Sudamérica): 1850-2005



Fuente: Elaboración propia con información de Raich, JW, CS Potter y D. Bhagawati. (2003) <http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp081/ndp081.html>

Cuadro 5: Prueba Bai-Perron para múltiples cambios estructurales de las trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) por cambio de uso de suelo global y América Latina (Centroamérica y Sudamérica): 1850-2005

Número de cambios	Global		América Latina	
	BIC	Fechas de cambio	BIC	Fechas de cambio
1	7.491	1991	6.488	1991
2	7.462	1981 y 1983	6.382	1981 y 1983
3	7.423	1967, 1981 y 1983	6.267	1981, 1983 y 1991
4	7.399	1945, 1958, 1981 y 1983	6.184	1981, 1983, 1991 y 1993
5	7.379	1949, 1951, 1958, 1981 y 1983	6.146	1970, 1981, 1983, 1991 y 1993

Notas: Los valores en negritas indican el número óptimo de cambios. BIC = Criterio de información bayesiano.
Período: 1850-2005

Fuente: Elaboración propia con información de Raich, JW, CS Potter y D. Bhagawati. (2003) <http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp081/ndp081.html>

2.2 Emisiones de CO₂ por cambio de uso de suelo en México

Las emisiones totales de GEI en el 2006 fueron de 709,005.26 Gg en equivalentes de CO₂, que representa un incremento del 39.76% con respecto a 1990. Estas emisiones incluyen los 6 principales gases efectos invernadero contemplados por el Protocolo de Kioto (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs y SF₆) de las categorías de energía, procesos industriales, agricultura, desechos y cambio de uso de suelo y silvicultura (Cuadro 6). La categoría con mayor incremento fue desechos, en el periodo se incrementó en 198%, procesos industriales y energía incrementaron en 83.1% y 38.2% respectivamente. Mientras que las categorías de agricultura y cambio de uso de suelo y silvicultura disminuyeron 4 y 12.9% respectivamente.

La mayor contribución a las emisiones totales proviene de la categoría de energía que aporta en promedio anualmente el 65.99% de las emisiones totales para el periodo 1990-2006. La participación de agricultura pasó de 9.35% en 1990 a 6.42%, y cambio de uso de suelo de 15.89 a 9.90% en el mismo periodo. Esta última categoría incrementó su participación de forma considerable en el periodo 1991-1995 (Cuadro 7).

La contribución de las emisiones de los GEI de las diferentes categorías en términos de CO₂ equivalente en el 2006 es: energía 60.6 por ciento de las emisiones con 430,097 Gg; desechos con 14 por ciento de las emisiones 70,202 Gg; uso de suelo con 9.9 por ciento de las emisiones totales con 70,202 Gg; procesos industriales con 8.9 por ciento con 63,525 Gg; y agricultura con el 6.42 por ciento de las emisiones con 45,552 Gg.

Cuadro 6: Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Gigagramos de CO₂ eq) 1990-2006

Categoría de emisión						
Año	Energía	Procesos industriales	Agricultura	Desechos	Cambio de uso de suelo y silvicultura	TOTAL
1990	311,195.10	34,687.04	47,427.47	33,386.50	80,586.72	507,282.84
1991	319,625.76	34,173.30			81,203.61	435,002.67
1992	319,939.62	35,133.09	46,049.60	40,617.50	81,473.77	523,213.59
1993	319,629.76	36,339.68			81,661.73	437,631.17
1994	343,439.15	38,874.33	45,503.87	51,957.38	81,909.62	561,684.35
1995	325,909.99	39,573.69			83,942.22	449,425.89
1996	346,922.36	45,151.91	44,076.57	60,026.10	84,573.80	580,750.73
1997	355,782.25	48,719.27			84,287.89	488,789.42
1998	380,357.68	49,095.19	45,444.92	68,101.77	86,166.50	629,166.05
1999	371,488.20	49,431.60			85,936.03	506,855.83
2000	387,332.00	54,924.59	45,527.01	69,432.94	86,590.58	643,807.11
2001	383,667.19	53,002.02			85,650.15	522,319.37
2002	392,673.69	52,227.29	46,146.17	76,216.77	84,888.79	652,152.72
2003	402,803.84	52,188.14			70,505.97	525,497.95
2004	417,525.60	61,890.94	45,594.18	93,457.53	69,968.53	688,436.78
2005	418,971.27	56,411.51	45,125.26	94,482.50	70,123.76	685,114.30
2006	430,097.22	63,525.66	45,552.13	99,627.50	70,202.75	709,005.26

Fuente: SEMARNAT, INE, Coordinación del Programa de Cambio Climático (2010).

Cuadro 7: Participación porcentual por categoría de Emisión 1990-2006

Año	Categoría de emisión				
	Energía	Procesos industriales	Agricultura	Desechos	Cambio de uso de suelo y silvicultura
1990	61.35	6.84	9.35	6.58	15.89
1991	73.48	7.86			18.67
1992	61.15	6.71	8.80	7.76	15.57
1993	73.04	8.30			18.66
1994	61.14	6.92	8.10	9.25	14.58
1995	72.52	8.81			18.68
1996	59.74	7.77	7.59	10.34	14.56
1997	72.79	9.97			17.24
1998	60.45	7.80	7.22	10.82	13.70
1999	73.29	9.75			16.95
2000	60.16	8.53	7.07	10.78	13.45
2001	73.45	10.15			16.40
2002	60.21	8.01	7.08	11.69	13.02
2003	76.65	9.93			13.42
2004	60.65	8.99	6.62	13.58	10.16
2005	61.15	8.23	6.59	13.79	10.24
2006	60.66	8.96	6.42	14.05	9.90

Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, INE, Coordinación del Programa de Cambio Climático (2010).

Agricultura

De acuerdo con el INEGI (2006) La categoría de agricultura está compuesta principalmente por las emisiones provenientes de actividades agrícolas (cultivos y manejo de suelos) y pecuarias (fermentación entérica y manejo de estiércol) (Cuadro II.11). Sus principales gases son CH₄ proveniente de la fermentación entérica, manejo de estiércol y cultivo de arroz; y N₂O proveniente de suelos agrícolas y quemadas programadas.

El óxido nitroso (N₂O) se produce en forma natural en los suelos mediante los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación. Algunas actividades agrícolas aportan nitrógeno a los suelos, aumentando la cantidad de nitrógeno (N) disponible para la nitrificación y desnitrificación y, en definitiva, la cantidad

de N_2O emitido. Las emisiones de N_2O resultantes de los aportes antropogénicos de N se producen, tanto por vía directa (es decir, directamente de los suelos a los que se incorpora N), como por dos vías indirectas (es decir, mediante la volatilización como NH_3 y NO_x y posterior deposición, y mediante lixiviación y escorrentía). El consumo de fertilizantes nitrogenado en México es de vital importancia para estimar las emisiones del óxido nitroso (Ordoñez Díaz *et al.*, 2008). Si bien las emisiones a suelos agrícolas están asociadas a N_2O , en el INEGI, están expresadas en unidades de CO_2 equivalente.

Las emisiones de la Agricultura han disminuido en el periodo 1990-2006, pasando de 47,427 Gg a 45,552, lo cual representa una disminución de 4%. La subcategoría que presentó un incremento en emisiones es la de quema *in situ* de residuos agrícolas, 18.67%. Las demás subcategorías tuvieron reducciones, la de mayor magnitud fue cultivo de arroz con una disminución de 42.44% (Cuadro 8).

Cuadro 8: Emisiones de las subcategorías de Agricultura en Gigagramos de CO_2 eq 1990-2006

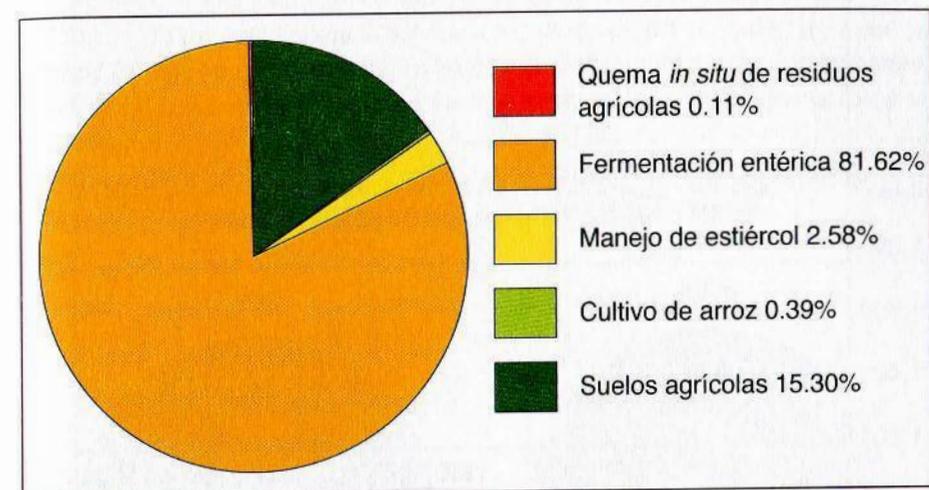
Año	Fermentación entérica	Manejo de estiércol	Cultivo de arroz	Suelos agrícolas	Quemas <i>in situ</i> de residuos agrícolas	Total	Asociadas a suelos Agrícolas
1990	38,802.60	1,173.50	310.1	7,100.50	40.7	47,427.50	7,451.30
1992	37,947.30	1,133.30	294.7	6,631.90	42.5	46,049.60	6,969.10
1994	37,255.10	1,169.00	247.6	6,790.80	41.4	45,503.90	7,079.80
1996	35,752.50	1,130.40	242.3	6,906.20	45.2	44,076.60	7,193.70
1998	36,548.30	1,140.10	267.2	7,441.20	48.1	45,444.90	7,756.50
2000	36,321.10	1,137.30	224.8	7,800.50	43.3	45,527.00	8,068.60
2002	37,366.90	1,160.60	122.8	7,449.30	46.6	46,146.20	7,618.70
2004	37,250.00	1,165.20	158.0	6,974.60	46.4	45,594.20	7,179.00
2005	36,985.20	1,165.80	145.6	6,776.70	52.0	45,125.30	6,974.30
2006	37,181.00	1,175.00	178.5	6,969.40	48.3	45,552.10	7,196.20

Fuente: SEMARNAT, INE (2009).

En el 2006 las emisiones por fermentación entérica representaban el 81.62%, y las emisiones de suelos agrícolas sólo el 15.30% (Gráfica 4). En este sentido, las emisiones asociadas al sector agropecuario están en mayor medida asociadas al ganado. Respecto al uso de suelo agrícola se pueden agrupar las

subcategorías suelos agrícolas, cultivo de arroz y quemas *in situ* de residuos agrícolas que aportan en conjunto 15.79%.

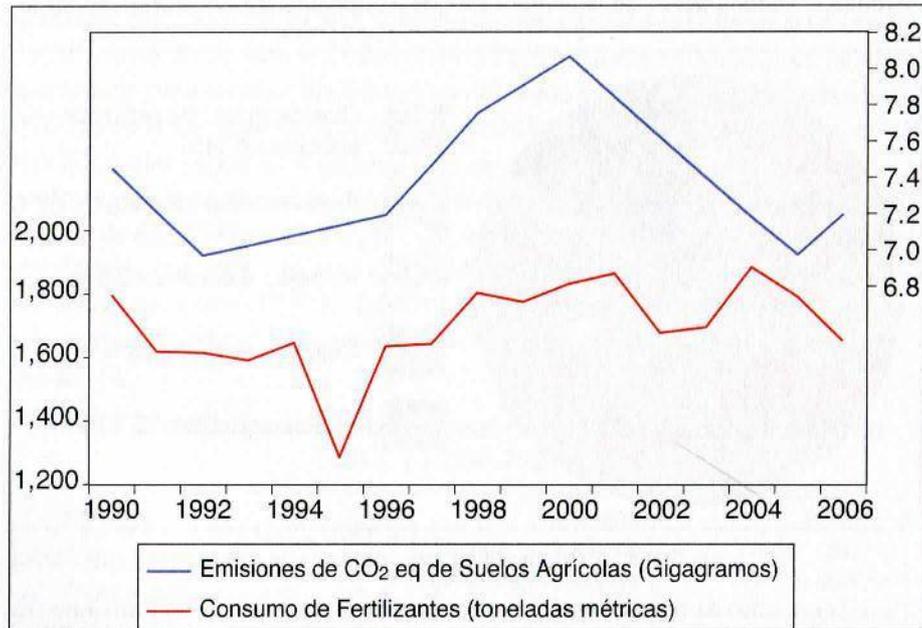
Gráfica 4: Participación de las categorías de Agricultura de Emisiones en 2006



Fuente: Elaboración propia con datos de SEMARNAT, INE (2009).

El consumo de fertilizantes es una variable que incide en las emisiones de CO_2 de los suelos agrícolas (Ordoñez Díaz *et al.*, 2008). Durante el periodo 1990 a 2006 el consumo de fertilizantes y las emisiones de CO_2 de suelos agrícolas presentan una relación positiva (Gráfica 5), particularmente tienen un coeficiente de correlación de Pearson de 0.49, lo cual indica que hay una correlación positiva entre las series. El consumo de fertilizantes presentó una importante disminución en 1995, y a partir de ese año el consumo se ha mantenido estable con un promedio de 1.695 millones de toneladas métricas. De acuerdo con la Asociación Nacional de Comercializadores de Fertilizantes (ANACOFER), desde 1992 ocurrió un cambio en el consumo de fertilizantes en México. En la actualidad se utiliza más fósforo y potasio que en 1992 y se ha reducido ligeramente el consumo de nitrógeno. Además, se ha sustituido el uso de productos de baja concentración por los de alta: más urea que sulfato de amonio y más fosfato diamónico (DAP) que superfosfatos. Actualmente, es mayor la disponibilidad, variedad y calidad de los fertilizantes que se consumen con relación con la situación existente en 1992.

Gráfica 5: Trayectoria de Emisiones de Suelos Agrícolas y Consumo Nacional de fertilizantes 1990-2006



Fuente elaboración propia con datos de propia con datos de SEMARNAT, INE (2009), SAGARPA (SIAP 2009), INEGI 2010, FERTIMEX, 2009 y World Bank 2010.

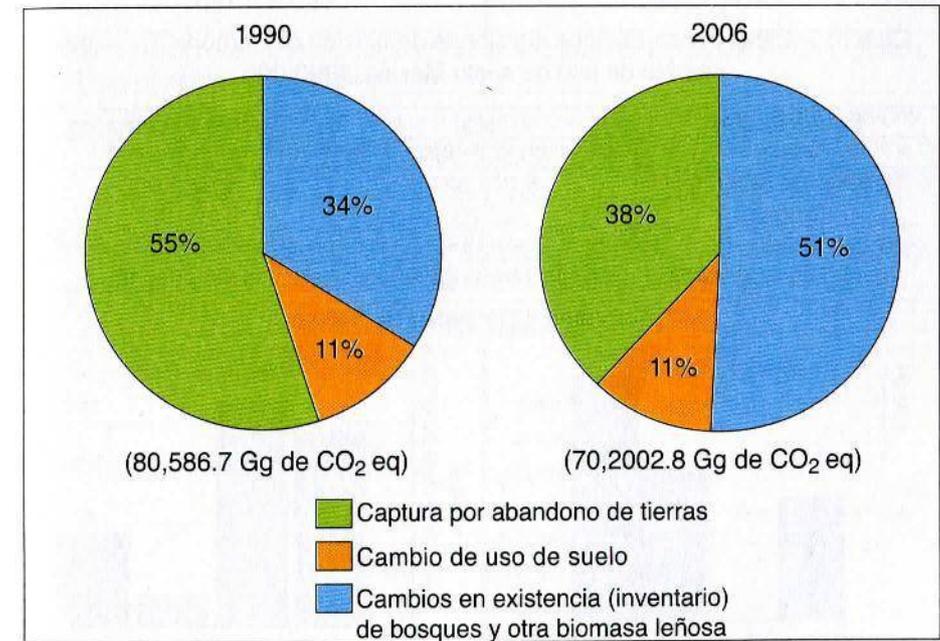
Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura

En México, el cambio de uso de suelo es la segunda fuente más importante de emisiones de GEI a la atmósfera, con una participación de 9.90 por ciento (Cuadro 7). En general, el análisis del cambio en el uso de suelo y su efecto sobre las emisiones de GEI a la atmósfera se asocia a una tasa de conversión de la cubierta vegetal.

En la categoría USCUS se estiman emisiones de CO₂ generadas por prácticas de manejo de vegetación y las emisiones de gases diferentes a CO₂ generadas por incendios. El sector USCUS aportó en el 2006 un total de emisiones de 70,202 Gg CO₂ (Gráfica 6). Los cambios de tierras forestales a tierras agrícolas y tierras forestales a praderas fueron las fuentes más importantes de emisiones durante el periodo de análisis, aunque cabe destacar que el proceso de degradación paulatina de tierras forestales es una fuente importante en el balance neto.

Entre 52,180 y 63,321 Gg de CO₂ provienen de la subcategoría combustión y descomposición de biomasa y entre 17,598 y 23,868 Gg CO₂ derivan de los suelos minerales (INEGI, 2006). El cambio de uso de suelo hacia cubiertas no forestales produce emisiones considerables de carbono producto de la combustión y descomposición de la biomasa removida de los bosques, así como la pérdida de carbono orgánico de los suelos. Asimismo, el manejo no sustentable de los bosques en los que la extracción domina sobre la regeneración y la reforestación implica emisiones adicionales de GEI.

Gráfica 6: Emisiones netas anuales de CO₂eq de las categorías tierras forestales, tierras agrícolas y praderas 1990 - 2006



Fuente: INEGI (2006).

En el Cuadro 9 se presentan los estadísticos básicos de las emisiones por cambio de uso de suelo totales, así como sus subcategorías tierras forestales, tierras agrícolas y praderas. El promedio del periodo de emisiones totales fue de 80,568 Gg CO₂, de las subcategorías las emisiones de praderas presentan un promedio de 40,721 Gg CO₂, tierras agrícolas de 29,526 Gg CO₂ y tierras forestales de 10,321 Gg CO₂.

La trayectoria de la serie de emisiones de tierras forestales muestra un comportamiento creciente de 1990 al 2000, y en el 2001 se presenta un cambio

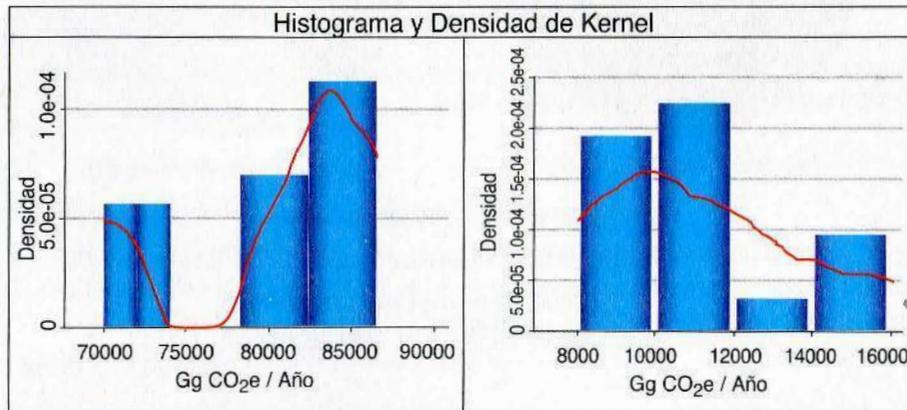
estructural con una reducción significativa, y se estabiliza del 2003 al 2006 (Gráfica 7). El filtro Hodrick-Prescott muestra esta tendencia a la baja y la prueba de cambio estructural Bai-Perron indica que es en 2001 donde se da el cambio.

Las tierras agrícolas mantienen un comportamiento estable en el periodo 1990-2000, y es a partir de 2001 cuando se incrementan de forma considerable, presentando un cambio de tendencia importante. Su filtro muestra la tendencia de crecimiento de la serie y el año del cambio estructural es en el 2001.

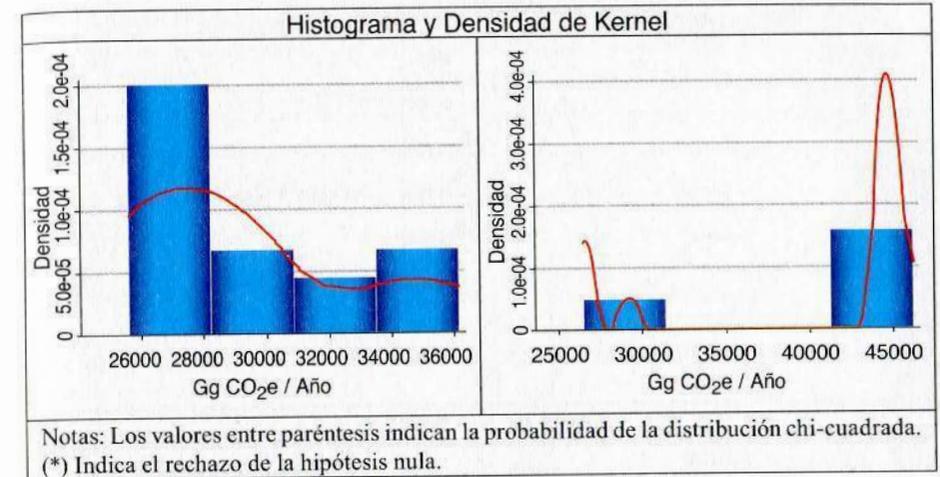
Las praderas muestran un comportamiento opuesto a las series anteriores, con un cambio estructural, pero hacia la baja, el año del cambio es en el 2002. La tasa de crecimiento es muy estable en los primeros 12 años, para presentar una reducción importante en el 2002.

Cuadro 9: Estadísticos Básicos emisiones de bióxido de carbono (CO₂) por cambio de uso de suelo México: 1990-200

Estadísticos	Total	Tierras Forestales
Media	80,568.960	10,321.450
Desviación estándar	6,207.521	2,488.988
Kurtosis	2.283	2.193
Sesgo	-0.955	0.558
Prueba Jarque-Bera	2.946 (0.229)	1.345 (0.510)

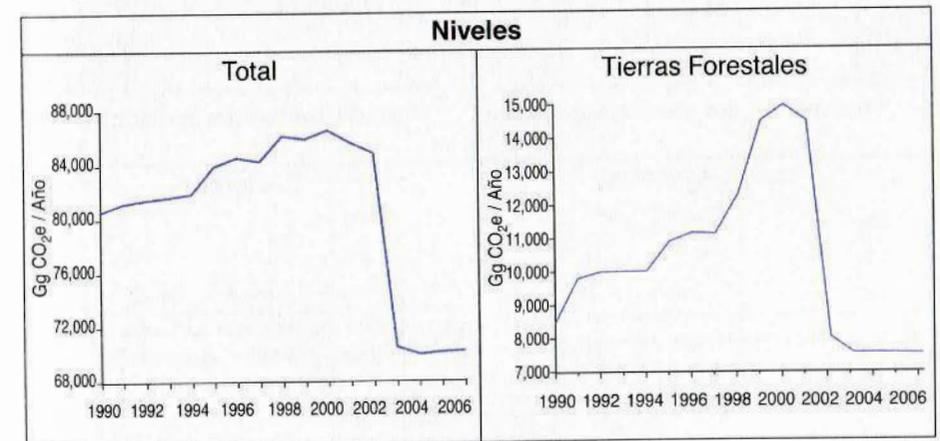


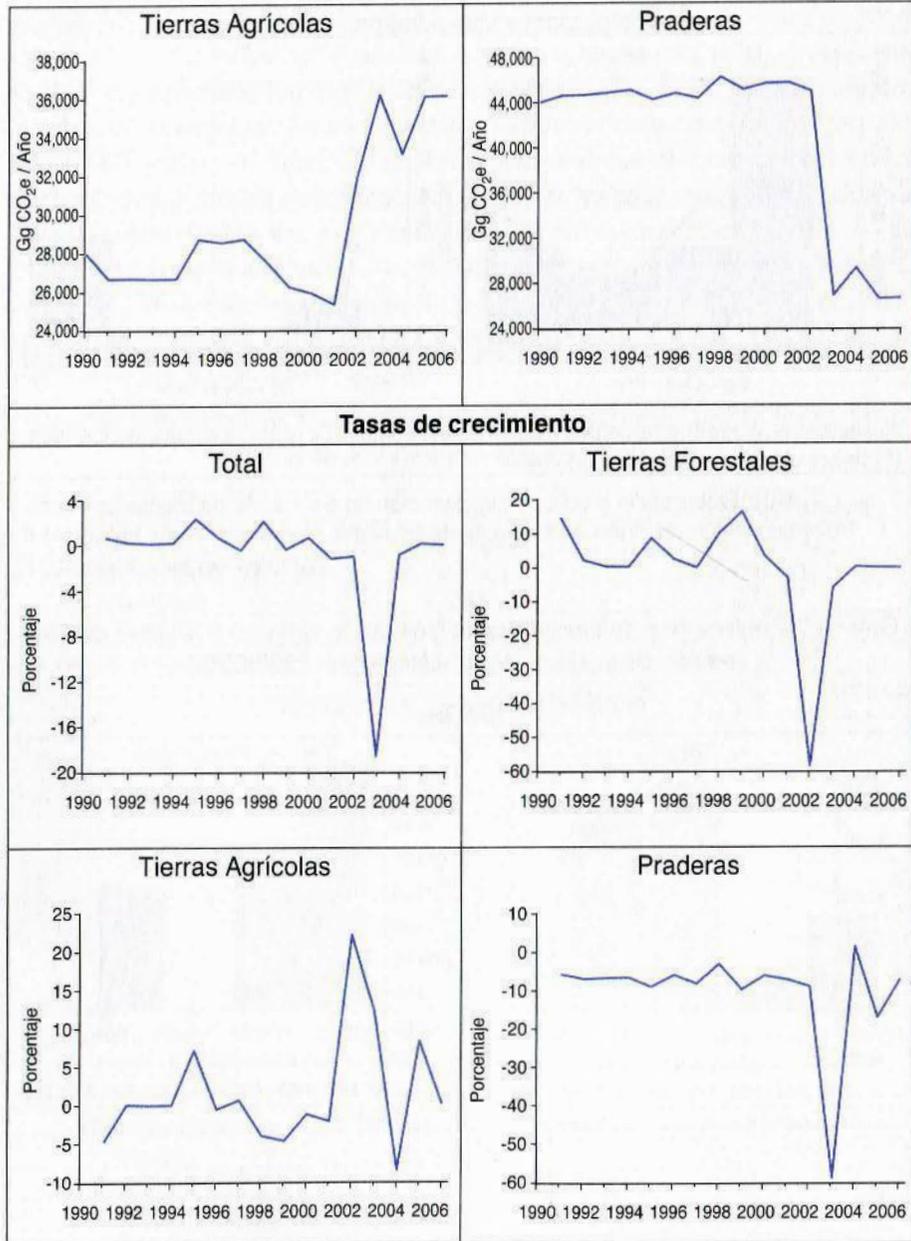
Estadísticos	Tierras Agrícolas	Praderas
Media	29,526.030	40,721.490
Desviación estándar	3,700.941	7,734.894
Kurtosis	2.308	2.611
Sesgo	0.911	-1.248
Prueba Jarque-Bera	2.690 (0.260)	4.519 (0.104)



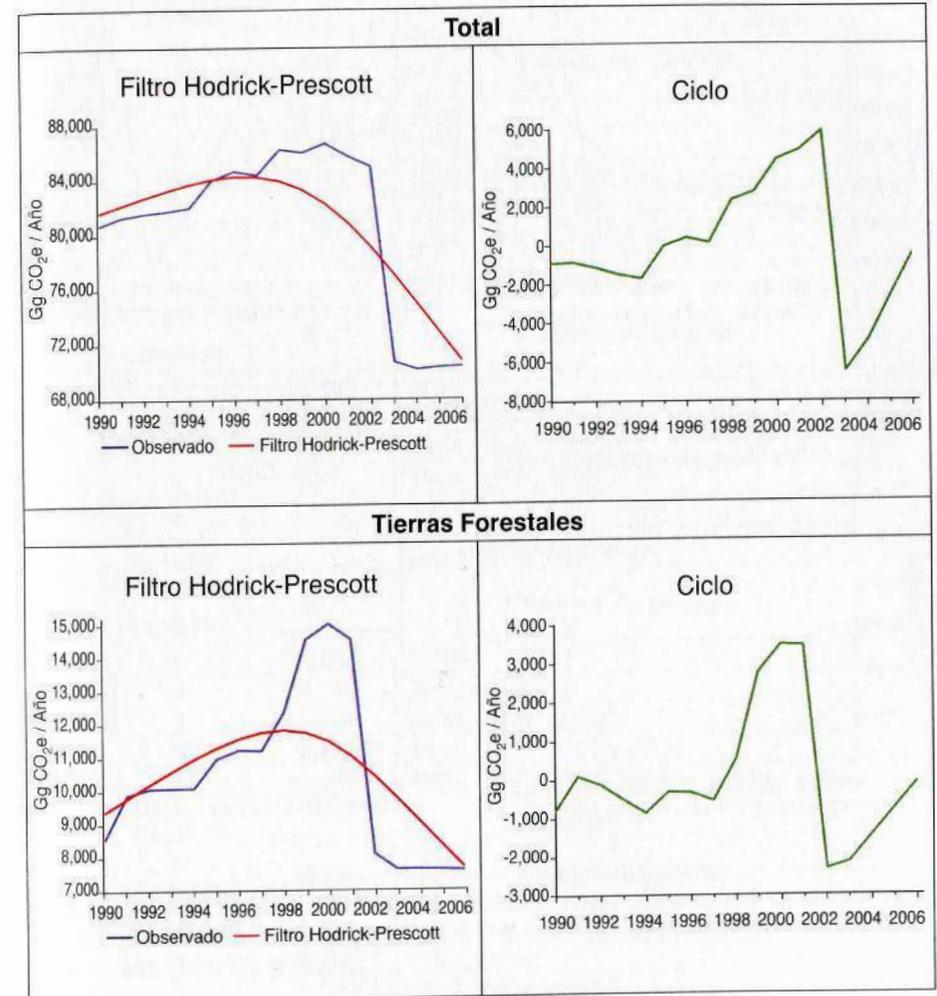
Fuente: Elaboración propia con información de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Coordinación del Programa de Cambio Climático. Marzo 2010.

Gráfica 7: Trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) por cambio de uso de suelo, para subcategorías: 1990-2006

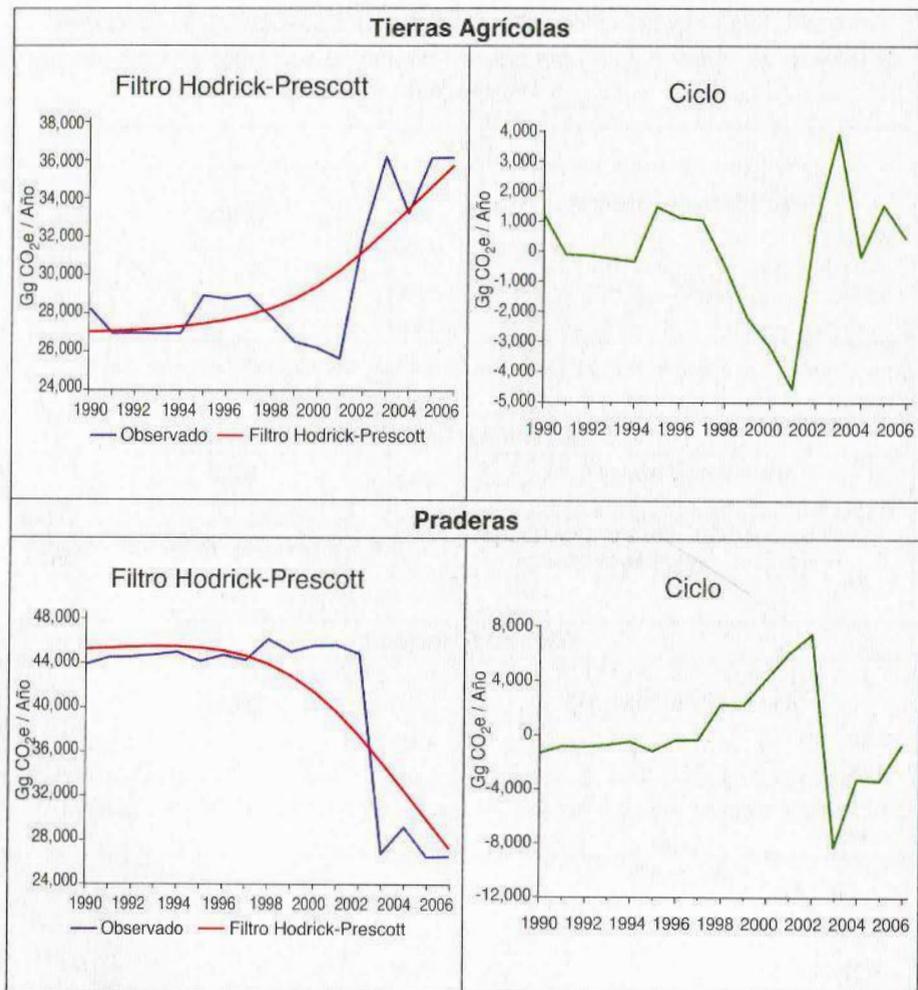




Gráfica 8: Filtro Hodrick-Prescott y Ciclo de las Trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) por cambio de uso de suelo por subcategorías: 1990-2006



Fuente: Elaboración propia con información de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Coordinación del Programa de Cambio Climático. Marzo 2010.



Fuente: Elaboración propia con información de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Coordinación del Programa de Cambio Climático. Marzo 2010.

Cuadro 10: Prueba Bai-Perron para múltiples cambios estructurales Trayectorias de emisiones de bióxido de carbono (CO₂) por cambio de uso de suelo por subcategorías: 1990-2006

Número de cambios	Total	
	BIC	Fechas de cambio
1	15.413	2002
2	13.325	1994 y 2002
3	12.987	1994, 1997 y 2002
4	12.139	1994, 1997, 2000 y 2002
5	11.773	1994, 1996, 1998, 2000 y 2002

Número de cambios	Tierras Forestales	
	BIC	Fechas de cambio
1	15.303	2001
2	13.270	1997 y 2001
3	12.254	1994, 1998 y 2001
4	9.311	1994, 1997, 1999 y 2001
5	7.572	1991, 1994, 1997, 1999 y 2001

Número de cambios	Tierras Agrícolas	
	BIC	Fechas de cambio
1	14.816	2001
2	14.610	2000 y 2002
3	14.494	1995, 2001 y 2003
4	14.115	1994, 1997, 2001 y 2003
5	11.335	1994, 1997, 2000, 2002 y 2004

Número de cambios	Praderas	
	BIC	Fechas de cambio
1	13.780	2002
2	13.313	2002 y 2004
3	12.031	1997, 2002 y 2004
4	11.794	1994, 1997, 2002 y 2004
5	11.186	1994, 1997, 2000, 2002 y 2004

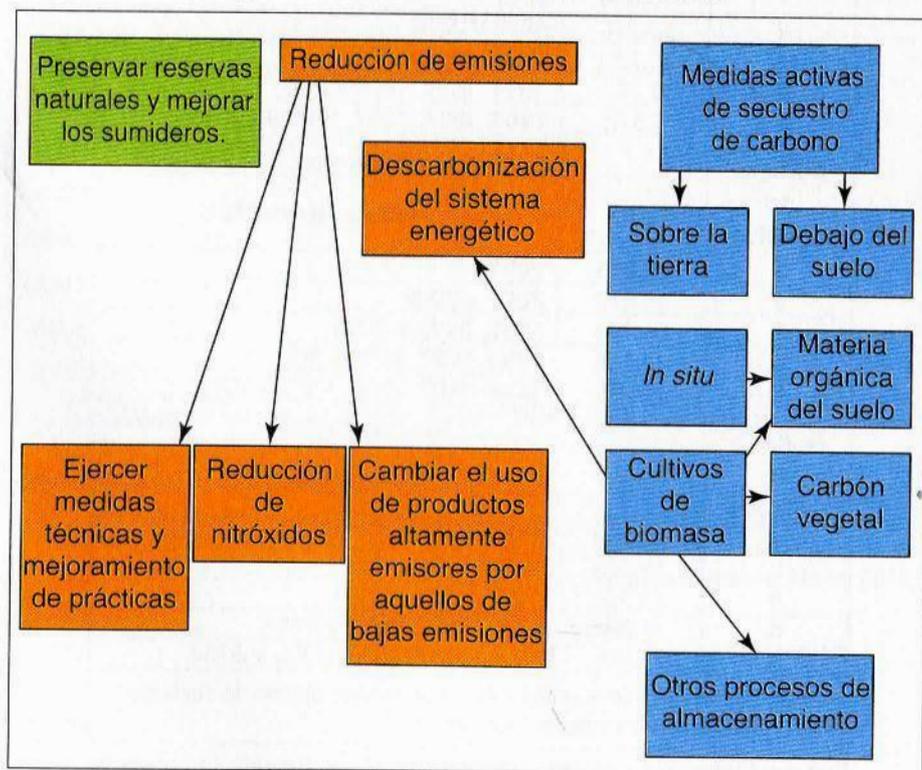
Notas: Los valores en negritas indican el número óptimo de cambios.
BIC = Criterio de información bayesiano.

Fuente: Elaboración propia con información de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Coordinación del Programa de Cambio Climático. Marzo 2010. Período: 1990-2006.

3. DESCARBONIZACIÓN DEL USO DEL SUELO

La descarbonización del uso del suelo se debe enfocar en tres ejes: 1) preservar las reservas y mejorar los sumideros, 2) reducción de emisiones en el sector (agropecuario fundamentalmente) y 3) medidas activas de secuestro de carbono (Figura 1). Para lograr la descarbonización en este sector se debe buscar minimizar las pérdidas de carbono y maximizar el secuestro.

Figura 1: Descarbonización del uso del suelo.



Fuente: Center for Alternative Technology (2010).

En este contexto, para este estudio nos enfocaremos en el sector agricultura a los suelos agrícola, particularmente a la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados; y en el sector cambio de uso de suelo y silvicultura al cambio de uso de suelo y el cambio en existencia de bosques los sectores indicados en el Cuadro 11. Este último con un enfoque desde los productores en la actividad primaria, con datos del Censo Agrícola y Ganadero y los Núcleos Agrarios-Ejidal.

Cuadro 11: Fuente y uso final de las emisiones de CO₂ por sectores.

Fuente	Sector	Uso final/ Actividad
Combustibles: Nuclear (2%) Carbón (6%) Renovables (6%) Gas Natural (28%) Derivados del Petróleo (57%)	Transporte	Automotor
		Aéreo
		Ferrocarril y navegación
	Generación de Energía	Residencial
		Comercio y edificios públicos
		Hierro y acero
		Metales no ferrosos
		Pulpa y papel
		Comida y tabaco
		Cemento
		Otras industrias
		Extracción, refinación y producción de petróleo y gas
		Uso de energía en Agricultura
	Manufactura e industria de la construcción	Hierro y acero
		Metales no ferrosos
		Pulpa y papel
		Comida y tabaco
		Químicos
		Cemento
	Emisiones fugitivas	Minas de carbón
Extracción refinación y producción de petróleo y gas		
Otros consumos	Residencial	
	Comercio y edificios públicos	
	Uso de energía en Agricultura	

<ul style="list-style-type: none"> · Piedra caliza · Dolomita · Carbonato de sodio · Asfalto · Gas Natural 	Procesos industriales	Productos minerales
		Industrias químicas
		Producción de metales
		Otros procesos industriales
		Producción de halocarbonos y hexafluoruro de azufre
		Consumo de halocarbonos y hexafluoruro de azufre
<ul style="list-style-type: none"> · Cambios de biomasa en bosques · Bioxido de carbono de la conversión de bosques y pastizales · Combustión <i>in situ</i> de la biomasa forestal · Cambios en el carbono de los suelos minerales 	Cambio de uso de suelo y silvicultura	Cambios en existencia de bosques y otra biomasa leñosa
		Cambio de uso de suelo
		Captura por abandono de tierras
		Emisiones y captura de CO ₂ del suelo
<ul style="list-style-type: none"> · Fertilizantes nitrogenados · Cultivo de arroz · Quema de residuos agrícolas 	Agricultura	Fermentación entérica
		Manejo de estiércol
		Cultivo de arroz
		Suelos agrícolas
		Quemas programadas de suelos
		Quemas <i>in situ</i> de residuos agrícolas
<ul style="list-style-type: none"> · Residuos sólidos · Aguas residuales municipales · Aguas residuales industriales 	Desechos	Disposición de residuos sólidos en suelo
		Manejo y tratamiento de aguas residuales
		Incineración de residuos

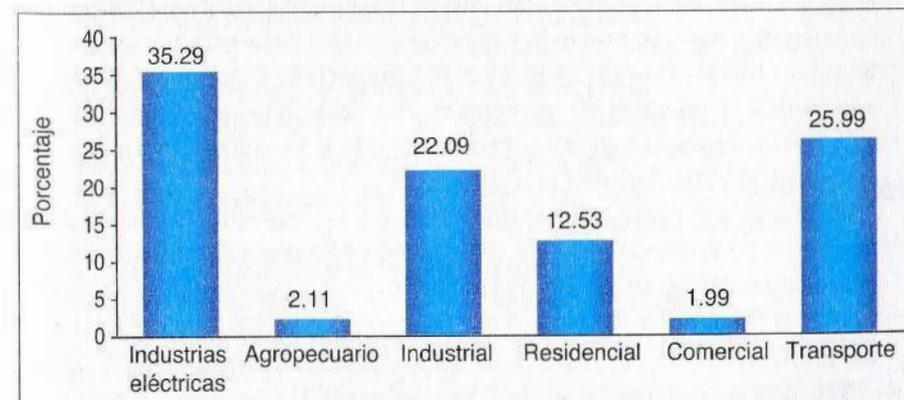
Fuente: INEGI 1990-2002, (2006).

4. IDENTIFICACIÓN DE POLÍTICAS DE MITIGACIÓN

Las siguientes pueden ser potencialmente las medidas de descarbonización más eficientes, en sus cuatro principales rubros:

1. Descarbonización del sistema energético: tiene efecto en todo el sistema alimentario (Audsley *et al.*, 2009) pero en sentido estricto en la agricultura y sector de uso de suelo es menos, porque el CO₂ fósil no es contabilizado en las emisiones del sector. Sin embargo en el balance energético, el consumo de energía para la agricultura tiene una participación promedio de 2.11% durante el periodo 1965-2007 (Gráfica 9). En este sentido se puede generar descarbonización de la energía usando en la producción y transporte cultivos energéticos que tengan las menores emisiones de GEI, aunque el potencial es muy reducido.

Gráfica 9: Participación promedio porcentual en el consumo total de energía por sector 1965-2007



Fuente: Elaboración propia con datos del Sistema de Información Energética, Secretaría de Energía.

2.Reducción de N₂O: Algunas sugerencias para la reducción de N₂O en tierras agrícolas deben incluir la erradicación (o reducción) de:

- Fertilizantes sintéticos nitrogenados.
- Presencia de estiércol animal.
- Cultivar en tierras con alta fijación de N₂O.
- Mineralización de los residuos de las cosechas.
- Producción de cultivos forrajeros fijadores de N₂O como alfalfa.
- Uso de cubiertas plásticas sobre suelos hortícolas.
- Quema de sabanas.
- Quema de residuos agrícolas.

En el siguiente apartado se estiman pronósticos de las emisiones de CO₂ e asociados a disminuciones en el uso de fertilizantes.

3. Buenas prácticas e innovaciones técnicas: La literatura generalmente expresa sus altas expectativas en que la eficiencia mejorará la situación de las intensidades de carbono debido a prácticas e innovaciones. (Audsley *et al.*, 2009). Dado que no se puede lograr voluntariamente no se pueden lograr los cambios, se requiere también presión por parte de políticas públicas y mecanismos de precios. La mejora en las prácticas puede volverse redituable con precio en el carbono y acompañándose de monitoreo.

Dos de los principales factores que actualmente frustran las medidas de descarbonización, están presentes en la estructura de costos y la falta de tecnologías bien desarrolladas. El efecto del precio del Carbono permite proyecciones plausibles para hacerse, por ejemplo, ordenar prioridades en la agricultura, de acuerdo a cultivos, el manejo de ecosistemas, alimento, tecnología y más. El precio del carbono puede usarse para predecir cómo la gente, instituciones o mercados se comportan, y qué paso deben ser avanzados en el tema de tecnología. No debe suponerse solamente la existencia de tecnologías no probadas, como ha sucedido en algunos escenarios (como Audsley *et al.*, 2009).

El efecto del precio del carbono tiene un corolario; las técnicas de medición y verificación de los gases deben aumentar significativamente, con mayor esfuerzo en la verificación. Es especialmente importante delimitar los efectos de las medidas de las “mejores prácticas”, tales como la optimización del secuestro de carbono en suelos agrícolas (Smith, 2004).

4. Medidas de secuestro activo de carbono: Basarse en la captura y almacenamiento de Carbono usando fotosíntesis natural puede ser una opción. Si existe una suficiente reducción de emisiones, será necesario adecuar absorción y residuales. Puede ser almacenado en tres sumideros naturales:

- Bajo el suelo.
- Almacenado en biomasa, sobre el suelo.
- Almacenado en productos de biomasa y resultantes de la ingeniería.

4.1 Almacenaje bajo la tierra: la cantidad del carbono almacenado en los suelos de todo el mundo (15,000 billones de toneladas) es el doble de lo que se encuentra en la atmósfera. El carbono en el suelo existe en su mayoría como biomasa viviente y algunas otras formas de materia orgánica no viviente. Puede ser incrementada, pero no indefinidamente (Jenkinson, 1988, Smith *et al.* 1997) gracias al crecimiento de plantas en especial perennes que adicionan materia orgánica. En un reciente reporte, la Soil Association (Azeez, 2009) argumenta fuertemente para prestar atención a ambos métodos y pide prácticas adecuadas que puedan garantizar una adición neta de 0.5 toneladas de CO₂/ha/año, por al menos 20 años en ambas tierras, arable y pastizal. Con el incentivo del efecto del precio del carbono y un régimen de inspección (Smith, 2004) se puede lograr que el secuestro de carbono aumente en ambos tipos de suelo y que sea durable varias décadas, en el largo plazo. Sin embargo, se siguen teniendo ciertas dudas acerca de su solución y si todos los suelos son capaces de mantenerse otorgando el nivel de almacenaje. En el siguiente cuadro se muestran algunos datos para el mejor manejo de la tierra.

Cuadro 12: Estimación de secuestro de carbono de suelos por mejor manejo de las tierras.

Cambio a mejores prácticas de manejo en tierras arables.	0.5ton/ha./año (Smith 2004, Weiske, 2007).
Cambio a mejores prácticas de manejo en pastizales aprovechados.	0.5ton/ha./año (Soussana <i>et al.</i> 2007).
Cambio a mejores prácticas de manejo en pastizales no aprovechados.	1ton/ha./año (St. Clair <i>et al.</i> 2008, Klumpp, 2009; Borzecka- Walker <i>et al.</i> 2008).
Cambio a mejores prácticas de manejo en tierras maderables.	0.5ton/ha./año (Brainard <i>et al.</i> , 2003).
Usar la mejor práctica posible para la reforestación en una tierra que previamente había sido aprovechada como pastizal.	2-4ton/ha./año (FAO, 2010).

4.2 Carbón vegetal: el problema crucial con casi todas las formas de materia orgánica es que al devolverlas a la tierra no son aceptadas. Hay materiales con alta energía que son procesados por microorganismos que los descomponen y obtienen su CO₂ acumulado. El uso de carbón vegetal aparece como una opción como aditivo vegetal en la agricultura, ya que tiene la habilidad de retener nutrientes y agua. Existe evidencia de que en varias circunstancias, puede mejorar la eficiencia con las plantas que usan fertilizante, que pueden disminuir las emisiones de N₂O provenientes del suelo y ayudar al crecimiento de las plantas (Sohi *et al.*, 2009). Sin embargo, el carbón vegetal sigue bajo investigación porque hay muchas incertidumbres sobre él.

4.3 Secuestro en biomasa sobre la tierra: pueden dividirse en dos subtipos de secuestro de carbono:

- **In situ:** se refiere al secuestro del carbono donde la planta lo produce (árbol) (Read *et al.*, 2009).
- **Cultivos de biomasa:** cultivos permanentes para el continuo secuestro de carbono.

En el rubro de secuestro activo de carbono el país tiene potencial, si promueve políticas que desincentiven el cambio de uso de suelo, si se tiene un adecuado manejo las Áreas Naturales Protegidas⁴ (ANP) y corredores biológicos; y al reestructurar los incentivos de la producción en el sector primario.

Las políticas que se consideraron como potenciales incentivos a generar cambios en el uso de suelo de las actividades en el sector primario y que se contó con información a nivel municipal son:

1. Una de las estrategias empleadas para reducir la presión que sufren los ecosistemas forestales e incrementar la producción forestal, maderable y no maderable, ha sido el establecimiento de plantaciones forestales comerciales. Para ello se creó en 1997 el Programa de Desarrollo de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN), cuyo objetivo es apoyar el establecimiento de 875 mil hectáreas de plantaciones forestales comerciales en un plazo no mayor a 25 años, con el fin de reducir las importaciones de productos forestales y crear, al mismo tiempo, alternativas de desarrollo sustentable, así como promover la diversificación productiva en el país. El programa está basado en la reconversión al uso forestal de terrenos que alguna vez fueron desmontados con fines agropecuarios. En las plantaciones comerciales de México se cultivan sobre todo árboles para producir madera sólida y celulosa, por lo que se prefieren especies como pino, teca, melina, cedro rojo, caoba y eucalipto (Semarnat, 2003). En las

regiones tropicales, que es donde se ubica la mayor parte de los proyectos, se plantan principalmente especies de maderas preciosas o decorativas (Semarnat, 2003). Este programa coadyuva a controlar procesos erosivos, regular el régimen hídrico, captar CO₂ y disminuir su vulnerabilidad frente al Cambio Climático

2. Pagos por Servicios Ambientales (PSA) fue diseñado para proveer incentivos económicos a los dueños de terrenos forestales (ejidos, comunidades y pequeños propietarios) para apoyar las prácticas de conservación y evitar el cambio de uso del suelo (deforestación) de los bosques. Para el PSAH, los recursos para su implementación provienen de la tarifa por derecho de uso del agua (Ley Federal de Derechos) y los pagos son directos a los dueños y poseedores de servicios ambientales y así evitar la deforestación y deterioro de bosques en buen estado de conservación, relacionados con áreas de recarga, acuíferos sobreexplotados, escasez, riesgo de deslaves, etcétera.
3. El Programa de Apoyos Directos al Campo (PROCAMPO) surge como un mecanismo de transferencia de recursos para compensar a los productores nacionales por los subsidios que reciben sus competidores extranjeros, en sustitución del esquema de precios de garantía de granos y oleaginosas. Sin embargo, no incentiva uso eficiente de recursos; obliga a sembrar tierras que podrían descansar o cuya vocación productiva es diferente

En este contexto, los apoyos hacia el sector agrícola por parte del ejecutivo federal se han orientado básicamente a incrementar de la productividad o bien compensar la caída de los ingresos agrícolas ante condiciones adversas en el mercado. Sin embargo, los programas de fomento al campo, como Procampo, no han estado vinculados a objetivos ambientales o de conservación de recursos naturales.

MECANISMOS REDD

Por sus siglas en inglés, la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de bosques (REDD+) tiene como objetivo la gestión sostenible de los bosques, la conservación y ampliación de sus stocks, teniendo como finalidad la reducción de emisiones en el sector forestal en países en vías de desarrollo. Incluye todas las actividades que reducen las emisiones por evitar la deforestación y degradación forestal y contribuyen a la conservación, ma-

nejo sostenible de los bosques y mejoramiento de las existencias de carbono forestal que tienen el potencial de generar significativos co-beneficios sociales y ambientales (Parker, 2009).

El mecanismo REDD+ reconoce la importancia de la valoración económica y los servicios ambientales que prestan *per se* los bosques, tiene como objetivo la valoración de las actividades realizadas por personas que los habitan y conocen su funcionamiento, es decir, pueblos nativos. Es importante el análisis económico de las actividades que presionan sobre el cambio de uso de suelo sobre los bosques para que partiendo del análisis de diversas opciones se puedan identificar opciones para evitar la deforestación. Las presiones sobre el cambio de uso de suelo son muy variadas dependiendo de la región que se estudie, pero puede identificarse la pobreza y presión poblacional como una de las razones por las cuales se pierde cobertura forestal (GCP, 2008).

Los potenciales de mitigación del REDD+ según el gobierno de Noruega son de un 30% para el año 2030, por medio de la reducción, eliminación y evitar el aumento de emisiones a un costo que no es alto.⁵ Además afirma que lograr la estabilización climática como tope de 2°C no se alcanzaría sin la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de bosques.

Es necesario que cuente con cooperación internacional, entre países desarrollados que busquen la disminución de su balanza total en cuanto a emisiones y países en desarrollo que cuenten con masa forestal que pueda prestar un servicio ambiental mundial. Como resultado de la conferencia de Oslo sobre el Clima y los Bosques se obtuvo una colaboración provisional REDD+ por medio de un documento de colaboración voluntaria,⁶ la cooperación en REDD+ debe seguir algunos de los siguientes principios de colaboración:⁷

- Enfocarse en el apoyo para los esfuerzos REDD+ de los países en desarrollo.
- Incluir a todos los países comprometidos, así como a representantes de las partes interesadas relevantes.
- Proporcionar transparencia en torno a la financiación, acciones y resultados de REDD+.
- Enfocarse en la obtención coordinada de un aumento de la financiación para REDD+ para remediar déficits, evitando dobles contabilidades y maximizar la provisión eficaz de acciones y apoyo.
- Considerar la continuidad de las necesidades de financiación y acciones a mediano y largo plazo, promoviendo enlaces con otros procesos relevantes.
- Intercambiar experiencias adquiridas y transferir conocimientos a través de conversaciones y presentando nuevas iniciativas REDD+.

Los países participantes deberán tener en consideración las siguientes medidas operacionales para el correcto funcionamiento del mecanismo REDD+.

- Establecer una base de datos pública, disponible acerca de REDD+, el financiamiento, acciones y resultados, ello para mejorar la transparencia y la coordinación de REDD+ y apoyar sus proyectos. FCPF y UN-REDD conjuntamente propondrán un diseño para ello en colaboración con los demás países.
- Esfuerzos iniciales para identificar y analizar topes en financiamiento y tomar partida en su arreglo.
- Compartir lecciones de las iniciativas REDD+ y compartir las mejores prácticas en acciones significativas de REDD+ y financiar experiencias financieras en miras de mejorar los mecanismos.
- Promover y facilitar la cooperación entre los socios, incluyendo iniciativas, bilaterales y multilaterales. Se deberán tomar las medidas iniciales para lograr un proceso transparente que permita grandes logros.
- Preparar y estar de acuerdo en el diseño de un programa para la cooperación, tomando en cuenta comentarios de los observadores, el programa incluirá elementos como trabajos y formalización de información de intercambios y compartir las lecciones aprendidas para las mejores prácticas; facilitar la discusión en la efectividad de iniciativas REDD+ y formular recomendaciones concretas para las mejoras de iniciativas multilaterales; proponer un programa para reuniones futuras de los socios; determinar la duración del término de las reuniones, así como especificar el método de realización de los proyectos; considerar propuestas para la movilización efectiva y comunicación con instituciones, y donde sea importante, en los países en desarrollo un mejor canal de financiamiento y tecnología para acciones REDD+.

La clave es que las estrategias deben reducir las emisiones de manera confiable y verificable, deben ser adicionales a las acciones que habrían ocurrido en ausencia del financiamiento REDD y deben promover la protección forestal permanente (Angelsen, 2009). Los ejemplos de estrategias que pueden ser usadas en un proyecto REDD incluyen el establecimiento de áreas protegidas, el mejoramiento del manejo forestal, frenar o reducir los incendios forestales, practicar la tala de impacto reducido, llevar a cabo la certificación forestal, asegurar que la conversión de la tierra ocurra en áreas degradadas en lugar de en tierra intacta forestal.

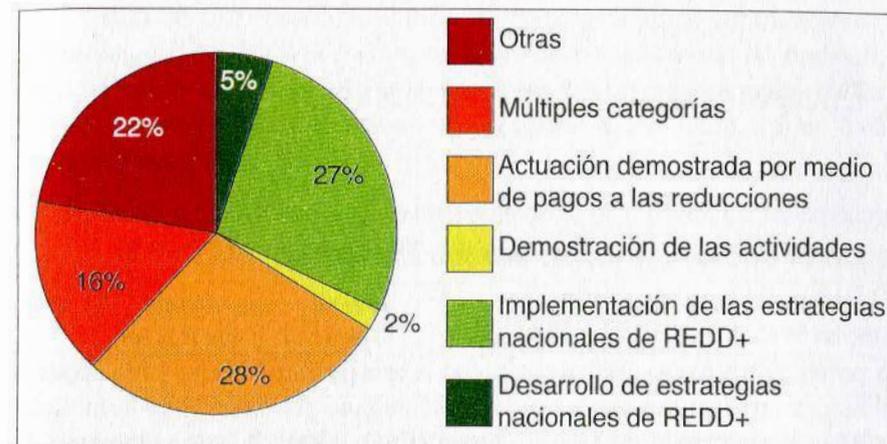
En los proyectos de REDD+, el financiamiento está sujeto a la reducción en la pérdida de la cobertura forestal, que se deberá comparar con un referente previamente establecido (nivel de referencia o línea base). Los créditos que se generan por esta reducción serán distribuidos a los que desarrollan los pro-

yectos, que pueden ser gobiernos, compañías, comunidades, organizaciones, individuos, etcétera. Se han propuesto tres principales avenidas para el financiamiento de REDD+: Bajo un enfoque basado en el mercado, las actividades REDD+ generarían créditos que podrían comercializarse en los mercados internacionales de carbono (Piris-Cabezas, P. y Keohane, N. 2008). Las empresas o entidades que enfrentan compromisos de reducción de emisiones bajo un sistema de "cap & trade", podrían comprar créditos REDD+ para cumplir con parte de estos compromisos.

Un mecanismo basado en el mercado es considerado por muchos como el único medio de recaudar suficiente financiamiento para lograr reducciones significativas en la deforestación en los países en vías de desarrollo. Los oponentes a este mecanismo señalan que incluir créditos REDD+ podría perturbar el mercado actual con cantidades impredecibles de créditos, causar una baja sustancial de precios, o reducir los incentivos para que los países alcancen sus compromisos de forma doméstica (Peskest, 2009). El financiamiento es fundamental para proveer apoyo a diferentes tipos de actividades REDD+, ello apoyando la planeación y consultas de procesos a nivel nacional, incluyendo el desarrollo de estrategias nacionales REDD+ para los planes de acción, actividades de construcción de capacidades. Varían de país en país e incluye construcción de sistemas de monitores, desarrollo de sistemas de financiamiento que serán necesarias para recibir pagos por REDD+, políticas y reformas públicas, desarrollo de REDD+ y sus actividades, incluyendo la creación de estrategias nacionales y demostración a larga escala de actividades, como resultados y sus pagos por reducción.

De acuerdo con encuestas a países participantes en REDD+ se obtiene el siguiente gráfico del destino del financiamiento de REDD+ y sus actividades en el periodo 2010 a 2012.

Gráfica 10: destino del financiamiento de REDD+



Fuente: Elaboración propia con datos de Synthesis Report: "REDD+ financing and activities survey" preparado por esfuerzos de los gobiernos de los asociados, Mayo, 2010.

Cuadro 13: actividades financiadas por REDD+

Tipo de actividad	millones de dólares
Desarrollo de estrategias nacionales de REDD+	104.2
Implementación de las estrategias nacionales REED+	542
Demostración de las actividades	43
Actuación demostrada por medio de pagos a las reducciones	552
Múltiples categorías	306.6
Otras	427.8

Fuente: Elaboración propia con datos de Synthesis Report: REDD+ financing and activities survey" preparado por esfuerzos de los gobiernos de los asociados, Mayo, 2010.

5. ESCENARIOS DE DESCARBONIZACIÓN

5.1 En el sector agrícola: suelos agrícolas

Las prácticas agrícolas intensivas, como la cría de ganado, el cultivo de arroz, y el uso de fertilizantes emiten el 58% del metano proveniente de actividades humanas y gran parte del óxido nítrico (FAO, 2003). Afortunadamente, las medidas y tecnologías disponibles hoy podrían reducir significativamente las emisiones, netas tanto de los bosques, como de la agricultura, y en muchos casos incluirían una disminución de los costos de producción, aumento de los rendimientos, y otros beneficios sociales y económicos.

La contaminación por fertilizantes se produce cuando éstos se utilizan en mayor cantidad de la que pueden absorber los cultivos, o cuando se eliminan por acción del agua o del viento de la superficie del suelo antes de que puedan ser absorbidos. A nivel mundial el 75 por ciento de las emisiones de CO₂ agrícola se atribuyen a los fertilizantes de nitrógeno, los piensos y los combustibles (FAO 2003).

En este contexto, con la finalidad de simular el comportamiento de las emisiones de CO₂e del suelo agrícola asociadas a fertilizantes, se desarrolló un modelo de cointegración mediante el método de Johansen (1988). De esta forma, las emisiones de CO₂ se especificaron en función del producto interno bruto agrícola (yat) y del consumo de fertilizantes (fertt), para el periodo 1990 a 2006 de acuerdo con información de Inventario Nacional de Emisiones de GEI, INEGI y SAGARPA respectivamente. Las emisiones están medidas en gigagramos (Gg) de CO₂ equivalente, el PIB agrícola está medido en miles de millones a precios de 2003 y los fertilizantes corresponden a millones de toneladas métricas.

Las ecuaciones se estimaron en logaritmos naturales con excepción de los fertilizantes, los cuales fueron tomados en su valor real. Mediante este método se encontró la trayectoria de largo plazo de las emisiones de CO₂, los resultados se presentan en el Cuadro 14. Los cuales indican que tanto en la

prueba de la traza, como en la raíz característica máxima hay evidencia de la existencia de al menos dos vectores de cointegración al contrastarlos con los valores críticos al 5 por ciento de nivel de significancia. Al normalizar el primer vector de cointegración encontrado se obtiene la relación de largo plazo de las emisiones de carbono con respecto al producto y a los fertilizantes (ecuación 1)

Cuadro 14: Estadísticos del procedimiento de Johansen (1988) de las emisiones de CO₂ en el sector agrícola: $CO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 \cdot yat + \beta_2 \cdot fertt + ut$

Ho	Prueba de la Traza	Valores Críticos (5%)	Prueba de la Raíz Característica Máxima	Valores Críticos (5%)
$r = 0$	49.86*	29.7	32.04*	21.0
$r \leq 1$	17.82*	15.4	16.97*	14.1
$r \leq 2$	0.852	3.8	0.852	3.8

Notas: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula. La hipótesis nula es aceptada cuando el valor calculado del estadístico de la Traza y de la Raíz Característica Máxima es menor al valor crítico. Número de rezagos en el VAR = 2. El modelo VAR incluye las variables sin restringir: d04 (dummy 2004) y d05 (dummy 2005) y la constante. Periodo: 1992- 2006.

Ecuación de largo plazo

$$(1) \quad CO_{2t} = 0.433 \cdot ya_t + 0.102 \cdot fert_t$$

La ecuación (1) indica que existen relaciones de largo plazo con sentido positivo en ambos parámetros y en donde el efecto mayor se observa en el producto agrícola con una elasticidad ingreso de 0.433 seguido del parámetro de los fertilizantes que su proporción es de 0.102. Posteriormente, tomando en cuenta la relación de largo plazo, se estimaron los efectos que pueden tener en el corto plazo mediante el mecanismo de corrección de error (ecm_t) el cual busca corregir los desequilibrios de la trayectoria de largo plazo.

La ecuación en diferencias o de corto plazo, con sus respectivas pruebas de diagnóstico son las siguientes:

$$\Delta\text{CO}_{2t} = -0.699 + 0.773*\Delta\text{CO}_{2t-1} + 0.294*\Delta y_{at} + 0.071*\Delta\text{fert}_{t-2} - 0.206*\text{ecm}_{t-1} + 0.052*d93 + 0.058*d97 - 0.034*d01$$

(-2.910) (5.859) (4.314) (3.602) (-2.881)

$$(2)$$

(5.608) (4.745) (-3.730)

Pruebas de diagnóstico:

R²: 0.961

Normalidad J-B: 1.281 [0.527]

Autocorrelación LM (2 rezagos): F: 0.384 [0.704]

Heterocedasticidad ARCH (2 rezagos): F: 0.347 [0.716]

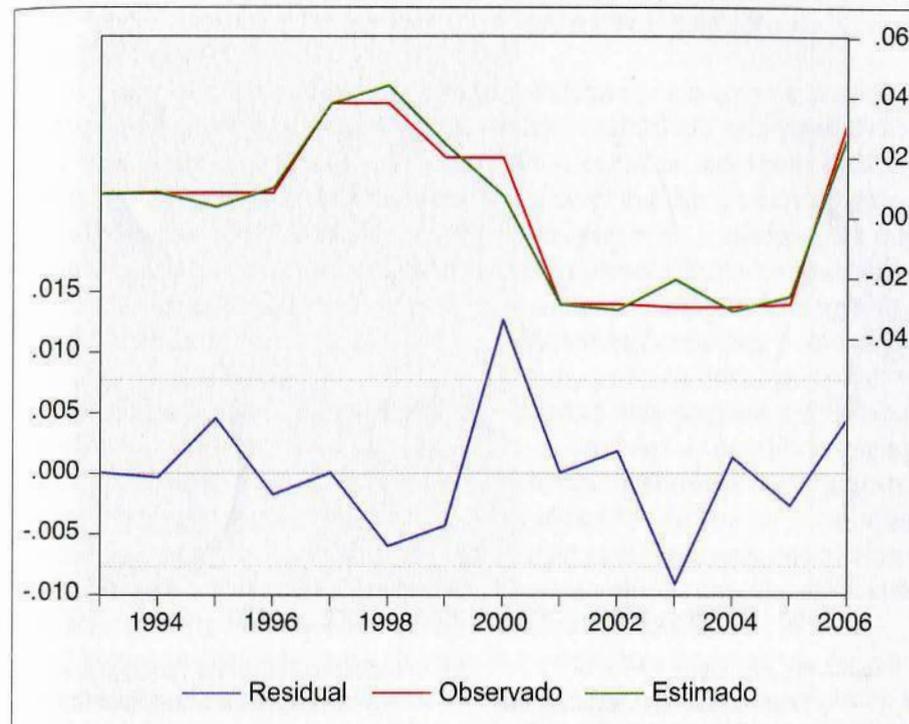
Error Cuadrático Medio: 0.004

Periodo: 1993 – 2006

Los resultados de la ecuación (2) muestran que el modelo está correctamente especificado y que el coeficiente de determinación (R²) es alto, lo que significa un buen ajuste entre las variables, el cual se confirma con la Gráfica 11 al analizar las trayectorias de los valores estimados y proyectados, además de que el error cuadrático medio es de 0.004 el cual es un indicador bueno para fines de pronóstico, es decir, que en los pronósticos el error será inferior al 1 por ciento. También es importante destacar que no existe evidencia de heteroscedasticidad y autocorrelación en los residuales, además de aceptarse la hipótesis nula de la prueba de normalidad en los errores (prueba Jaque-Bera).

Los coeficientes estimados son estadísticamente significativos de acuerdo con el valor de la distribución t estadística calculado que se representa entre paréntesis, observándose que hay una relación importante de las emisiones con información anterior de su misma clase, así como una elasticidad cercana a 0.30 en el caso del producto agrícola, una proporción significativa en los fertilizantes de 0.071 y una corrección de desequilibrios de largo plazo en la ecuación de corto plazo de 20 por ciento.

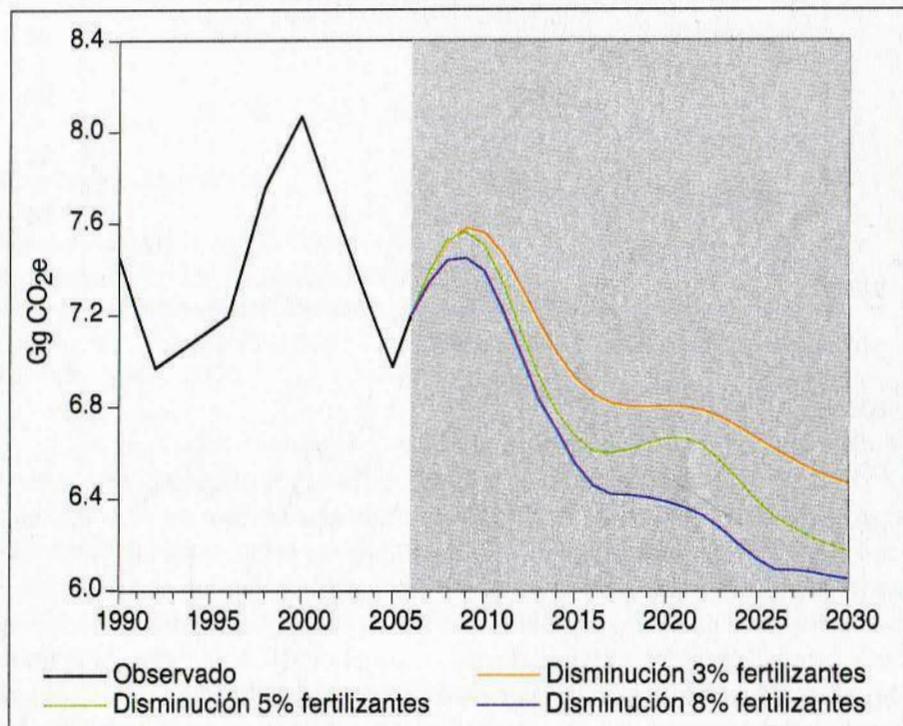
Gráfica 11: Valores actuales, estimados y residuales de las emisiones de CO₂ del suelo agrícola: 1993 - 2006



De acuerdo con los modelos anteriores es posible crear algunos escenarios en donde se simula cuál sería el comportamiento de las emisiones si se redujera el uso de los fertilizantes. De esta manera, bajo los supuestos de mantener la misma tasa de crecimiento del producto agrícola y con reducciones de 3, 5 y 8 por ciento en el uso de los fertilizantes se simuló las trayectorias de las emisiones de bióxido de carbono hacia el año 2030 presentadas en la Gráfica 12.

Las simulaciones indican que los efectos ante una disminución en el uso de fertilizantes provoca importantes reducciones en las emisiones de bióxido de carbono derivadas del sector agrícola debido a que, en general, hay reducciones de cerca de 1.2 gigagramos de CO₂e, siendo una opción para mitigar las emisiones de este sector económico.

Gráfica 12: Escenarios de emisiones de CO₂ de suelo agrícola con variaciones en el consumo de fertilizantes: 1990 – 2030.



Cuadro 15: Reducciones de emisiones de CO₂ (en gigagramos) por reducción en el consumo de fertilizantes en suelos agrícolas respecto al 2006

Año	3% anual		5% anual		8% anual	
	Emisiones	% reducción	Emisiones	% reducción	Emisiones	% reducción
2010	0.36	-5.01%	0.31	-4.29%	0.20	-2.72%
2020	-0.39	5.49%	-0.54	7.80%	-0.81	11.28%
2030	-0.73	10.21%	-1.03	14.27%	-1.15	15.98%

5.2 Cambio de uso de suelo

Debido a que en los últimos años en México se ha dado un incremento tanto en el cambio de uso de suelo, como en las emisiones derivadas de ello, es im-

portante identificar las causas por las cuales se ha dado estos cambios de uso de suelo, generar políticas para disminuir las emisiones de carbono acorde a la evidencia empírica y las posibles trayectorias que se podrían presentar en los siguientes años.

El desarrollo intensivo de la tierra ha sido identificado como el conductor principal del cambio ecológico global (Foley *et al.* 2005), que afecta, tanto los sistemas terrestres (Armsworth *et al.* 2004) como los marítimos (Naiman y Turner 2000). En la literatura relacionada con el análisis de cambio de uso de suelo se han clasificado diversos enfoques, como los analíticos, los cuales adaptan la teoría de manera rigurosa para obtener resultados que tengan implicaciones políticas; los de ingeniería o simulación que se basan en usar parámetros de hechos estilizados obtenidos de varias fuentes, así como modelos microeconómicos que usan técnicas de programación lineal para analizar las decisiones óptimas para observar la respuesta ante cambios en variables de política y entre los cuales se encuentran los modelos de equilibrio general computable; y modelos econométricos que buscan identificar empíricamente los principales determinantes que originan el cambio de uso de suelo, éstos han sido muy utilizados debido a su flexibilidad para representar condiciones particulares de los terratenientes que se enfrentan a decidir ante una asignación de tierra (Stavins, 1999 y Niklitschek y Bobenrieth, 1992).

Muchos investigadores de diversas disciplinas han desarrollado métodos para modelar los cambios en el uso de suelo. Por ejemplo, los demógrafos se han asociado recientemente con los ecologistas de paisaje y geógrafos para desarrollar métodos y proyectar el crecimiento de vivienda para Estados Unidos. Sin embargo, los métodos de simulación desarrollados en la literatura de la geografía han sido particularmente influyentes en el impulso de la literatura económica para integrar el paisaje y las simulaciones de modelos econométricos (por ejemplo, Lewis y Plantinga 2007). Pero los métodos geográficos y demográficos no imponen una estructura económica y suelen utilizar las estimaciones previas de las tasas de cambio de uso del suelo para proyectar el futuro del uso de la tierra

La cuestión de dónde adquirir reservas territoriales cuando los presupuestos son limitados ha ocupado la literatura de la biología de la conservación por al menos 20 años. Sin embargo, no se analiza en la de biología de la conservación la heterogeneidad en los costos de la tierra y la probabilidad de perder los diferentes tipos de suelo no urbanizables para el desarrollo. Newburn *et al.* (2006) establecen un marco de modelado que combina el enfoque de *dos fases* (el cual combina los modelos econométricos de la parcela a escala con simulaciones de paisaje, además de que tiene la ventaja de ser capaz de enlazarse con cualquier

modelo ecológico que utilice el patrón del paisaje para respuesta ecológica) con un algoritmo de programación dinámica para orientar de manera óptima los fondos de conservación para aumentar la provisión de bienes públicos medioambientales al menor coste.

Una de las principales ventajas del enfoque económico es la capacidad de examinar el cambio del paisaje en función de los escenarios de las políticas pertinentes. Así, los métodos económicos utilizados para analizar el uso del suelo emplean una estructura de modelaje derivado de la teoría económica, ésta captura la motivación del propietario para convertir las tierras de un uso a otro. En particular, los modelos más modernos microeconómicos enfatizan la importancia de la renta de la tierra en la especificación de la decisión individual del propietario, y dedican un considerable esfuerzo en la estimación de los efectos causales.

Por lo tanto los modelos econométricos del uso de suelo son útiles para dar la estimación de estos mercados, sobre todo si el objetivo del modelado es el análisis de las políticas destinadas a alterar los incentivos de mercado. Debido a que los cambios en el paisaje son fundamentalmente determinados por el patrón espacial de las decisiones del propietario, el cambio del modelado del paisaje debe empezar por modelar las decisiones de los propietarios de manera individual.

De igual manera, los modelos econométricos de cambio de uso de suelo destacan el flujo descontado de la renta de la tierra esperada en su especificación de un terrateniente que maximiza los beneficios eligiendo cómo asignar un lote homogéneo de tierra (ver Alig (1986), y Capozza Helsley (1989), y Stavins y Jaffe (1990)) con fundamentos teóricos.

La estimación econométrica de las decisiones de elección discreta, habitualmente, especifican los modelos Probit de la decisión de desarrollo binario (Bockstael 1996; Carion-Flores y Irwin 2004), los modelos Logit de un conjunto de múltiples opciones de uso del suelo de la agricultura, los bosques y el desarrollo (Nelson *et al.* 2001; Lubowski *et al.* 2006; Newburn y Berck 2006; Lewis y Plantinga 2007; Langpap *et al.* 2008); modelos de gravedad de la urbanización (por ejemplo, Kline *et al.* 2001); modelos de duración del tiempo de conversión (Irwin y Bockstael 2002; Irwin *et al.* 2003; Towe *et al.* 2008); y en forma conjunta los modelos de Poisson y Probit, de la decisión de desarrollar y de la decisión de cuántos nuevos lotes crear (Lewis *et al.* 2009a; Lewis 2009).

Una tarea particularmente difícil es el desarrollo de un modelo económico-ecológico totalmente acoplado, el cual representa la estimación de los efectos indirectos entre los sistemas económicos y ecológicos. Tal tarea requiere la estimación detallada de los datos históricos sobre el cambio de uso del suelo,

junto con los indicadores de los bienes y servicios. El desarrollo de un análisis tan completo, representaría una contribución importante de la economía de la ciencia del cambio de la tierra. Además, porque los datos disponibles para la estimación son a menudo limitados, el perfeccionamiento continuo de los enfoques microeconómicos pueden mejorar la manera en que se tiene en cuenta la heterogeneidad no observada en las estimaciones.

De acuerdo al enfoque de los modelos econométricos es posible conocer cuáles son los impactos de diversas variables relevantes sobre el uso de suelo así como sus impactos potenciales, ya que el propietario de la tierra siempre tiene la incertidumbre de mantener el actual uso de sus tierras o cambiar a otro tipo de uso debido a que en su entorno existen diversos factores que afectan su nivel de utilidad (Stavins, 1990), como por ejemplo pasar de convertir sus tierras de agrícolas a forestales o viceversa, dependiendo de su conveniencia observando factores como el precio de diversos productos forestales o agrícolas, así como la calidad del suelo si está ensalitrado o está erosionado, por ejemplo.

Entonces, para identificar las decisiones de los propietarios de la tierra que en este caso sería de forestal a agrícola se especifica un modelo de optimización dinámica que incluye efectos potenciales a nivel forestal y agrícola mediante aspectos económicos, así como de la calidad del suelo, en general teniendo en cuenta los impactos de rendimiento y de costos al realizar los cambios de uso, asimismo una ventaja de este análisis es que en general los propietarios de la tierra responden de similar forma cuando se confrontan a diversos incentivos sin descartar las heterogeneidad entre ellos (González, 2008).

De acuerdo con el modelo general (González, 2008) el problema de optimización dinámica de la localización de la tierra se define como:

$$(3) \quad x_{ijt} = R_{ijt}^f(P_{it}, V_{it}, q_{ijt}, C_{it}, ufC_{it}, R, r) - R_{ijt}^a(\pi(A_{ijt}), \alpha q_{ijt}, r)$$

Donde i representa a las municipalidades o municipios, j es el tamaño de las parcelas de calidad de tiene uniforme y t indica el tiempo, R_{ijt}^f y R_{ijt}^a son los valores presentes descontados de los flujos infinitos de la renta esperada de la tierra forestal y agrícola, P_{it} es el precio de la madera en pie de los árboles en edad t , V_{it} es el volumen de madera por hectárea en edad t , q_{ijt} es la tenencia de la tierra de las plantaciones forestales factibles que incluyen efectos de la calidad del suelo y de la temperatura, C_{it} es el costo de reforestar en el futuro, ufC_{it} son los costos de conversión de agricultura a otros usos, R es la edad de rotación, r es la tasa de retorno alternativa, $\pi(A_{ijt})$ es el promedio anual del retorno neto agrícola por hectárea y αq_{ijt} es el índice de variabilidad de producción agrícola por parcela de tierra la cual incluye la calidad y humedad

del suelo. Entonces la conversión de plantaciones agrícolas a forestales se da cuando $x_{ijt} > 0$ ó $R_{ijt}^f(\cdot) > R_{ijt}^a(\cdot)$ y viceversa lo cual genera un umbral entre la factibilidad forestal y agrícola que será determinado por $x_{ijt} = 0$ y afecta la renta de la tierra dependiendo además de variables como los precios, incentivos económicos costos y determinados cambios en el tiempo. Es importante mencionar que si se define como una distribución paramétrica la calidad del suelo $\phi(q_{it})$ y se asume que el bosque ocupa suelos de baja calidad, en el óptimo, la proporción del área forestal en las municipalidades corresponde a una función de distribución de calidad de tierra evaluada en un amplio margen q_{it}^x entre la agricultura y forestal. Si se define la proporción del área forestal de calidad uniforme j en la municipalidad o municipio i en el año t como $y_{it} \approx \Phi(q_{ijt}^x)$ que es una función de distribución logística y una aproximación al margen amplio $q_{ijt}^x \approx z_{ijt}'\beta$ el modelo econométrico puede ser especificado como:

(4)

$$\ln \left[\frac{y_{it}}{1-y_{it}} \right] = R_{ijt}^f(P_{it}, V_{it}, q_{ijt}, C_{it}, u, fC_{it}, R, r) - R_{ijt}^a \Rightarrow \ln \left[\frac{y_{it}}{1-y_{it}} \right] = x_{ijt}$$

Transformando (4) en una solución analítica se obtiene:

(5)

$$\ln \left[\frac{y_{it}}{1-y_{it}} \right] = z_{ijt}'\beta + u_{it}$$

Donde z_{ijt}' es el vector de las variables exógenas que incluye el valor presente descontado de flujos infinitos de la variable de rendimiento bajo la estimación forestal y agrícola de cada municipalidad o municipio, β es el vector de parámetros estimados mediante el método de mínimos cuadrados y u_{it} es el término de error que no está correlacionado con las variables exógenas.

En este estudio se usaron datos de los Censos agropecuarios 1991 y 2007, y el Censo Ejidal 1992-2006. A continuación se presentan las características de dichos Censos, en el siguiente apartado se presentan las especificaciones econométricas, resultados y las proyecciones del cambio del uso del suelo de este segmento del territorio que está en manos de los productores agropecuarios, considerando las políticas públicas que generan incentivos para el incremento en la superficie forestal.

5.2.1 Censos Agropecuarios, 1991 y 2007, Censo Ejidal 1992-2006

El Censo Agrícola-Ganadero constituye una fuente primaria de datos que permite caracterizar la estructura y funcionamiento del sector agropecuario y forestal, ya que capta información básica sobre la identificación, ubicación y características de todas y cada una de las unidades de observación que conforman el universo de estudio, permitiendo diferenciarlas y analizarlas con niveles de desagregación diferenciados (INEGI, 1991).

El VII Censo Agrícola-Ganadero 1991 captó, para las unidades de producción rurales, una superficie de 108.34 millones de hectáreas, poco más de la mitad de la superficie del país; además generó datos de la situación económica y social de 4.4 millones de unidades de producción rurales; de 1.76 millones de viviendas con actividad agropecuaria; de 53.43 mil unidades de producción urbanas y de alrededor de 1,800 unidades de producción social-colectivas. Por su parte el VIII Censo Agrícola-Ganadero 2007 captó una superficie de 112.3 millones de hectáreas, 6.4 millones de unidades censales; de 0.93 millones de viviendas con actividad agropecuaria; de 53.43 mil unidades de producción urbanas y de alrededor de 1,800 unidades de producción social-colectivas (INEGI 1991, 2007).

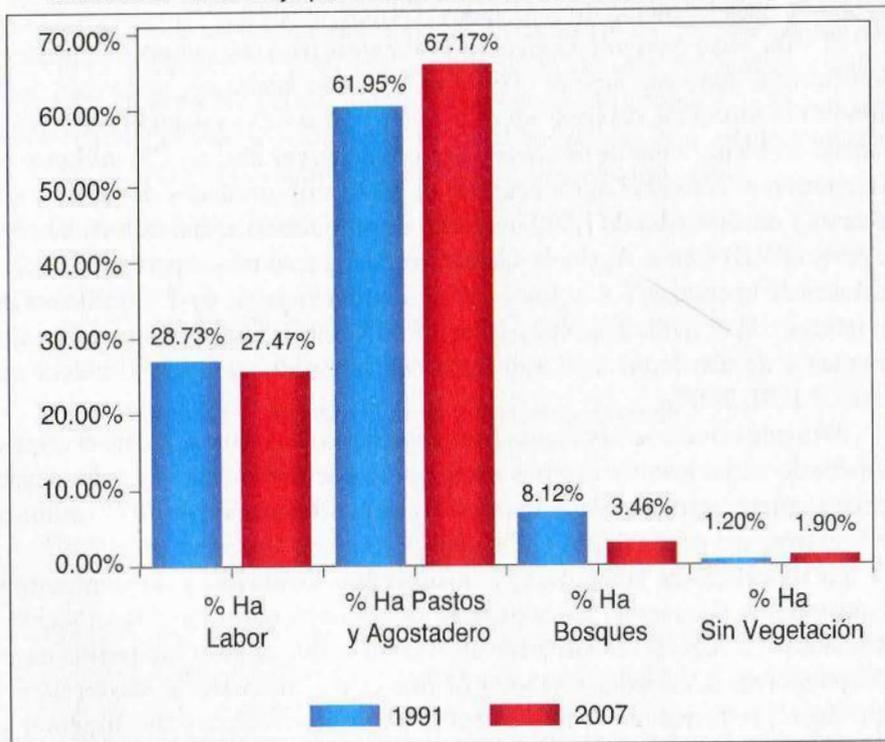
Para este estudio se homogeneizaron las bases de datos para tener el mismo número de municipios⁸ en ambos años, por lo que representa una submuestra de los censos originales. Sin embargo se recoge información de 107.7 millones de hectáreas del censo de 1991 y 111.03 millones de hectáreas en el 2007.

La superficie de labor incluye la superficie sembrada y no sembrada y la superficie con pastos. La superficie con pastos naturales, agostadero o enmontada es vegetación silvestre diversa en la que se alternan pastos naturales, matorrales, arbustos o árboles de bajo porte, los cuales se desarrollan y reproducen de forma natural y generalmente se aprovechan para alimentar al ganado. La superficie de bosque es el área cubierta con árboles, generalmente de gran altura, que se desarrollan principalmente en zonas de clima templado o frío. La superficie de selva es el área cubierta con vegetación arbórea, alternada con una gran diversidad de especies de rápido crecimiento, que se localiza en zonas tropicales. En este estudio la superficie de bosques es la suma de bosques y selvas.

La distribución de los tipos de superficie indica que para el año de 1991 el 61.95% de la superficie de las unidades productivas corresponde a la superficie de pastos y agostadero, en segundo lugar con 28.73% la superficie de labor, las superficies de bosques y sin vegetación representan en conjunto menos

del 10% (Gráfica 13). Para 2007 la superficie de pastos y agostadero sigue representando la mayor superficie de las unidades productivas, aumentando su porcentaje en 5.22 puntos respecto a 1991, por otro lado las superficies de labor y bosques disminuyen, en menor medida la de labor en 1.26 y con un considerable 4.66 puntos la de bosques. La superficie sin vegetación para este año aumenta ligeramente en medio punto.

Gráfica 13: Porcentaje por uso de suelo a Nivel Nacional, 1991 y 2007.

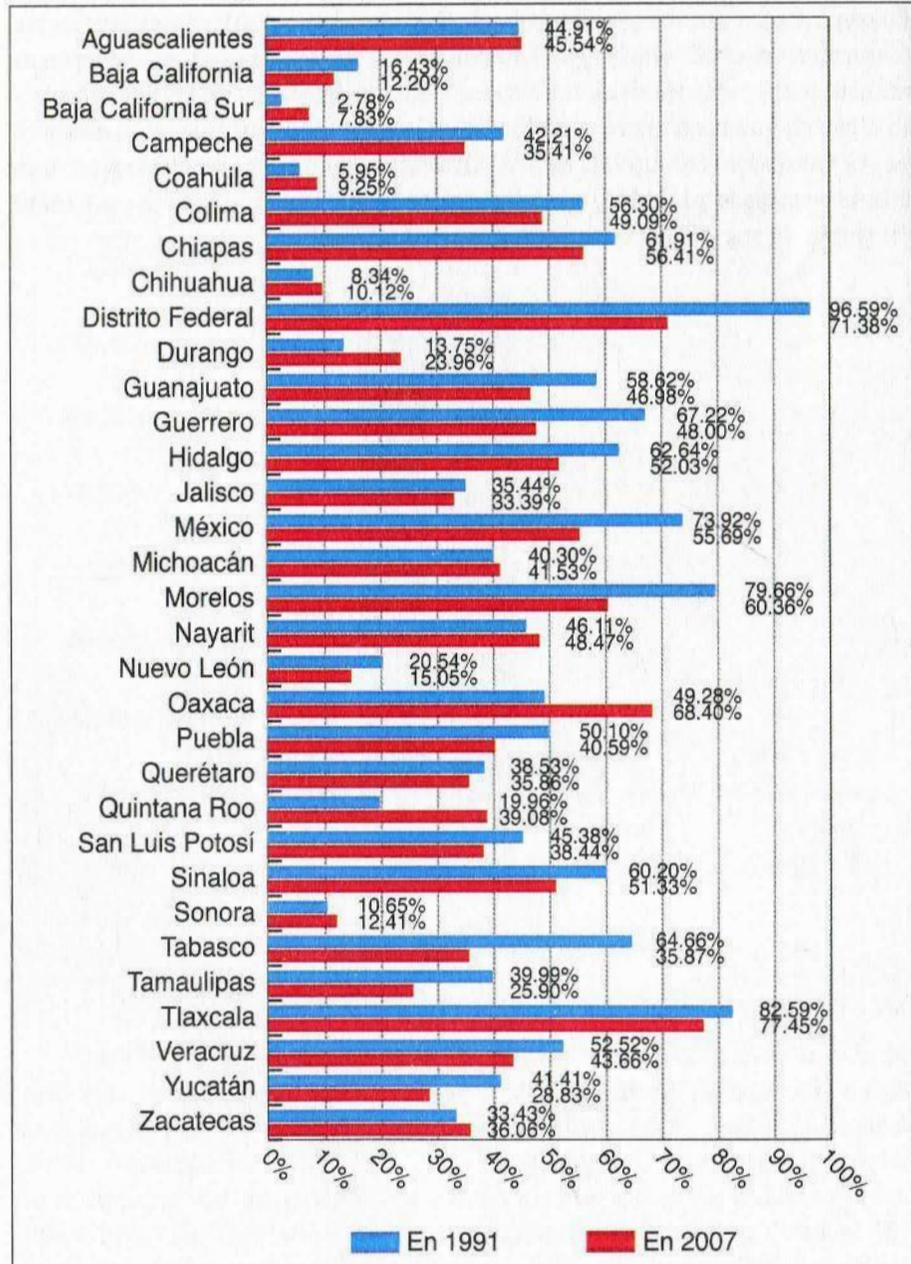


Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

En 1991 la superficie de labor de las unidades productivas fue de 31.9 millones de Ha. siendo el Distrito Federal, Tlaxcala, y Morelos los estados con mayor participación con superficie de labor de las unidades censadas dentro de su estado, 95.59%, 82.59% y 79.66% respectivamente. Por otro lado se encuentran los estados de Baja California Sur, Coahuila y Chihuahua que representan las menores superficies de labor en sus estados, con el 2.78%, 5.95% y 8.34% respectivamente. Para el Censo 2007 la superficie de labor cae un 4.7% estableciéndose en 30.5 millones de Ha. Los estados con mayor participación son el Distrito Federal, Tlaxcala y Oaxaca, con el 71.38%, 77.45%

y 68.40% respectivamente (Gráfica 14). El estado de Morelos para este año disminuyó su participación en superficie de labor a 60.36%. Los estados con menores participaciones siguen siendo los mismos que en el censo anterior aumentando su participación ligeramente en no más del 5%. En este sentido se observa que las hectáreas dedicadas a la actividad agrícola, en la mayoría de las entidades federativas, están disminuyendo su participación en relación a la superficie total de las unidades de producción, dando paso a un cambio en el uso de suelo a otras actividades productivas.

Gráfica 14: Porcentaje de superficie de labor por Entidad Federativa, 1991 y 2007.

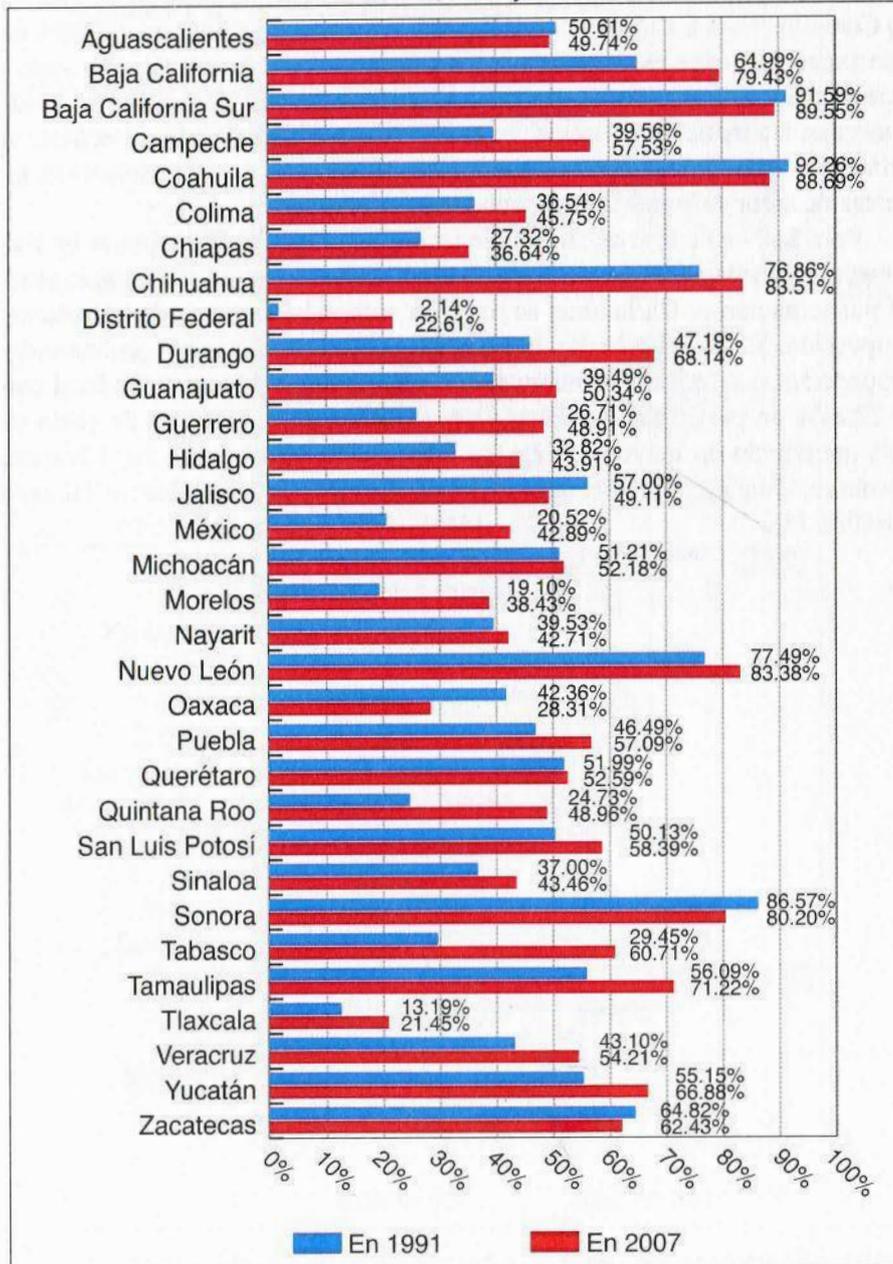


Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Para el caso de superficies de pastos y agostadero en 1991 fue de 68.85 millones de Ha, los porcentajes muestran mayores participaciones en los estados de Coahuila, Baja California Sur y Sonora, teniendo el primero un 92.26% de esta superficie, cabe mencionar que los primeros dos cuentan con una superficie de labor mínima. Por el contrario el Distrito Federal, Tlaxcala y Morelos presentan las menores participaciones en cuanto a este tipo de superficie, el primero cuenta únicamente con el 2.14%, sin embargo su participación en tierras de labor es la más significativa.

Para 2007 este tipo de superficie se incrementa a 74.58 millones de Ha, los estados de Baja California Sur y Coahuila mantienen los primeros lugares en participación, y Chihuahua se muestra como el tercer estado con mayor proporción. El Distrito Federal, Tlaxcala y Oaxaca presentan las menores proporciones, asimismo la menor proporción la tiene el Distrito Federal con el 22.61% de participación. El incremento en este tipo de uso de suelo se está generando en mayor medida en Baja California, Campeche, Chiapas, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, México, Quintana Roo y Tabasco (Gráfica 15).

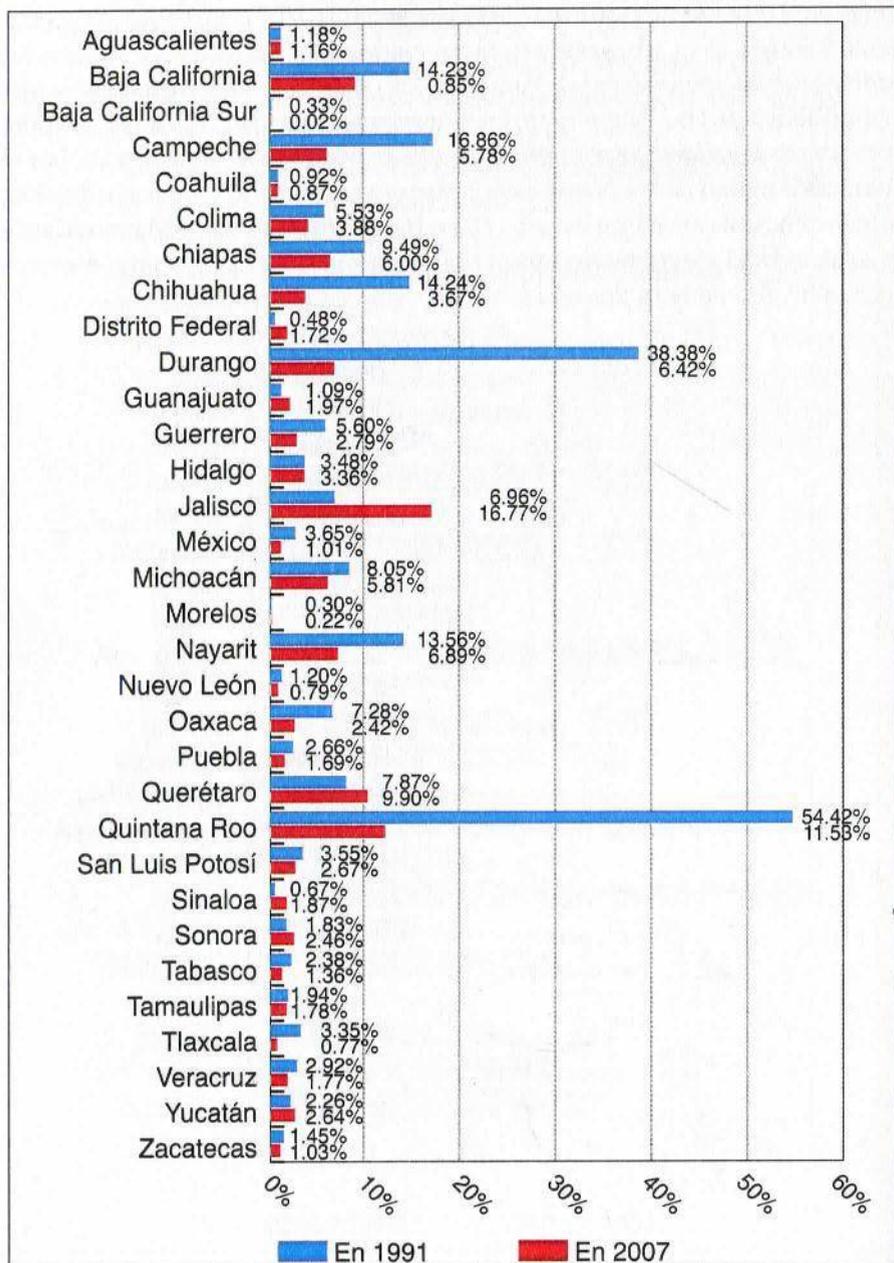
Gráfica 15: Porcentaje de superficie de Pastos y Agostadero por Entidad Federativa, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

En 1991 la superficie total de bosques o selvas fue de 9.03 millones de Ha siendo Quintana Roo y Durango las entidades donde se dedica una mayor superficie a este uso de suelo, con porcentajes de 54.42% y 38.38%, respectivamente (Gráfica 16). Cabe señalar que para la mayoría de los estados se dedica menos del 5% a esta actividad. Para el censo de 2007 la superficie se ubica en 3.84 millones de Ha, lo que representa una reducción del 57% en el periodo; en este caso Jalisco y Quintana Roo presentan los mayores porcentajes, por el contrario ninguno de los demás estados logra superar el 10% de participación, incluso es posible encontrar estados como Baja California Sur y Morelos donde no se alcanza el medio punto porcentual. Cabe mencionar que ningún estado alcanza niveles de participación tan altos como en el anterior censo.

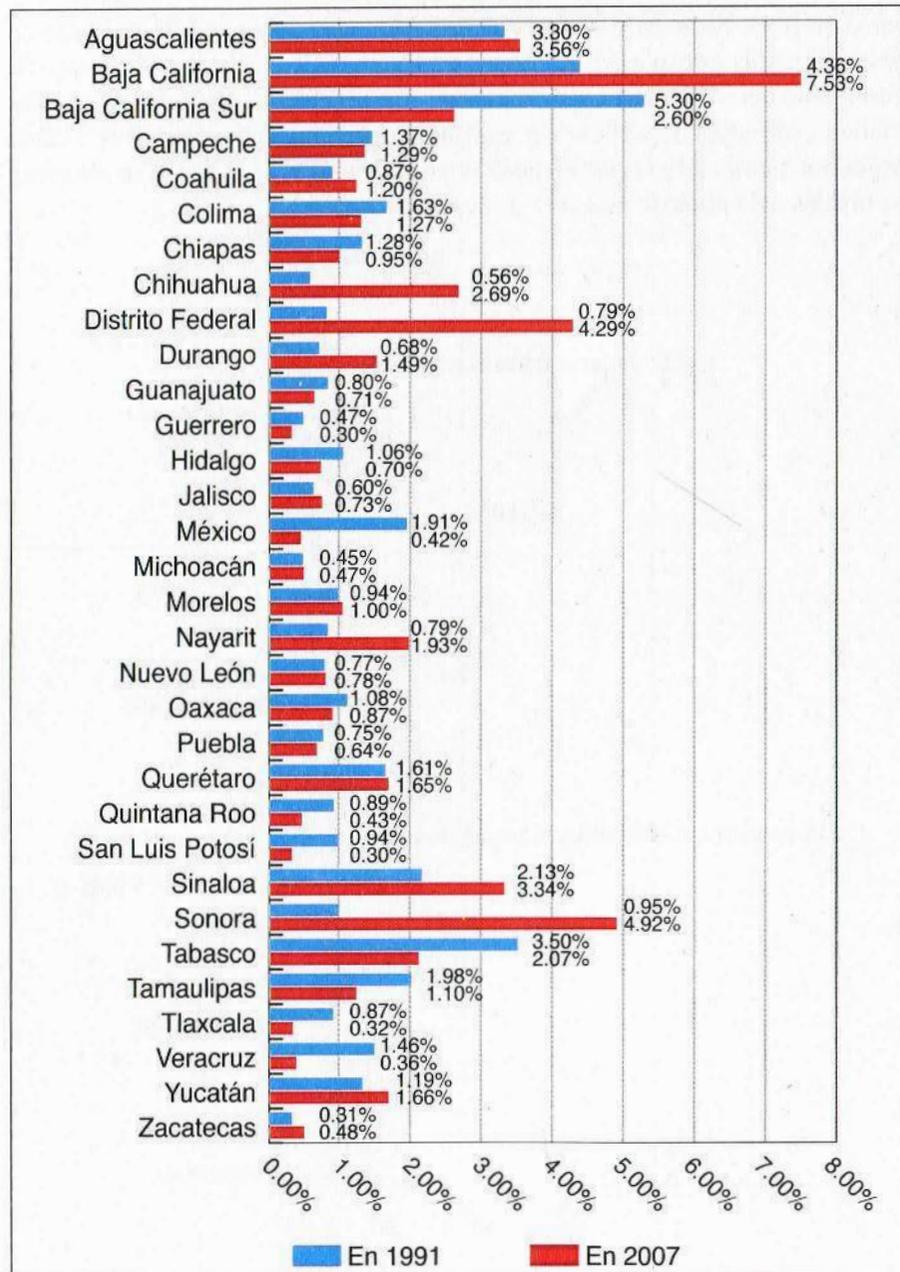
Gráfica 16: Porcentaje de superficie de Bosques y Selvas por Entidad Federativa, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Al tomar en cuenta la superficie sin vegetación de las unidades productivas se aprecia que en ningún estado representa más del 8%, tanto para el censo de 1991, como para el de 2007. La cifra pasa de tener 1.33 millones de Ha en el primer censo a 2.11 millones de Ha en el de 2007, representando un incremento del 58%. Baja California Sur y Baja California se ubican como los estados con mayor superficie sin vegetación para los censos de 1991 y 2007 respectivamente. Es necesario mencionar que en el último censo se alcanzan los niveles más altos de este tipo de superficie.

Gráfica 17: Porcentaje de superficie sin vegetación por Entidad Federativa, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Sintetizando, con base a la información de los Censos, el uso de suelo en las unidades de producción del país ha sufrido transformaciones importantes:

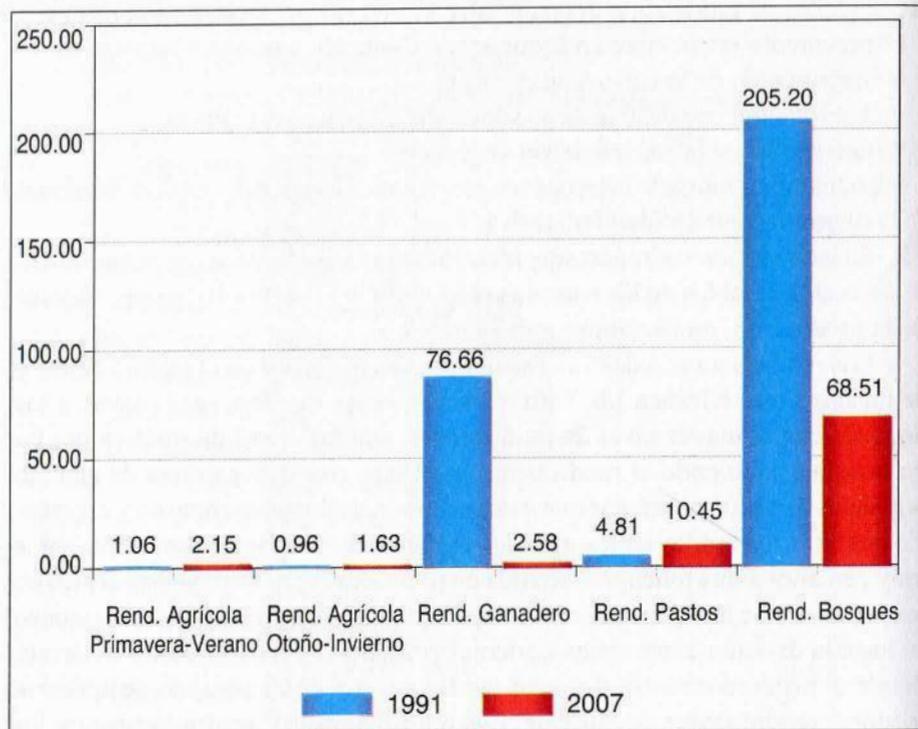
- Incremento importante en la superficie dedicada a pastos y agostadero
- Disminución de la superficie de labor
- Disminución importante de la superficie de bosques y selvas
- Incremento en la superficie sin vegetación
- Los cambios han sido heterogéneos en el país, observando las distribuciones registradas por entidad federativa

En este sentido es importante identificar las variables que generan incentivos a estos cambios en los usos de suelo, como son los rendimientos, valores de la producción, precios y programas públicos.

Los rendimientos muestran resultados heterogéneos en el mismo censo y de un año a otro (Gráfica 18). Para el primer censo de 1991 se observan a los bosques con el mayor nivel de rendimiento, con 205.2 m³ de madera por ha de bosques, siguiendo el rendimiento ganadero con 76.6 cabezas de ganado por ha, es importante señalar que éste incluye ganado ovino, bobino y caprino. En cuanto a los rendimientos agrícolas se aprecian los menores rendimientos muy cercanos a una tonelada obtenida en productos agrícolas por ha, dentro de los productos se incluyen cultivos como frijol, maíz, trigo y sorgo, en este caso se hace la división entre ciclos agrícolas primavera-verano y otoño-invierno, donde el primero obtiene el mayor rendimiento y en el segundo se aprecian menores rendimientos de cultivos. Los rendimientos de pastos superan a los agrícolas colocándose en 4.81 toneladas de pastos obtenidas por ha.

En 2007 el rendimiento de bosques cae a 68.51 m³ por ha, así mismo lo hace el rendimiento ganadero con importante caída a sólo 2.58 cabezas de ganado por ha, posiblemente asociado a un incremento en la ganadería de estabulado. Por el contrario los rendimientos agrícolas aumentan en ambos ciclos agrícolas, en primavera-verano los rendimientos aumentan más del doble y en otoño-invierno aumentan aunque en menor medida. Los pastos también incrementan su rendimiento a más del doble.

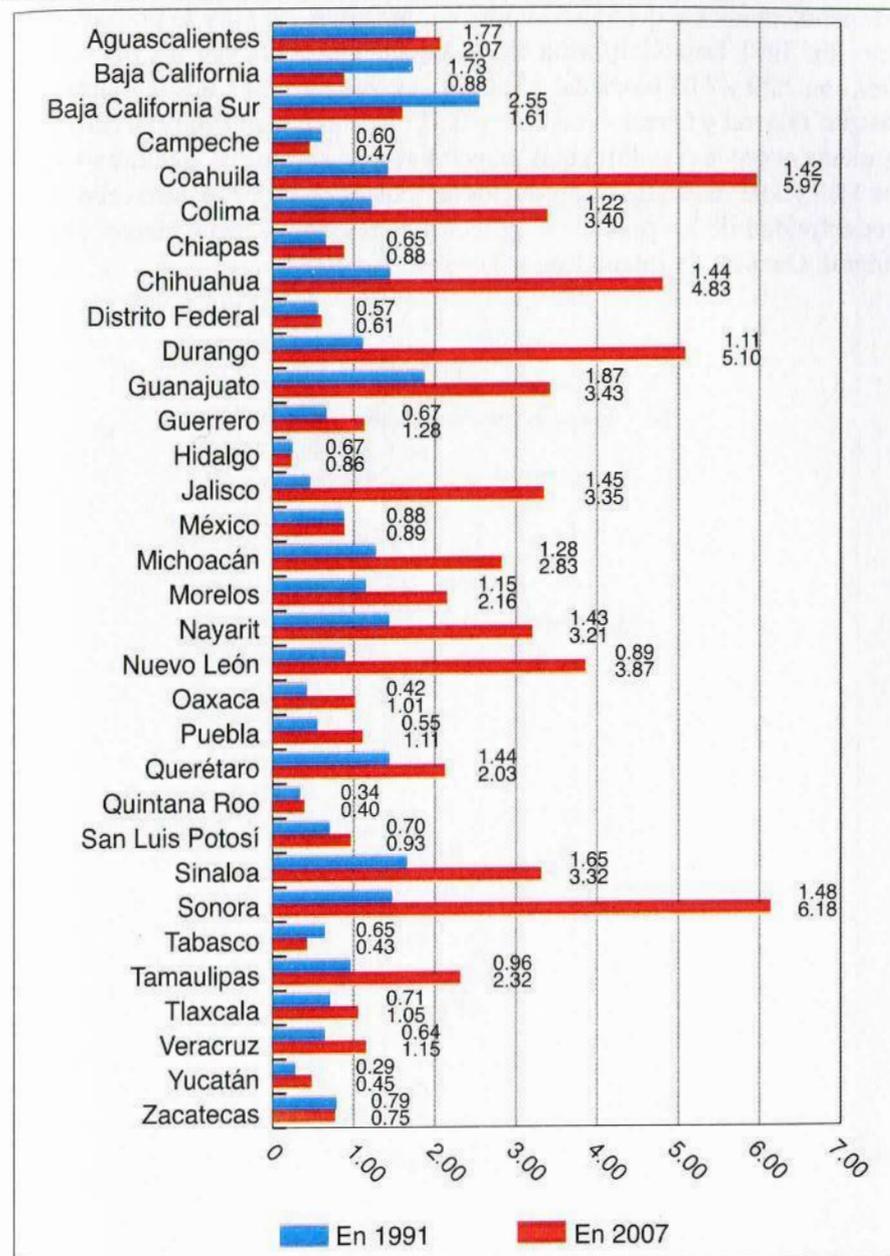
Gráfica 18: Rendimientos por tipo de superficie a Nivel Nacional, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

En general se observan niveles de rendimiento inferiores en el censo de 1991, en este año no se alcanzan niveles superiores a 3 toneladas por ha en promedio de productos agrícolas, para el cual el nivel más alto se encuentra en Baja California Sur con 2.55 toneladas por ha. Para el siguiente año censado el aumento del rendimiento en sus niveles máximos es de más del doble, destacando Sonora y Coahuila con niveles cercanos a 6 toneladas por ha, lo cual indica el incremento en productividad que estas entidades están obteniendo, y en consecuencia la presión a mayores superficies de labor. En este ciclo primavera-verano los menores rendimientos en cultivos en 1991 están en los estados de Yucatán y Quintana Roo, mientras en 2007 están en Quintana Roo y Tabasco.

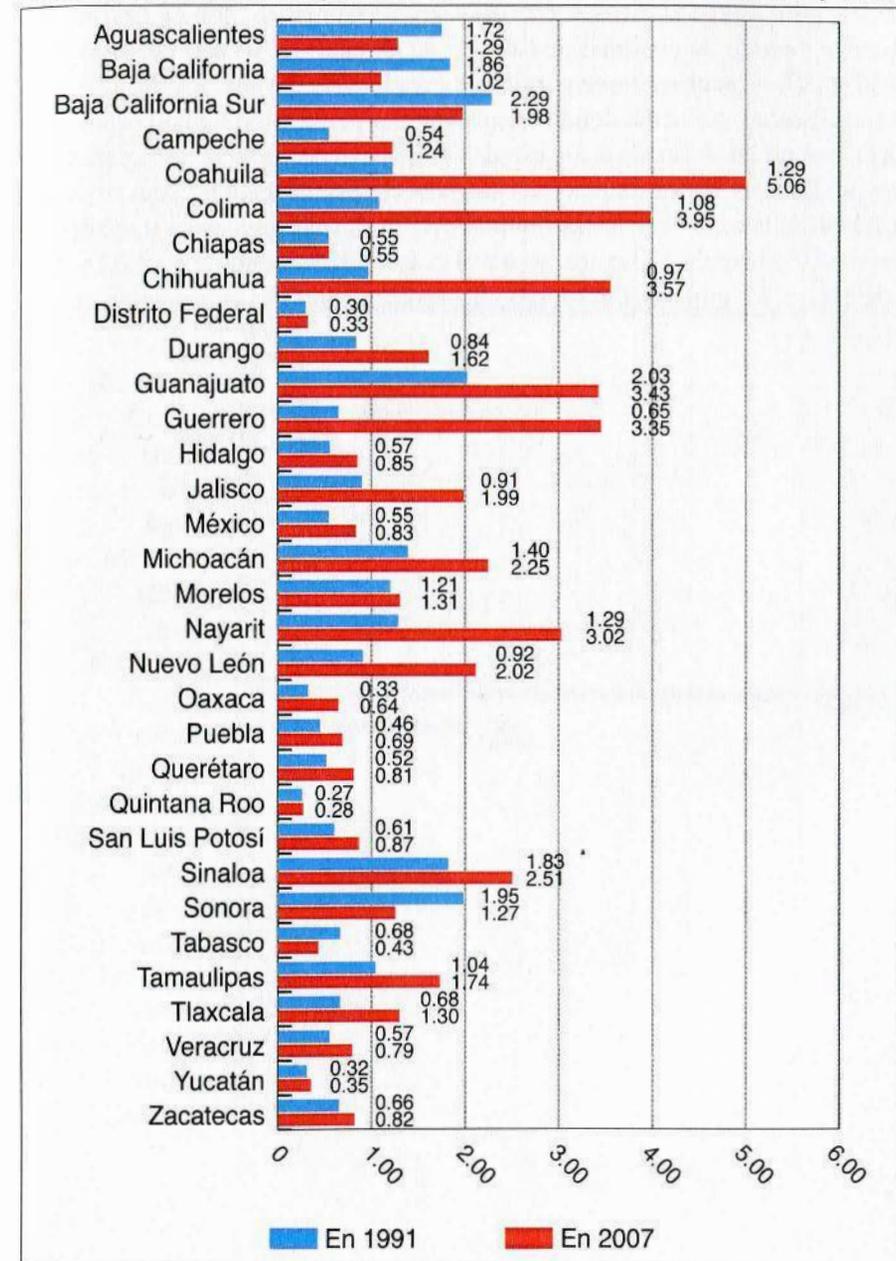
Gráfica 19: Rendimientos agrícolas ciclo Primavera-Verano por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Para los ciclos otoño-invierno se aprecian niveles inferiores de rendimiento independientemente del año censado, comparados con el ciclo primavera-verano. En 1991 Baja California Sur y Guanajuato obtienen los niveles más altos con 2.29 y 2.03 toneladas por ha, en cuanto los más bajos se ubican en el Distrito Federal y Oaxaca con 0.30 y 0.33 respectivamente (Gráfica 20). En el siguiente censo los rendimientos mayores se encuentran en Coahuila y Colima con 5.06 y 3.95 toneladas de productos agrícolas por ha. Los estados con menos productividad de los productos agrícolas considerados son Chiapas, Distrito Federal, Oaxaca, Quintana Roo y Yucatán.

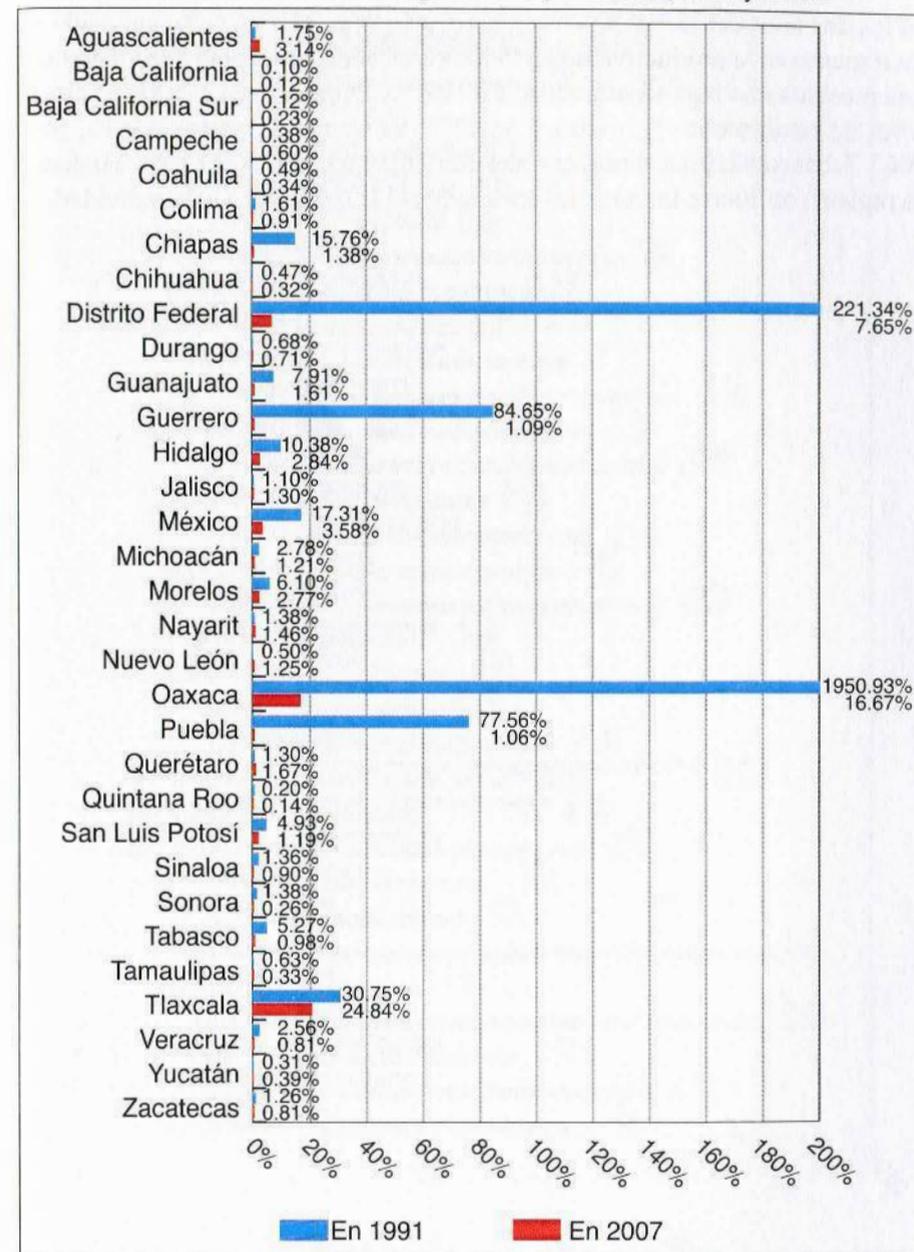
Gráfica 20: Rendimientos agrícolas ciclo Otoño-Invierno por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Los datos sobre los rendimientos ganaderos generan resultados interesantes, para 1991 los estados con mayores rendimientos son en Oaxaca y el Distrito Federal, la cantidad de cabezas de ganado por ha son tan altas como 1950 y 221 respectivamente para estos estados. Es posible encontrar estados como Guerrero y Puebla donde el rendimiento se encuentra en 80 cabezas por ha en promedio, fuera de estos estados el número de cabezas no supera las 20 por ha. Es importante mencionar que para el Distrito Federal sólo se destinó el 2.14% de la superficie de las unidades productivas para pastos y agostadero. Para 2007 Tlaxcala y Oaxaca tienen el mayor rendimiento con 24.84 y 16.67 cabezas, en ningún caso se superan los rendimientos del censo anterior.

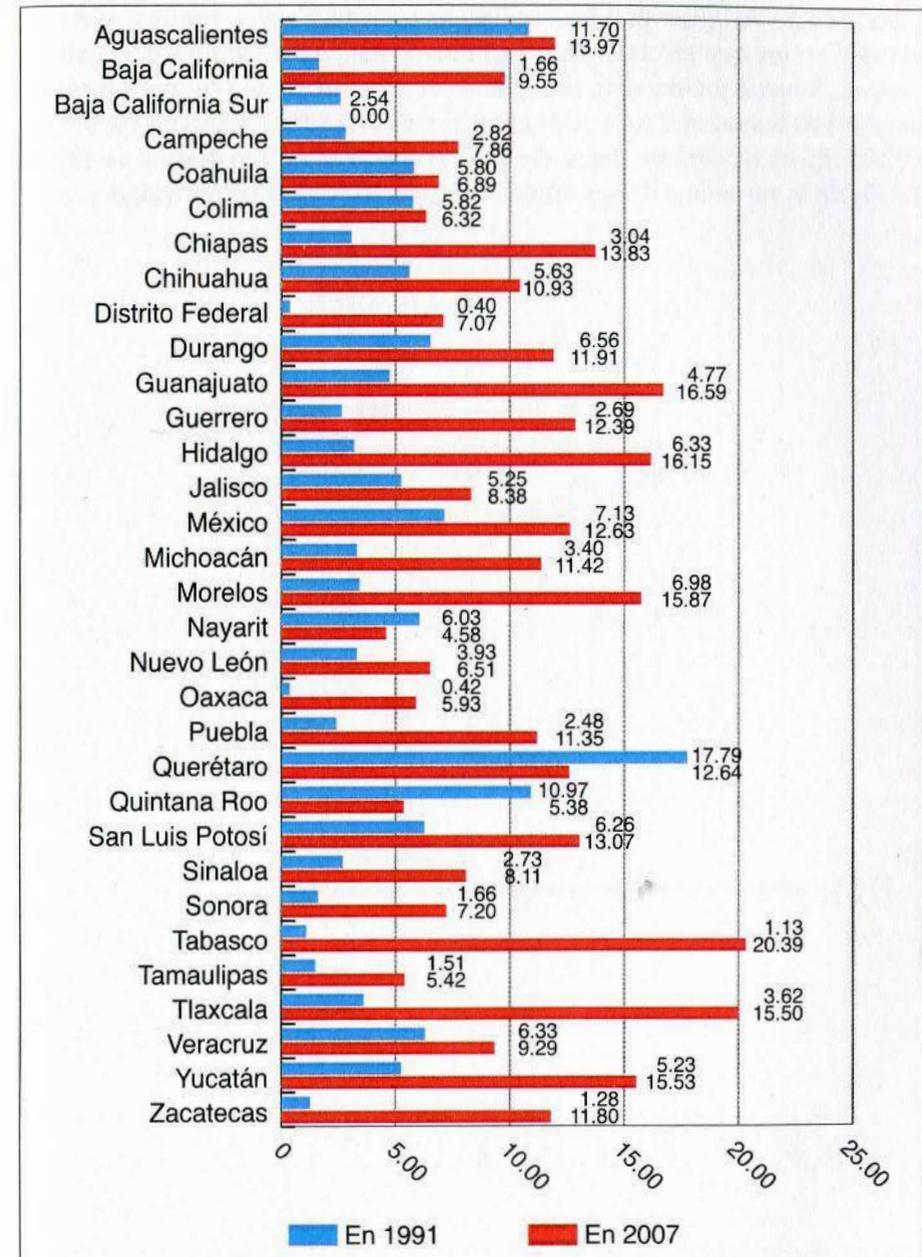
Gráfica 21: Rendimientos ganaderos por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Los rendimientos de pastos son superiores a los rendimientos agrícolas en los dos años censados. Se observa, en la Gráfica 22, que se ha generado un incremento en la productividad en todos los estados a excepción de Querétaro, que presenta una baja significativa. En 1991 es Puebla quien alcanza el mayor nivel de rendimiento de pastos, con 17.79 toneladas de pastos por ha, para 2007 Tabasco alcanza el mayor nivel con 20.39 toneladas por ha, y en donde se registró un fuerte incremento en la superficie dedicada a esta actividad.

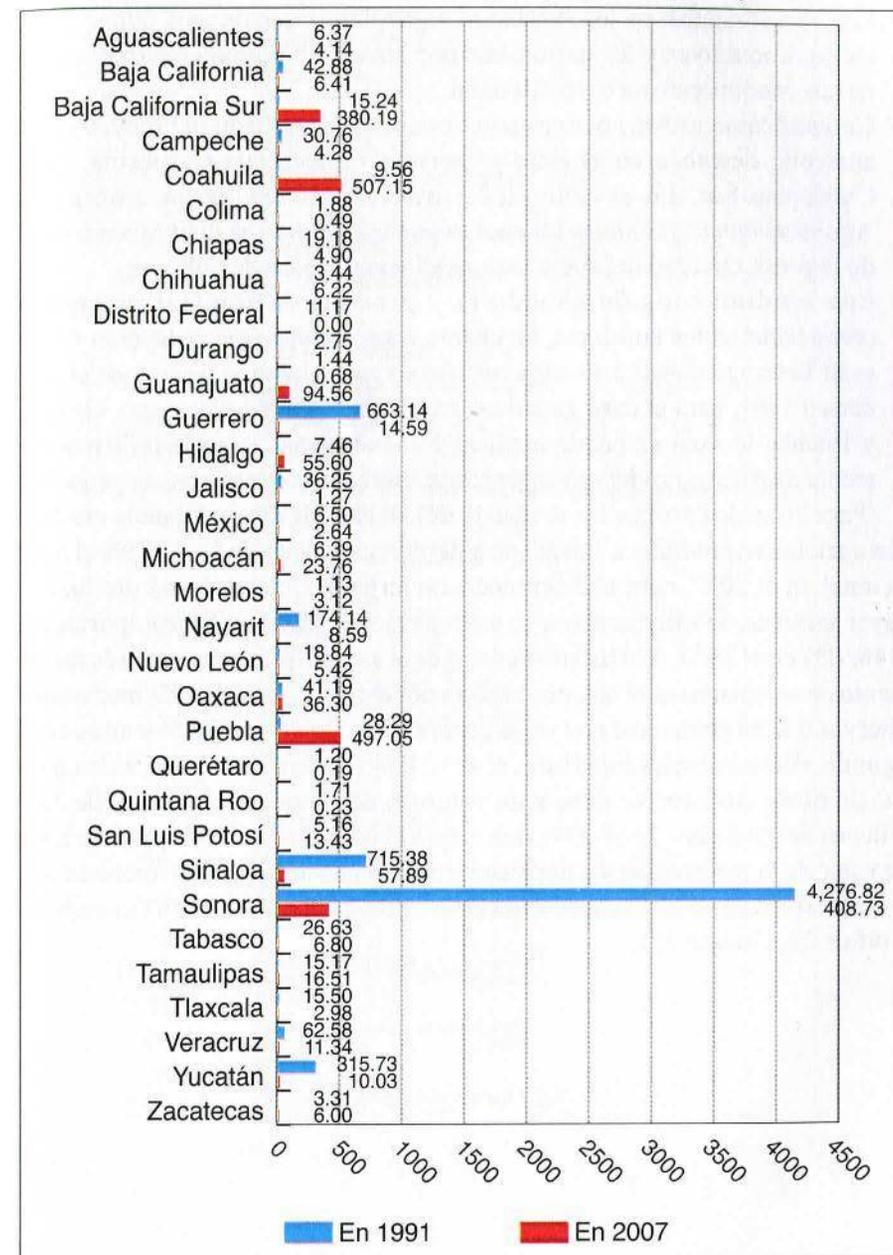
Gráfica 22: Rendimientos de pastos por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Los resultados de los rendimientos de los bosques son muy heterogéneos (Gráfica 23). Al igual que los rendimientos ganaderos es posible encontrar estados en los que se obtienen rendimientos muy altos, como son el caso de Sonora, Sinaloa y Guerrero. En 1991 no se rebasan los 315 m³ por ha para la mayoría de los estados, para 2007 el nivel más alto se encuentra en Puebla con 497.05 m³ de madera por ha. Cabe señalar que Sonora sólo destinó en 1991 el 1.83% de la superficie de sus unidades productivas para tal actividad.

Gráfica 23: Rendimientos de bosques por estado, 1991 y 2007.



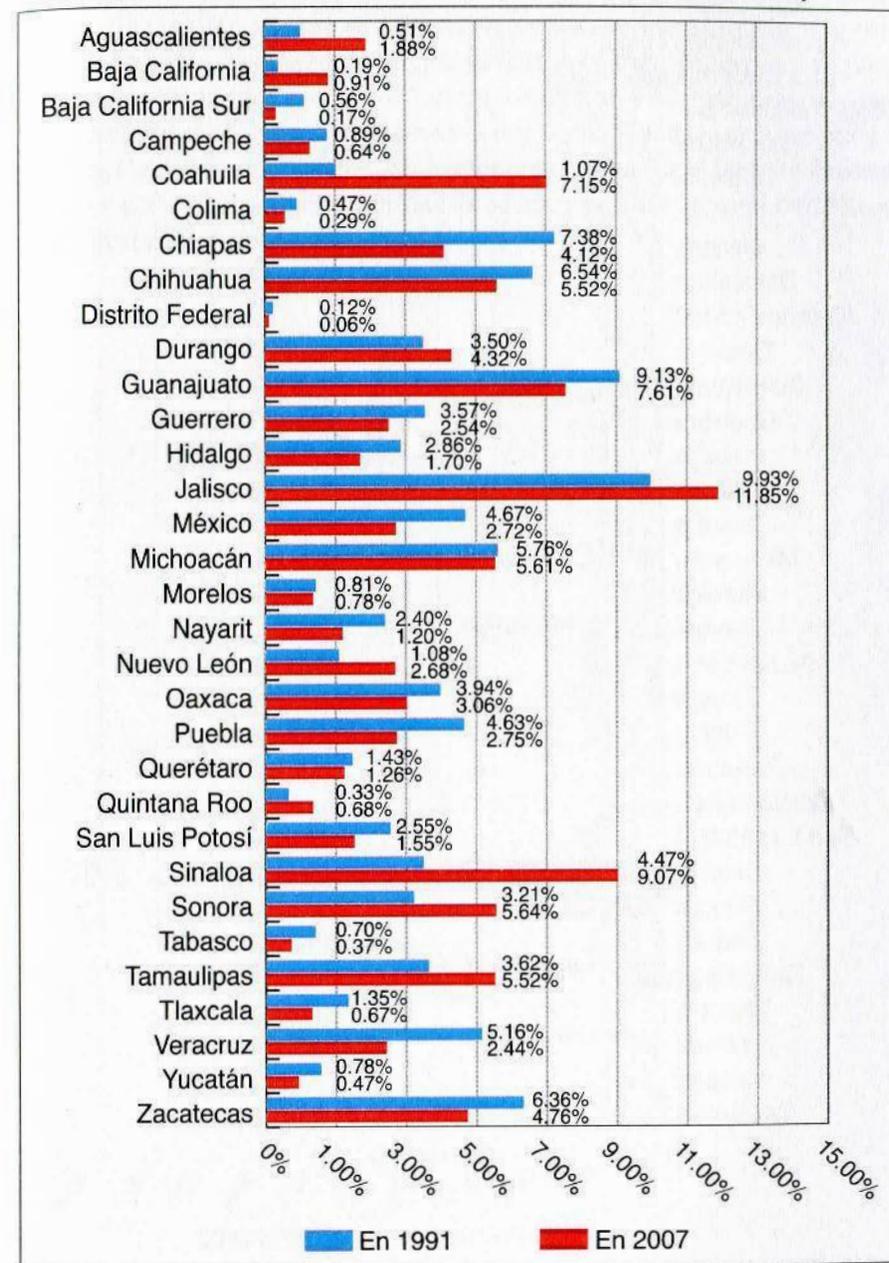
Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Resumiendo el comportamiento de los rendimientos:

- Los rendimientos en los productos agrícolas seleccionados para ambos ciclos productivos y los pastos, han presentado un incremento importante en sus rendimientos a nivel nacional.
- Geográficamente son pocos estados los que disminuyeron su productividad agrícola, destacan en el ciclo primavera-verano Baja California, Baja California Sur. En el ciclo otoño-invierno además de los anteriores, Aguascalientes, y Sonora. Lo cual se puede deber a una disminución en sí de la productividad del suelo o a una diversificación de cultivos.
- Los rendimientos de ganadería y producción forestal presentan comportamientos similares, en cuanto a una importante reducción y una gran heterogeneidad a nivel geográfico. Con valores extremos en el año censal 1991, para el caso ganadero en Distrito Federal, Guerrero, Oaxaca y Puebla, lo cual se puede explicar a inconsistencias en la información recabada o a una producción muy intensiva en áreas relativamente pequeñas

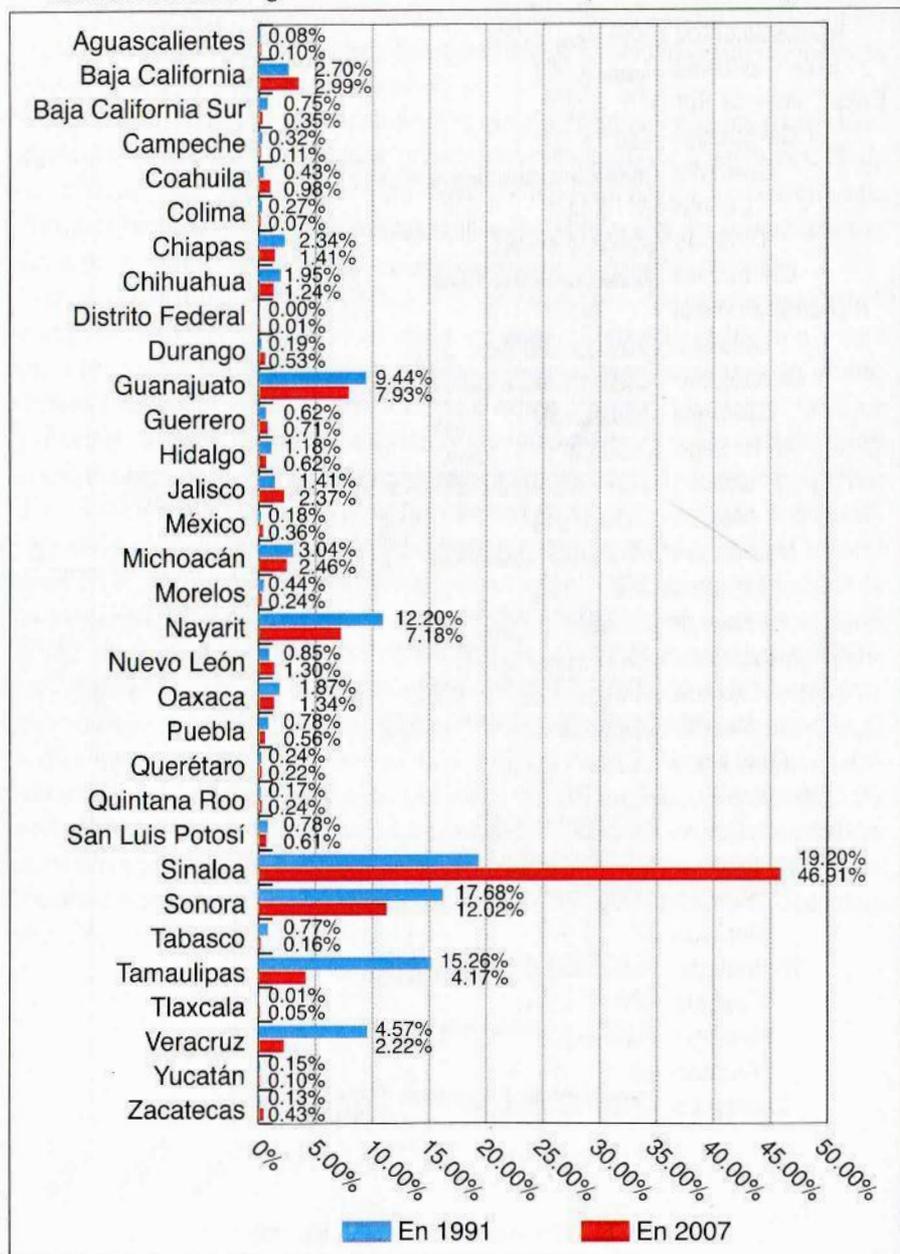
Para los ciclos primavera-verano la mayor cantidad de valor de la producción agrícola se produjo en Jalisco en ambos censos aportando, 11.85% al total nacional en el 2007, para el ciclo otoño-invierno es Sinaloa quien produce la mayor cantidad de valor también en ambos censos, alcanzando una aportación de 46.91% en el 2007. El Distrito Federal es el estado que tiene menores rendimientos y así mismo es el que produce menor cantidad de valor. Es interesante observar que en primer ciclo el valor generado no supera el 13% mientras en el segundo alcanza niveles superiores al 45%. El 45% alcanzado por Sinaloa para el ciclo otoño-invierno se debe a un volumen de productos agrícolas de 3.09 millones de toneladas. Se observa una mayor heterogeneidad en la participación del valor de la producción agrícola en el ciclo primavera-verano, mientras que en el otoño-invierno está concentrado en Sinaloa, Sonora, Nayarit y Guanajuato (Gráfica 24, Gráfica 25).

Gráfica 24: Valor Agrícola ciclo Primavera-Verano por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

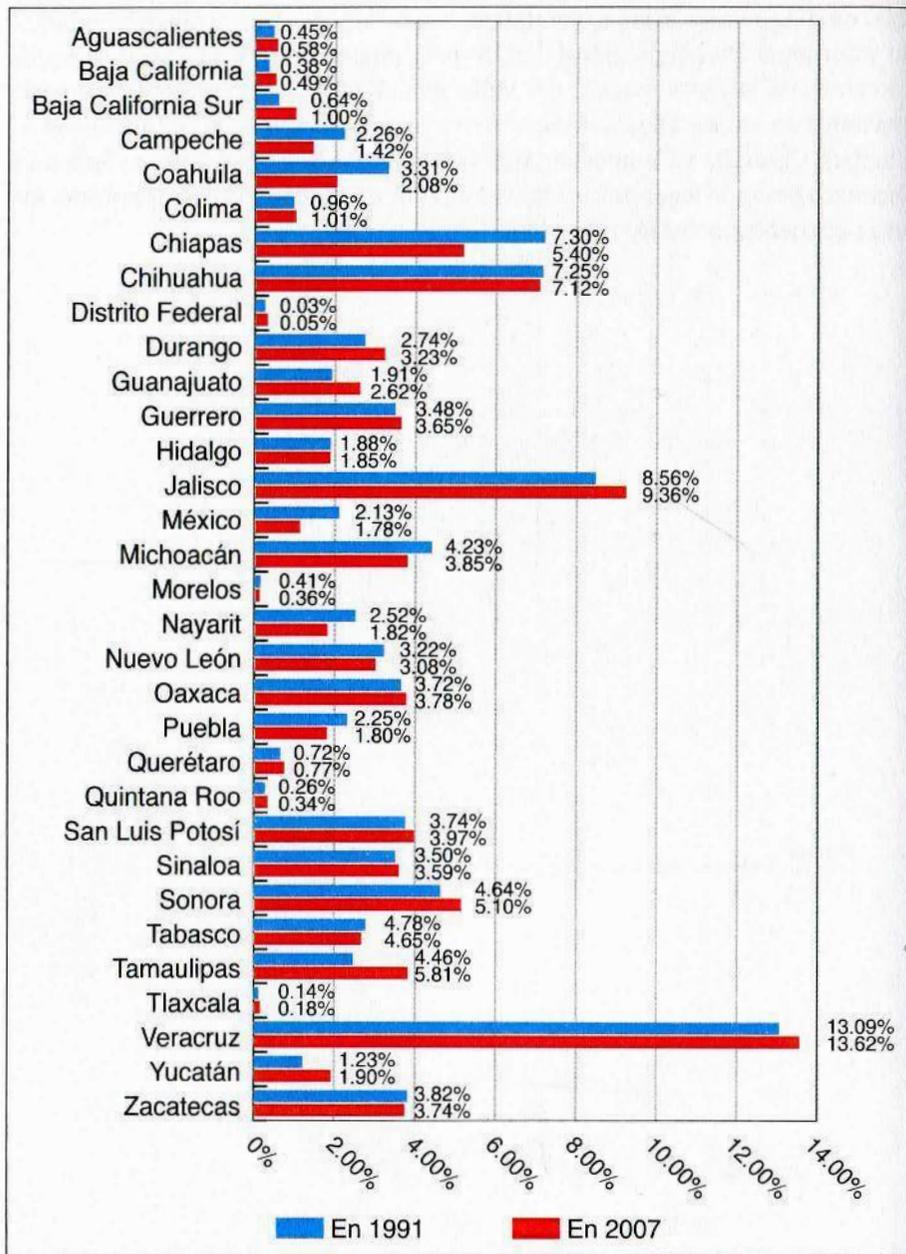
Gráfica 25: Valor Agrícola ciclo Otoño-Invierno por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Respecto al valor ganadero ningún estado aporta más del 15% generado del total en ningún año, aunque en ambos censos Veracruz es el mayor productor de valor ganadero, siguiéndole Jalisco para ambos años. En general se puede apreciar que la participación del valor ganadero se mantiene prácticamente constante en ambos años, sólo se observa una reducción en la participación en Chiapas, Coahuila y Campeche. Aquí debe observarse que el Distrito Federal y Oaxaca a pesar de tener gran cantidad de cabezas de ganado el valor producido no se encuentra entre los más altos.

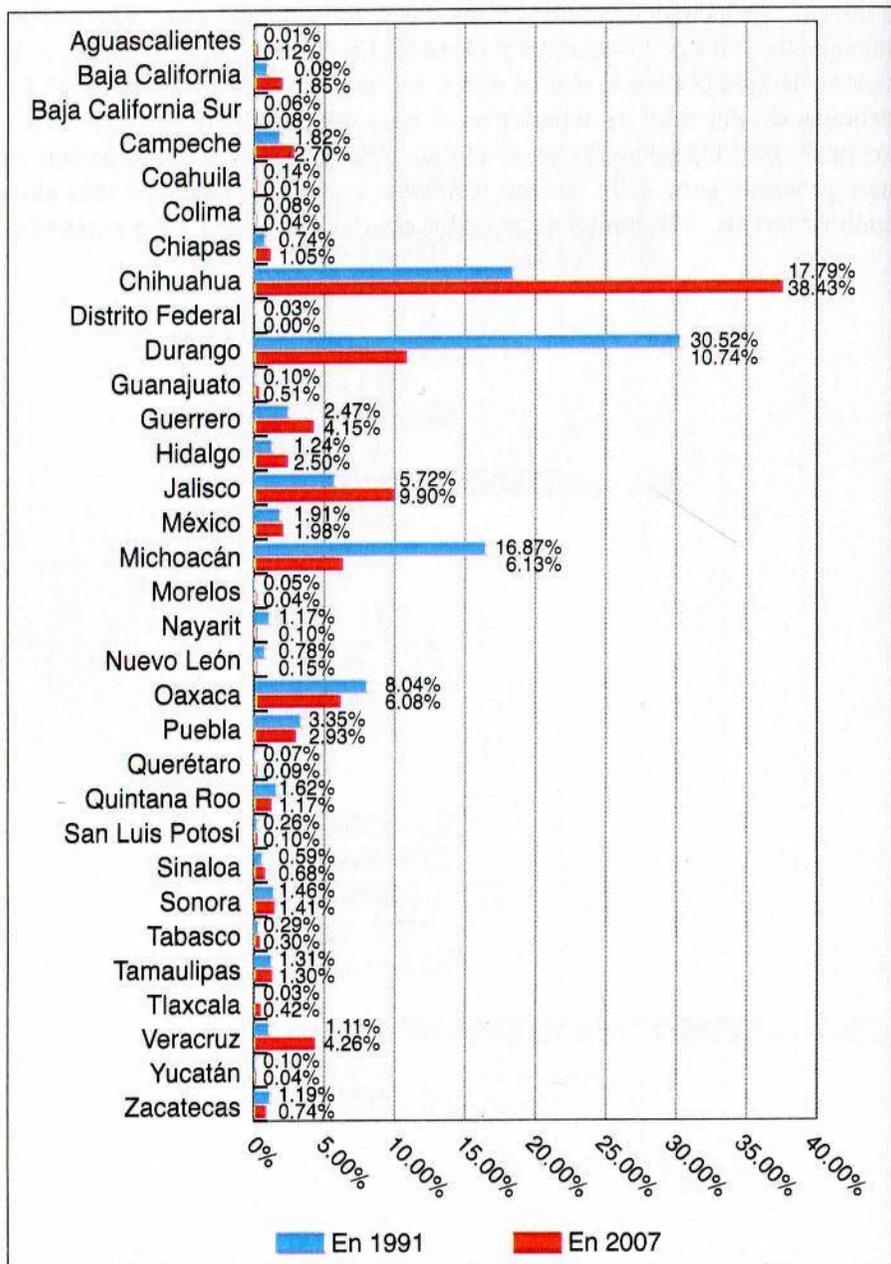
Gráfica 26: Valor Ganadero por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

En cuanto a las aportaciones mayores al valor de la producción de madera se ubican 5 principales estados en los dos censos, siendo estos Chihuahua, Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Oaxaca. En estos estados el valor de la madera siempre obtuvo al menos el 5% del total de valor generado total. La participación del valor es superior en el censo de 1991 para estos estados a excepción de Chihuahua, quien es el que obtiene la mayor participación en valor generado para 2007. Sonora y Sinaloa a pesar de tener los más altos rendimientos en 1991, también son de los estados con menor valor generado.

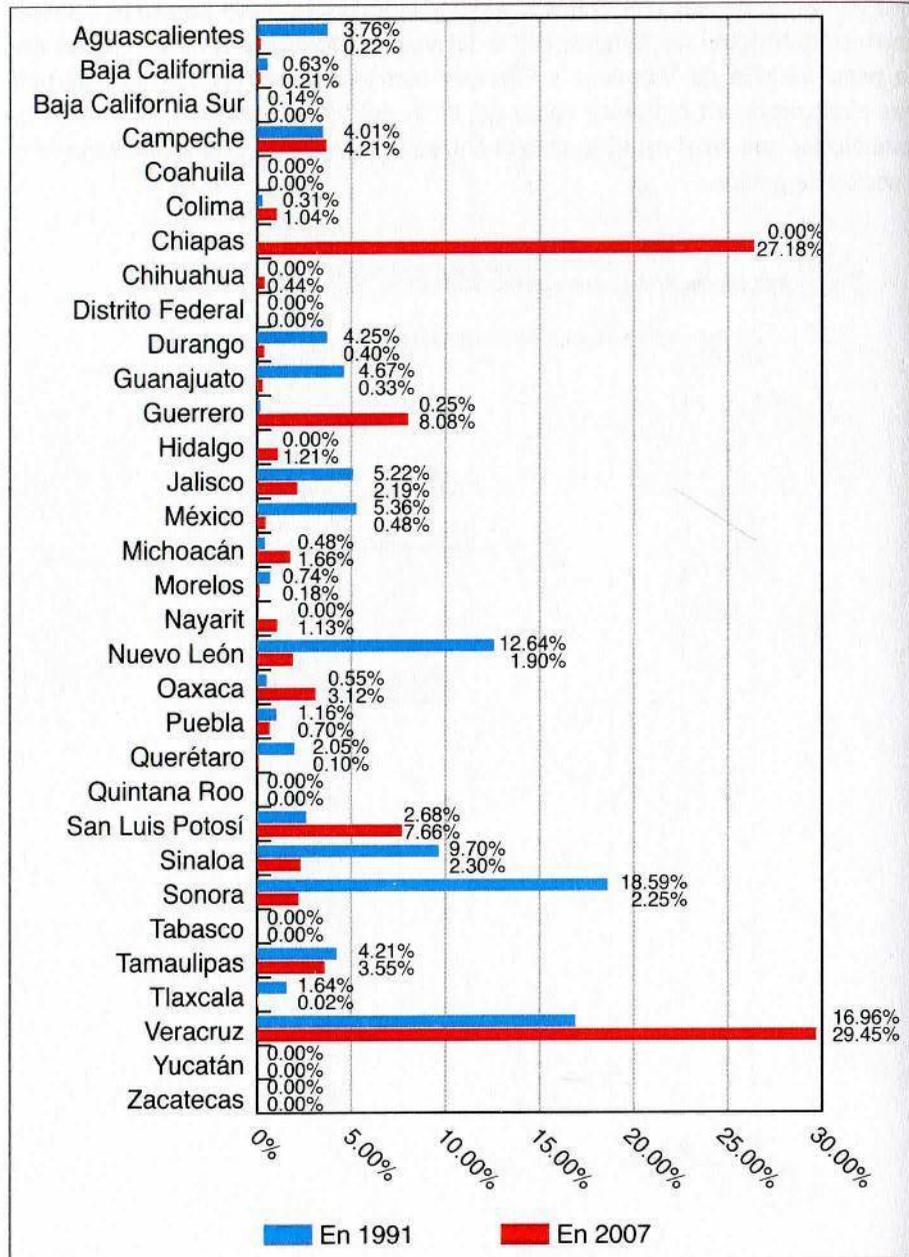
Gráfica 27: Valor de la Madera por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

En el primer censo tres estados aportan más del 45% del valor generado por pastos, estos son Sonora, Veracruz y Nuevo León, los demás estados de manera individual no superan el 5% del valor generado. Para 2007 se destaca la participación de Veracruz y Chiapas como generadoras de valor de pastos alcanzando en conjunto cerca del 60% del valor generado. Es necesario mencionar que estos estados se encuentran dentro de los estados con mayores precios de pastos.

Gráfica 28: Valor de pastos por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

En todos los subsectores se incrementó el valor de la producción de 1991 a 2007, los pastos incrementaron el valor en 46.66% anual, en segundo lugar el valor de la producción agrícola para el ciclo Primavera-Verano con un 15.07% anual, mientras que los restantes crecieron en un 8% anual (Cuadro 16). Con base a los datos anteriores se destaca:

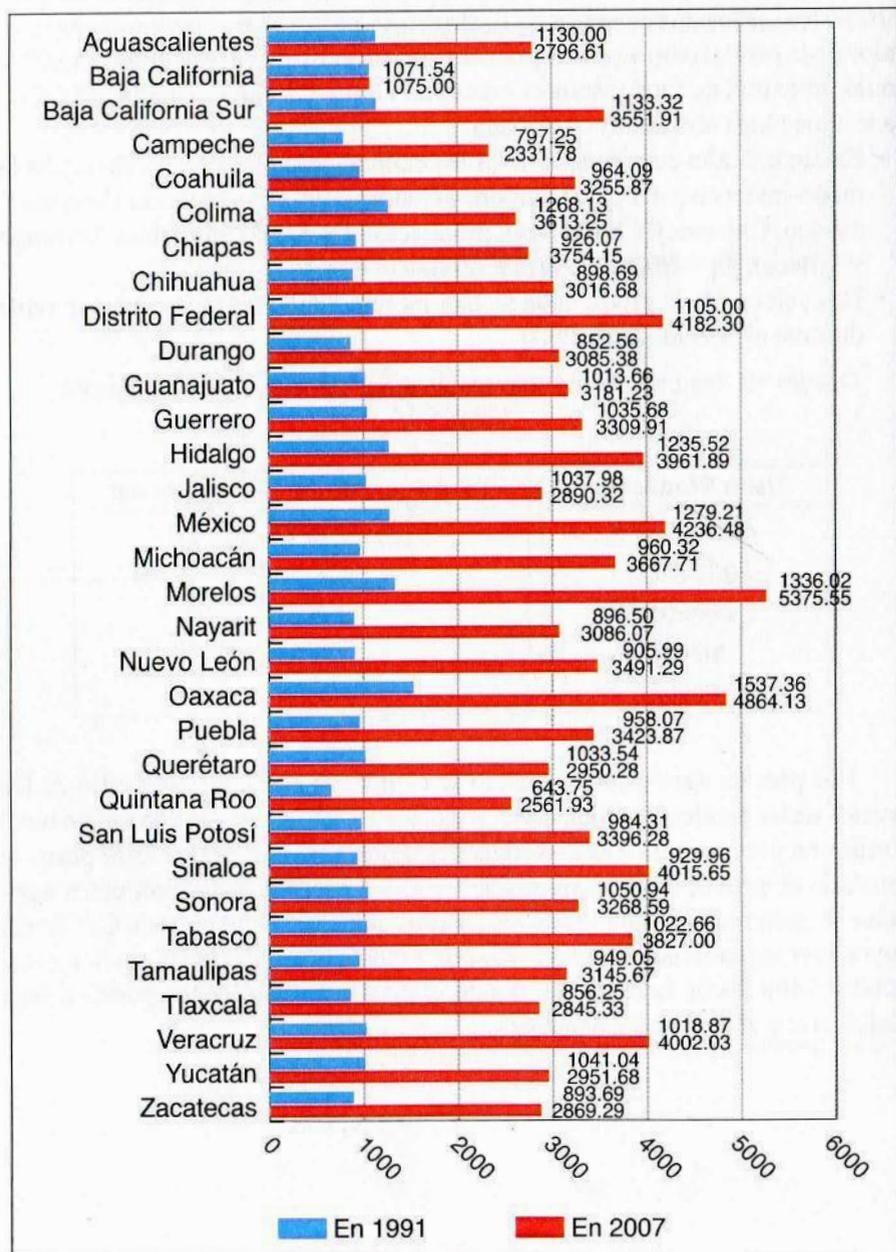
- Existe una alta concentración en la producción de la producción agrícola otoño-invierno (en Sinaloa, Sonora y Guanajuato), en la ganadera (Veracruz, Jalisco, Chiapas y Chihuahua), producción forestal (Chihuahua, Durango y Jalisco), y pastos (Veracruz y Chiapas).
- Los valores de la producción se han incrementado de forma considerable durante el periodo 1991-2007.

Cuadro 16: Tasa de crecimiento media anual del valor de la producción, 1991-2007

Valor Producción	Tasa de crecimiento media anual
Agrícola, P-V	15.07
Agrícola, O-I	8.32
Ganadera	8.03
Madera	8.64
Pastos	46.66

Los precios agrícolas por estado se estimaron como un promedio de los precios de los productos frijol, maíz, trigo, sorgo. En general se aprecia un nivel similar en precios para 1991, oscilando los precios entre 900 y 1500 pesos la tonelada de producto, en el siguiente censo los precios de los productos agrícolas se incrementan para todos los estados con excepción de Baja California cuyos precios cambian muy ligeramente. En este año los precios oscilan entre 1000 y 5400 pesos la tonelada, donde el precio mínimo corresponde a Baja California y el más alto a Morelos.

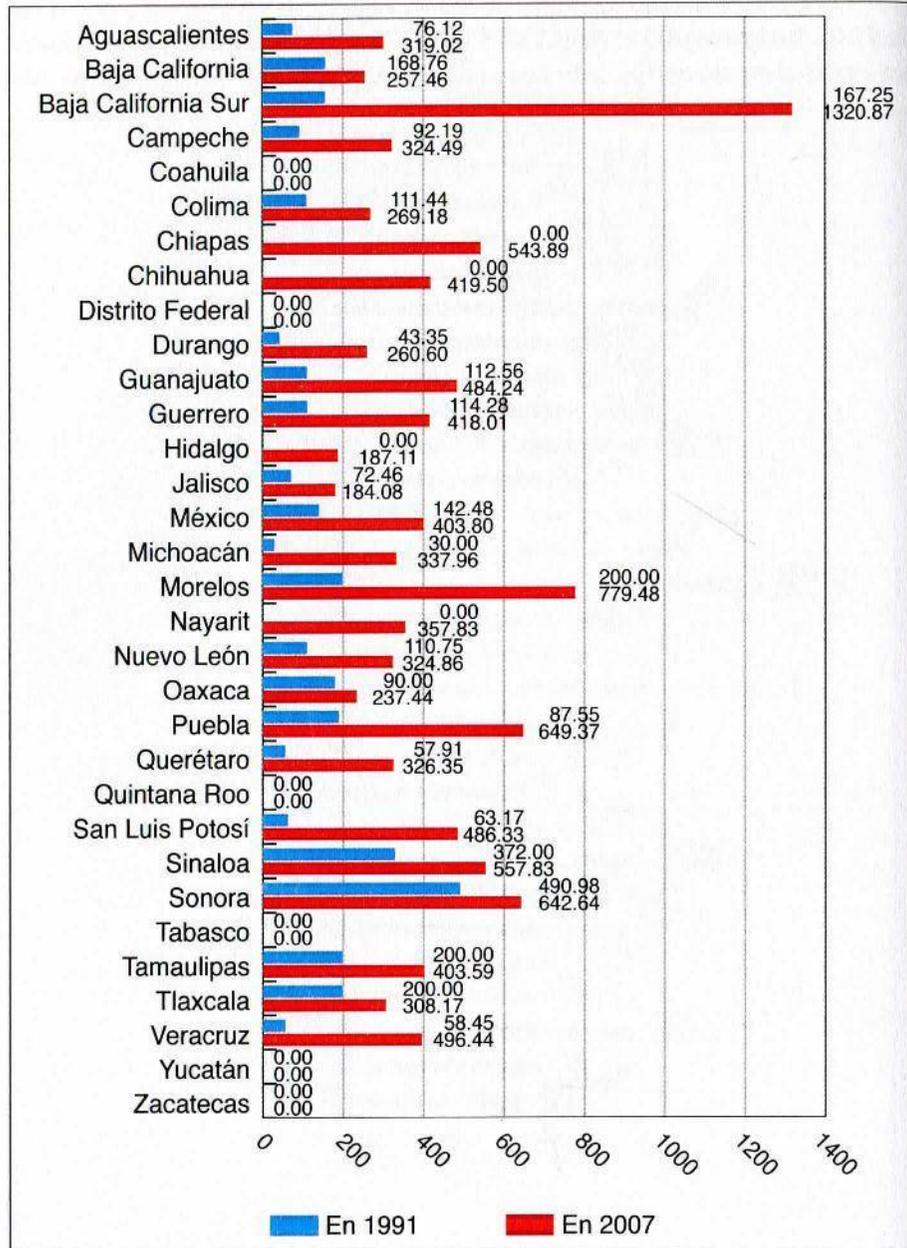
Gráfica 29: Precios de Productos Agrícolas por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Los precios de tonelada de pastos en general son superiores para 2007 alcanzando en promedio un precio de 353.14 cuando en 1991 este promedio fue de 95.68. Inclusive para el último año del censo se pueden encontrar estados en los cuales el precio es 0 es decir no se generó valor para la producción de pastos.

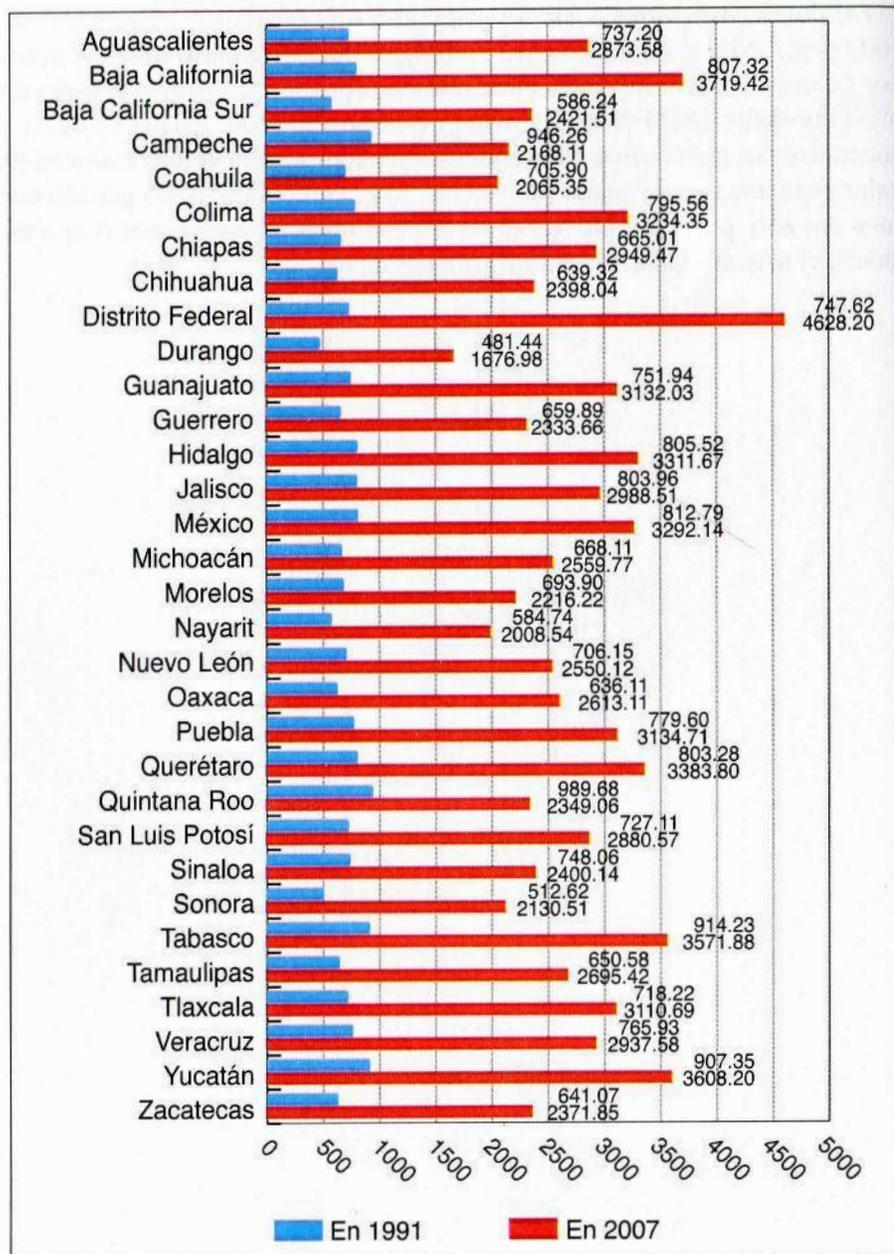
Gráfica 30: Precios de pastos por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Los precios del ganado también presentan un alza generalizada de un censo a otro, donde en el primer censo ninguna cabeza de ganado rebasa un precio de 1000 pesos, para el segundo censo los precios llegan a rebasar los 4500 pesos por cabeza. Es necesario mencionar que estos precios se estimaron como un promedio de los ganados bovino, ovino y caprino. Para 2007 el Distrito Federal cuenta con los precios más altos para este ganado, sin embargo la cantidad de valor generada es muy poca, esto debido a las 37,955 cabezas de ganado que tuvo ese año, por otro lado Veracruz aunque no tiene los precios más altos sí tiene el mayor volumen con 2.61 millones de cabezas.

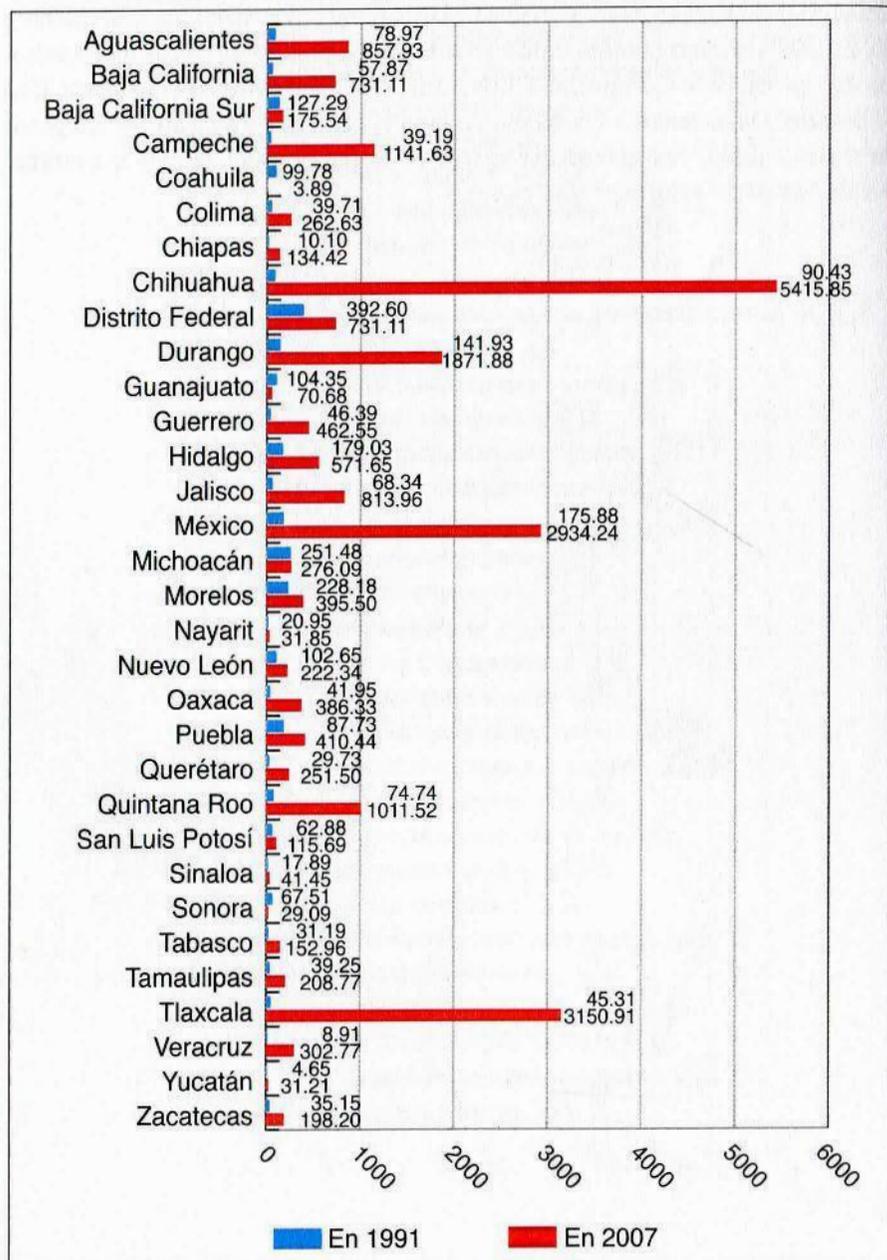
Gráfica 31: Precios de ganado por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Los precios de la madera en 1991 no superan los 400 pesos el metro cúbico, para el cual el más alto es de 392.60 correspondiente al Distrito Federal (Gráfica 32). En 2007 se incrementan moderadamente los precios en todos los estados, con excepciones de Campeche, Chihuahua, Durango, México, Quintana Roo y Tlaxcala. Destacando a Chihuahua donde el precio se ubica en 5415.8 pesos por metro cúbico, este estado así mismo es el que produce la mayor cantidad de valor en parte a sus elevados precios.

Gráfica 32: Precios de la madera por estado, 1991 y 2007.



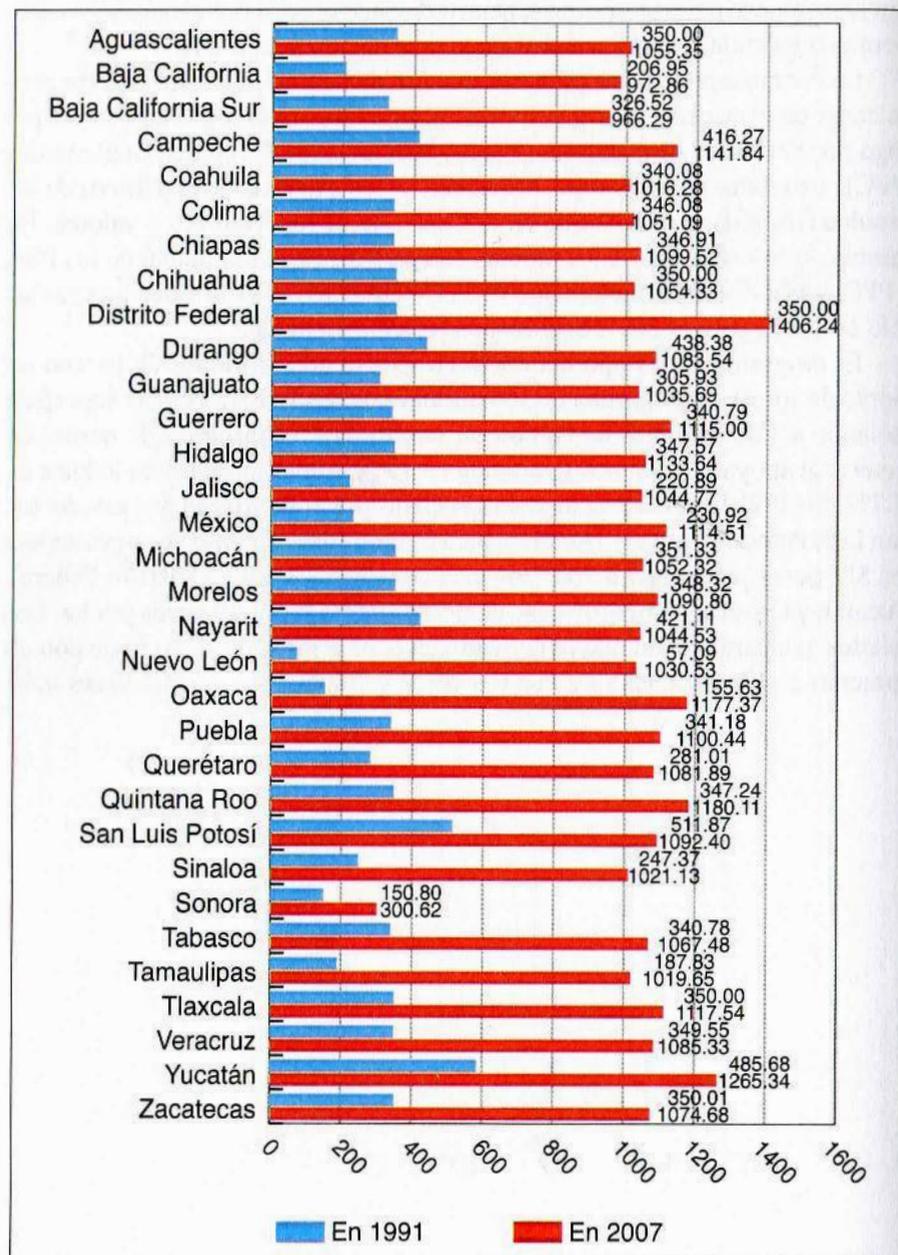
Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

En síntesis, todos los precios de los productos agropecuarios considerados han presentado importantes incrementos durante el periodo, generando incrementos importantes en los valores de la producción generados.

En cuanto a programas públicos que inciden en las decisiones de los productores en elegir una u otra actividad productiva, se escogieron Procampo, Pago por Servicios Ambientales (PSA) y Plantaciones Forestales Comerciales (PFC). Los datos de Procampo provienen de los Anuarios Estadísticos de los Estados (INEGI), debido a que en el Censo no se reportan estos valores. En cambio, la información de los montos otorgados a nivel municipal de los PSA y PFC se obtuvieron directamente de la CONAFOR, y los últimos programas sólo se tienen para el 2007, debido a su reciente creación.

El programa Procampo benefició en 1991 a 1.05 millones de ha con un monto de apoyo del programa de 366 millones de pesos. Para 2007 la superficie asciende a 1.06 millones de ha con un monto de 1,12 millones de pesos. La superficie apoyada varía positivamente en 1.8%, mientras el monto lo hace en 207%. En 1991 los estados con más beneficio por el programa por estado son San Luis Potosí, Yucatán y Durango, para ningún caso el monto de apoyo supera los 512 pesos por ha; para 2007 los más beneficiados son el Distrito Federal, Yucatán y Oaxaca, en ningún caso el monto supera los 1,410 pesos por ha. Los estados que perciben un mayor aumento en beneficios son Nuevo León con un aumento de 17 veces, Oaxaca con 6.6 veces y Tamaulipas con 4.4 veces más.

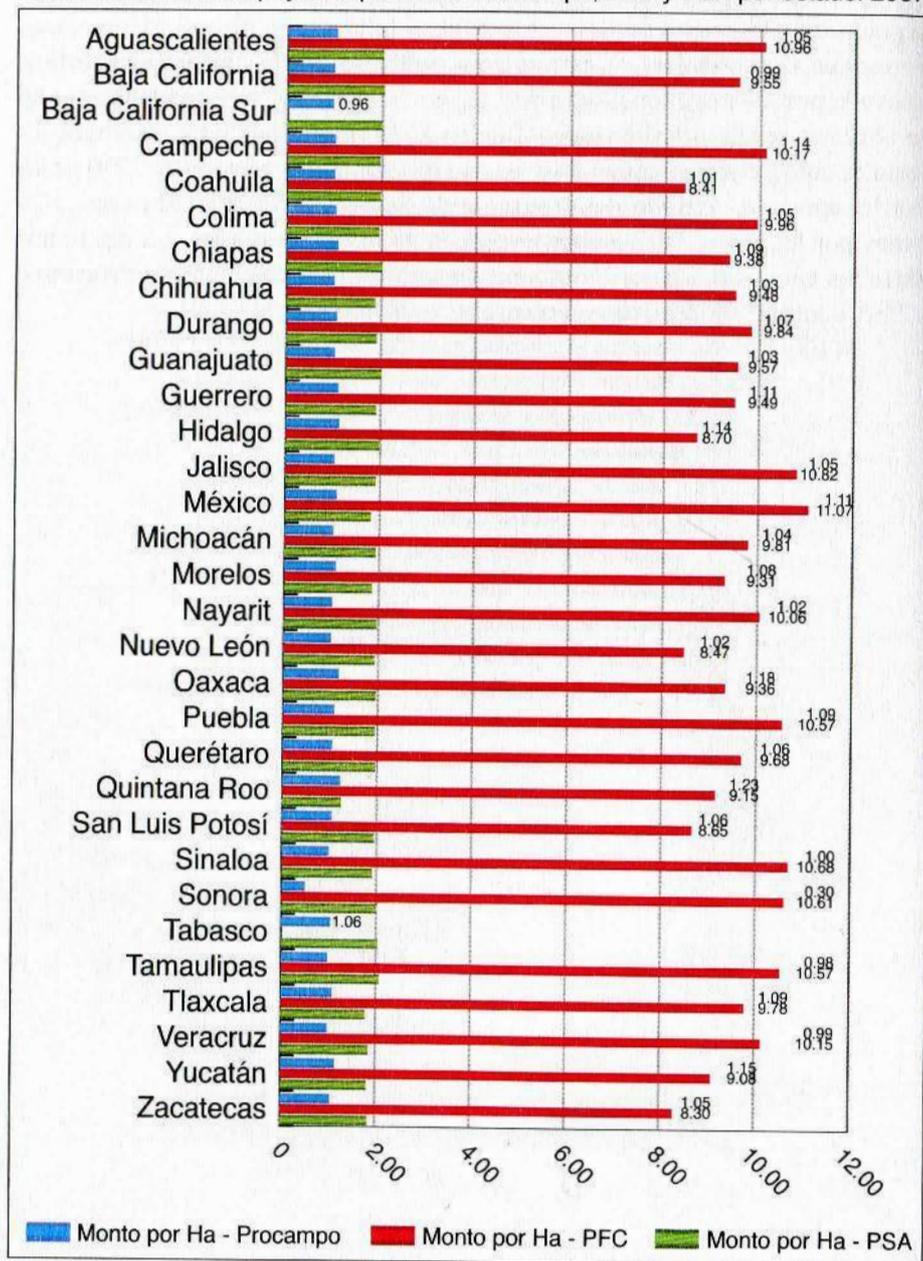
Gráfica 33: Montos apoyados por ha en ProCampo por estado, 1991 y 2007.



Fuente: Elaboración propia con datos los Anuarios Estadísticos de los Estados, 1991 y 2007.

En 2007 el programa con mayor cantidad de recursos fue Procampo, seguido del Programa de Servicios Ambientales y por último Plantaciones Forestales Comerciales, en este mismo orden se puede ubicar la superficie apoyada por los distintos programas. Al analizar los montos apoyados por ha se obtienen resultados diferentes Cuadro 17, el programa de Plantaciones forestales comerciales es quien da los más altos beneficios por ha, de 9,710 pesos por ha apoyada, seguido del programa de Servicios Ambientales con 1,920 pesos por ha, y finalmente Procampo con 1,040 pesos por ha. La diferencia entre los apoyos por ha es bastante grande entre los programas de Procampo y PSA contra PFC, aproximadamente 8 veces más.

Gráfica 34: Montos apoyados por ha en ProCampo, PFC y PSA por estado. 2007



Fuente: Elaboración propia con datos los Anuarios Estadísticos de los Estados, 1991 y 2007, y CONAFOR.

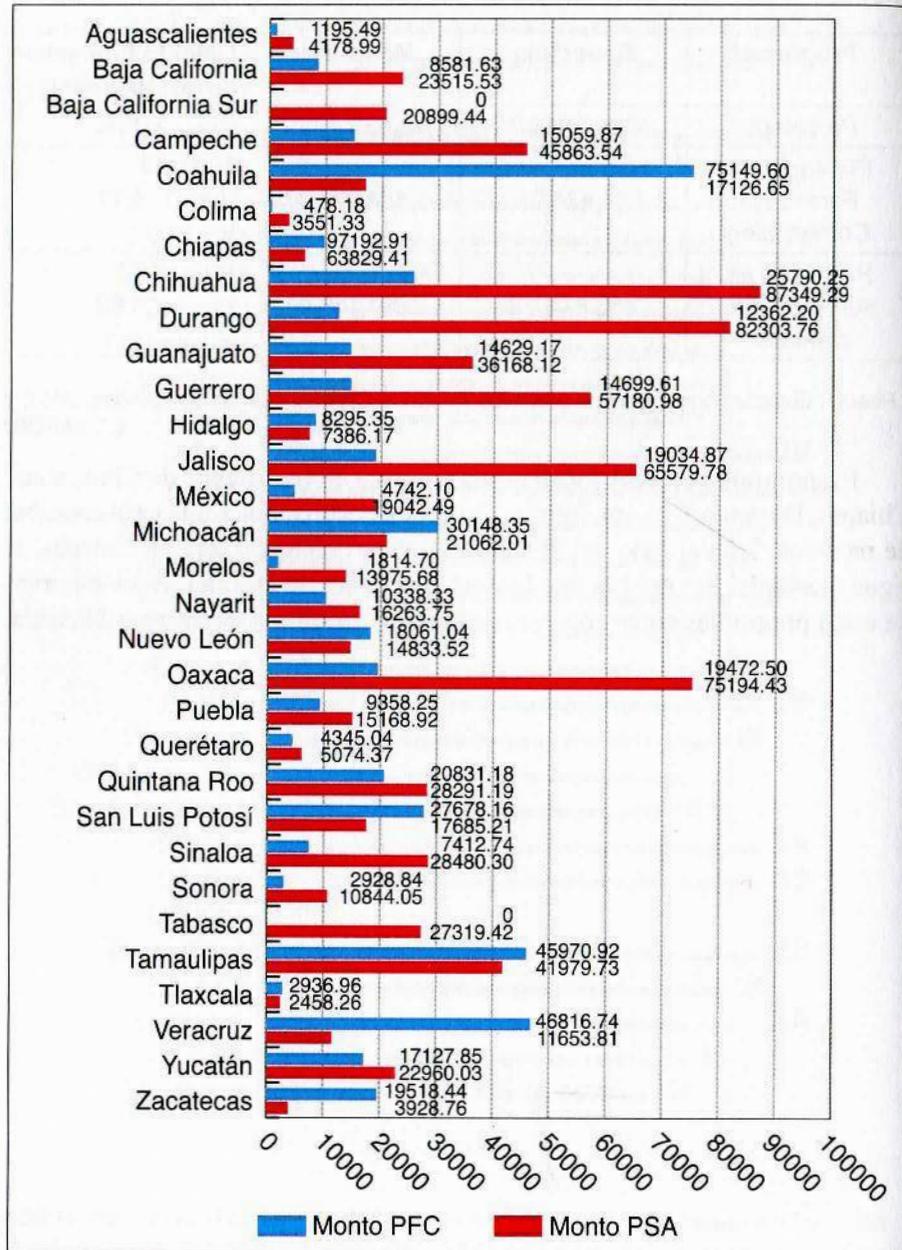
Cuadro 17 : Montos apoyados por ha en ProCampo, PFC y PSA por estado, 2007.

Programa	Superficie	Monto Total	Monto Promedio Por Ha (miles)
Procampo	14,191,944.31	13,830,435.74	1.04
Plantaciones Forestales Comerciales	61,824.21	581,971.26	9.71
Programa de Servicios Ambientales	466,643.28	891,148.92	1.92

Fuente: Elaboración propia con datos los Anuarios Estadísticos de los Estados, 2007, y CONAFOR.

EL programa de PSA focaliza sus recursos en los estados de Chihuahua, Chiapas, Durango, Oaxaca, Jalisco, Guerrero, destinándoles una gran cantidad de recursos. Para el caso del PFC la mayor participación está en Chiapas, le sigue Coahuila. Se observa que hay estados donde se otorgan pocos recursos de estos programas como son Aguascalientes, Colima, Querétaro y Tlaxcala.

Gráfica 35: Montos de programas de apoyo forestal, 2007.

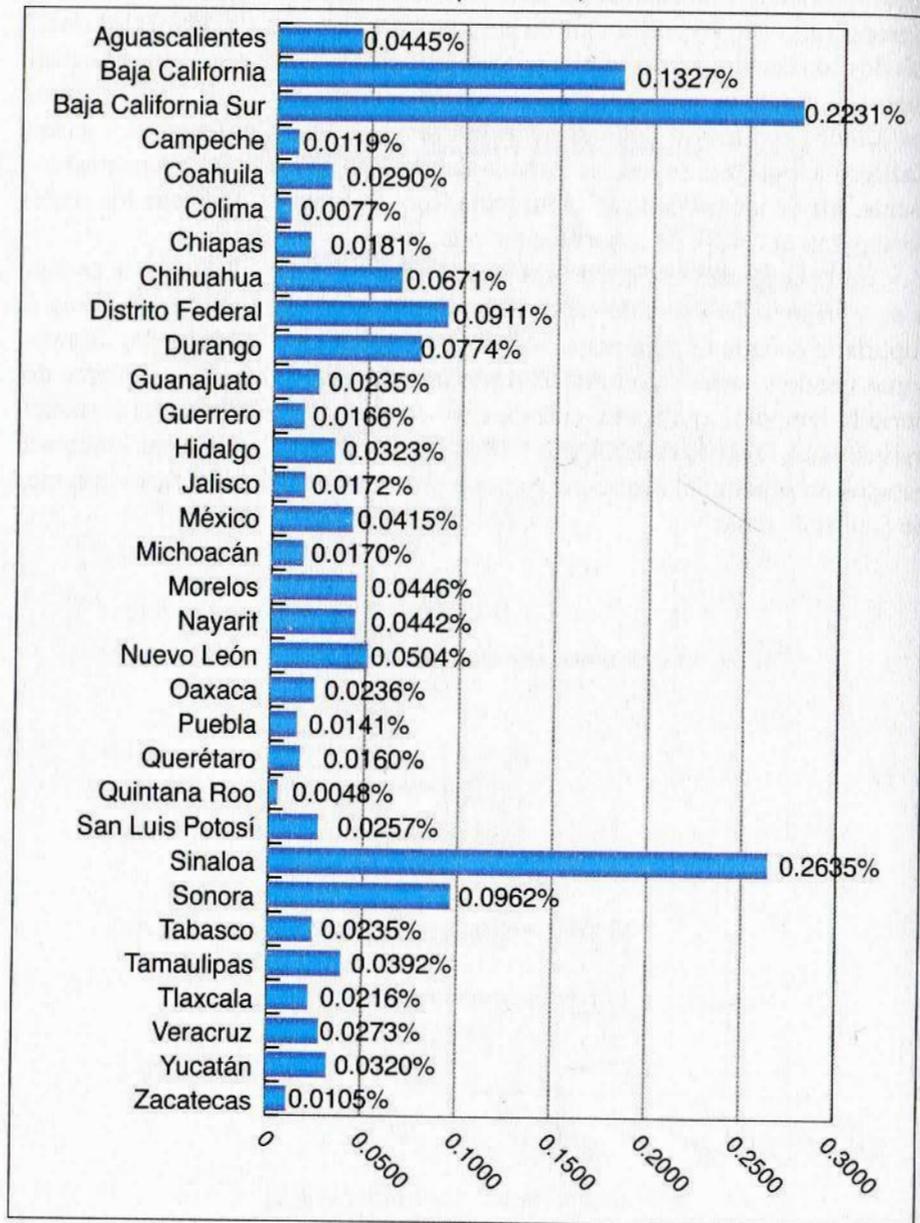


Fuente: Elaboración propia con datos de CONAFOR.

La calidad del suelo incluye la superficie dañada, ya sea por erosión o ensalitramiento de la tierra, en este caso sólo para 2007 se reportó en el Censo Agropecuario, como proporción de la superficie total de las unidades productivas de cada estado. Como primer punto es necesario señalar que ningún estado supera el medio punto porcentual de superficie dañada, como segundo punto los estados con mayor daño al suelo son Sinaloa, Baja California Sur y Baja California, con una superficie dañada del 0.26%, 0.22% y 0.13% respectivamente, los de menor daño son Quintana Roo, Colima y Campeche los cuales no superan el 0.02% de superficie dañada.

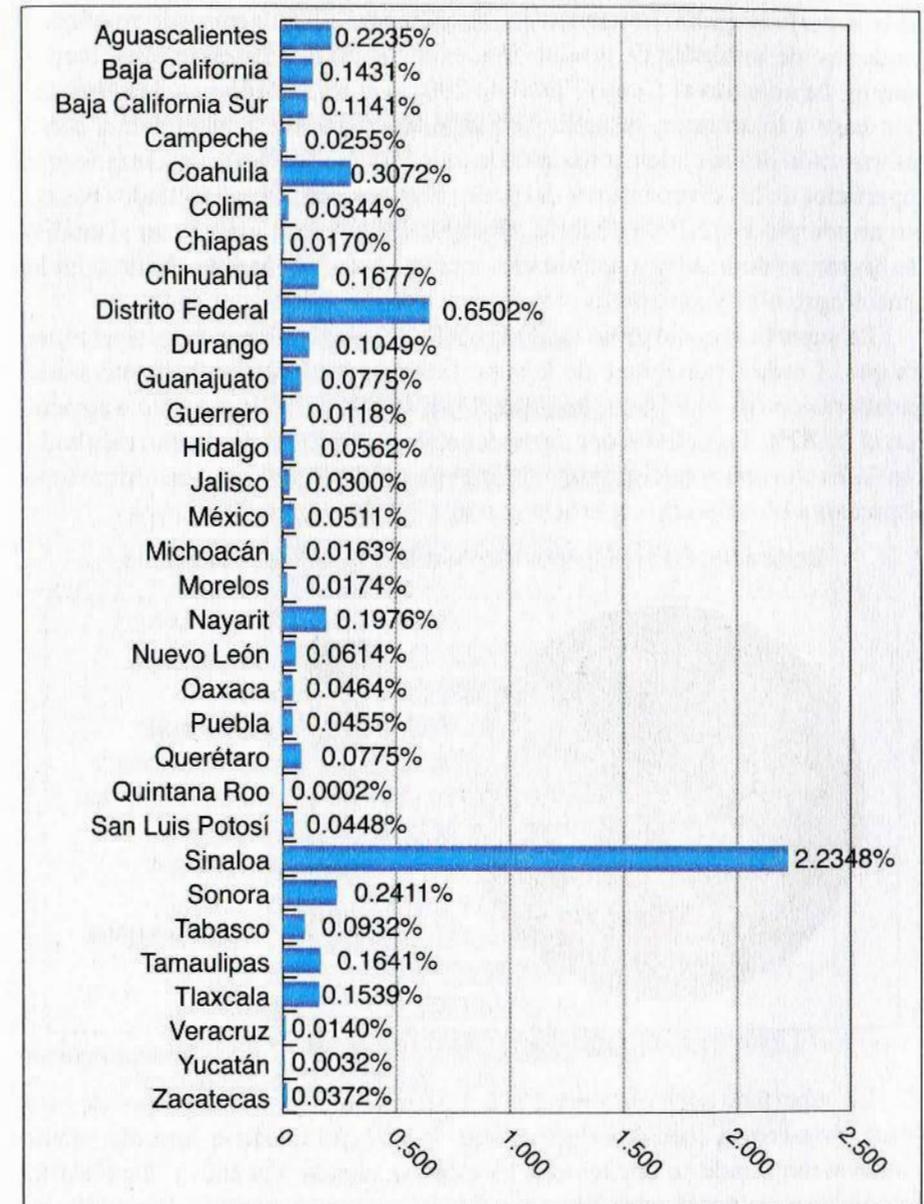
En la Gráfica 37 se encuentra la superficie de suelo dañada por erosión o ensalitramiento con más de 5 años de presentar daño, en estos casos la superficie dañada es superior a la dañada de solamente hasta 5 años. Sinaloa sigue siendo el estado con mayor superficie dañada, independientemente del periodo temporal analizado, en este caso este estado se separa del siguiente más dañado, Distrito Federal, por 1.58 puntos porcentuales mientras los demás estados no superan el medio punto porcentual al tomarse superficies con más de 5 años de daño.

Gráfica 36: Porcentaje de suelo con problemas de erosión y ensalitramiento de hasta 5 años por estado, 1991.



Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 2007.

Gráfica 37: Porcentaje de suelo con problemas de erosión y ensalitramiento de hasta 5 años por estado, 2007.

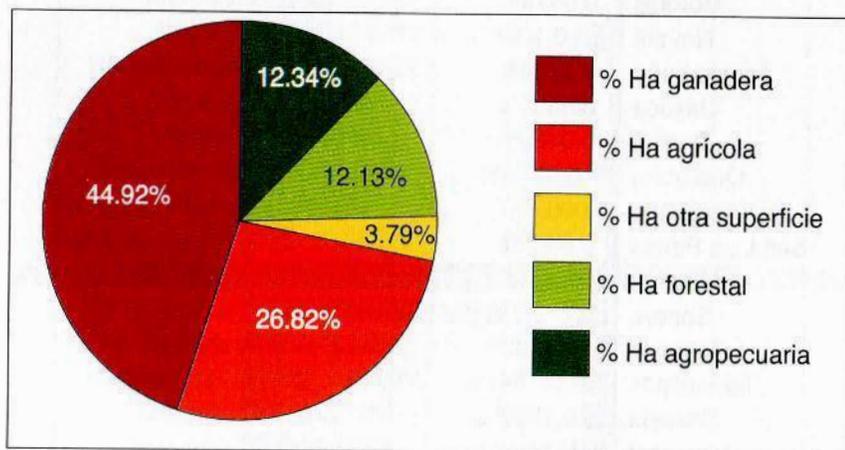


Fuente: Elaboración propia con datos del Censo Agropecuario 1991 y 2007.

Los censos agrícolas y ganaderos de 1991 y 2007 incluyen en sus estadísticas datos relacionados a la propiedad ejidal, pero no incluyen la totalidad de la superficie ejidal, únicamente consideran la información que se encuentra dentro de unidades de producción, excluyendo la propiedad ejidal de uso común, de acuerdo al Censo Ejidal de 2007 son 69.30 millones de hectáreas. Con base a lo anterior, se realizó un análisis de forma independiente con la información de los ejidos, utilizando la única fuente que permite identificar las superficies de los diversos usos del suelo: Núcleos Agrarios, Tabulados básicos por municipio 1992-2006 de INEGI,⁹ con la finalidad de incorporar al análisis las hectáreas dedicadas a actividades forestales que no se consideraron en los censos agrícolas y ganaderos.

La superficie ejidal tomada de los núcleos agrarios a nivel municipal muestra que el mayor porcentaje de la superficie ejidal es destinada a actividades ganaderas con el 44.92%, en segundo lugar se encuentra la superficie agrícola con el 26.82%, las actividades agropecuarias y forestales presentan resultados similares con una participación de alrededor del 12% cada una, en último lugar se presenta otro tipo de superficie con el 3.79% (Gráfica 38).

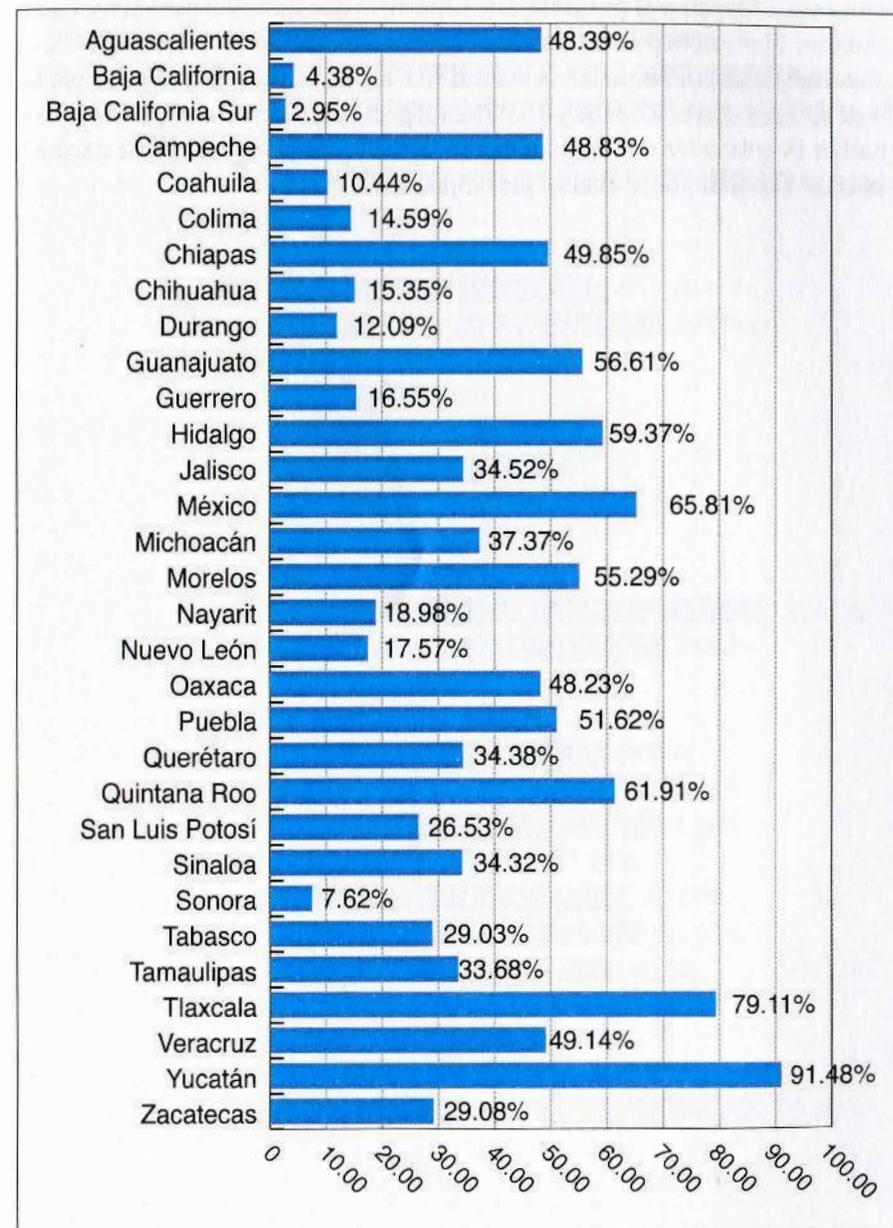
Gráfica 38: Porcentaje por tipo de superficie ejidal, 1992-2006.



Fuente: Elaboración propia con datos de los Núcleos Agrarios.

La superficie agrícola a nivel ejidal permite observar dos grupos de estados, el primero en el cual se destina más del 40% a superficie agrícola, misma clasificación donde se encuentran 13 estados, siendo Yucatán y Tlaxcala los más altos con superficies de 91.48% y 79.11% respectivamente. El segundo con 19 estados, los cuales dedican menos del 40% de su superficie a actividades agrícolas, donde Baja California y Baja California Sur dedican menos del 5%.

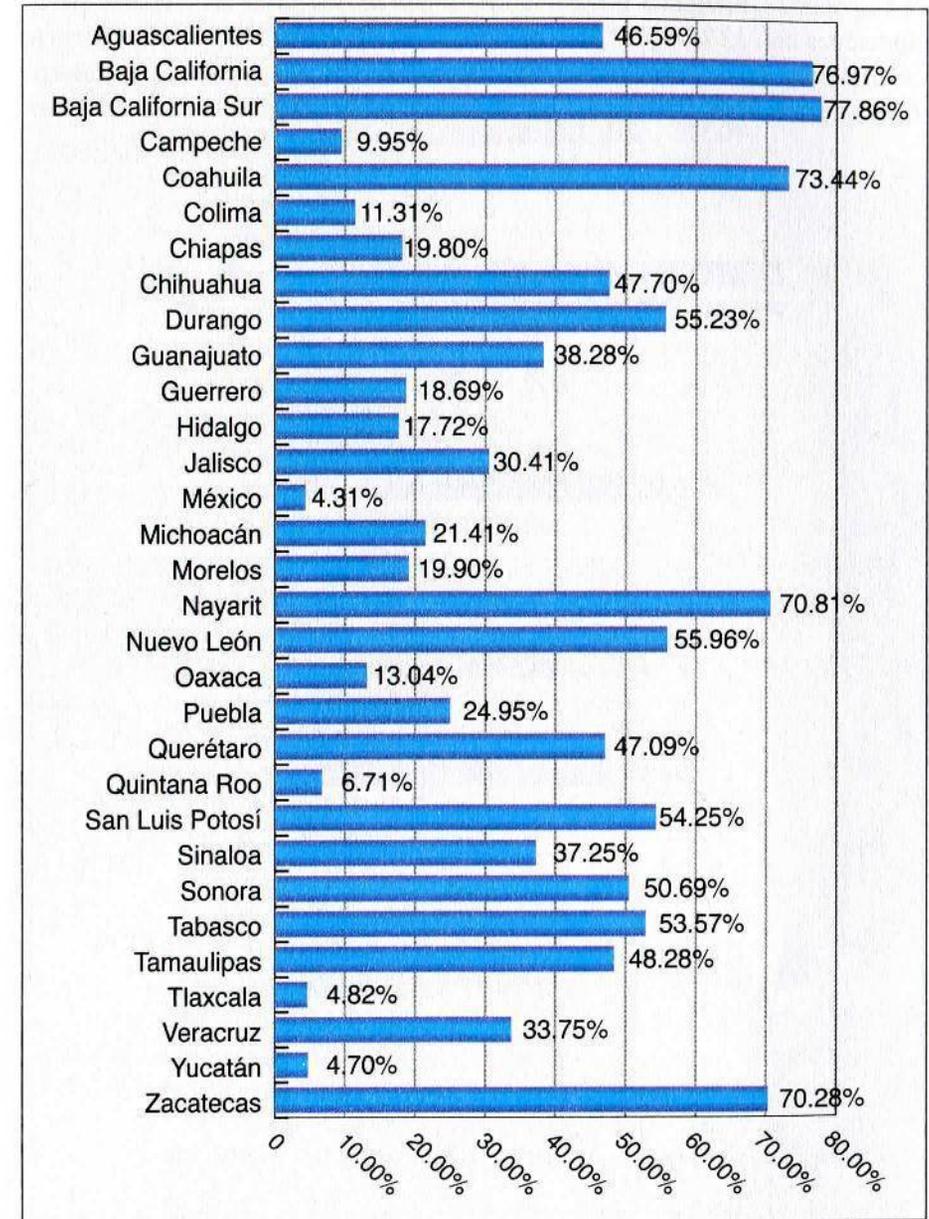
Gráfica 39: Porcentaje por superficie agrícola ejidal por estado, 1992-2006.



Fuente: Elaboración propia con datos de los Núcleos Agrarios.

Al considerar sólo la superficie ganadera ejidal se pueden obtener grupos contrastantes respecto al porcentaje de superficie que destinan para actividades ganaderas. El primero donde se ubican 18 entidades que dedican más del 30% de su superficie a tales actividades, siendo Baja California Sur y Baja California las más dedicadas con el 77.86% y 76.97%, respectivamente. Y el segundo donde se hallan 14 entidades que ocupan menos del 30% de su superficie, destacando México y Yucatán por su menor participación.

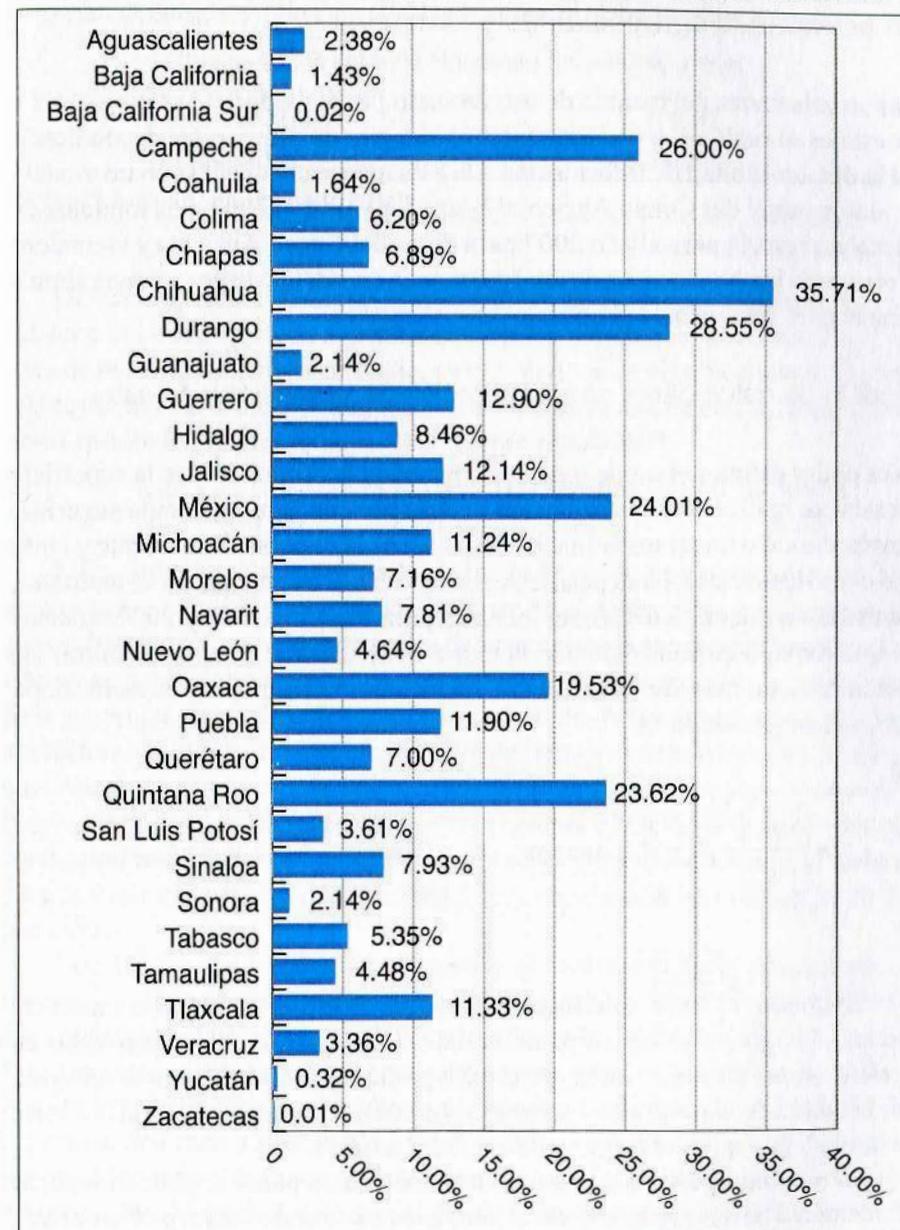
Gráfica 40: Porcentaje por superficie ganadera ejidal por estado, 1992-2006.



Fuente: Elaboración propia con datos de los Núcleos Agrarios.

La superficie ejidal dedicada a actividades forestales fue de 10.89 millones de ha, donde Chihuahua y Durango es donde se observan las mayores participaciones con 35.71% y 28.55% respectivamente. Para este tipo de superficie ejidal la mayoría de los estados ocupa menos del 15%, en el peor caso Zacatecas dedica solamente el 0.01% para tal actividad, siguiéndole Baja California Sur.

Gráfica 41: Porcentaje por superficie forestal ejidal por estado, 1992-2006.



Fuente: Elaboración propia con datos de los Núcleos Agrarios.

5.2.2 Escenarios de descarbonización por cambio de uso de suelo, en actividades agropecuarias y forestales

Las simulaciones del cambio de uso de suelo por actividades agropecuarias y forestales se realizaron con diferentes estrategias de estimación, dependiendo de la disponibilidad de información. De esta manera se cuenta con un modelo de datos panel del Censo Agrícola y ganadero 1991 y 2007, dos modelos de sección cruzada para el año 2007 para datos del Censo Agrícola y Ganadero y otro para los Núcleos Agrarios-Ejidal y dos modelos de ecuaciones simultáneas para los mismos grupos.

Modelo de datos panel de la proporción de la superficie forestal

Para poder estimar el modelo de datos panel de la proporción de la superficie forestal se realizó la transformación de acuerdo con la metodología sugerida, llevando a cabo una transformación logística de la variable dependiente y tanto ella como las variables independientes están calculadas en logaritmos naturales, tomando en cuenta 2,670 observaciones para los años 1991 y 2007; además de que tomado en consideración la teoría económica se buscan encontrar las relaciones que más significativas se muestran en la siguiente especificación del modelo (ecuación 6):

(6)

$$\ln \left[\frac{sf_{it}}{1-sf_{it}} \right] = \beta_0 + \beta_1 * lwagroi_{it} + \beta_2 * lmha_pc_{it} + \beta_3 * lymad_{it} + u_{it}$$

(-) (-) (+)

En donde $\ln \left[\frac{sf_{it}}{1-sf_{it}} \right]$ es el logaritmo natural de la proporción de la superficie forestal, $lwagroi$ es el logaritmo natural de la suma de los valores agrícolas en el ciclo otoño-invierno, $lmha_pc$ es el logaritmo natural del monto apoyado por hectárea en el programa Procampo, $ymad$ es el logaritmo natural del valor de la madera y u_{it} es el término de error del modelo.

Al realizar la estimación de modelos con datos panel se pueden realizar básicamente de dos formas, es decir, mediante efectos aleatorios o efectos fijos, los cuales buscan saber si los coeficientes son consistentes y si las variables utilizadas en el modelo son relevantes, entonces, para poder decidir si el mo-

delo se estima por efectos aleatorios o fijos se realiza la prueba o contraste de Hausman (Johnston y Dinardo, 2001) obteniendo el siguiente resultado:

Cuadro 18 : Prueba de Hausman del modelo Panel.

Estadístico $\chi^2(3)$	102.67
Probabilidad	0.000*
Nota: (*) Indica rechazo de la hipótesis nula.	

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con el Cuadro 18 el contraste de Hausman mediante su estadístico chi-cuadrada con 3 grados de libertad indica que se encuentra en la zona de rechazo de la hipótesis nula, ya que su nivel de significancia es menor a 0.05, por lo cual el modelo mejor especificado es mediante efectos aleatorios, cuyos resultados se presentan en la siguiente ecuación.¹⁰

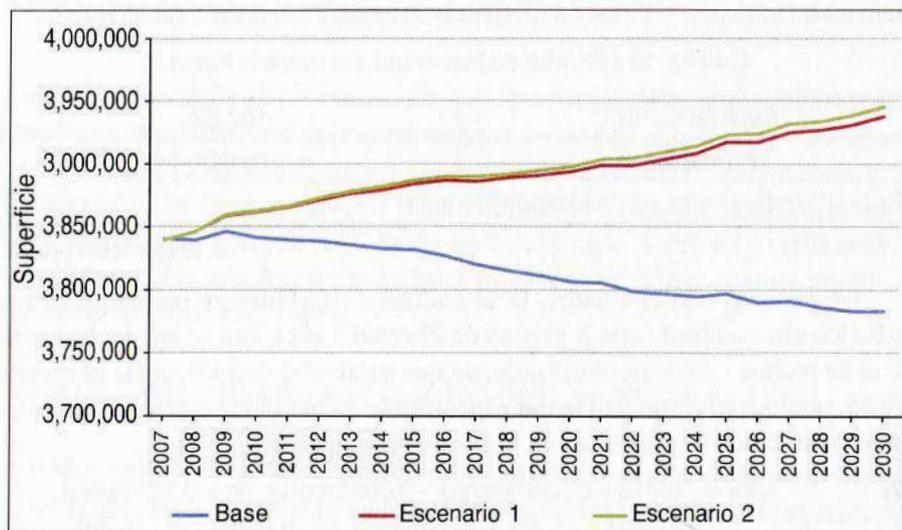
$$(7) \quad lyfor = -5.010 - 0.536 * lwagroi - 0.0055 * lmha_pc + 0.112 * lymad$$

(-10.99) (-1.77) (-1.21) (5.03)

Los resultados obtenidos en la ecuación (7) indican significancia en los parámetros a un nivel de 5 y 10 por ciento de nivel de significancia, además de que se obtuvieron los sentidos correctos de acuerdo con la teoría económica ya que ante un aumento de una unidad porcentual en los valores agrícolas la proporción de la superficie forestal tendrá una disminución de -0.536 puntos porcentuales, también se obtuvo que el aumento del valor de la madera tiene un efectos positivo que incentiva el aumento de la superficie forestal, finalmente para el caso del apoyo por hectárea proporcionado por el programa PROCAMPO se obtuvo un coeficiente relativamente bajo pero significativo y que puede ser un incentivo para realizar el cambio de uso de suelo de forestal hacia la producción agropecuaria.

Con base a los resultados anteriores se realizaron simulaciones de la trayectoria de la superficie forestal bajo el escenario base¹¹ y considerando dos escenarios alternativos en donde se reducen los incentivos del programa Procampo en 1.5% y 3%. Los resultados se muestran en la Gráfica 42 y Cuadro 19. Donde se observa que de seguir igual, sin cambiar los incentivos, la superficie dedicada a la actividad forestal disminuye en 1.4%. Al ir disminuyendo el incentivo de Procampo, los productores tienen incentivos a cambiar a la actividad forestal, con lo que se puede incrementar la superficie hasta en un 4% respecto al 2007.

Gráfica 42. Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030.



Notas: Los escenarios son los siguientes:

- BASE = *wagro* = pronosticado, *ymad* = 0.5% y *procampo* = 0.0%
- ESCENARIO 1 = *wagro* = pronosticado, *ymad* = 2.0% y *procampo* = -1.5%
- ESCENARIO 2 = *wagro* = pronosticado, *ymad* = 2.0% y *procampo* = -3.0%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 19. Resumen de simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030.

Base	Años	Hectáreas	% Reducción
	2007	3,840,254	
2010	3,841,966		0.045
2020	3,807,167		-0.862
2030	3,783,528		-1.477
Escenario 1	Hectáreas	Hectáreas aumentadas	% Reducción *
	3,840,254		
	3,862,059	-20,093	0.523
	3,894,205	-87,037	2.286
3,937,905	-154,376	4.080	
Escenario 2	Hectáreas	Hectáreas aumentadas	% Reducción
	3,840,254		
	3,863,035	-21,069	0.548
	3,898,470	-91,303	2.398
3,945,540	-162,011	4.282	

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de sección cruzada de la proporción de la superficie forestal, Censo Agrícola y ganadero 2007

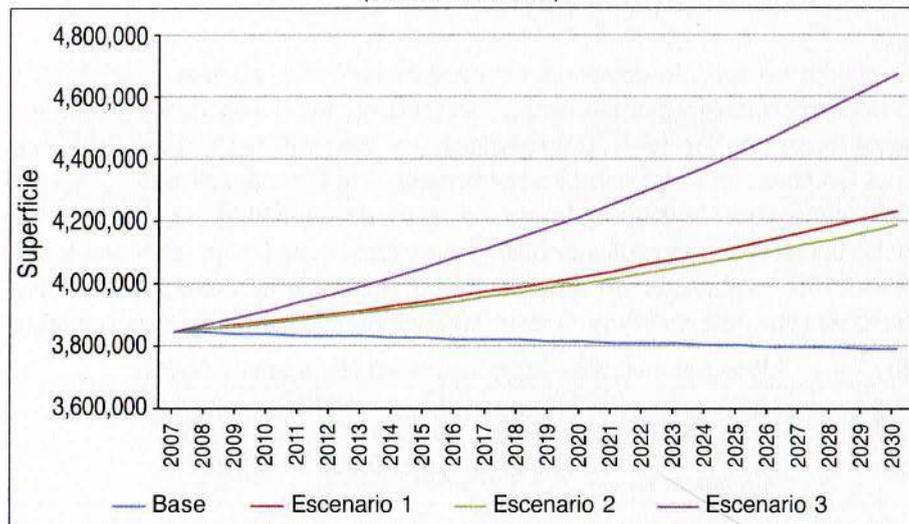
Se estimó un modelo de sección cruzada, con 2,403 observaciones a nivel municipal, el cual busca capturar principalmente los efectos de los programas como Pagos por Servicios Ambientales (*mha_psa*) y el de Plantaciones Forestales Comerciales (*mha_pfc*), los rendimientos de la producción agrícola en el ciclo otoño-invierno (*ragroi*), los rendimientos del ganado (*rgan*), la proporción de las hectáreas erosionadas de hasta 5 años (*ert*), que afectan la proporción de la superficie de bosque y/o selvas entre las el cambio de uso de suelo a nivel nacional (*bos_tot*), entonces el resultado del modelo estimado es el siguiente:

$$(8) \quad \text{lbs_tot} = -4.898 - 0.038 * \text{Iragroi} - 0.254 * \text{Irgan} - 0.004 * \text{Iert} \\ \quad \quad \quad (-13.10) \quad (-0.45) \quad (-3.86) \quad (-0.11) \\ \quad \quad \quad + 0.352 * \text{Imha_psa} + 0.068 * \text{Imha_pfc} \\ \quad \quad \quad (3.60) \quad (4.08)$$

Los resultados indican significancia en la mayoría de las variables utilizadas y en donde se observa que para los casos de *mha_psa* y *mha_pfc* los coeficientes estimados son positivos y estadísticamente significativos.

Con los resultados anteriores se realizaron proyecciones de la superficie forestal, los resultados se sintetizan en Gráfica 43 y Cuadro 20. Bajo el escenario base, en concordancia con el modelo anterior, la superficie forestal disminuye en 1.33%, al considerar un incremento paulatino en los programas que fomentan el cambio de uso de suelo hacia la actividad forestal se observa que se puede generar un incremento en la superficie dedicada a esta actividad de hasta 23% al 2030 considerando un incremento en ambos programas considerados.

Gráfica 43: Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030 Censo Agrícola (sección cruzada).



Notas: Los escenarios son los siguientes:

- Base = ragroi = 1.5%, pgran = 0.0%, ert = 0.5%, = psa = 0.0% y pfc = 0.0%
- Escenario 1 = ragroi = 1.5%, pgran = 0.0%, ert = 0.5%, = psa = 3.0% y pfc = 0.0%
- Escenario 2 = ragroi = 1.5%, pgran = 0.0%, ert = 0.5%, = psa = 0.0% y pfc = 3.0%
- Escenario 3 = ragroi = 1.5%, pgran = 0.0%, ert = 0.5%, = psa = 3.0% y pfc = 3.0%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 20 : Resumen de simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Censo Agrícola (sección cruzada).

Base	Años	Hectáreas	% Reducción
	2007	3,840,254	
	2010	3,833,512	-0.176
	2020	3,811,124	-0.759
	2030	3,788,867	-1.338
Escenario 1	Hectáreas	Hectáreas aumentadas	% Reducción
	3,840,254		
	3,851,045	-17,533	0.457
	4,018,452	-207,328	5.440
	4,229,742	-440,875	11.636

Escenario 2	Hectáreas	Hectáreas aumentadas	% Reducción
	3,840,254		
	3,869,560	-36,048	0.940
	3,995,690	-184,566	4.843
	4,180,109	-391,242	10.326
Escenario 3	Hectáreas	Hectáreas aumentadas	% Reducción
	3,840,254		
	3,886,074	-52,562	1.371
	4,213,058	-401,934	10.546
	4,666,509	-877,642	23.164

Modelo de sección cruzada de la proporción de la superficie forestal. Núcleos Agrarios-Ejidal

El siguiente modelo es una estimación de sección cruzada, con 2,146 observaciones a nivel municipal, donde la superficie forestal ejidal (forestot) está en función del rendimiento agrícola en el ciclo primavera-verano (ragrpv), de la superficie ensalitrada y erosionada de más de 5 años (ener5t), con la finalidad de ver la importancia de la calidad del suelo en las decisiones y de los programas de Pagos por Servicios Ambientales y de Plantaciones Forestales Comerciales (mha_psa y mha_pfc) y cuyos resultados se muestran a continuación.

$$(9) \quad \text{lforestot} = -4.753 - 0.322 \cdot \text{lrgrpv} - 0.140 \cdot \text{lener5t} + 0.316 \cdot \text{lmha_psa} + 0.011 \cdot \text{lmha_pfc}$$

(-6.38) (-1.65) (-1.85) (1.96)

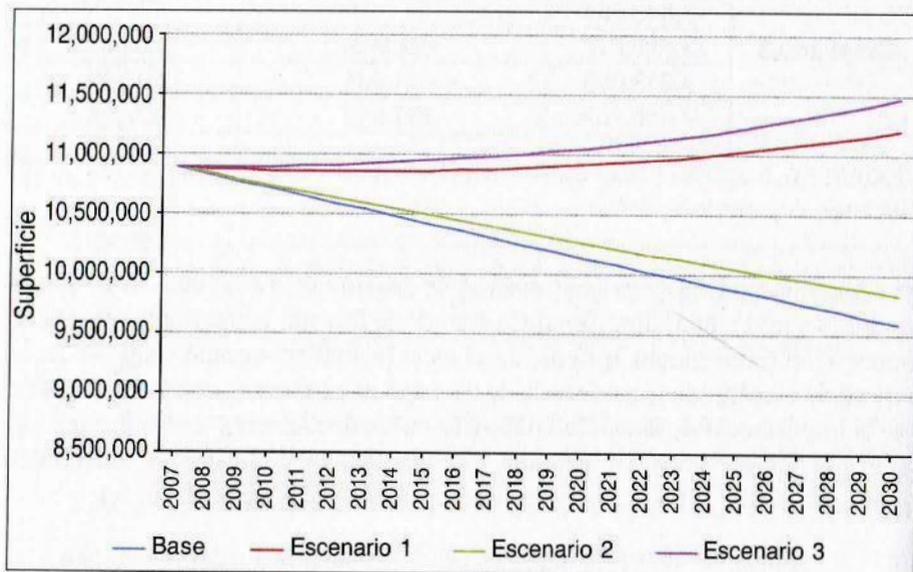
(0.39)

Los resultados de la ecuación (9) muestran que los signos esperados por la teoría económica se cumplen en la regresión estimada y donde un aumento en la proporción de los rendimientos agrícolas genera un impulso negativo en la superficie forestal de -0.322 por ciento, asimismo se presentan un impacto negativo ante aumentos en las superficies erosionadas y ensalitradas de -0.140, al contrario de los impactos positivos en los programas (0.316 por servicios ambientales y 0.011 por plantaciones forestales comerciales) lo cual es un apoyo para no realizar un cambio de uso de suelo de forestal a agrícola.

Las simulaciones de la superficie forestal ejidal indican que bajo el escenario base una reducción considerable alcanzando el 11.9%, lo cual es una cantidad de hectáreas considerable. Bajo los escenarios en los que se incrementan los apoyos del PSA y PFC se observa que esta tendencia se puede revertir e

incluso la superficie de hectáreas dedicadas al aprovechamiento forestal pueden presentar un incremento, alcanzando un aumento de casi 20% al 2030 con un incremento en ambos programas. Se observa que en los ejidos el PSA tiene una mayor influencia en la decisión del cambio de uso de suelo.

Gráfica 44: Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Núcleos Agrarios – Ejidal (sección cruzada).



Notas: Los escenarios son los siguientes:

- Base = ragrpv = 1.5%, ener5t = 0.5%, = psa = 0.0% y pfc = 0.0%
- Escenario 1 = ragrpv = 1.5%, ener5t = 0.5%, = psa = 3.0% y pfc = 0.0%
- Escenario 2 = ragrpv = 1.5%, ener5t = 0.5%, = psa = 0.0% y pfc = 3.0%
- Escenario 3 = ragrpv = 1.5%, ener5t = 0.5%, = psa = 3.0% y pfc = 3.0%

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 21 : Resumen de simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030. Núcleos Agrarios – Ejidal (sección cruzada)

Base	Años	Hectáreas	% Reducción
	2007	10,889,796	
2010	10,711,406		-1.638
2020	10,137,610		-6.907
2030	9,594,552		-11.894
Escenario 1	Hectáreas	Hectáreas aumentadas	% Reducción
	10,889,796		
	10,870,913	-159,507	1.489
	10,923,766	-786,156	7.755
11,205,378	-1,610,826	16.789	
Escenario 2	Hectáreas	Hectáreas aumentadas	% Reducción
	10,889,796		
	10,736,262	-24,856	0.232
	10,257,035	-119,424	1.178
9,830,907	-236,355	2.463	
Escenario 3	Hectáreas	Hectáreas aumentadas	% Reducción
	10,889,796		
	10,896,139	-184,733	1.725
	11,052,451	-914,841	9.024
11,481,415	-1,886,863	19.666	

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de ecuaciones simultáneas de las proporciones del uso de suelo, Censo Agrícola y ganadero 2007

Se realizaron modelos de ecuaciones simultáneas para el año 2007 en donde se busca estimar al mismo tiempo los efectos que se pueden presentar ante el comportamiento de las variables independientes sobre variables como superficie de labor, agostadero y forestal. En la ecuación (10.1) se estima la superficie de labor (lab_tot) que está en función del valor de la producción agrícola (wagro) y del monto apoyado por hectárea mediante el programa PROCAMPO, en donde se observan las relaciones correctas entre las variables, es decir se presentan efectos positivos sobre la superficie cuando aumenta el valor de la producción y los apoyos del programa.

Por otra parte se estimó la superficie de agostadero ($pyago_tot$), la cual depende de manera importante del valor del ganado ($wgan$) obteniendo un valor positivo de 0.025 unidades al aumentar un uno por ciento del valor (ecuación 10.2). Finalmente en la tercera ecuación (10.3) la superficie forestal (bos_tot) indica una relación significativa y positiva ante cambios en la producción de la madera e incrementos en los programas que apoyan dicha actividad (pago por servicios ambientales más plantaciones forestales comerciales) ($prgr$) coeficientes estimados de 0.015 y 0.154 respectivamente.

Ecuación superficie de labor:

$$(10.1) \quad lab_tot = 0.071 + 0.019*lwagroi + 0.271*lmha_pc$$

(1.96) (0.93) (0.47)

Ecuación superficie agostadero:

$$(10.2) \quad pyago_tot = 0.070 + 0.025*wgan$$

(1.52) (0.22)

Ecuación superficie forestal:

$$(10.3) \quad bos_tot = -0.501 + 0.015*lmad + 0.154*lprogr$$

(-1.76) (4.69) (1.33)

Nota: Los valores entre paréntesis representa los estadísticos z.

De acuerdo con las ecuaciones 10.1, 10.2 y 10.3 se realizaron simulaciones de 2007 al año 2030 donde se generaron escenarios base (ver Gráfica 45) y un escenario alternativo (ver Gráfica 46). En el caso de los escenarios base se observa que para el caso de las superficies de labor y forestal, ante un comportamiento constante de sus respectivos programas, muestran que influyen de manera significativa al aumentar la superficie de labor ya que depende del comportamiento del valor de la producción agrícola y una disminución de la superficie forestal ante una baja en el valor de la madera, lo cual indica que haya un incentivo a cambiar de uso de suelo de la superficie forestal a la agrícola. Para el caso de la superficie para agostadero se presenta un incremento muy significativo.

En los escenarios alternativos en la superficie de labor, ante una disminución del apoyo mediante el programa PROCAMPO se observa una disminución considerable para los siguientes veinte años, lo cual señala la relevancia de dicho programa; nuevamente la superficie de agostadero presenta un aumento para los siguientes años y en el caso de la superficie forestal se muestra la importancia de incentivar este sector ya que los programas influyen de manera determinante.

Para estimar el contenido de carbono en el suelo se utilizaron las estimaciones de Segura-Castruita *et al.* (2005) con el contenido del carbono orgánico en el suelo en México de acuerdo al uso de suelo está (Cuadro 22). En la Gráfica 46, se presenta el comportamiento de los escenarios base y alternativo de la superficie total con su respectiva captura de carbono de la tierra; ya que en el caso del escenario alternativo cuando hay incentivos a mejorar el sector forestal la captura es mucho mayor ya que puede llegar a registrar valores por arriba de 25 millones de Mg ha⁻¹ como diferencia con respecto al escenario base.

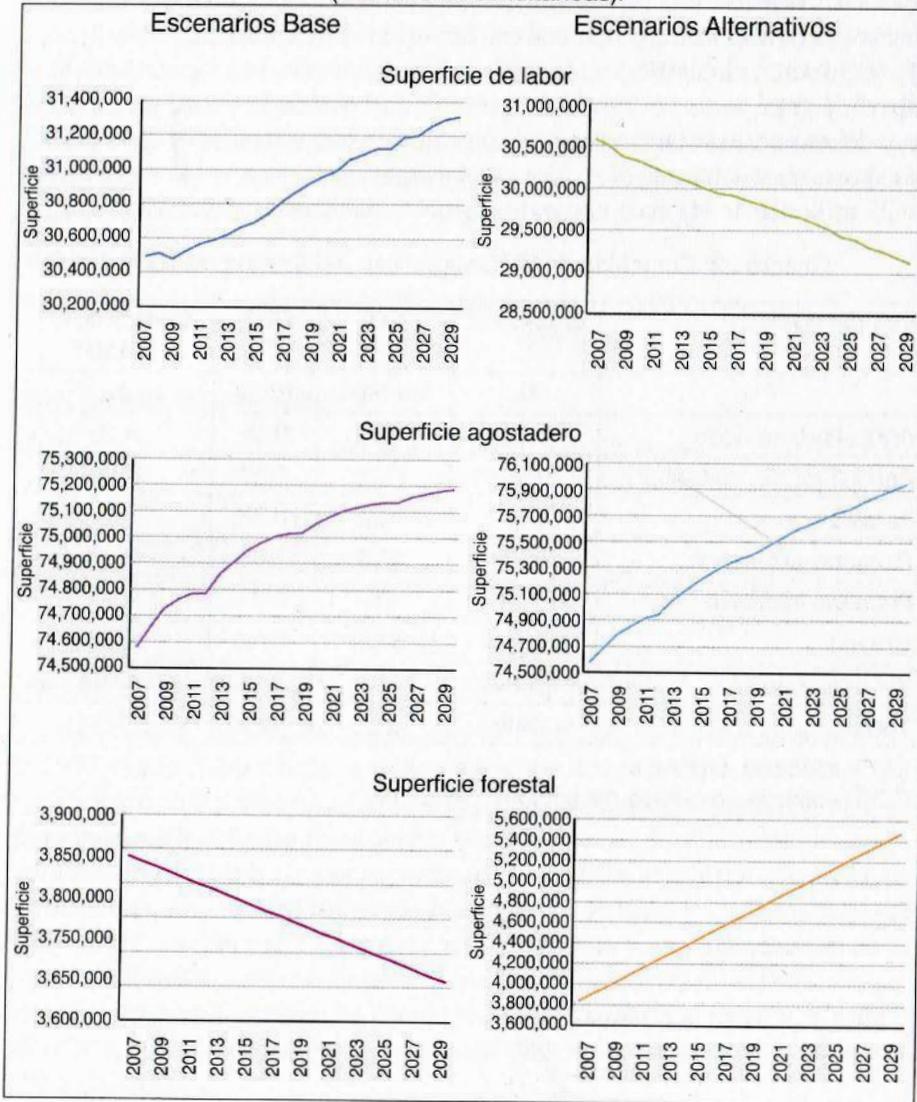
Cuadro 22: Contenido de COS según uso del suelo en México.

Uso del suelo	Extensión	CO	COS	Contribución al total
	%	Mg ha ⁻¹	Pg C	%
Agricultura de riego	6.41	40.8	0.51	4.76
Agricultura de temporal	15.92	71.2	2.22	20.66
Forestal	4.91	76.2	0.73	6.83
Pecuario extensivo	21.03	42.8	1.66	16.41
Pecuario intensivo	0.18	80.6	0.03	0.27
Urbano	0.54	54.5	0.06	0.53
Sin uso aparente	51.01	54.3	5.33	50.54
Total	100		10.5	100

CO = carbono orgánica;
COS = carbono orgánico del suelo

Fuente: Segura-Castruita *et al.* (2005).

Gráfica 45: Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Censo Agrícola (ecuaciones simultaneas).



Notas:

Escenario Base:

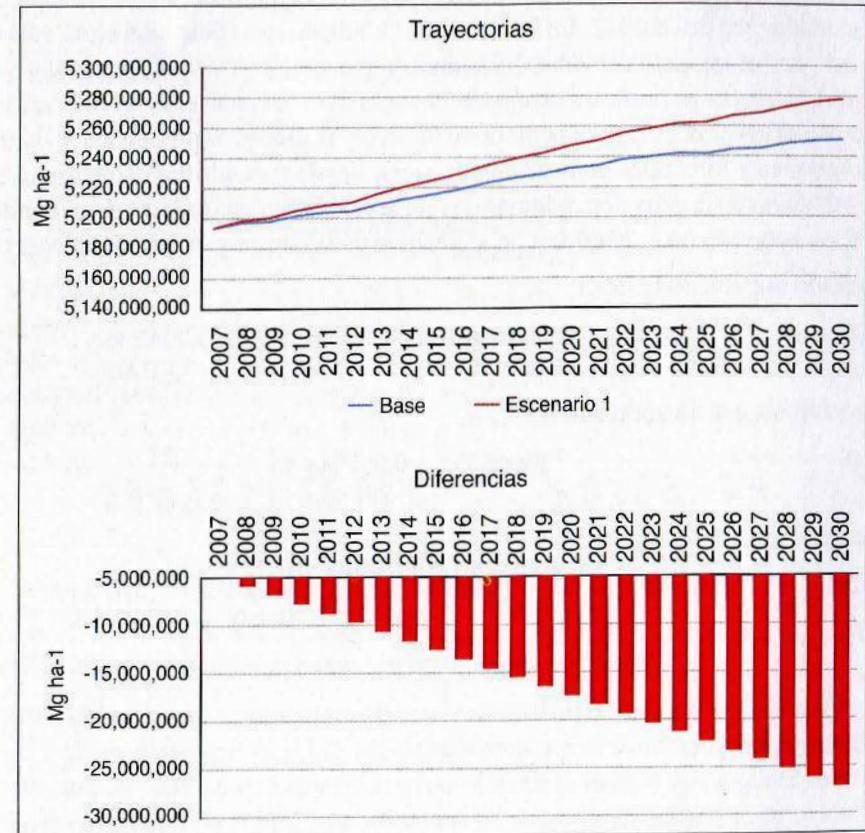
- Labor: = wagroi = pronosticado y pc = 0.0%
- Agostadero: wgan = pronosticado
- Forestal: ymad = -1.0% y programas (psa y pfc) = 0.0%

Escenario Alternativo:

- Labor: wagroi = pronosticado y pc = -0.5%
- Agostadero: residual
- Forestal: ymad = -1.0% y programas (psa y pfc) = 1.0%

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 46: CO orgánico en el suelo bajo los escenarios de modelo ecuaciones simultaneas, Censo agrícola.



Fuente: Elaboración propia.

Modelo de ecuaciones simultáneas de las proporciones del uso de suelo, Núcleos Agrarios-Ejidal

De acuerdo con las ecuaciones simultáneas para la superficie de los ejidatarios, en el caso de la superficie de labor ($agri_tot$) se observa un efecto positivo ante cambios en el valor de la superficie agrícola en el ciclo primavera verano ($wagrpv$) y en el apoyo del programa PROCAMPO (mha_pc) de 0.015 y 0.295 respectivamente, así como un efecto negativo originado por la superficie erosionada (ert) de -0.0042. En la ecuación 11.2 de la superficie para agostadero ($pyago_tot$) el impacto del valor del ganado sigue siendo positivo y significativo ($wgan$). Por otra parte la ecuación de la superficie forestal (bos_tot) muestra efectos positivos del valor de la madera ($wmad$) y del los programas de servicios ambientales y forestales comerciales ($progr$), siendo este último el que tiene el mayor efecto en la ecuación, además de que se presentan un impacto decreciente ante un aumento en la cantidad de superficie ensalitrada y erosionada ($enert$).

Ecuación superficie de labor:

$$(11.1) \quad agri_tot = 0.015 * lwagrpv + 0.295 * lmha_pc - 0.0042 * lert$$

(3.08) (0.96) (-0.48)

Ecuación superficie agostadero:

$$(11.2) \quad pyago_tot = 0.019 * lwgan$$

(10.73)

Ecuación superficie forestal:

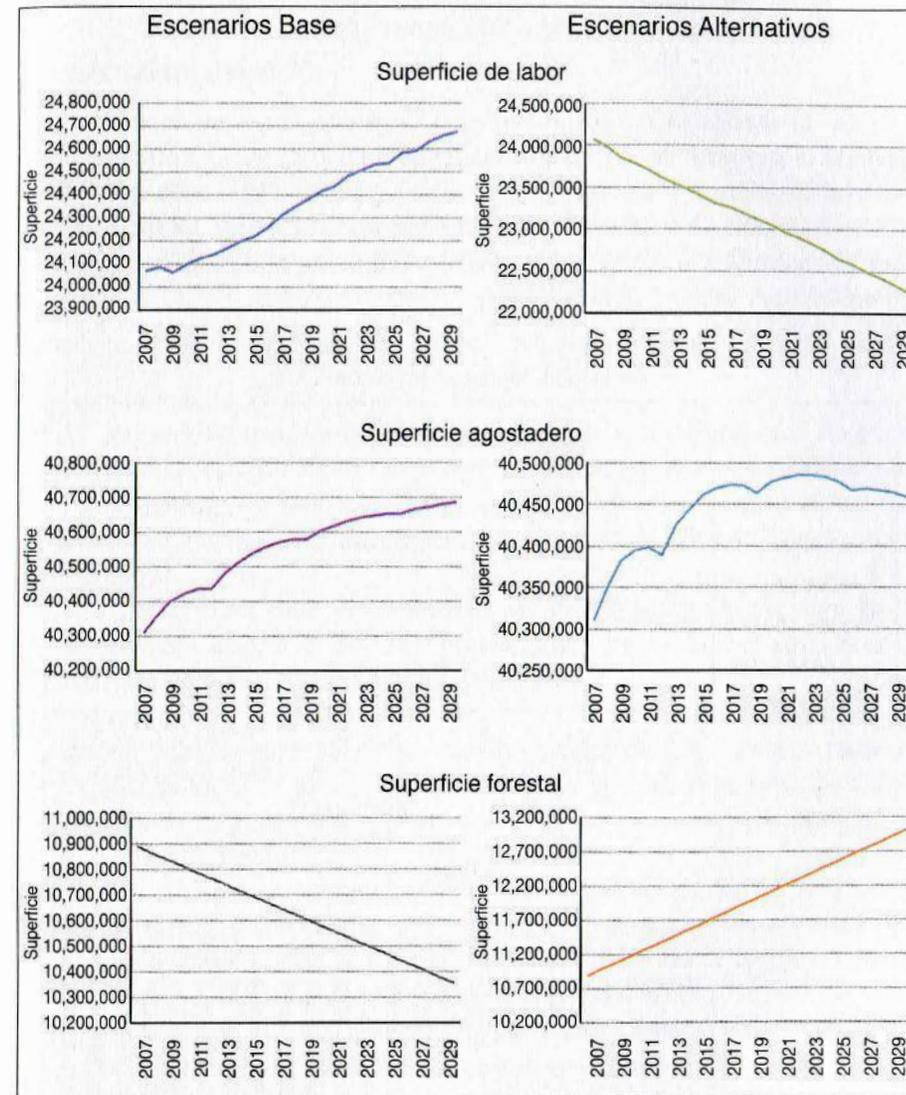
$$(11.3) \quad bos_tot = -0.500 + 0.003 * lwmad + 0.145 * lprogr - 0.026 * lenert$$

(-0.83) (1.53) (1.64) (-1.69)

Nota: Los valores entre paréntesis representa los estadísticos z.

Con base a los resultados de los modelos de ecuaciones simultáneas se realizaron proyecciones del comportamiento del uso del suelo en sus tres grandes categorías, bajo el escenario base se observa que, tanto la superficie de labor, como la de agostadero se incrementan, mientras que la superficie dedicada a la actividad forestal disminuye (Gráfica 47). Al incorporar medidas de política como incrementos en PSA y PFC, así como una disminución en Procampo se observa que las tendencias se pueden modificar, particularmente se puede generar un incremento en la superficie forestal y una disminución en la superficie de labor, la superficie de agostadero no presenta cambios en su superficie, como consecuencia de que no se incorporó ninguna política que incida en este subsector.

Gráfica 47: Simulaciones de la superficie forestal: 2007-2030, Núcleos Agrarios-Ejidal (ecuaciones simultáneas).



Notas:

Escenario Base:

- Labor: $wagro_i$ = pronosticado, $pc = 0.0\%$ y $ert = -0.5\%$
- Agostadero: $wgan$ = pronosticado
- Forestal: $ymad = -1.0\%$, $progr = 0.0\%$ y $enert = 0.5\%$

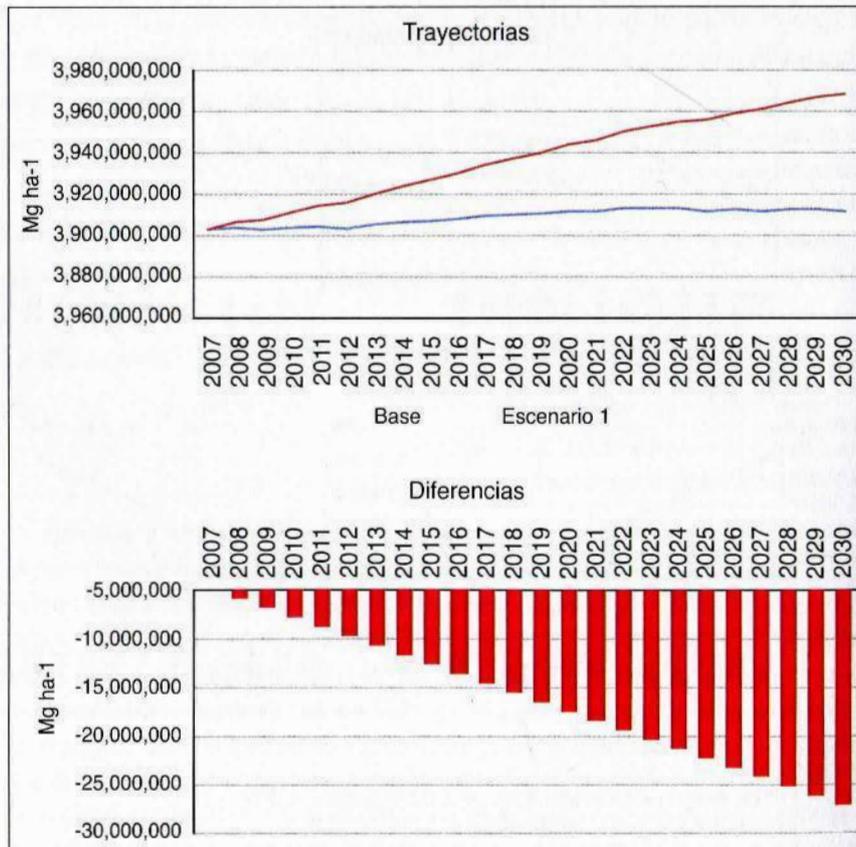
Escenario Alternativo:

- Labor: $wagroi = \text{pronosticado}$, $pc = -0.5\%$ y $ert = -0.5\%$
- Agostadero: residual
- Forestal: $ymad = -1.0\%$, $progr = 1.0\%$ y $enert = 0.5\%$

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados referentes al Carbono Orgánico almacenado en el suelo, haciendo el supuesto de la transformación de un uso de suelo a otro se genera de forma inmediata, y con base a las estimaciones de Segura-Castruita *et al.* (2005), se obtiene un incremento considerable en el carbono en el suelo, debido a que se sustituyen superficies con bajo contenido (agrícola) a superficies de alto contenido (forestal) (Gráfica 48).

Gráfica 48: CO orgánico en el suelo bajo los escenarios de modelo ecuaciones simultaneas, Núcleos Agrarios-Ejidal



Fuente: Elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

- Existe amplia evidencia científica de que el proceso de Cambio de Uso de suelo en los ecosistemas modifica el equilibrio del carbono, lo que puede derivar en liberación GEI, pero también en captura. Hoy en día, la pérdida de cobertura forestal ha variado de un tercio a casi la mitad en comparación con el inicio de la humanidad (Noble y Dirzo 1997; Cincotta *et al.*, 2000) siendo las actividades humanas la principal fuente de su deterioro y transformación (Vitousek *et al.*, 1997).
- El proceso de cambio de uso de suelo tiene la característica de poder derivar en contribuciones de cero emisiones de carbono, con la capacidad única, incluso, de contribuir negativamente a los procesos de carbono. Por ello, tiene un alto potencial de ser una estrategia de mitigación del cambio climático.
- Las políticas en este sector pueden ser factor determinante para poder reforestar, cambiar el modo de producción y disminuir las emisiones de carbono para enfrentar el cambio climático.
- De acuerdo con IPCC (2000), la pérdida histórica de los suelos agrícolas fue de 50 Pg de carbono en el último medio siglo, lo cual representa un tercio de la pérdida total del suelo y la vegetación. El uso de suelo, principalmente la deforestación, contribuye con el 20% de las emisiones antropogénicas entre 1989 y 1998 (IPCC 2000 y 2007c).
- Históricamente se ha incrementado de forma sustancial las emisiones globales de CO₂ asociadas a cambios de uso de suelo, sin embargo este incremento no ha sido de forma heterogénea entre las diferentes regiones del mundo. Regiones como Centro y Sudamérica, sur y sureste de Asia, y África tropical han incrementado de forma sustancial sus emisiones, causadas por la degradación y deforestación de suelos. El caso contrario es Estados Unidos, donde se han reducido las emisiones de forma significativa.
- Las emisiones totales de GEI en el 2006 fueron de 709,005.26 Gg en equivalentes de CO₂, de las cuales el 9.9% corresponden a cambio en el uso del suelo y 6.42 a agricultura, de las cuales el 15.30% corresponden a suelos agrícolas.

- El consumo de fertilizantes es una variable que incide en las emisiones de CO₂ de los suelos agrícolas (Ordoñez Díaz *et al.*, 2008). Durante el periodo 1990 a 2006 el consumo de fertilizantes y las emisiones de CO₂ de suelos agrícolas presentan una relación positiva, particularmente tienen un coeficiente de correlación de Pearson de 0.49.
- Los cambios de tierras forestales a tierras agrícolas y tierras forestales a praderas fueron las fuentes más importantes de emisiones durante el periodo de análisis, aunque cabe destacar que el proceso de degradación paulatina de tierras forestales es una fuente importante en el balance neto. En este sentido, en estos cambios se identifica un importante potencial de mitigación.
- La descarbonización del uso del suelo se debe enfocar en tres ejes: 1) preservar las reservas y mejorar los sumideros, 2) reducción de emisiones en el sector (agropecuario fundamentalmente) y 3) medidas activas de secuestro de carbono. Para lograr la descarbonización en este sector se debe buscar minimizar las pérdidas de carbono y maximizar el secuestro.
- En cuanto a la descarbonización del sector energético, el consumo de energía para la agricultura tiene una participación promedio de 2.11% durante el periodo 1965-2007, por lo que el potencial de reducción es muy bajo.
- Respecto a la reducción de N₂O, en México se destaca el potencial de reducción por el uso de fertilizantes, de esta manera de acuerdo con las simulaciones si se realiza una reducción en el uso de los fertilizantes del 3%, se puede lograr una reducción de emisiones de CO₂ del 10.21% respecto a las emisiones del 2006.
- Basarse en la captura y almacenamiento de Carbono usando fotosíntesis natural puede ser una opción para incrementar el secuestro activo de carbono. Si existe una suficiente reducción de emisiones, será necesario adecuar absorción y residuales, considerando los tres sumideros nacionales naturales: bajo el suelo, almacenando biomasa, sobre el suelo y almacenando en productos de biomasa.
- El mecanismo REDD+ reconoce la importancia de la valoración económica y los servicios ambientales que prestan *per se* los bosques, tiene como objetivo la valoración de las actividades realizadas por personas que los habitan y conocen su funcionamiento, es decir, pueblos nativos.
- Los potenciales de mitigación del REDD+ según el gobierno de Noruega son de un 30% para el año 2030, por medio de la reducción, eliminación y evitar el aumento de emisiones a un costo que no es alto. Además, este gobierno afirma que lograr la estabilización climática como tope de 2°C no

- se alcanzaría sin la reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación de bosques.
- En los proyectos de REDD+, el financiamiento está sujeto a la reducción en la pérdida de la cobertura forestal, que se deberá comparar con un referente previamente establecido (nivel de referencia o línea base). Los créditos que se generan por esta reducción serán distribuidos entre los que desarrollan los proyectos, que pueden ser gobiernos, compañías, comunidades, organizaciones, individuos, etcétera.
- Los métodos económicos utilizados para analizar el uso del suelo emplean una estructura de modelaje derivado de la teoría económica, donde se captura la motivación del propietario para convertir las tierras de un uso a otro y permite examinar el cambio del suelo en función de los escenarios de las políticas pertinentes.
- De acuerdo con los Censos agrícolas de 1991 y 2007, la distribución de los tipos de superficie para el año de 1991, el 61.95% de la superficie de las unidades productivas corresponde a la superficie de pastos y agostadero, en segundo lugar con 28.73%, la superficie de labor, las superficies de bosques y sin vegetación representan en conjunto menos del 10%. Para 2007 la superficie de pastos y agostadero sigue representando la mayor superficie de las unidades productivas aumentando su porcentaje en 5.22 puntos respecto a 1991, por otro lado las superficies de labor y bosques disminuyen, en menor medida, la de labor en 1.26 y con un considerable 4.66 puntos la de bosques.
- Los resultados de los modelos microeconómicos de cambio de uso de suelo arrojan los siguientes resultados:
 - Los productores agropecuarios toman decisiones respecto al uso del suelo con base a incentivos, tanto de productividad, como las generadas por políticas públicas.
 - La actividad agrícola es la que tiene mayor incidencia en el cambio de uso de suelo forestal.
 - Los escenarios bases indican una continua reducción en la superficie dedicada a la actividad forestal.
 - Los escenarios en los que se incorporan cambios a favor de la actividad forestal, generan los resultados esperados, es decir un incremento en la superficie forestal.
 - El cambio, en la composición de la superficie dedicada a las actividades primarias, genera una mejora en el carbono orgánico en los suelos.
 - El almacenamiento de carbono en los suelos agrícolas también puede contribuir al logro de otras metas ambientales y socioeconómicas. A

menudo mejora la productividad del suelo. También, las prácticas como la del laboreo reducido, el aumento de la cubierta vegetal, y un uso mayor de los cultivos perennes impiden la erosión, mejorando de esta forma la calidad del aire y el agua. A consecuencia de estos beneficios, las prácticas de almacenamiento de carbono se justifican a menudo más allá de su contribución a minimizar el cambio climático.

Notas

- 1 Puede lograrse por medio de la captura y almacenamiento de CO₂ e en suelos, plantas y productos, si bien en todos los sectores hay algunas emisiones que no pueden ser completamente eliminadas, deben ser balanceadas con un equivalente de "emisiones negativas" o un proceso de "secuestro de carbono" para alcanzar la meta cero.
- 2 El mecanismo REDD aún se encuentra en discusión, principalmente en cuáles deben ser los parámetros de medición, reporte y verificación de las emisiones capturadas.
- 3 El filtro Hodrick-Prescott (Hodrick y Prescott, 1997) asume que una serie de tiempo se compone de una tendencia y un ciclo. Así, considerando que el componente de tendencia ($t g$) varía suavemente a lo largo del tiempo, esta ruta puede aproximarse por la suma de los cuadrados de su segunda diferencia, representado por Hodrick y Prescott (1997) como:

$$\sum_{t=1}^T (v_t - g_t)^2 + \lambda \sum_{t=1}^T ((g_{t+1} - g_t)(g_t - g_{t-1}))^2$$

Donde λ representa un número positivo, el cual penaliza normalmente el componente de variabilidad de las series. En el extremo $t g$ corresponde a una tendencia de tiempo lineal (Hodrick y Prescott, 1997) y T es el número de datos disponibles.

- 4 Éstas son porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional representativas de los diversos ecosistemas, en donde el ambiente original no ha sido esencialmente alterado y que producen beneficios ecológicos cada vez más reconocidos y valorados. En el 2010 existen 174 ANP con una superficie de 25.82 millones de hectáreas.
- 5 Ver: "Reducing emissions from Deforestation and Forest Degradation", The Government of Norway. Meridian Institute.
- 6 No es jurídicamente vinculante.
- 7 *Íbid*
- 8 No se tuvo acceso a los microdatos por lo que se usaron datos a nivel municipal, con un total de 2,204 municipios en ambos años.
- 9 En los censos ejidales no se especifica esta información.
- 10 Los valores entre paréntesis indican el t estadístico de cada coeficiente estimado.

7. REFERENCIAS

- Alig, R.J. 1986. "Econometric Analysis of the Factors Influencing Forest Acreage Trends in the Southeast", en *Forest Science*, 32(1): 119-134.
- Angelsen, Arild. 2009. *Avancemos con REDD Problemas, opciones y consecuencias*. Indonesia. Cifor.
- Armsworth, P.R., B.E. Kendall, and F.W. Davis. 2004. "An Introduction to Biodiversity Concepts for Environmental Economists." *Resource and Energy Economics*, 26: 115-136.
- Audsley, E., Branderm M., Chatterton, J., Murphy-Bokern, D., Webster, C., and Williams, A. 2009. *How low can we go? An assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope to reduce them by 2050*. FCRN-WWF, UK.
- Azeez, G. 2009. *Soil Carbon and Organic Farming*. [online]. www.soilassociation.org.
- Bockstael, N. E. 1996. "Modeling economics and ecology: the importance of a spatial perspective", en *American Journal of Agricultural Economics*, 78: 1168-1180.
- Borzecka-Walker, M., A. Faber and R. Borek. 2008. "Evaluation of carbon sequestration in energetic crops (miscanthus and coppice willow)", en *International Agrophysics*, 22:185-190.
- Brainard, J. Andrew Lovett and Ian Bateman. 2003. "Social & Environmental Benefits of Forestry: Phase 2: Carbon Sequestration Benefits Of Woodland", en *Report to Forestry Commission*, Edinburgh.
- Brooks, C. 2002. *Introductory Econometrics for Finance Econometrics*, Cambridge University Press.
- Brown, L. & S. Jarvis. 2001. *Estimation of Nitrous Oxide Emissions from UK Agriculture*, IGER Innovations. Available at: http://www.aber.ac.uk/en/media/chapter_10.pdf.
- Capozza, D., and R. Helsley. 1989. "The Fundamentals of Land Prices and Urban Growth", en *Journal of Urban Economics*. 26:295-306.
- Carrion-Flores, C. and E.G. Irwin. 2004. "Determinants of Residential Land-Use Conversion and Sprawl at the Rural-Urban Fringe." *American Journal of Agricultural Economics* 86(4): 889-904.
- Cincotta, R. P., J. Wisniewski, and R. Engelman. 2000. "Human population in the biodiversity hotspots", en *Nature*, 404:990-992.
- Dale, V.H. 1997. "The relationship between Land-Use Change and Climate Change", en *Ecological Applications*, 7(3): 753-769.
- Dale, V.H., & Polasky, S. 2007. "Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services", en *Ecological Economics*, 64(2), 286-296.
- Daily, G.C. 1995. "Restoring value to the world's degraded lands", en *Science*, 269:350-354.

- Dawson, J.C., y Smith, P. 2006. "Revisión de la pérdida de carbono del suelo y su comportamiento en el ambiente, revisión técnica final".
- DEFRA. 2010. *June Census for agriculture and horticulture – UK interim results*. Available at: <http://www.defra.gov.uk/evidence/statistics/foodfarm/landuselivestock/junesurvey/documents/June-UK.pdf>.
- FAO. 1993. *Forest Resources Assessment 1990, Tropical Countries*. FAO Forestry Paper 112. Rome.
- FAO Food and Agriculture Organization. 2003. *Agricultura mundial: Hacia los años 2015-2030*.
- FAO. 2010. *UK Global Forest Resources Assessment 2010*. FRA2010/221, Rome.
- Foley, J. et al. 2005. "Global Consequences of Land Use", en *Science*, 309(5734): 570-574.
- GCP, 2008. *Global Canopy Programme*. alianza de 37 instituciones científicas en 19 países.
- GLASOD. Classification of soil degradation.
- González Jácome, A. (2008). "Mexican small scale agriculture: from traditional to alternative agroecosystems under NAFTA", *Perspectivas Latinoamericanas*, 5: 12-56.
- Greene, W.H. 1999. *Análisis Económico*. 3a edición, McGraw-Hill, México.
- Houghton, R. A., 1994. "The worldwide extent of land-use change", en *Bio-Science*, 44:305-313.
- Houghton, R.A., and J.L. Hackler. 1995. "Continental Scale Estimates of the Biotic Carbon Flux from Land Cover Change: 1850-1980". ORNL/CDIAC-79, NDP-050, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.
- Houghton, R.A., and J.L. Hackler. 2001. "Carbon Flux to the Atmosphere From Land-use Changes: 1850 to 1990". NDP-050/R1, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tennessee.
- INEGI. 1991. *Síntesis metodológica del VII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, 1991*.
- INEGI. 2007. *Síntesis metodológica del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, 2007*.
- IPCC. 2000. *Land use, land-use change, and forestry special report*. Cambridge University Press 377 pp.
- IPCC. 2001. *Cambio climático 2001. Informe de síntesis. Resumen para responsables de políticas*.
- IPCC. 2007. *Climate Change, 2007: Mitigation Options: Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Chapter 9 – Forestry. Final draft.
- Irwin, E. and N.E. Bockstael. 2002. "Interacting Agents, Spatial Externalities and the Evolution of Residential Land Use Patterns", en *Journal of Economic Geography*, 2: 331-54.
- Irwin, E., Bell, K., J. Geoghegan. 2003. "Modeling and Managing Urban Growth at the Rural-Urban Fringe: A Parcel-Level Model of Residential Land-Use Change", en *Agricultural and Resource Economics Review*, 32(1): 83-102.
- Jenkinson, D.S. 1988. "Determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil", en J.R. Wilson (ed.). *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*, 368-386. C.A.B. International, Wallingford. U.K.
- Johansen, S. 1988. "Statistical analysis of cointegration vectors", en *Journal of Economic Dynamics and Control*, 12, 231-254.

- Johnston, J. y Dinardo, J. 2001. *Métodos de Econometría*. Vicens Vives, Barcelona.
- Kline, J., A. Moses, and R. Alig. 2001. "Integrating Urbanization into Landscape-Level Ecological Assessments", en *Ecosystems*, 4: 3-18.
- Klumpp, K. et al. (2009) "Grazing triggers soil carbon loss by altering plant roots and their control on soil microbial community", en *Journal of Ecology*, 97 (5), pp. 876-885.
- Kooten van, G.C., A.J. Eagle, J. Manley y T. Smolak. 2004. "How costly are carbon Offset?. A meta-analysis of carbon forest sinks", en *Environmental Science Policy*, 7(4), 239-251.
- Langpap, C., Hascic, I., and J. Wu. 2008. "Protecting Watershed Ecosystems through Targeted Local Land Use Policies", en *American Journal of Agricultural Economics*, 90(3): 684-700.
- Lewis, D.J. 2009. "An Economic Framework for Forecasting Land-Use and Ecosystem Change", en *Resource and Energy Economics* (Forthcoming).
- Lewis, D.J., and A.J. Plantinga. 2007. "Policies for Habitat Fragmentation: Combining Econometrics with GIS-Based Landscape Simulations", en *Land Economics*, 83(2): 109-127.
- Lewis, D.J., Provencher, B., and V. Butsic. 2009. "The Dynamic Effects of Open-Space Conservation Policies on Residential Development Density", en *Journal of Environmental Economics and Management*, 57: 239-252.
- Lubowski, R.N., Plantinga, A.J., and R.N. Stavins. 2006. "Land-Use Change and Carbon Sinks: Econometric Estimation of the Carbon Sequestration Supply Function", en *Journal of Environmental Economics and Management*, 51(2): 135-152.
- Naiman, R.J., and M.G. Turner. 2000. "A Future Perspective on North America's Freshwater Ecosystems", en *Ecological Applications*, 10: 958-970.
- Nelson, G.C., Harris, V., and S.W. Stone. 2001. "Deforestation, Land Use, and Property Rights: Empirical Evidence from Darien, Panama", en *Land Economics*, 77(2): 187-205.
- Newburn, D.A., and P. Berck. 2006. "Modeling Suburban and Rural-Residential Development Beyond the Urban Fringe", en *Land Economics*, 82(4): 481-499.
- Newburn, D.A., Berck, P., and A.M. Merenlender. 2006. "Habitat and Open Space at Risk of Land-Use Conversion: Targeting Strategies for Land Conservation", en *American Journal of Agricultural Economics*, 88(1): 28-42.
- Niklitschek, Mario, and Eugenio S. A. Bobenrieth. 1992. "Incentivos Económicos para una Explotación Eficiente del Bosque", en *Cuadernos de Economía*, 88. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Noble, R.I. y R. Dirzo. 1987. "Forests as human-dominated ecosystems". *Science* 277: 523-525.
- Norway, 2009. *Reducing emissions from Deforestation and Forest Degradation*. The Government of Norway. Meridian Institute.
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., Sombroek, W.G. 1991. (2d ed.) *World map of the status of human induced soil degradation: an explanatory note*. United Nation Environment Programme, Nairobi.
- Ordóñez, J. A. B., B. H. J. de Jong, F. García-Oliva, F. L. Aviña, J. V. Pérez, G. Guerrero, R. Martínez and O. Masera. 2008. "Carbon content in vegetation, litter, and soil under 10 different land-use and land-cover classes in the Central Highlands of Michoacan, Mexico", en *Forest Ecology and Management*. Vol. 255 (7): 2074-2084.
- Parker, et al. 2009. *El Pequeño Libro de REDD+*. Global Canopy Foundation.

- Peskett, L., Huberman, Bowen-Jones, E., Edwards, G. y Brown, J. 2008 "Making REDD work for the poor". IUCN/ODI for the Poverty and Environment Partnership, Gland.
- Pindyck, R. y D. Rubinfeld. 2001. *Econometría: Modelos y Pronósticos*. McGraw-Hill, México.
- Piris-Cabezas, P. y Keohane, N. 2008. *Reducing emissions from deforestation and degradation in developing countries (REDD): Implications for the carbon market*. Environmental Defense Fund, Washington, DC.
- Raich, JW, CS Potter and D Bhagawati. 2003. "Interannual Variability in Global Soil Respiration on a 0.5 Degree Grid Cell Basis". ORNL/CDIAC-144, NDP-081. Disponible en línea [<http://cdiac.ornl.gov/epubs/ndp/ndp081/ndp081.html>] from the Carbon Dioxide Analysis Information Center, U.S. Department of Energy, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A
- Read, D.J., Freer-Smith, P.H., Morison, J.I.L., Hanley, N., West, C.C. and Snowdon, P. (eds). 2009. "Combating climate change – a role for UK forests. An assessment of the potential of the UK's trees and woodlands to mitigate and adapt to climate change, the synthesis report, Forestry Commission". The Stationery Office, Edinburgh.
- Richards, K.R. y C. Stokes. 2004. "A review of forest carbon sequestration cost Studies: A dozen tears of research", en *Climatic Change*, 63 (1-2), 1-48. Robert, M. 1996. *Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement*. Dunod/ Masson, Paris 240 pp.
- Robert, M., Stengel, P. 1999." Sols et agriculture: ressource en sol, qualité et processus de dégradation", en *Cahiers Agricultures*, 8 (4): 301-308.
- Saggar, S., Bolan, N. S., Bhandral, R., Hedley, C., & Luo, J. 2004b. "A review of emissions of methane, ammonia and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures", en *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 47, 513-544.
- Sedjo, R.A., J. Wisniewski, A. Sample, y J. Kinsman. 1995. "The economics of managing carbon via forestry: Assessment of existing studies", en *Environmental Resource Economics*, 6, 139-165.
- Segura-Castruita M.A., Sánchez-Guzmán P., Ortiz-Solorio C.A., Gutiérrez-Castorena C. 2005."Carbono orgánico de los suelos de México", en *TERRA Latinoamericana*, 23(1):(21-28).
- SEMARNAT, INE, Coordinación del Programa de Cambio Climático (2010).
- Smith, P. 2004. "Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context", en *European Journal of Agronomy*, 20 (3):229-236
- Smith et al. 1997. "Opportunities and limitations for C sequestration in European agricultural soils through changes in management", en *Management of Carbon Sequestration in Soil* (R. Lal ed.), pp. 143-152. Advances in Soil Science. CRC press, Boca Raton, Florida.
- Sohi S, Loez-Capel E, Krull E and Bol R. 2009. "Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs", en *CSIRO Land and Water Science Report* 05/09, 64 pp.
- Soussana JF, Allard V, Pilegaard K, Ambus C, Campbell C, Ceschia E, Clifton-Brown J, Czobel S, Domingues R, Flechard C, Fuhrer J, Hensen A, Horvath L, Jones M, Kasper G, Martin C, Nagy Z, Neftel, Neftel A, Raschi A, Baronti S, Rees RM, Skiba U, Stefani P, Manca G, Sutton M, Tuba Z and Valentini R. 2007. "Full accounting of the greenhouse gas (CO₂, N₂O, CH₄) budget of nine European grassland sites", en *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 121, 121-134.

- Stavins, N.U. y K.R. Richards. 2005. *The cost of supplyin forest-based carbon sequestration in the United States*, The Pew Centre on Global Climate Change, Arlington, V.A. Stavins, R.N. 1999. "The Costs of Carbon Sequestration: A Revealed-Preference Approach", en *American Economic Review*, 89: 994-1009
- Stavins, R.N., and A.B. Jaffe. 1990. "Unintended Impacts of Public Investments on Private Decisions: The Depletion of Forested Wetlands", en *American Economic Review*, 80(3): 337-352.
- St Clair S, Hillier J, Smith P. 2008. "Estimating the pre-harvest greenhouse gas costs of energy crop production", en *Biomass and Bioenergy*, 32, 442-452.
- Stern, Nicholas. 2007. *The Economics of Climate Change – The Stern Review*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Towe, C.A., Nickerson, C.J., and N. Bockstael. 2008. "An Empirical Examination of the Timing of Land Conversions in the Presence of Farmland Preservation Programs", en *American Journal of Agricultural Economics*, 90(3): 613-626.
- UNFCCC Informal meeting of experts on methodological issues related to forest degradation, 2008 Chair's Summary of Key Messages (Bonn, 20-21 October 2008) (available at http://unfccc.int/methods_science/redd/items/4579.php).
- Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, and J. M. Melillo. 1997. "Human domination of Earth's ecosystems", en *Science*, 277:494-499.
- Weiske, A. 2007. "Potential for carbon sequestration in European agriculture, Impact of Environmental Agreements On The Cap", final version 16 February 2007, specific targeted research project no. SSPE-CT-2004-503604. Available at: http://www.ieep.eu/publications/pdfs/meacap/D10a_appendix_carbon_sequestration.pdf [Live: March 2010].

8. ANEXO 1. METODOLOGÍA ECONÓMÉTRICA: MODELOS PANEL

Se denominan modelos de panel al conjunto de datos que combinan series de tiempo con datos de corte transversal. Este tipo de modelos tiene mucha más flexibilidad para estimar las diferencias de comportamiento de las unidades o individuos. Por lo tanto para los datos si se determina que la unidad de corte transversal está representada mediante i y que está relacionada con un período de tiempo t donde $i = 1, \dots, n$ y $t = 1, \dots, T$, entonces, si el total de observaciones se determina como $n \cdot T$ y que cuando $n = 1$ y T es mayor se está hablando de series de tiempo y cuando $T = 1$ y n es mayor se trata de series de corte transversal, entonces se pueden estimar modelos panel cuando $n > 1$ y $T > 1$. Generalizando un modelo panel se puede representar como (Johnston y Dinardo, 2001):

$$(A.1) \quad y_{it} = \alpha_i + \beta'x_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde y_{it} es el valor de la variable dependiente para la unidad de corte transversal i en el período de tiempo t donde $i = 1, \dots, n$ y $t = 1, \dots, T$; x_{it} es el valor de la variable explicativa j -ésima para una unidad i en el período t donde existen K variables explicativas con índice $j = 1, \dots, K$; y ε_{it} es el término de error que puede descomponerse en $\varepsilon_{it} = \mu_i + \delta_t + u_{it}$, en donde μ_i representa los efectos no observables que difieren entre las unidades pero no en el tiempo, δ_t son los efectos no cuantificables que varían en el tiempo pero no entre las unidades y u_{it} que es el término de error puramente aleatorio.

Los modelos sencillos de panel tienen los siguientes supuestos econométricos:

$$(a) \quad E[\varepsilon_{it}] = 0$$

$$(b) \quad E[\varepsilon_{it}^2] = \sigma_\varepsilon^2$$

$$(c) \quad E[\varepsilon_{it}, \varepsilon_{js}] = 0$$

Por lo tanto se supone que $\varepsilon_{it} \sim iid(0, \sigma^2)$ para todo i y t lo que significa que las observaciones entre las distintas unidades no están correlacionadas

seriamente y los errores, tanto en los individuos como a lo largo del tiempo, son homocedásticos.

Si se denomina a α_i como el efecto individual que es constante a lo largo del tiempo t y específico para cada unidad de corte transversal, entonces, en el caso de hacer que α_i sea igual para todas las unidades, se puede obtener estimadores α y β consistentes y eficientes y realizar generalizaciones del modelo y realizar estimaciones de efectos fijos o efectos aleatorios.

Los modelos de panel de efectos fijos o modelos de mínimos cuadrados con variables ficticias (MCVF) se estiman cuando el reconocimiento de las variables omitidas puede generar cambios en los interceptos, ya sea a través del tiempo o entre unidades de corte transversal y se pueden aproximar esos efectos mediante el uso de variables ficticias o dummy, además de considerar la existencia de un término constante diferente para cada individuo y suponer que los efectos individuales son independientes entre sí. Por lo tanto, cada α_i es un parámetro desconocido que debe de estimarse y el modelo está representado como:

$$(A.2) \quad y_i = \alpha_i + X_i\beta + \varepsilon_i$$

Si se reagrupa se obtiene:

$$(A.3) \quad \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i & 0 & \dots & 0 \\ 0 & i & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \beta + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix}$$

Que equivale a:

$$(A.4) \quad y = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n \ X] \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix} + \varepsilon$$

Donde d es una variable ficticia o dummy que indica la i -ésima unidad, entonces al determinarse a la matriz $nT \times n$, $D = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_n]$ y reuniendo las nT filas se obtiene la ecuación (8):

$$(A.5) \quad y = D\alpha + X\beta + \varepsilon$$

El modelo también se puede representar de tres maneras:

Formulación original: $y_{it} = \alpha_i + \beta'x_{it} + \varepsilon_{it}$

En términos de desviaciones: $y_{it} - \bar{y}_i = \beta'(x_{it} - \bar{x}_i) + (\varepsilon_{it} - \bar{\varepsilon}_i)$

En términos de medias: $\bar{y}_i = \beta'\bar{x}_i + \bar{\varepsilon}_i$

Entonces la estimación de la matriz de covarianza de los parámetros está dada por la fórmula de la covarianza de mínimos cuadrados aplicando al modelo de diferencia de media: $(b_{ef}) = \sigma_w^2 (X'X)^{-1}$, donde:

(A.6)

$$\sigma_w^2 = \frac{e'efe_{ef}}{NT-N-K} = \frac{\sum (y_{it} - x'_{it} b_{ef})^2}{NT-N-K}$$

Por lo que se tiene la suma al cuadrado de los errores del modelo de efectos fijos, entonces el cálculo de efectos fijos se da por:

(A.7)

$$\alpha_i = \frac{\sum y_{it} - x'_{it} b_{ef}}{N}$$

Por otro lado, el modelo de efectos aleatorios trata de capturar las diferencias a través del componente aleatorio, ya que considera que los efectos individuales no son independientes entre sí, sino que están distribuidos aleatoriamente alrededor de un valor dado, además asume que el término α_{it} es la suma de una constante común α y una variable aleatoria de sección cruzada invariante en el tiempo u_i que no está correlacionada con los errores ε_{it} . El modelo se representa de la siguiente manera:

(A.8)

$$y_{it} = (\alpha + \mu_i) + \beta'x_{it} + \varepsilon_{it}$$

Donde μ_i representa la perturbación aleatoria que determina distinguir el efecto de cada individuo en el panel.

Para estimar este tipo de modelo se necesita conocer el siguiente procedimiento:

- Usar los residuales e_{ef} del modelo de efectos fijos para estimar la varianza de ε_{it} usando σ_w^2

- Estimar el modelo entre grupos (sección cruzada) y calcular

$$\sigma_w^2 = \frac{e'efe_{ef}}{NT-N-K} = \sigma_{it}^2 = \sigma_B^2 \frac{\sigma_w^2}{T}$$

- Aplicar mínimos cuadrados generalizados (MCG) a la variable transformada $y_{it}^* = y_{it} - \lambda y_i$, $x_{it}^* = x_{it} - \lambda x_i$, donde: $\hat{\lambda} = 1 - \frac{\hat{\sigma}_w}{\hat{\sigma}_B}$. Los valores calculados para los efectos aleatorios son estimados como: $U_i = \frac{\hat{\sigma}_w^2}{\hat{\sigma}_{it}^2} (\sum_t y_{it} - x_{it} b_{ef})$. Esto es debido a que el método de mínimos cuadrados no es aplicable dado que no se cumplen los supuestos que permiten que el estimador sea consistente por lo que MCG realiza estimaciones superiores cuando no se cumplen los supuestos tradicionales y contrarios al modelo anterior.

Contraste de Hausman para efectos fijos o aleatorios

Se conoce como una prueba de diferencia de medias. Se basa en la idea de que bajo el supuesto de no correlación en donde se plantean las siguientes hipótesis nula y alternativa:

- HN: coeficientes fijos y aleatorios son similares (ambos están bien) → Estimar efectos aleatorios.
- HA: coeficientes fijos están bien pero los aleatorios no lo están → Estimar efectos fijos.

El contraste se determina como:

$$(A.9) \quad \chi^2(k): H = (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF})' [\Sigma_{EA} - \Sigma_{EF}]^{-1} (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF}) \\ = (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF})' [COV(\hat{\beta}_{EA}) - COV(\hat{\beta}_{EF})]^{-1} (\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF})$$

Donde β es el vector de coeficientes, COV es la matriz de varianza-covarianza y k es el número de coeficientes. Si $(\hat{\beta}_{EA} - \hat{\beta}_{EF})$ son pequeños y se entra en la zona de HN por lo tanto:

- Si prob. > 0.05 → se acepta HN
- Si prob. < 0.05 → se acepta HA

9. ANEXO 2. FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA DE PAGOS POR SERVICIOS AMBIENTALES

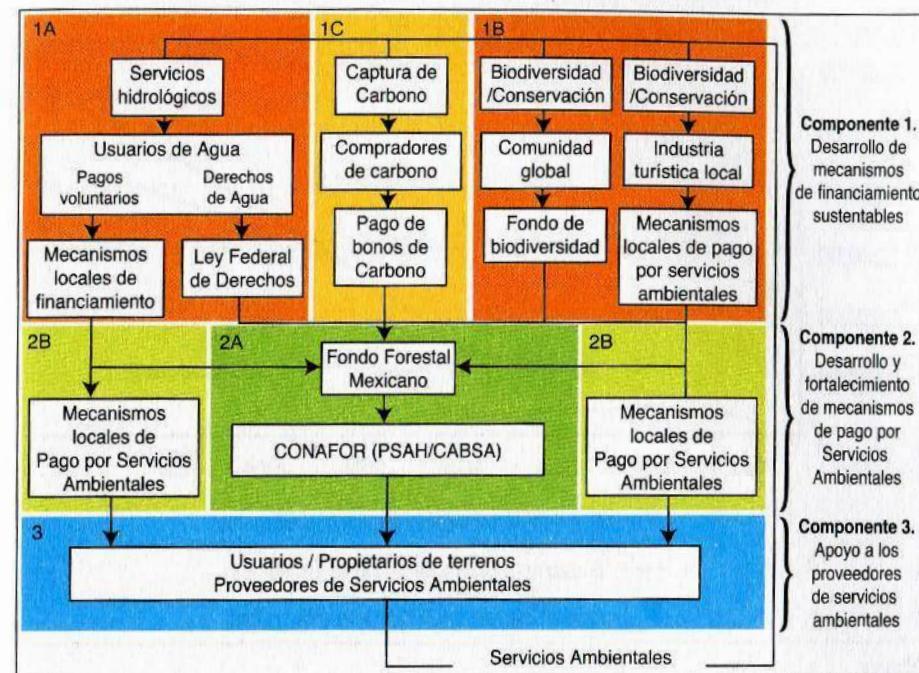
El pago por servicios ambientales (PSA) fue diseñado para proveer incentivos económicos a los dueños de terrenos forestales (ejidos, comunidades y pequeños propietarios) para apoyar las prácticas de conservación y evitar el cambio de uso del suelo (deforestación) de los bosques.

En el 2003 la CONAFOR crea el PSAH (Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos), financiado con una parte de las cuotas del agua cobradas al amparo de la Ley Federal de Derechos (LFD). Los pagos fueron dirigidos a la preservación del bosque templado y tropical (y en detalle, bosques mesófilos) asociado con el abastecimiento de agua a las comunidades. En 2004, se crea el PSA-CABSA (Programa para el Desarrollo de los Mercados de Servicios Ambientales de Captura de Carbono y los Derivados de la Biodiversidad y para Fomentar el Establecimiento y Mejoramiento de los Sistemas Agroforestales). Desde 2006, el programa PSA recibe asistencia técnica y financiera del Banco Mundial y el GEF para incrementar su eficiencia con la implementación del proyecto de servicios ambientales del bosque (PSAB).

A partir de 2007, los apoyos que otorga la CONAFOR (PRODEFOR, PRODEPLAN, PROCOREF, PSA, Programa de Incendios, y de Germoplasma y Producción de Planta), se instrumentan bajo reglas de operación únicas de PROÁRBOL.

El PSA pretende mejorar la provisión de servicios ambientales que brindan beneficios nacionales, como los derivados de agua, y globales, como son la conservación de la biodiversidad y la captura de carbono, a través del fortalecimiento y expansión de los programas que actualmente desarrolla la CONAFOR (PSAH, Programa de pago por servicios ambientales hidrológicos y PSA-CABSA, Programa para el desarrollo de mercados de servicios ambientales por la protección a la biodiversidad, la captura de carbono y por el mejoramiento de los sistemas agroforestales de cultivos bajo sombra) y apoyando el establecimiento de mecanismos locales de pago por servicios ambientales.

La estructura del programa se da la siguiente manera:



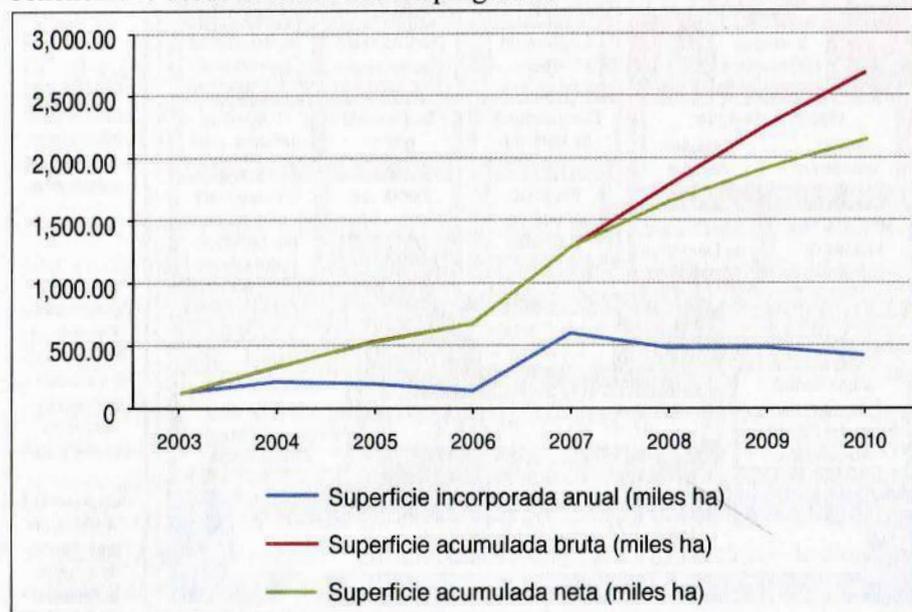
Para el PSAH, los recursos para su desarrollo provienen de la tarifa por derecho de uso del agua (Ley Federal de Derechos) y los pagos son directos a los dueños y poseedores de servicios ambientales y así evitar la deforestación y deterioro de bosques en buen estado de conservación, relacionados con áreas de recarga, acuíferos sobreexplotados, escasez, riesgo de deslaves, etcétera.

- Pagos
 - 5 pagos anuales \$300/ha bosques y selvas
 - 5 pagos anuales \$400/ha bosques mesófilos de montaña

El monitoreo de cumplimiento se basa en análisis de imágenes de satélite y verificación en campo y se busca promover la adopción de prácticas de manejo para mejorar o mantener la provisión de los servicios ambientales de hidrológicos.

Referente al CABSA se promueve la construcción de capacidades de dueños y poseedores de terrenos forestales y profesionales técnicos para desarrollar proyectos de servicios ambientales y acceder a mercados de servicios ambientales, otorgándoles apoyos para elaboración y ejecución de proyectos para conservación de biodiversidad, de captura de carbono y mejoramiento de sistemas agroforestales con cultivos bajo sombra, los recursos se asignan a través del Presupuesto de Egresos de la Federación.

A continuación, se muestra la gráfica evolutiva del aumento de hectáreas beneficiadas desde el comienzo del programa:



Notas:

1. La superficie incorporada cada año es a la que se le asignan subsidios para recibir pagos anuales por 5 años, para conservar la cobertura forestal y proveer servicios ambientales forestales.
2. La superficie acumulada neta en 2008, ya no incluye la superficie de 2003, porque esta última ya concluyó su periodo de pago, y así sucesivamente. La superficie acumulada bruta es la total apoyada con subsidios y la neta es descontando la que se va venciendo a los 5 años.
3. En 2007, la superficie incorporada fue mayor, debido a que se tuvo una transferencia de 200 millones de pesos de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.

Modalidad de Servicios Ambientales	Apoyo promedio otorgado Pesos/ha/5 años
Hidrológicos	2,108
Conservación de la biodiversidad	2,313
Sistemas agroforestales con cultivos bajo sombra	2,116
Desarrollo de la idea del proyecto de secuestro de carbono	No se paga ejecución, sólo elaboración del estudio

Nota: Se paga un 20% anualmente, contra resultados de verificación y monitoreo.

*Escenarios de cambio de uso de suelo
hacia una economía baja en emisiones*

se terminó de imprimir en abril de 2013

el tiraje consta de 300 ejemplares

y la impresión estuvo a cargo de

LITORDA, S.A. de C.V., La Escondida No. 2,

Col. Los Volcanes, Delegación Tlalpan,

México, D. F. Tel. (+52 55) 5655 2013



Uno de los objetivos principales de este estudio es identificar cuáles son y han sido los principales impulsores del proceso de Cambio de Uso de Suelo, particularmente en deforestación, para poder generar escenarios en los cuales se consideren políticas públicas alternativas para el control y reducción de emisiones de carbono en este sector. Asimismo, se busca identificar los potenciales de mitigación en el sector y se analiza la inclusión de estas actividades en los programas de reducción de emisiones derivadas de la deforestación y degradación de bosques (REDD y REDD+), para maximizar las oportunidades de mitigación en México e impulsar así el desarrollo económico en comunidades en situación de marginación.