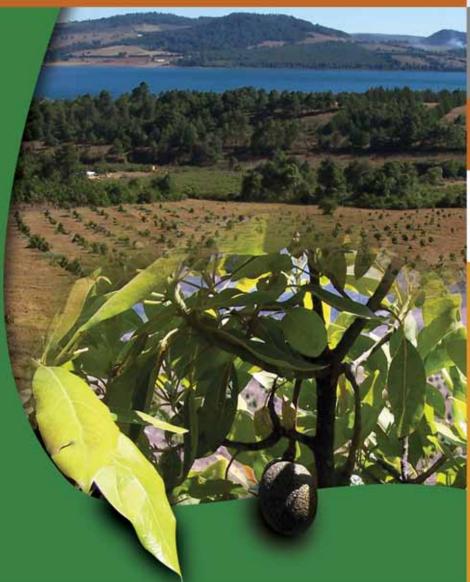
Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate

Gilberto CHÁVEZ-LEÓN, Luis Mario TAPIA VARGAS, Miguel BRAVO ESPINOZA, J. Trinidad SÁENZ REYES, Hipólito Jesús MUÑOZ FLORES, Igracio VIDALES FERNÁNDEZ, Antonio LARIOS GUZMÁN, Juan Bautista RENTERIA ÁNIMA, Francisco Javier VILLASEÑOR RAMÍREZ, José de la Luz SÁNCHEZ PÉREZ. Juan José ALCÁNTAR ROCILLO. Manuel MENDOZA CANTÚ





Gobierno federal

SAGARPA

inifap

Forestales, Agricolas y Pecuarias

Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Uruapan Uruapan, Michoacán, Agosto de 2012 Libro Técnico Núm. 13, ISBN: 978-607-425-825-7

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN

Lic. Francisco Javier Mayorga Castañeda Secretario

Lic. Mariano Ruíz-Funes Macedo Subsecretario de Agricultura

Ing. Ignacio Rivera Rodríguez Subsecretario de Desarrollo Rural

Ing. Ernesto Fernández Arias Subsecretario de Alimentación y Competitividad

M.C. Jesús Antonio Berumen Preciado Oficial Mayor

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS

Dr. Pedro Brajcich GallegosDirector General

Dr. Salvador Fernández RiveraCoordinador de Investigación, Innovación y Vinculación

MSc. Arturo Cruz Vázquez Coordinador de Planeación y Desarrollo

Lic. Marcial A. García Morteo Coordinador de Administración y Sistemas

CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL PACÍFICO CENTRO

Dr. Gerardo Salazar Gutiérrez Encargado de la Dirección Regional Director de Investigación

M.C. Primitivo Díaz Mederos
Director de Planeación

Lic. Miguel Méndez González Director de Administración

Dr. Ignacio Vidales FernándezDirector de Coordinación y Vinculación en Michoacán





Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate

Dr. Gilberto Chávez-León

Manejo Forestal Sustentable y Servicios Ambientales, CENID COMEF

Dr. Luis Mario Tapia Vargas

Ingeniería de Riego, Campo Experimental Uruapan

Dr. Miguel Bravo Espinoza

Ex-investigador del Campo Experimental Uruapan

Ing. J. Trinidad Sáenz Reyes

Plantaciones y Sistemas Agroforestales, Campo Experimental Uruapan

Ing. Hipólito Jesús Muñoz Flores

Plantaciones y Sistemas Agroforestales, Campo Experimental Uruapan

Dr. Ignacio Vidales Fernández

Director de Coordinación y Vinculación en Michoacán

M.C. Antonio Larios Guzmán

Frutales, Campo Experimental Uruapan

Dr. Juan Bautista Rentería Ánima

Director de Soporte Forestal de la Dirección General del INIFAP

Ing. Francisco Javier Villaseñor Ramírez

Ex investigador del Campo Experimental Uruapan

Dr. José de la Luz Sánchez Pérez

Ex investigador del Campo Experimental Uruapan

Ing. Juan José Alcántar Rocillo

Ex investigador del Campo Experimental Uruapan

Dr. Manuel Mendoza Cantú

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM, Campus Morelia

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Centro de Investigación Regional Pacífico Centro Campo Experimental Uruapan

Agosto de 2012

Libro Técnico Núm. 13. ISBN: 978-607-425-825-7

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Progreso No. 5, Barrio de Santa Catarina

Delegación Coyoacán, C.P. 04010 México, D.F., Teléfono (55) 3871-8700 Derechos Reservados[©]

Impacto del cambio de uso de suelo forestal a huertos de aguacate

ISBN 978-607-425-825-7

Primera Edición 2012

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de la Institución.

La presente publicación se terminó de imprimir el mes de Agosto de 2012 en Graphx, S.A. de C.V., Tacuba 40-205, Col. Centro, México, D.F. C.P. 06010 Tel. (55) 5698-6736
Su tiraje consta de 1,000 ejemplares

PRESENTACIÓN

El cultivo de aguacate es significativo en México y de una gran importancia en Michoacán. Entre 2000 y 2010 la superficie cultivada de aguacate en el país aumentó de 95 mil a más de 134 mil ha, y la producción de novecientas mil a un millón cien mil toneladas. La participación del estado es del 74% de la superficie cultivada y del 84% de la producción nacional. El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) estima que en 2012 la producción alcanzará más de un millón trescientas mil toneladas.

Con el 37% de la producción mundial, el Sistema Producto Aguacate contribuye de manera importante al crecimiento económico del sector agrícola del país. De acuerdo con el SIAP, en la década 2001-2010 el valor de la producción se triplicó, pasando de 4,216 a 12,459 millones de pesos y el de las exportaciones aumentó en más de mil por ciento al pasar de 73.7 a 812.2 millones de dólares. Estas estimaciones no incluyen la derrama económica a través de la generación de empleos y servicios en cada eslabón de la cadena.

Es un hecho que la coincidencia de condiciones agroclimáticas ha ocasionado un acelerado cambio de uso del suelo forestal a la producción de aguacate, al grado de provocar un deterioro de los ecosistemas forestales del estado de Michoacán, que se manifiesta en un proceso de deforestación de 690 ha anuales, aproximadamente. Esto tiene graves implicaciones, pues el bosque juega un papel fundamental en el balance hídrico de las cuencas y el suministro de servicios ambientales a la sociedad, como son el abastecimiento de agua y la conservación del suelo. Por ello, urge tomar decisiones que orienten hacia la ordenación territorial del cultivo, además de promover el manejo sustentable de los recursos, en beneficio de las generaciones futuras, incluyendo la conservación y restauración de áreas con vocación forestal, mediante programas ya en operación, como ProÁrbol.

En este libro se da seguimiento a algunos temas tratados en la Publicación Especial Núm. 2 del CIRPAC-INIFAP, de diciembre de 2009. Se presenta una visión actualizada de la problemática planteada con base en resultados recientes obtenidos por nuestros investigadores sobre el impacto ambiental de la expansión de las plantaciones de aguacate en Michoacán. El estudio apunta a la urgencia de establecer una ordenación territorial de este cultivo y de promover el uso sustentable de los recursos forestales. Para este fin, el desarrollo de políticas públicas, esquemas de toma de decisiones informadas y la participación de todos los actores del Sistema Producto Aguacate y de la sociedad en general, serán fundamentales para lograr un crecimiento económico de la cadena, manteniendo la integridad ambiental.

El INIFAP desarrolla opciones basadas en el conocimiento científico para promover el desarrollo rural sustentable. Al respecto, el Instituto ha localizado áreas con buen potencial productivo para el aguacate en estados como Morelos, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Nuevo León, Tamaulipas y Puebla, cuyo establecimiento ordenado frenaría su expansión en Michoacán, y al mismo tiempo permitiría aprovechar las oportunidades que ofrece la creciente demanda de este producto.

Dr. Pedro Brajcich Gallegos Director General



CONTENIDO

| | PAG |
|---|--------|
| RESUMEN | 5 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 7 |
| 2. ANTECEDENTES | 9 |
| 3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA | 11 |
| 3.1. Contexto geográfico y ecológico | 11 |
| 3.2. Contexto socioeconómico | 12 |
| 3.3. Tendencias en el uso del suelo en Michoacán | 14 |
| 4. MARCO LEGAL DEL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN | |
| TERRENOS FORESTALES | 19 |
| 5. INDICADORES DEL IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIOECONÓ | MICO25 |
| 5.1. Servicios ambientales | 27 |
| 5.1.1. Conservación de la biodiversidad | 31 |
| 5.1.2. Captura de carbono | 35 |
| 5.1.3. Consumo de agua | 39 |
| 5.1.4. Producción y disponibilidad de agua | 47 |
| 5.1.5. Adaptación al cambio climático | 57 |
| 5.2. Tasas de cambio de uso del suelo | 65 |
| 5.3. Cambio de uso del suelo y erosión | 69 |
| 5.4. Factores limitantes climáticos y altitudinales | 75 |
| 5.5. Manejo y producción forestal | 81 |
| 6. CONCLUSIONES | 93 |
| LITERATURA CITADA | 95 |



RESUMEN

El presente documento evalúa, a través de indicadores de impacto socioeconómico y ambiental, el efecto del cambio de uso del suelo con vegetación forestal por el cultivo de aguacate en el estado de Michoacán, cuya superficie se incrementó en un 75%, entre 1980 y 2012, a costa en buena parte de una deforestación estimada en al menos 690 ha/año. La complejidad del cultivo del aguacate por la gran extensión que ocupa, -superior a 112 mil hectáreas- su ciclo de producción, el uso de agroquímicos y el efecto sobre el entorno ambiental, hacen que este sistema-producto influya drásticamente en el cambio de uso del suelo y en el deterioro del medio ambiente en que prospera.

La producción de aguacate representa una aportación importante a la economía regional, constituye una de las principales fuentes de divisas para Michoacán, pues la exportación de más de 250 mil toneladas al año genera una derrama de más de 800 millones de dólares y alrededor de 50 mil empleos. Su importancia para la sociedad está bien determinada, pero su modelo de producción es de alto impacto para la naturaleza.

El cambio de uso del suelo en terrenos forestales para establecer huertos, disminuye el agua infiltrada y aumenta la evapotranspiración, con ello se reducen los caudales en manantiales, como los que aún son admirados en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio y el Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancítaro; por otra parte, se dejan de absorber más de 0.5 toneladas por ha por año de carbono, además de amenazar otros beneficios ambientales, como la regulación del clima y la biodiversidad que albergan los bosques.

Se reconoce entonces la necesidad de crear un marco de valoración multifuncional del bosque a partir de una mayor responsabilidad y organización social y la aplicación de políticas públicas orientadas a su conservación frente a otros usos, más allá de la visión silvícola convencional que resalta los valores de uso directo y extractivo. El reto es formular y aplicar una estrategia que incluya la producción sustentable de aguacate, con un mayor uso de tecnologías de bajo impacto para el ambiente, para la conservación y recuperación del bosque, así como el aprovechamiento forestal sostenible, conducir al desarrollo económico y social de la región. Para alcanzar esto se requieren apoyos para investigación y transferencia de tecnología, organización y capacitación de productores y técnicos, así como atender de manera puntual el marco legal relativo al cambio de uso del suelo. También se requiere de inversiones que garanticen la conservación de los recursos naturales, con el ordenamiento del cultivo del aguacate para el aumentar su productividad, frenar su expansión territorial, en armonía con los ecosistemas forestales.



1. INTRODUCCIÓN

En este libro se presenta nueva información sobre los impactos del cambio de uso del suelo en terrenos forestales en la región productora de aguacate del estado de Michoacán, México, así como una actualización de datos presentados anteriormente (Bravo et al., 2009). La información se sustenta en indicadores ambientales y económicos ya que el objetivo es determinar el estado actual del conocimiento de los procesos e impactos de la expansión del cultivo del aguacate en la deforestación y la degradación de los recursos forestales.

Este fruto ha detonado el crecimiento económico y la creación de empleos en Michoacán, logrando una alta competitividad en los mercados internacionales y el arraigo de los beneficiarios en sus comunidades, además de generar nuevas tecnologías para su transformación en productos con valor agregado como el guacamole, productos congelados y aceite. No obstante, este progreso presenta un dilema para la sustentabilidad regional y de la propia industria, debido principalmente a que los requerimientos climáticos y de suelo para su cultivo coinciden con los de los ecosistemas forestales de clima templado, causando que en años recientes se aceleren los procesos de cambio de uso del suelo y deforestación.

De la misma manera, el cultivo del aguacate ha originado cambios profundos en la cultura agrícola de la región, ya que áreas anteriormente sembradas con maíz por debajo de los 1800 metros fueron ocupadas paulatinamente por huertos de aguacate, de tal modo que prácticamente desapareció el sistema agrícola maicero, excepto en los municipios con mayores altitudes. Así mismo ha traído una serie de consecuencias en los pueblos y comunidades de la región tanto positivas como negativas; entre las primeras, se encuentran el incremento del ingreso económico en la región, el crecimiento de una serie de servicios asociados, tales como el establecimiento de empresas distribuidoras de agroquímicos, servicios de irrigación y de asesoría agronómica, entre otros; adicionalmente, se han creado fuentes de empleo para los habitantes locales. El efecto en los pueblos y comunidades de la región ha sido variable, pero en general ha llevado a conflictos agrarios por la intención de muchos productores de aguacate de cambiar el régimen de propiedad ejidal o comunal de las tierras productivas a un régimen privado.

Entre los impactos ambientales está la disminución de las superficies boscosas con sus efectos negativos en el sistema hidrológico, el elevado uso de agroquímicos, la pérdida de la biodiversidad y una mayor presión sobre el bosque por la demanda creciente de grandes volúmenes de madera para el empaque y transporte del fruto. En ese sentido, el objetivo del presente trabajo es evaluar el impacto ambiental y socioeconómico del cambio de uso del suelo de bosques templados a plantaciones de aguacate en el estado de Michoacán, para sustentar la formulación de un modelo de producción del sistema-producto más eficiente, de menor repercusión ecológica y orientado por principios sustentables.



2. ANTECEDENTES

México es líder mundial en el mercado del aguacate ya que, como indica la Secretaría de Economía (SE, 2012), participa con la tercera parte de la superficie sembrada total, es el principal exportador con el 40% y el de mayor consumo per-cápita (10 kg/año). Sus rendimientos por hectárea ocupan el cuarto lugar mundial (10.1 t/ha), por debajo de República Dominicana (19.3 t/ha), Colombia (16.1 t/ha) y Brasil (12.9 t/ha).

Michoacán destaca por el cultivo de aguacate de la variedad Hass, tanto por su extensión de más de 112,000 ha, como por su producción anual de un millón trescientas mil toneladas (SIAP-SAGARPA, 2012); cifras que representan el 36.5% de la producción mundial y el 74% del total de la superficie plantada nacional, ubicándolo como el principal productor en el mundo. Tiene el mayor consumo per cápita anual con cerca de 8 kg por habitante, además de ser el principal exportador con el 25% del total mundial (SISPRO, 2012). Esto constituye un fuerte incentivo económico y social para el crecimiento de la superficie plantada en el estado.

Se estima que durante el ciclo 2005 se generó un ingreso bruto de \$5,529 millones y se crearon empleos a razón de 1.5 personas por cada 10 ha, generando 11,707 empleos directos, 70 mil estacionales, y 187 mil indirectos permanentes (CONAPA, 2005). Para 2008 se estimó un rendimiento de 11.28 t/ha, por lo que la producción anual fue de 1,091,498 t, y que con un precio medio rural de \$8,357/t originó una derrama de \$94,267/ha, que en comparación con la producción de madera de 10 a 15 m³/ha/año en el mejor de los casos, a un precio de \$1,200.00 por m³rollo, indica una gran diferencia, ocasionando así una fuerte presión que motiva el cambio de uso del suelo con bosque para establecer huertas de aguacate.

Desde el punto de vista normativo se han generado numerosas leyes y reglamentos a nivel federal y estatal; así por ejemplo, para el cambio de uso del suelo en zonas forestales es necesario contar con un permiso que está regulado por el artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y los artículos 16, 17, 24 y 59 de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, constituyendo una infracción administrativa no contar con el mismo. Aunado a esto, el Código Penal Federal en su artículo 418, establece que es un delito ambiental realizar de manera ilícita el cambio de uso del suelo en una zona con vocación forestal.

El estado de Michoacán cuenta con un marco jurídico en materia ambiental, cuyo fundamento lo constituyen la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Michoacán de Ocampo y la Ley Ambiental y de Protección del Patrimonio Natural del Estado de Michoacán de Ocampo, con sus respectivos reglamentos, tanto en materia forestal como sobre la creación de áreas naturales protegidas. Desafortunadamente la aplicación de estas leyes y normas se dificulta por la nula o escasa coordinación entre las instancias de gobierno responsables. Para la aplicación de este marco legal, se requiere una voluntad política con visión de compromiso de largo plazo, que aprecie la interdependencia de los centros urbanos y rurales, y que reconozca la necesidad impostergable de compatibilizar el desarrollo económico con el uso sustentable de los recursos naturales.



3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA

Gilberto Chávez-León1

3.1 Contexto geográfico y ecológico

La zona productora de aguacate de Michoacán se ubica a lo largo de una franja ubicada en la estribación sur del Eje Neovolcánico, con una extensión de más de 112,000 ha (Figura 1). Aunque el área de estudio es diversa, con gradientes topográficos y climáticos, comparte similitudes ecológicas. El área se encuentra enclavada en la porción sur del Eje Neovolcánico, con un estrato geológico superior constituido por roca basáltica, brechas recientes permeables, brechas alteradas de baja permeabilidad y materiales volcánicos sueltos.

El gradiente altitudinal varía de 1,300 a 3,600 m, dominando las unidades geomorfológicas de montañas, mesetas, valles y lomeríos; las elevaciones más prominentes son el Pico de Tancítaro y el Cerro Prieto. Los suelos con mayor distribución son los andosoles (82%) y acrisoles (5%) que ocupan el 87% de un área que posee características físicas adecuadas para la agricultura. Estas condiciones geológicas y edáficas con distinto grado de permeabilidad producen una serie de manantiales que aportan escurrimientos para formar el Río Cupatitzio y otros arroyos.

Los principales tipos de clima son el semicálido subhúmedo (58%) y el templado subhúmedo (26%). La vegetación natural está compuesta por bosques de clima templado, principalmente mixtos de pino-encino, así como bosques de oyamel, de encino y mesófilo de montaña.



Figura 1. Franja aguacatera en el estado de Michoacán (Chávez-León et al., 2008).

¹ Doctor en Ciencias, investigador del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID COMEF), INIFAP.

En la zona ocurre un importante disturbio antropogénico que ha alterado la estructura y función de sus ecosistemas naturales, siendo los incendios forestales y el cambio de uso del suelo los principales agentes de trasformación y alteración de la biodiversidad.

3.2 Contexto socioeconómico

El cultivo del aguacate se reporta en 46 municipios del estado de Michoacán (Cuadro 1). En esos municipios, el Censo de Población y Vivienda 2010 registró una población de 2,581,742 habitantes, de los cuales aproximadamente el 10% se ocupa en el sistema producto aguacate (INEGI, 2012). Los principales centros urbanos son Uruapan, Peribán, Tancítaro, Los Reyes, Tacámbaro, Ario de Rosales y Zitácuaro, donde se asienta la mayor parte de la infraestructura de procesamiento y comercio del aguacate.

Cuadro 1. Reporte mensual de siembras, cosechas, producción y rendimiento del cultivo de aguacate en Michoacán; riego y temporal. Situación al 31 de julio de 2012, por Distrito de Desarrollo y Municipio.

| Distrito | Municipio | Superficie (ha) | | | Producción | Rendimiento |
|---------------------------|--------------------------|-----------------|-----------|-------------|------------|-------------|
| | | sembrada | cosechada | siniestrada | | |
| AGUILILLA | AGUILILLA | 70 | 20 | | 51 | 2.55 |
| TOTAL DISTRI | TOTAL DISTRITO AGUILILLA | | 20 | | 51 | 2.55 |
| APATZINGÁN | APATZINGÁN | 449 | 419 | | 1,813 | 4.33 |
| | PARÁCUARO | 18 | 18 | | 74 | 4.09 |
| TOTAL DISTRITO APATZINGÁN | | 467 | 437 | | 1,887 | 4.32 |
| MORELIA | ACUITZIO | 1,429 | | 267 | | |
| | CHARO | 5 | | | | |
| | COPÁNDARO | 2 | | | | |
| | MADERO | 761 | | 150 | | |
| | MORELIA | 345 | | | | |
| | QUERÉNDARO | 3 | | | | |
| | TARÍMBARO | 20 | 5 | | 10 | 2 |
| | ZINAPÉCUARO | 53 | | | | |
| TOTAL DISTRITO MORELIA | | 2,618 | 5 | 417 | 10 | 2 |

Continuación Cuadro 1..

| Distrito | Municipio | Superficie (ha) sembrada cosechada siniestrada | | Producción | Rendimiento | |
|------------------------|--------------------------|---|--------|--------------------|-------------|-------|
| | | | | | | |
| PÁTZCUARO | ARIO | 12,360 | 11,408 | | 69,164 | 6.063 |
| | ERONGARÍCUARO | 455 | 392 | | 2,570 | 6.555 |
| | HUIRAMBA | 76 | 62 | | 245 | 3.973 |
| | PÁTZCUARO | 197 | 177 | | 980 | 5.13 |
| | QUIROGA | 65 | 57 | | 296 | 5.196 |
| | SALVADOR ESCALANTE | 13,811 | 12,531 | | 76,199 | 6.081 |
| | TACÁMBARO | 13,833 | 13,142 | | 84,052 | 6.396 |
| | TURICATO | 2,182 | 1,944 | | 12,373 | 6,365 |
| | TZINTZUNTZAN | 14 | 14 | | 124 | 8.823 |
| TOTAL DISTRI | TO PÁTZCUARO | 42,993 | 39,727 | | 245,932 | 6,191 |
| SAHUAYO | JIQUILPAN | 47 | 47 | | 258 | 5.5 |
| TOTAL DISTRI | TO SAHUAYO | 47 | 47 | | 258 | 5.5 |
| URUAPAN | CHARAPAN | 90 | | | | |
| | NUEVO PARANGARICUTIRO | 5,491 | 4,850 | | 48,500 | 10 |
| | TANCÍTARO | 19,254 | 18,620 | | 186,200 | 10 |
| | TARETAN | 735 | 685 | | 6,850 | 10 |
| | TINGAMBATO | 2,200 | 1,910 | | 19,100 | 10 |
| | URUAPAN | 12,459 | 11,790 | | 117,900 | 10 |
| | ZIRACUARETIRO | 2,370 | 2,165 | | 21,650 | 10 |
| TOTAL DISTRITO URUAPAN | | 42,599 | 40,020 | | 400,200 | 10 |
| ZAMORA | CHILCHOTA | 340 | 107 | | 482 | 4.5 |
| | COTIJA | 870 | 740 | 1,030 | | 1.392 |
| | PERIBÁN | 12,779 | 12,378 | | 2,980 | 4.027 |
| | PURÉPERO | 138 | 54 | | 270 | 5 |
| | LOS REYES | 3,320 | 2,780 | THE REAL PROPERTY. | 16,096 | 5.79 |

Continuación Cuadro 1...

| Distrito | Municipio | Superficie (ha) | | | Producción | Rendimiento |
|--------------------------|---------------|-----------------|-----------|-------------|------------|-------------|
| | | sembrada | cosechada | siniestrada | | |
| ZAMORA | TANGAMANDAPIO | 636 | 611 | | 3,666 | 6 |
| | TANGANCICUARO | 1,119 | 647 | | 3,428 | 5.3 |
| | TINGUINDIN | 2,240 | 2,120 | | 14,196 | 6.696 |
| | тосимво | 509 | 415 | | 2,440 | 5.88 |
| TOTAL DISTRITO ZAMORA | | 21,950 | 19,852 | | 117,335 | 5.462 |
| ZITACUARO | HIDALGO | 22 | 22 | | 154 | 7 |
| | IRIMBO | 92 | 92 | | 662 | 7.2 |
| | JUÁREZ | 30 | 14 | | 144 | 10.3 |
| | JUNGAPEO | 24 | 24 | | 183 | 7.798 |
| | MARAVATIO | 6 | 3 | | 16 | 5.5 |
| | ОСАМРО | 54 | 20 | | 165 | 8.454 |
| | SUSUPUATO | 175 | 61 | | 580 | 9.5 |
| | TUXPAN | 312 | 312 | | 2,460 | 7.883 |
| | ZITÁCUARO | 1,213 | 573 | | 5,742 | 10.02 |
| TOTAL DISTRITO ZITÁCUARO | | 1,928 | 1,121 | | 10,106 | 8.184 |
| | TOTAL | 112,673 | 101,229 | 417 | 775,801 | 6.73 |

Fuente: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2012), con información de las Delegaciones de la SAGARPA (www.siap.gob.mx).

3.3 Tendencias en el uso del suelo en Michoacán

Aunque la región ha sido poblada desde hace dos milenios, la explotación a gran escala de la tierra y los bosques se dio por primera vez durante el siglo XIX con el establecimiento de grandes haciendas y la construcción del ferrocarril, el cual, en particular, ejerció una alta presión en los recursos forestales por la demanda de madera para la fabricación de durmientes. Sin embargo, los conflictos sociales armados de 1910 a 1930 permitieron el descanso y la recuperación de los bosques.

Nuevamente, con la introducción de la carretera panamericana en la década de 1940 y con la erupción del volcán Paricutín en 1943, se afectó una parte importante de las áreas de cultivo y de bosques. Desde entonces se desencadenaron fuertes transformaciones en el uso del suelo, entre las cuales figura la disminución del sistema tradicional de cultivo de maíz de "año y vez", que consiste en la producción

de maíz bajo el régimen de humedad residual durante un ciclo y en el siguiente la tierra permanece en descanso para el pastoreo del ganado (Medina et al., 2008) y la introducción del aguacate a partir de la década de 1960. En la actualidad, este cultivo en Michoacán representa el 37% de la producción mundial y el 74% del total de la superficie nacional plantada (Figura 2), ubicando al estado como el principal productor en el mundo.

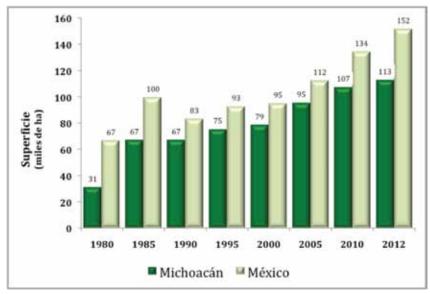


Figura 2. Superficie sembrada con aguacate en México y Michoacán entre 1980 y 2012. Fuente: SIAP, con información de las Delegaciones de la SAGARPA (www.siap.gob.mx).

Entre 1976 y 2000, más de 200,000 hectáreas de bosque templado y 300,000 de selva fueron desmontadas en Michoacán, 8,500 y 12,500 ha por año en promedio, lo que representa tasas de deforestación anuales de 0.47 y 0.65, respectivamente (Mas et al., 2005). Aunque en un principio las plantaciones de aguacate se establecieron mediante la reconversión de cultivos anuales o de temporal, como el maíz y la papa, actualmente está desplazando al bosque de coníferas mediante cambio de uso del suelo en terrenos forestales (Figuras 3 y 4). Por ejemplo, en una imagen de satélite del 10 de febrero de 1973, las áreas claras corresponden a sitios dedicados a cultivos anuales de temporal, maíz, principalmente (Figura 3a). La imagen del 21 de enero de 2011 muestra que esos sitios fueron ocupados por huertas de aguacate, en color rojo brillante (Figura 3b). En ambas imágenes de satélite se aprecian desmontes en la ladera sur del Pico de Tancítaro, donde se ha establecido el cultivo del aguacate.

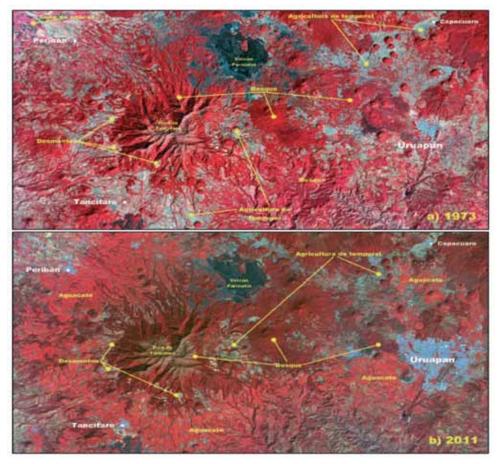


Figura 3. Imágenes satelitales que muestran la cobertura del suelo en la región Uruapan, Tancítaro Peribán, en 1973 y 2011. a) 10 febrero 1973, Landsat 1 MSS, bandas 7, 5, 4 (RGB); b) 21 enero 2011, Landsat 5 TM, bandas 4, 3, 1 (RGB). Elaboró: G. Chávez-León. Fuente: GLS U.S. Geological Survey y National Aeronautics and Space Administration (<//earthexplorer.usgs.gov/>)

En la Figura 4, la imagen de satélite de 1990 muestra que el cerro Jujucato se encontraba casi totalmente cubierto de bosque de coníferas, y de bosque mesófilo de montaña en la ladera oeste, excepto casi en la cima, donde había agricultura de temporal.

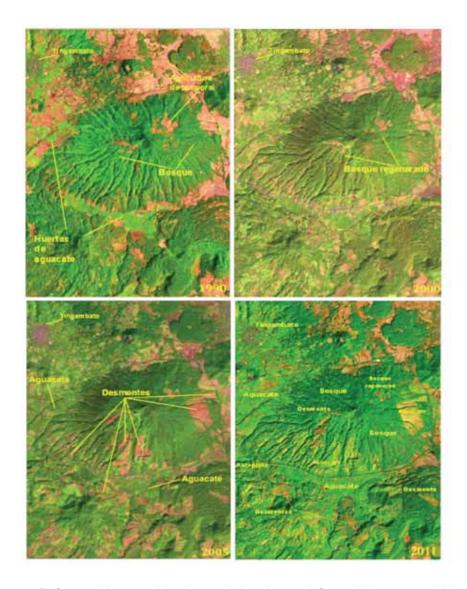


Figura 4. Deforestación y cambio de uso del suelo en el Cerro Jujucato, municipio de Tingambato, Michoacán, 1990-2011. Imágenes Landsat, enero-abril, bandas 5, 4, 3 (RGB). Elaboró: G. Chávez-León; fuente: GLS U.S. Geological Survey y National Aeronautics and Space Administration (<//earthexplorer.usgs.gov/>).

En la imagen del año 2000 se nota la regeneración del bosque en la parte sur de esas áreas agrícolas, posiblemente por su abandono; también resalta la nueva autopista Uruapan-Pátzcuaro al sur del cerro. En el año 2005 las huertas de aguacate se extendieron en las zonas de poca pendiente al sur del poblado de Tingambato y en el valle al sur del cerro (ex Hacienda Jujucato), y ocuparon las zonas de cultivos anuales al norte y sureste; en esta imagen resaltan las zonas desmontadas en las laderas este, sur y suroeste el cerro para establecer huertas. En la imagen del año 2011 se aprecia que las huertas recientemente establecidas han aumentado su follaje y que nuevas áreas se han abierto al cultivo del aguacate en terrenos forestales, además de que la zona de cultivo de temporal en la cima del cerro el bosque continúa en proceso de regeneración.

4. MARCO LEGAL DEL CAMBIO DE USO DE SUELO EN TERRENOS FORESTALES

Gilberto Chávez-León 1, Juan Bautista Rentería Ánima 2

Durante sus primeras etapas en Michoacán el cultivo del aguacate se estableció principalmente sobre zonas de agricultura de temporal y de matorral—pastizal, que muy probablemente antes fueron zonas de cultivo de temporal también, y en menor medida sobre la cubierta forestal. (Morales y Cuevas, 2011).

Desafortunadamente esa tendencia de reconversión de cultivos de temporal a aguacate ha cambiado en los últimos 15 años, pues al haber menos áreas de cultivos tradicionales existentes, en las que es rentable introducir el cultivo de aguacate, algunas zonas de cubierta forestal de importancia local, han resultado muy afectadas. Es importante mencionar que en los inicios del establecimiento de este cultivo, no existían normas ambientales que regularan el cambio de uso del suelo forestal a agrícola y que frenaran su introducción en zonas de cubierta forestal.

Ante la reciente y acelerada expansión de la frontera agropecuaria en terrenos forestales, México ha desarrollado una serie de herramientas legales que tienen como objeto regular su crecimiento y garantizar la conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales. Esas herramientas incluyen Leyes Federales y Estatales, con sus respectivos reglamentos, así como normas oficiales mexicanas (NOM). A continuación se presenta una breve relación de ellas.

En la actualidad, el efectuar actividades de cambio de uso del suelo en terrenos forestales (CUSTF) o preferentemente forestales, sin la autorización respectiva, constituye una infracción a la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS), que es sancionada administrativamente por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Por su parte, el Código Penal Federal, establece como delito ambiental realizar de manera ilícita el CUSTF, que implica una pena de seis meses a nueve años de prisión, y el equivalente de cien a tres mil días de salario mínimo de multa.

La regulación y reglamentación del CUSTF es una atribución del Gobierno Federal, que ejerce con fundamento en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) y la LGDFS. La LGEEPA es reglamentaria de las disposiciones constitucionales en lo relativo a la preservación y restauración del equilibrio ecológico,

¹ Doctor en Ciencias, investigador del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID COMEF), INIFAP.

² Doctor en Ciencias, Director de Soporte Forestal de la Dirección General del INIFAP.

así como a la protección del ambiente en el territorio nacional. La LGEEPA indica que la regulación del aprovechamiento sustentable, la protección y la preservación de los recursos forestales y el suelo, son determinados por la LGDFS.

La LGDFS es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, sus disposiciones son de orden e interés público y de observancia general en todo el territorio nacional. Tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, así como distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la Federación, los Estados, el Distrito Federal y los Municipios, con el fin de propiciar el desarrollo forestal sustentable. Cuando se trata de recursos forestales cuya propiedad corresponda a los pueblos y comunidades indígenas se observa lo dispuesto por el Artículo 2 constitucional.

La LGDFS establece que se podrán otorgar autorizaciones de cambio de uso del suelo en bosques y selvas solamente por excepción. Hacerlo sin contar con la autorización respectiva es una infracción a esta ley y constituye un delito ambiental penado por el Código Penal Federal.

Así mismo, se requiere de una evaluación y autorización previa de impacto ambiental para llevar a cabo actividades de CUSTF, como lo establece el Artículo 28 de la LGEEPA. El Reglamento de la LGEEPA en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental, define a esta actividad en su Artículo 3º como:

"...l. Cambio de uso de suelo: Modificación de la vocación natural o predominante de los terrenos, llevada a cabo por el hombre a través de la remoción total o parcial de la vegetación..."

En su Artículo 5º este Reglamento indica que: "Quienes pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización de la Secretaría [de Medio Ambiente y Recursos Naturales – SEMARNAT] en materia de impacto ambiental:

- ...O) CAMBIOS DE USO DEL SUELO DE ÁREAS FORESTALES, ASÍ COMO EN SELVAS Y ZONAS ÁRIDAS:
- I. Cambio de uso del suelo para actividades agropecuarias...
- II. Cambio de uso del suelo de áreas forestales a cualquier otro uso...
- III. Los demás cambios de uso del suelo, en terrenos o áreas con uso

de suelo forestal, con excepción de la modificación de suelos agrícolas o pecuarios en forestales, agroforestales o silvopastoriles, mediante la utilización de especies nativas..."

El Artículo 7 de la LGDFS establece las siguientes definiciones:

- "... V. Cambio de uso del suelo en terreno forestal: La remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales:
- XL. Terreno forestal: El que está cubierto por vegetación forestal;
- XLI. Terreno preferentemente forestal: Aquel que habiendo estado, en la actualidad no se encuentra cubierto por vegetación forestal, pero por sus condiciones de clima, suelo y topografía resulte más apto para el uso forestal que para otros usos alternativos, excluyendo aquéllos ya urbanizados..."

La LGDFS determina en sus Artículos 12, 16, 24 y 58 las atribuciones de la SEMARNAT para regular y otorgar autorizaciones en materia de CUSTF, por excepción. El Artículo 33 establece como un criterio obligatorio de política forestal de carácter ambiental y silvícola la estabilización del uso del suelo forestal a través de acciones que impidan el cambio en su utilización, promoviendo las áreas forestales permanentes. El Artículo 117 detalla las condiciones y medidas que se tomarán para poder autorizar el CUSTF por excepción, tomando en cuenta la opinión técnica de los miembros del Consejo Estatal Forestal y con base en los estudios técnicos justificativos que demuestren que no se compromete la biodiversidad, ni se provocará la erosión de los suelos, el deterioro de la calidad del agua o la disminución en su captación; y que los usos alternativos del suelo que se propongan sean más productivos a largo plazo. No se podrá otorgar autorización de cambio de uso de suelo en un terreno incendiado sin que hayan pasado 20 años, a menos que se acredite que el ecosistema se ha regenerado totalmente.

El Reglamento de la LGDFS, en sus Artículos 120 al 127, establece los procedimientos administrativos para que el interesado solicite autorización y presente los estudios técnicos justificativos para llevar a cabo actividades de CUSTF. Indican también la forma por la que la SEMARNAT resolverá dichas solicitudes, otorgue la autorización y el interesado haga el pago respectivo por compensación ambiental, la que incluye actividades de restauración o reforestación y su mantenimiento, que propiciarán la restitución paulatina de los procesos ecológicos de los ecosistemas forestales.

Sólo una norma oficial mexicana, de aplicación obligatoria, se refiere específicamente a este fenómeno, la NOM-062-SEMARNAT-1994, que establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que se ocasionen por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios.

Entre las especificaciones relevantes, determina que se deben mantener franjas de vegetación natural perpendiculares a la dirección de los vientos para que actúen como cortinas rompevientos para mitigar el efecto de los procesos erosivos.

También indica que se deberá conservar como mínimo un 20% de la superficie total cubierta por la vegetación original presente, distribuida en franjas y parches. En caso de encontrarse especies de flora o fauna silvestre listadas en la NOM-059-SEMARNAT-2011 en alguna categoría de riesgo, se considerarán otros usos alternativos de aprovechamiento sustentable del suelo u otros recursos, que no impliquen la desaparición de estas especies y sus requerimientos de hábitat. Por último, señala que los bosques mesófilos de montaña originales o maduros que presentan un tiempo de regeneración igual o mayor a 20 años y un 30% como mínimo del estrato arbóreo dominante, con un diámetro igual o mayor a 15 cm, serán excluidos de cualquier tipo de cambio de uso del suelo. Este tipo de vegetación era común en laderas protegidas y barrancas de la zona productora de aguacate en Michoacán.

Desde mediados de la década de 1990, la SEMARNAT no ha autorizado solicitudes de cambio de uso de terrenos forestales a uso agrícola o pecuario en Michoacán (SEMARNAT 2011, SNIARN 2011). Por lo tanto, los que se han efectuado desde entonces han sido de manera irregular. Este problema se ha acelerado recientemente, ante la incapacidad de autoridades regulatorias con insuficientes recursos humanos para su prevención, vigilancia y sanción.

De conformidad con lo dispuesto en la LGEEPA y a fin de ejercer las atribuciones que en materia ambiental les corresponden, el estado de Michoacán y sus municipios cuentan con disposiciones jurídicas que inciden de manera directa en materia de cambio de uso del suelo. Las leyes estatales y sus reglamentos que aplican son:

- Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Michoacán de Ocampo y su reglamento
- Ley Ambiental y de Protección del Patrimonio Natural del Estado de Michoacán de Ocampo y su reglamento
- Ley para la Conservación y Restauración de Tierras del Estado de Michoacán de Ocampo

 Ley de Desarrollo Rural Integral Sustentable del Estado de Michoacán de Ocampo y su reglamento.

Lo más relevante de estas normas jurídicas estatales, es que el Ejecutivo del Estado a través de la Comisión Forestal del Estado de Michoacán (COFOM) y de la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) podrá suscribir convenios o acuerdos de coordinación con la Federación, con el objeto de que en el ámbito territorial de su competencia asuma, entre otras, las funciones de evaluar el impacto ambiental y autorizar el cambio de uso de suelo de los terrenos forestales. También indican que la Comisión, por conducto de su titular, en los términos de los mecanismos de coordinación establecidos con la Federación a través de la SEMARNAT, podrá otorgar autorizaciones de cambio de uso de suelo en terrenos forestales por excepción. Las autoridades municipales también cuentan con atribuciones para autorizar el cambio de uso del suelo en sus demarcaciones, en congruencia con sus ordenamientos territoriales y en coordinación con las autoridades estatales y federales. No obstante, al parecer no se ejerce apropiadamente esta atribución.

Para evitar la expansión ilegal del cultivo del aguacate sobre superficies con vocación forestal, es necesario que se aplique la normatividad al respecto. Aunque estos son los ordenamientos legales con que cuenta el Estado Mexicano para cumplir con sus obligaciones en materia ambiental, y de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales, existen incentivos económicos que fomentan las actividades agropecuarias, como son los subsidios, la apertura de nuevos mercados para el aguacate y el incremento de su precio, por lo que terminan por extenderse sin control sobre la frontera forestal. Es necesario que el Gobierno haga respetar el estado de derecho para imponer el orden legal, y que obtenga los resultados que se propone con leyes, políticas, inversiones, reglas e incentivos fiscales. También es necesario brindar alternativas productivas en áreas con potencial para el cultivo del aguacate que propicien su establecimiento en otros estados.



5. INDICADORES DEL IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIOECONÓMICO

Juan Bautista Rentería Ánima¹, Gilberto Chávez-León ²

El desafío de evaluar la condición o salud general de un ecosistema es enorme. Los indicadores disponibles aún están inconclusos y cada uno proporciona apenas una descripción parcial del panorama completo. Entre los indicadores disponibles figuran las presiones de los ecosistemas, incluyendo factores como el crecimiento demográfico, el aumento en el consumo de recursos, la contaminación y el aprovechamiento excesivo; su extensión, ubicación, tamaño, distribución y la producción total de los diversos bienes económicos que genera. Cada uno de estos indicadores es importante, pero en su conjunto, estos apenas proporcionan una visión limitada de sus condiciones y su manejo. La información sobre la producción de los distintos ecosistemas no da una idea completa de cómo está funcionando porque, generalmente, no se compila ese tipo de datos para servicios básicos intangibles como la purificación del agua o la protección ante las acciones de tormentas, pese a que en ocasiones estos servicios son precisamente los más valiosos del ecosistema.

Los indicadores ambientales pueden ser considerados un aporte del mundo moderno a la demanda creciente por disponer de información confiable, continua y comparable respecto al estado de la relación entre la sociedad y su entorno natural. Sin embargo, su formulación solo ha contribuido a aportar datos respecto a determinados aspectos de variables que integran alguna de las tres dimensiones reconocidas como integrantes del desarrollo sostenible: ambiental, social y económica, pero aún están alejados de lograr el objetivo genérico para el cual han sido formulados. Son muchas las disciplinas que abogan por la formulación de nuevas metodologías de trabajo, verdaderamente multidisciplinarias. Solo mediante un diálogo multidisciplinario, se podrán reconocer aquellas relaciones funcionales significativas que permitan diseñar indicadores que sean integrados, con aproximaciones sistemáticas, con una perspectiva holística que permita evaluar los esfuerzos desplegados en el camino hacia la sostenibilidad. Tal es el caso del esquema Presión-Estado-Respuesta (PER). El esquema PER se basa en el conjunto de relaciones siguientes: las actividades humanas ejercen presión (P) sobre el ambiente, modificando con ello la cantidad y calidad, es decir, el estado de los recursos naturales; la sociedad responde (R) a tales transformaciones con políticas generales y sectoriales, tanto ambientales como socioeconómicas, las cuales afectan y se retroalimentan de las presiones de las actividades humanas.

¹ Doctor en Ciencias, Director de Soporte Forestal de la Dirección General del INIFAP.

² Doctor en Ciencias, investigador del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID COMEF), INIFAP.

Un indicador puede definirse, de manera general, como un parámetro o valor, que señala o provee información o describe el estado de un fenómeno dado del ambiente o de un área específica, con un significado que trasciende el valor específico del parámetro. Todas las organizaciones involucradas parecen coincidir en que los indicadores son herramientas útiles para el diseño de políticas y para evaluar las medidas ya implementadas; así como que su importancia va mas allá de los resultados directos obtenidos de las observaciones, advirtiendo que deben ser claros, simples sustentados científicamente, verificables y reproducibles (OCDE, 1998).

La Comisión de Desarrollo Sustentable (CDS) de las Naciones Unidas aprobó en 1995 el trabajo sobre indicadores de desarrollo sustentable 1995-2000, a instrumentarse en diferentes etapas; fueron diseñados y agrupados de acuerdo con criterios temáticos que cubren lo expuesto en cada uno de los 40 capítulos de la Agenda 21, clasificados en cuatro categorías, social, económica, ambiental e institucional. Al estructurar el análisis de la sustentabilidad en tales categorías o subsistemas se busca identificar no solo los posibles ámbitos de causa-efecto para un fenómeno dado, sino también los factores o aristas esenciales que pueden orientar las líneas de acción a seguir en torno a dichos fenómenos.

A continuación se presentan algunos indicadores de impacto ambiental, social y económico, que tratan de valorar las consecuencias de los cambios de uso del suelo en la región productora de aguacate en Michoacán. En un principio se estableció que los indicadores cumplieran con criterios que permitan su medición y comparación entre los sistemas de producción forestal y aguacatera, considerando su relevancia, sensibilidad y mérito científico, que originen conclusiones sólidas. No obstante, los datos de cada cambio son insuficientes, y algunas veces no son de la precisión deseada debido a la carencia de estudios específicos sobre estos temas. Los indicadores que se describen corresponden a ambos sistemas de producción, en los temas siguientes: servicios ambientales, que incluyen la conservación de la diversidad biológica, captura de carbono y la adaptación al cambio climático, consumo de agua y producción de agua; factores limitantes de tipo climático o altitudinal para el cultivo de aguacate y las especies forestales; cambio de uso del suelo y erosión, y producción y manejo forestal. Se enfatiza su importancia en la generación de empleos, costos y valor de la producción, con información actualizada al 2012.

5.1. Servicios ambientales

Gilberto Chávez-León1

Los servicios ambientales se definen como "los beneficios indirectos que la sociedad obtiene gratuitamente de los ecosistemas" y se caracterizan porque su valor es intangible (aquello que se sabe que existe, pero cuya cuantificación y valoración resultan complicadas); ejemplos típicos son la regulación del ciclo hidrológico, la regulación del clima y la conservación de la biodiversidad (Wunder *et al.*, 2007). Este concepto surge de la necesidad de enfatizar la estrecha relación que existe entre los ecosistemas y el bienestar de las poblaciones humanas (Balvanera y Cotler, 2007).

Los términos servicios ecosistémicos (SE) y servicios ambientales (SA) se usan indistintamente, aunque difieren en su contexto. Cuando se usa el primero es para enfatizar el hecho de que es el conjunto de organismos, condiciones abióticas y sus interacciones, lo que permite que los seres humanos se vean beneficiados. En cambio el término SA otorga más peso al concepto de "ambiente" o "medio ambiente", en el cual no se explicitan las interacciones necesarias para proveer dichos servicios (Balvanera y Cotler, 2007). Otra diferencia es que servicios ecosistémicos se usa principalmente en el medio académico por influencia del idioma inglés, ecosystem services, mientras que servicios ambientales es de uso común en español. También se usa el término bienes y servicios ambientales, pero mientras los bienes ambientales son producto de las funciones ecológicas, los SA son atributos de estas (Constanza et al., 1997). Esta confusión de términos surge de un enfoque muy difundido que considera que los servicios se dividen en cuatro categorías (Millennium Ecosystem Assessment, 2005):

- 1. Servicios de aprovisionamiento, que son los productos naturales que el ser humano usa como alimento, vestido, combustible, medicina, herramientas, etc.
- Servicios culturales, son los que proporcionan oportunidades de recreación y educación, incluyendo la conservación del paisaje.
- Servicios de regulación, incluyen la regulación del clima, inundaciones, enfermedades, la purificación del agua, el control de plagas y enfermedades y la remoción de animales muertos.
- 4. Servicios de soporte, son los servicios necesarios para producir todos los otros servicios, como la producción primaria, la producción de oxígeno, la

¹ Doctor en Ciencias, investigador del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales (CENID COMEF), INIFAP.

formación y retención de suelos, la polinización, la dispersión de semillas, la provisión del hábitat y los ciclos de nutrientes.

Sin embargo, este enfoque también ha generado un debate sobre la cuantificación del valor económico de los SA, ya que no evita el doble conteo de un proceso y sus productos finales o bienes, como en el caso de los servicios de aprovechamiento, como la madera (Wenny et al., 2011). Por lo tanto, es preferible no considerar a los servicios de aprovisionamiento, que proveen bienes ambientales, como parte de los SA, ya que a diferencia de estos, es necesario extraerlos, transformarlos e integrarlos a un proceso de comercialización para obtener un beneficio. En consecuencia, para los fines de esta discusión se considera que entre los servicios ambientales que los bosques proveen de manera gratuita a la sociedad humana se encuentran los siguientes:

- Protección de la biodiversidad
- Captación y filtración de agua
- Retención de suelo
- Mitigación de los efectos del cambio climático
- Generación de oxígeno y asimilación de diversos contaminantes
- Refugio de fauna silvestre
- Belleza escénica

Un enfoque adicional considera que no sólo los ecosistemas naturales son proveedores de servicios ambientales, sino que los también los agrosistemas son capaces de hacerlos. Entre los servicios ambientales que estos sistemas proveen se encuentran:

- Protección contra la erosión del suelo
- Arborización, por medio de la fruticultura
- Retención de la humedad del suelo

Ante la magnitud de la transformación y la pérdida de los ecosistemas naturales, entre ellos los forestales, y del deterioro ambiental que traen consigo, se han creado diversos instrumentos que buscan protegerlos y detener su pérdida, salvaguardando con ello su biodiversidad y los servicios ambientales que prestan. En México destacan las Áreas Naturales Protegidas (ANP), los humedales de la Convención Ramsar y los Programas de Pago por Servicios Ambientales (PSA), los cuales

protegen en conjunto, alrededor de 24.4 millones de hectáreas, con cerca del 12.5% de la superficie nacional. La mayor parte de la superficie protegida la ocupan las ANP, alrededor del 79%, seguida por los humedales de la Convención Ramsar, 14%, y las áreas de los PSA, 7% (SEMARNAT, 2009a).

Su creciente escasez vuelve a los SA sujetos potenciales de comercialización. La idea central del pago por servicios ambientales (PSA) es que los beneficiarios externos de los SA paguen de manera directa, contractual y condicionada a los propietarios y usuarios locales por adoptar prácticas que aseguren la conservación y restauración de ecosistemas (Wunder, 2006). Por ejemplo, los agricultores y los habitantes de las ciudades en las partes bajas de las cuencas hidrológicas se ven beneficiados por la conservación de los bosques en la parte alta de la cuenca, cuyos poseedores no son compensados por los primeros. Es necesario garantizar su protección y suministro en la planeación del uso del suelo, ya que son fundamentales para el bienestar de la humanidad. El reconocer que muchas funciones ecológicas son servicios escasos y valiosos para el bienestar de la humanidad ha promovido esfuerzos para valorar de manera tangible los SA mediante PSA (Wunder, 2006; Wunder *et al.*, 2007). Además, se considera que el PSA es una herramienta que puede ayudar a reducir la pobreza en Latino América (Pagiola *et al.*, 2005).

Si el uso de la tierra deseado es ya más rentable que uno no deseado, generalmente no tiene sentido aplicar un PSA. El PSA logra su mejor desempeño en el rango intermedio de costos de oportunidad, positivos pero numéricamente pequeños: pastizales degradados, cultivos marginales, bosques en zonas de frontera agrícola (Wunder, 2006). Al igual que otros incentivos económicos, se espera que el PSA logre su mejor desempeño en el margen de ganancia, cuando un pago o compensación a los propietarios incline la balanza a favor de un uso deseado de la tierra. En los escenarios con amenazas proyectadas, el PSA podría funcionar como una forma de seguro ambiental (Wunder *et al.*, 2007).

El Gobierno Federal mexicano estableció desde hace pocos años el PSA. La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) administra varios programas en este sentido, siendo ProÁrbol el que cuenta con mayores recursos y difusión. Este programa ofrece un pago o compensación, tanto de manera directa como a través de fondos concurrentes, a aquellos dueños y poseedores de terrenos forestales que realizan actividades de manejo sustentable o protección, las cuales permiten mantener y mejorar la provisión de servicios ambientales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Beneficiarios y superficie en Michoacán con recursos asignados para su incorporación al pago por servicios ambientales del bosque en el programa ProÁrbol 2007-2010 (CONAFOR, 2012).

| | BENEFIC | | PERFICIE POR AMBIENTAL CAPTURA DE CONSERVA | CARBONO, | TOTAL | |
|-------|----------------------------|--------------------|---|--------------------|----------------------------|--------------------|
| | SERVIÓ HIDROLÓ | | LA BIODIV Y SISTI AGROFOR | ERSIDAD EMAS | | |
| Año | Número de beneficiarios | Superficie (ha) | Número de beneficiarios | Superficie (ha) | Número de beneficiarios | Superficie (ha) |
| 2007 | 23 | 6,493.69 | 1 | 1,241.00 | 24 | 7,734.69 |
| 2008 | 52 | 17,002.05 | 3 | 2,074.78 | 55 | 19,076.83 |
| 2009 | 14 | 6,550.76 | 4 | 4,329.87 | 18 | 10,880.63 |
| 2010 | 15 | 12,598.68 | 7 | 3,692.88 | 22 | 16,291.56 |
| TOTAL | 104 | 42,645.18 | 15 | 11,338.53 | 119 | 53,983.71 |

En los capítulos que integran esta sección se presenta información sobre biodiversidad, captura de carbono, producción y consumo de agua, y adaptación al cambio climático en la región aguacatera de Michoacán, temas relacionados con los servicios ambientales, que son tratados por investigadores del INIFAP.



5.1.1. Conservación de la biodiversidad

Gilberto Chávez-León 1

Importancia

Un importante servicio ambiental que brindan los bosques es la conservación de la diversidad biológica o biodiversidad, que se define como la riqueza total en composición y número de manifestaciones de las formas de vida en la naturaleza; incluye toda la variación y abundancia de genes, organismos, poblaciones, especies, comunidades, ecosistemas y los procesos ecológicos de los que son parte (Sánchez, 2011). Entre los cuatro tipos de servicios ambientales que se comercializan en la actualidad en diversos países, captura de carbono, servicios hidrológicos, belleza escénica y conservación de la biodiversidad, ésta última ha sido la más lenta y la de menor expansión (Wunder et al., 2007). Las causas principales del impacto negativo sobre la biodiversidad son la destrucción del hábitat, la sobreexplotación de las especies, la introducción de especies exóticas, el impacto de los agroquímicos, incendios forestales y otros.

En México, específicamente en la zona aguacatera de Michoacán, el principal factor que amenaza a los bosques es el cambio de uso del suelo, impulsado por la expansión de la frontera frutícola. De esta manera, ecosistemas ricos en biodiversidad son sustituidos por un monocultivo. Dos aspectos son fundamentales para determinar el estado de conservación de la biodiversidad: la cobertura y extensión de la vegetación natural, y la superficie ocupada por los diferentes usos del suelo. También es importante conocer la situación de las especies endémicas y en riesgo, y las acciones y herramientas legales para su conservación, como el establecimiento de Áreas Naturales Protegidas (ANP), el desarrollo de la recreación como alternativa de uso no extractivo, y las prácticas de aprovechamiento sustentable de los recursos forestales.

Información relevante

El principal factor de presión sobre la diversidad biológica, específicamente sobre la flora y la fauna silvestre, es la degradación o destrucción de su hábitat por deforestación causada por la expansión de la frontera frutícola del cultivo del aguacate. Esto tiene como consecuencia la disminución en la extensión de los ecosistemas forestales mediante su fragmentación, aunado a la erosión del suelo y la pérdida de elementos estructurales y funcionales del hábitat, con la consecuente pérdida de diversidad

¹ Doctor en Ciencias, investigador del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Meioramiento de Ecosistemas Forestales (CENID COMEF), INIFAP.

biológica. Los ricos y diversos ecosistemas forestales del Eje Neovolcánico terminan por ser sustituidos por un monocultivo con muy baja diversidad biológica, tanto genética como de especies y comunidades.

En Michoacán existen más de una docena de tipos de comunidades vegetales (Carranza, 2005), que ocupan el 26.4% de la superficie estatal (Palacio-Prieto et al., 2000). Aproximadamente el 40% de la superficie de esos bosques se encuentra en la Meseta Purépecha, distribuida de manera discontinua formando manchones, entre los 1,500 y los 3,800 msnm (INEGI, 1997). En la zona de transición entre la Depresión del Balsas y el Cinturón Volcánico Transmexicano se encuentran las condiciones ideales para el cultivo del aguacate, mismas donde prosperan cuatro tipos de bosque: bosque de pino, bosque de oyamel, bosque de encino y bosque mesófilo de montaña. Estos bosques crecen en áreas con climas de tipo templado, templado húmedo, templado subhúmedo, templado frío, templado semifrío, templado semicálido, semicálido y cálido subhúmedo, donde la precipitación media anual varía de 650 a más de 1,500 mm, en altitudes de hasta 3,850 msnm (Carranza, 2005).

Después de Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Guerrero, el estado de Michoacán es el que cuenta con mayor diversidad de especies de animales y plantas. Se han registrado 547 especies de aves, 160 de mamíferos, 42 de anfibios, 138 de reptiles, 241 arácnidos, 1,153 insectos, 30 de encinos, 16 de pináceas, 208 de helechos, 5,000 de otras plantas vasculares y 652 de hongos (Villaseñor, 2005; Luna *et al.*, 2007).

Una de las herramientas usadas para proteger la biodiversidad es el establecimiento de áreas naturales protegidas (ANP). En la región productora de aguacate se encuentran dos ANP de responsabilidad federal (CONANP, 2012): el "Parque Nacional Barranca del Cupatitzio" (458.2 ha) y el "Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancítaro" (23,406 ha); cuatro ANP estatales (SUMA, 2012), de las que tres son Parques Urbanos Ecológicos: "Uruapan" (52.1 ha), "Capacuaro" (7.6 ha) y "Lic. Salvador Bernal Murguía" (17 ha), y una es Zona de Protección Ambiental, "El Zapién" (240.7 ha). También se puede considerar entre las áreas protegidas, pero bajo manejo silvícola, a los bosques de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro (10,508 ha), ya que constituyen un área forestal permanente (Comunidad Indígena, 2011). Estas áreas protegidas mantienen una mayor biodiversidad que la que se encuentra fuera de ellas, por lo que son consideradas como unos verdaderos bancos donde se resguarda el capital natural de la zona aguacatera.

La recreación, ya sea turismo alternativo o ecoturismo, en zonas boscosas y áreas naturales protegidas es considerada como un instrumento para la conservación y el manejo sustentable de las propias zonas forestales. El punto crítico para el desarrollo sustentable de esta actividad no es tanto la inversión en instalación turística, de ecotecnología o de tecnología tradicional, sino su integración en un esquema de

servicios y prestaciones regionales, como parte de un sistema de uso de recursos naturales confiable y el pago por servicios ambientales. En última instancia, no habrá un desarrollo turístico sustentable basado en la naturaleza si no es complementado por un desarrollo regional, orientado hacia los recursos naturales (Janka, 1996).

La recreación puede ser parte de estas acciones encaminadas a la diversificación de las actividades productivas de las comunidades para disminuir la presión sobre el bosque y continuar generando empleos de manera local. No sólo las áreas naturales protegidas deben ser consideradas para realizar estas actividades, sino principalmente en las comunidades poseedoras de recursos forestales para contener y mitigar el crecimiento desordenado de la frontera frutícola. En los bosques de la zona aguacatera de Michoacán existen dos ejemplos exitosos de aprovechamiento no extractivo forestal mediante el fomento de la recreación.

El primer ejemplo es el "Parque Nacional Barranca del Cupatitzio", que es el principal centro para turismo de naturaleza en la región de Uruapan. Por varios años recibió 700,000 visitantes en promedio por año (CONANP, 2006).

El segundo ejemplo es la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro. Aunque su principal actividad es el aprovechamiento forestal sustentable de sus bosques, su proyecto de ecoturismo contempla actividades de educación ambiental (turismo infantil, etnoturismo, caminata y observación de aves); intercambio de experiencias (agroturismo, científico) y de ecoturismo y turismo general (caminata, campismo y observación de la naturaleza), que se realizan en su Centro Ecoturístico Pantzingo (Comunidad Indígena, 2011).

CONCLUSIONES

El conocimiento de la biodiversidad de la zona aguacatera de Michoacán, se ha centrado en los ecosistemas naturales. Los datos se encuentran de manera fragmentada y aislada, y no se conocen las características de la diversidad biológica de las huertas de aguacate.

Uno de los objetivos del desarrollo de indicadores ambientales es determinar el estado de conservación de los ecosistemas forestales y el impacto del desarrollo de la producción de aguacate en ellos. Para lograr esto es necesario generar indicadores de integridad biológica, que se refieren a la composición, estructura y función biótica en los niveles genético, de organismo, población y ecosistema consistentes con las condiciones naturales, incluyendo los procesos biológicos naturales que modelan a los genomas, organismos y comunidades. El siguiente nivel de complejidad corresponde al indicador de integridad ecológica, que Incluye la diversidad biológica, la integridad biológica, la integridad ecológica y la salud ambiental. Esta última se define como la composición estructura y función del suelo, agua, aire y

otras características abióticas consistentes con las condiciones naturales, incluyendo los procesos naturales abióticos que modelan el ambiente.

La información disponible permite afirmar que la rica biodiversidad de los ecosistemas forestales en la región aguacatera de Michoacán se está perdiendo al ser sustituida por un monocultivo con muy baja diversidad genética. La esperanza permanece en la efectiva protección y conservación de las áreas naturales protegidas como fuentes del capital natural necesario para la restauración de los bosques y en el uso alternativo de las zonas forestales remanentes para beneficio de sus poseedores, principalmente comunidades y ejidos, mediante el pago por servicios ambientales, tanto para la conservación de la biodiversidad como para el suministro de servicios hidrológicos.

5.1.2. Captura de carbono

José de la Luz Sánchez Pérez 1

Importancia

El clima de la Tierra está condicionado por la presencia de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, que absorben parcialmente la emisión de radiación infrarroja que emite la superficie, reemitiendo radiación del mismo tipo (infrarroja), tanto al espacio exterior como hacia la superficie. Estos gases, entre los cuales están el dióxido de carbono ($\rm CO_2$), el vapor de agua y el ozono ($\rm O_3$), regulan la temperatura del planeta, contribuyendo que a nivel del mar ésta sea considerablemente mayor que la que se observaría si la atmósfera no tuviera estos componentes. El efecto invernadero ha estado siempre presente desde el momento que se formó la atmósfera, y ha sido determinante para el desarrollo de la vida sobre la Tierra. Lo que está en juego por acción del hombre es su intensificación y el impacto negativo que esto puede representar (WMO-UNEP, 2001).

La principal fuente de emisión de dióxido de carbono $({\rm CO}_2)$ a la atmósfera es la quema de combustibles fósiles y biomasa, tales como gas natural, petróleo, combustibles y leña, en procesos industriales, transporte y actividades domiciliarias, cocina y calefacción, principalmente. Los incendios forestales y de pastizales constituyen también una fuente importante de ${\rm CO}_2$ atmosférico. La concentración del ${\rm CO}_2$ atmosférico subió desde 280 ppm en el periodo 1,000- 1750, a 368 ppm en el año 2000, lo que representa un incremento de 31%. Se estima que la concentración actual es mayor que la ocurrida durante cualquier periodo en los últimos 420.000 años, y es muy probable que también sea el máximo de los últimos 20 millones de años (IGBP, 2000 WMO-UNEP, 2001).

Cabe hacer notar que el carbono en la atmósfera en la forma de CO₂ constituye una porción muy pequeña del total de este elemento en el sistema climático. La Figura 1 muestra los principales reservorios de carbono en el sistema y los flujos anuales que entre ellos ocurren. El carbono contenido en la atmósfera se estima en 730 PgC (1 PgC = 1 Peta-gramo de carbono = 1,000 millones de toneladas), mientras que el CO₂ disuelto en los océanos es del orden de 38,000 PgC. Por otra parte, en el sistema terrestre se estima que existen unos 500 PgC en las plantas, y que son fijados en la forma de carbohidratos en el proceso de fotosíntesis y otros 1,500 PgC en materia orgánica en diferente estado de descomposición.

Eventualmente todo el carbono transferido desde la atmósfera a la biosfera es devuelto a ella en la forma de CO₂ que se libera en procesos de descomposición de

¹ Doctor en Ciencias, ex investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

la materia vegetal muerta o en la combustión asociada a incendios de origen natural o antropogénico. A nivel anual, unos 90 PgC se intercambian en ambos sentidos entre la atmósfera y los océanos y unos 120 PgC entre la atmósfera y el sistema terrestre. Cabe hacer notar que estos intercambios representan una fracción considerable del total acumulado en la atmósfera, por lo cual es importante conocer cómo la actividad humana puede modificarlos (WMO-UNEP, 2001).



Figura 1. Balance parcial del Carbono en PgC. (Pachauri y Reisinger, 2008)

Se estima que entre 1990 y 1999 el hombre emitió a la atmósfera un promedio de 6.3 PgC de carbono por año. Por otra parte, en el mismo periodo la tasa anual de traspaso de carbono atmosférico hacia la biosfera se estimó en 1.4 PgC/año, y hacia el océano en unos 1.9 PgC/año. De esta forma el hombre contribuyó a aumentar la concentración del carbono en el reservorio atmosférico a una tasa de 3.0 PgC/año durante este periodo (WMO-UNEP, 2001).

A partir del Protocolo de Kyoto en 1997 (ONU, 1998), los países firmantes, entre los que se encuentra México, acordaron llevar a cabo medidas de mitigación para la captura y secuestro de CO₂. Resaltan entre otras, las acciones para frenar la deforestación de los bosques naturales, reforestación de los bosques naturales, el establecimiento de plantaciones forestales en áreas que fueron bosques, y el replanteamiento de las tecnologías de producción agrícola, con el objeto de reducir las emisiones de gases GEI.

Información relevante

Se considera que los bosques son la opción natural para la captura de carbono, siempre y cuando se mantenga su integridad y sustentabilidad, evitando las perturbaciones que el hombre ejerce sobre ellos, y previniendo las perturbaciones naturales como los incendios forestales. En el Cuadro 1 se aprecia la diferencia en la capacidad de capturar carbono, que existe entre diferentes especies forestales y de algunos huertos de frutales.

Es conveniente recordar que los valores de captura de ${\rm CO_2}$ dependerán de la época del año, del sitio donde se encuentra, edad, tamaño, y desde luego la especie. Debe recordarse también que los frutales son cosechados anualmente, y la mayoría son podados en el mismo período, por lo cual parte del carbono capturado finalmente se devuelve a la atmósfera.

Cuadro 1. Comparación de CO₂ equivalente en frutales perennes y bosques, en t/ha/año (Madrigal, 1995; Kerckhoffs y Reid, 2007).

| Frutal | CO ₂ Total (t/ha) |
|----------------------------------|------------------------------|
| Manzana ¹ | 66 |
| Durazno y Nectarina ¹ | 73 |
| Cítricos (naranja)¹ | 68 |
| Cítricos (limón) ¹ | 92 |
| Ciruelas ¹ | 114 |
| Almendra ¹ | 183 |
| Nogal ¹ | 138 |
| Aguacate ¹ | 37-55 |
| Kiwi ¹ | 40 |
| Vid ¹ | 8 |
| Pinus douglasiana ² | 222 |
| Bosques permanentes ¹ | 550-900 |

¹ Nueva Zelanda

Por otra parte, el establecimiento de nuevas plantaciones forestales solo tendría un efecto marginal en la captura de carbono. Las emisiones de CO₂ a nivel mundial se estiman en 22,000 millones de toneladas al año, y para contrarrestarlas es necesario

² Michoacán, México

plantar cada año 50 millones de hectáreas, para capturar 440 t de CO₂ equivalente por ha/año, unas 120 t/ha/año promedio de carbono. Adicionalmente, las plantaciones forestales no favorecen la biodiversidad, lo que si ocurre en los bosques naturales.

Conclusiones

Existen diferencias en la capacidad de capturar carbono tanto dentro de cada clase, ya sea especies forestales o especies frutícolas, como entre clases, ya que los bosques capturan de cuatro a siete veces más carbono que los huertos de frutales más vigorosos.

Independientemente de mantener de manera sustentable los bosques naturales por todos los servicios que prestan a la sociedad, a futuro la tendencia debería ser no tanto la captura y secuestro de carbono, sino la reducción de las emisiones de los gases GEI.



5.1.3. Consumo de agua

Luis Mario Tapia Vargas¹, Antonio Larios Guzmán ², Ignacio Vidales Fernández ³, Miguel Bravo Espinoza ⁴

Importancia

El cambio climático ha sido uno de los principales factores para los cambios biológicos que el mundo ha experimentado. Ha propiciado la emigración de comunidades humanas hacia regiones inhabitadas desde el centro de origen en África al Medio Oriente (Vaks et al., 2007). También propició la extinción de hasta 65% de las especies de mamíferos mayores de 45 kg durante la última era glacial (Nogués-Bravo et al., 2010). Nuevamente se presenta como una amenaza que puede afectar en el corto plazo con mayores precipitaciones en las regiones lluviosas y con temperaturas más altas en las zonas cálidas, lo que tendrá consecuencias en la evapotranspiración de las plantas y la producción de cosechas (Prodiversitas, 2010).

Este fenómeno mundial afectará todas las actividades humanas; en la agricultura tendrá un efecto importante en la productividad, principalmente en áreas marginales (Conde *et al.*, 2004). Los cambios drásticos del clima afectan negativamente a la producción agrícola, mientras que los cambios ligeros incrementan el rendimiento de los cultivos (Thompson, 1975). En este sentido Olmstead y Rhode (2011), predicen que las grandes planicies norteamericanas tendrán un incremento de 3 a 4 °C sobre las temperatura normales y mayor humedad, lo que contrarrestará las tendencias de los siglos XIX y XX de clima más frio y seco que propició la expansión del cinturón triguero. Los umbrales de máximo rendimiento del maíz, soya y algodón en la franja productora de EUA son de 29, 30 y 32 °C; sin embargo, ante el inminente incremento de temperatura las reducciones promedio de la producción podrán ser de 30 a 82% en este siglo (Shlenkler y Roberts, 2009).

Más del 60% de la superficie de México se encuentra en zonas áridas o semiáridas, que puede incrementarse debido al cambio climático global. Esta modificación del clima puede afectar al cultivo del aguacate en Michoacán, ya que su producción depende de temperaturas frescas y de la regularidad en las precipitaciones (Tapia et al., 2009a). El estado pierde anualmente 1.8% de las 1,421,307 hectáreas de superficie forestal, que son convertidas a uso agrícola y pecuario (Bocco et al., 2001; Sáenz et al., 2010). El cambio del uso de suelo se ha identificado como el principal factor de cambio climático por alteración de los flujos de energía (Dale, 1997). El efecto regulador

¹ Doctor en Ciencias, investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

² Maestro en Ciencias, investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

³ Doctor en Ciencias, Director de Coordinación y Vinculación en Michoacán, CIRPAC, INIFAP.

⁴ Ph. D., ex Investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

del clima por la vegetación natural se manifiesta en las ciudades michoacanas situadas en similar altitud y latitud, pero con diferencias en la temperatura tanto en invierno como en verano por su posición en las vertientes del Eje Neovolcánico.

En la Meseta Purépecha, que incluye 20 municipios con una superficie de 1.1 millones de ha, hay 360,000 ha deforestadas dedicadas a cultivos básicos y pastizales. Además, hay al menos 110 mil ha con plantaciones de aguacate; sin embargo, aún persisten en esta región montañosa medio millón de ha con bosques de coníferas y latifoliadas sujetas a una alta presión por tala ilegal, vandalismo, incendios, robo de madera, agricultores y fruticultores (Tapia et al., 2008). La reducción de la superficie forestal puede afectar la captación de agua y causar cambios en la fenología y la hidrología del cultivo del aguacate, principal actividad agrícola de Michoacán, que representa el 27.8% del PIB primario estatal (INEGI, 2008), que lo coloca como el principal productor mundial del fruto (Stanford, 2002).

El cultivo del aguacate podría ser especialmente susceptible al cambio climático ya que su baja tasa fotosintética se vería alterada por una mayor temperatura, mayor tasa evapotranspirativa y menor contenido de agua del suelo, que también podría perjudicar la emisión del tubo polínico durante la polinización. Sin embargo, es necesario determinar si en la zona aguacatera ya está afectando el cambio climático o las condiciones ambientales permanecen inalteradas.

Por lo anterior, el objetivo de este capítulo es mostrar mediante el análisis del clima, si ya se presentan los efectos del cambio climático en la zona aguacatera de Michoacán y determinar el consumo del agua tanto del bosque de coníferas como del cultivo de aguacate bajo condiciones de riego y de temporal.

Información relevante

Análisis de la precipitación. El efecto del cambio climático fue analizado con el objetivo de analizar los cambios en la forma de presentación de las lluvias en el periodo de 1963 a 1972 con respecto a los 10 primeros años del siglo XXI, es decir, si realmente ha habido cambios significativos en la distribución y cantidad de lluvias, en la zona aguacatera de Michoacán. La estación climática utilizada para este análisis fue "Barranca del Cupatitzio" situada a 1,770 msnm, con coordenadas 19° 25' 46.24" N y 102° 05' 33.74" W. Los datos registrados del 1 de mayo de 1963 al 30 de noviembre de 1972 fueron comparados con los de los años de 2001 a 2010.

La única estación climática en la Meseta Purépecha con la suficiente antigüedad para este primer análisis es "Barranca del Cupatitizio", que cuenta con el tiempo suficiente para efectuar inferencias respecto al resto del área de similar condición climática, altitud y orografía (De Luis *et al.*, 2001). Se evaluaron las diferencias de precipitación anual en número y cantidad media de días consecutivos con lluvia

(MAX, RMAX), número y cantidad media de días con lluvia (MED, RMED), número medio de días secos o sin lluvias (MSEC), y número medio de días y cantidad de lluvia en 24 horas en los rangos de precipitación de 0-10, 20-30 y >30 mm.

El programa estadístico Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas (SICA) versión 2.5 (Medina *et al.*, 2004), fue utilizado para obtener las normales climáticas y las variables mencionadas excepto las tres intensidades de Iluvia y MED, RMED y MSEC, que fueron obtenidos directamente en hoja de cálculo.

Las comparaciones de precipitación pluvial entre ambos periodos fueron efectuadas mediante una prueba estadística de X² de acuerdo al modelo:

$$X_i^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l = \frac{(f_o - f_e)^2}{f_e}$$

Donde:

f_o: frecuencia observada

 f_e : frecuencia esperada

Se construyeron tablas de contingencia para evaluar las variables de lluvia en ambos periodos de estudio.

Número de días con lluvia y días secos. El análisis estadístico del número de días con lluvia indica que la diferencia de los promedios de las sumatorias del máximo número de días consecutivos con lluvia durante el ciclo, así como la lámina registrada en esos días (RMAX), no es significativa ($X_{ic}^2 = 0.04 < X_{it}^2_{(1,1,05)} = 3.85$) a pesar de que hubo más días consecutivos con lluvia en el período 2001-2010, con 49.5, que en el periodo 1963-1972, con 43.0, mientras que las lluvias también fueron mayores, 756.9 contra 686.1 mm, respectivamente. Esto indica que la afirmación de que antes llovía durante más días consecutivos carece de fundamento, incluso en lo que va del siglo se ha registrado una mayor cantidad de días consecutivos de lluvia, aunque no de manera significativa.

Un efecto similar se encontró con el promedio de la sumatoria del máximo número consecutivo de días secos y el número de días sin lluvia (MSEC). La diferencia de los valores respectivos para 1963-1972 de 61.8 y 109 contra 44.4 y 118.6 para 2001-2010, no es significativa (X_{ic}^2 = 3.0< X_{it}^2 (1,05)=3.85). Por tanto, la percepción de que en lo que va de este siglo se tiene más días consecutivos sin lluvia en el temporal, o más días sin lluvia, es similar a la registrada hace 40 años. No obstante, un promedio de 9.6 días más sin lluvia en este siglo deberían ser motivo de preocupación por los efectos de la deforestación actual. Grandes áreas sin cubierta vegetal por encima de los 2,400 msnm

dedicadas a cultivos básicos o pastizales pueden significar la diferencia para una mayor alteración climática (Tapia *et al.*, 2008).

La suma promedio de los días efectivos de lluvia, así como de la lluvia de esos días, fue de 105.2 y 1,513.8 mm para 1963-1972, con una diferencia significativa ($X_{ic}^2 = 4.2 > X_{it}^2_{(1,05)} = 3.85^*$) con lo registrado para 2001-2010, con 96 días y 1858.7 mm (Cuadro 1). Estos valores indican que en este siglo los días de lluvia efectiva fueron menores en casi 10 a los que se tenían hace 40 años; sin embargo, la cantidad de lluvia para el ciclo de temporal ha aumentado. Esto, que podría interpretarse como benéfico, en realidad es perjudicial por el mayor daño que causa un incremento de la precipitación en un menor tiempo. Esto ha sido documentado por Marques *et al.* (2007), quienes indican que la intensidad de lluvia se correlaciona directamente con la erosión producida; empero, la cobertura vegetal puede actuar como un factor de protección contra una mayor intensidad de lluvia. Desafortunadamente, la deforestación creciente y sin control en la región Purépecha es un factor que contribuye a una mayor erosión.

Cuadro 1. Evaluación estadística de los promedios de 10 años de las variables de la lluvia del ciclo mayo-noviembre para los eventos registrados en la estación climática "Barranca del Cupatitzio".

| Variable | 1963-1972 | 2001-2010 | Total | X _{ic} ² |
|---|-----------|-----------|---------|------------------------------|
| Sumatoria del máximo número de días con lluvia consecutiva (RMAX) | 43.0 | 49.5 | 92.5 | 0.04 n.s. |
| Lluvia (mm) | 686.1 | 756.9 | 1443.0 | |
| Total | 729.1 | 806.4 | 1535.5 | |
| Sumatoria de días de lluvia en el ciclo (RMED) | 105.2 | 96.0 | 201.2 | |
| Lluvia (mm) | 1,513.8 | 1,858.7 | 3,372.5 | 4.2 * |
| Total | 1,618.9 | 1,954.7 | 3,573.7 | |
| Sumatoria del máximo número de días secos consecutivos (MSEC) | 61.8 | 44.4 | 106.2 | 3.0 n.s. |
| Días sin lluvia en el ciclo | 109.5 | 118.6 | 228.1 | |
| Total | 171.3 | 163 | 334.3 | |

Nota: n.s.: no diferencia en Iluvias; (*) si hay diferencia (p<.0.05); (**) diferencia altamente significativa (p<0.01).

Cantidad de Iluvia en 24 horas. La intensidad de Iluvia en 24 h también fue analizada. Mientras que en 1963-1972 se tuvieron en promedio 55.6, 36.7 y 12.3 días, para las intensidades de <10, 10 a 30 y >30 mm, respectivamente (Cuadro 2) En la misma secuencia de días de Iluvia para el periodo 2001-2010, se tuvieron 41.6, 36.2 y 18.2 días, que no mostraron diferencia significativa $(Xi_{\rm c}^2_{(2,05)}=2.844 < Xi_{\rm t}^2_{(1,01)}=9.21)$ respecto a 1963-1972. Aunque estas valores no fueron estadísticamente significativos, se aprecia un incremento en más días con lluvias superiores a 30 mm y menos días con lluvias inferiores a <10 mm. En sentido opuesto, las cantidades de lluvia en el periodo 2001-2010, de 193.9, 654.9 y 1003.2 mm, comparadas con las cantidades del periodo 1963-1972, con promedios de 268.4, 667.2 y 573.0 mm, para las respectivas intensidades de <10 mm, >10<30 mm y >30 mm, fueron altamente significativas ($Xi_{\rm c}^2_{(2,05)}=95.4 > Xi_{\rm t}^2_{(1,01)}=9.21$). Esto indica que en lo que va de este siglo ha llovido con mayor intensidad en 24 h; es decir, que las lluvias de más de 30 mm/día, han aumentado casi en 100%, mientras que las lluvias de baja intensidad se han reducido en 30%.

Este fenómeno, dadas las tasas actuales de deforestación de más de 10,000 ha/año en la Meseta Purépecha (COFOM, 2003), acentúa los efectos hidrológicos perjudiciales de erosión, escurrimiento y perjuicio a los acuíferos que bordean al Eje Neovolcánico en Michoacán. Actualmente solo en la Meseta Purépecha hay cerca de 350,000 ha deforestadas de uso agrícola de temporal y pastizales (Tapia *et al.*, 2009b), que ante un incremento significativo de la intensidad de lluvia, los efectos de erosión y escurrimiento podrían aumentar (Tapia *et al.*, 2001).

Cuadro 2. Valores promedio de los eventos de lluvia por rango para el ciclo de lluvias mayo-noviembre de la estación climática "Barranca del Cupatitzio".

| Magnitud de la lluvia (días) | 1963-1972 | 2001-2010 | Total | X _{ic} ² |
|---------------------------------|-----------|-----------|----------|------------------------------|
| <10 mm | 55.6 | 41.4 | 97 | 2.84 n.s. |
| >10 <30 mm | 36.7 | 36.2 | 72.9 | |
| > 30 mm | 12.3 | 18.2 | 30.5 | |
| Total | 104.6 | 95.8 | 200.4 | |
| Lámina de Iluvia (mm) | | | | |
| <10 mm | 268.4 | 193.962 | 462.362 | 95.4 ** |
| >10 <30 mm | 667.2 | 654.96 | 1322.16 | |
| > 30 mm | 573 | 1003.24 | 1576.24 | |
| Total | 1508.6 | 1852.162 | 3360.762 | |

Nota: n.s.: no diferencia en temperaturas; (*) si hay diferencia (p<0.05); (**) diferencia altamente significativa (p<0.01).

El incremento de la precipitación registrada en esta región, de 14.4 mm/día (1963-71) a 15.4 mm/día (2001-2010), concuerda con lo reportado por otros autores. Costa y Foley (2000) mencionan que el cambio climático produce un incremento de la lluvia del orden de 0.28 mm/día. Es posible que la deforestación en la Meseta Purépecha haya propiciado un cambio significativo en las características de la precipitación: en este siglo llueve menos días y con mayor intensidad en 24 h (Cuadro 2). La deforestación ha propiciado el cambio de cobertura forestal a frutícola en 120,000 ha, a cultivos básicos en 350,000 ha y a pastizales en 30,000 ha; sin embargo, el daño ambiental causado por los cultivos básicos y los pastizales es 10 veces mayor en erosión y escurrimiento, con más de 100 mm de escurrimiento, comparados con los 10 mm en frutales como el aguacate (Tapia et al., 2009b).

Producción y Consumo de agua. La zona aguacatera, en conjunto con su cuenca hidrológica, es la región más lluviosa de Michoacán. Se registran en promedio 1,100 mm, con rangos que superan los 1,600 mm en la región de Uruapan y el centro de la Meseta Purépecha, hasta al menos 800 mm en el municipio de Tacámbaro y sur de Tingambato (APEAM, 2010). La capacidad de almacenamiento de la Meseta es de más de 90% de la lluvia captada, ya que los suelos de esta región son sumamente permeables, con más de 40 mm/h de conductividad hidráulica (Tapia *et al.*, 2002). Sin embargo, puede haber grandes escurrimientos en laderas con poca cobertura vegetal, como el cultivo de papa o el maíz de temporal (Haverkort, 1982).

Las lluvias del final de la temporada de lluvias (septiembre) ocasionan que la humedad de los suelos arenosos del Eje Neovolcánico alcance fácilmente la capacidad de campo (Figura 1). Con el retiro de las lluvias en octubre de 2010 la humedad del suelo empezó a descender a niveles que en noviembre alcanzaron el punto de marchitez, y a partir de dicho mes hasta junio de 2011 la humedad fue higroscópica no aprovechable para ningún cultivo, incluyendo el aquacate.

Los valores de humedad del suelo pueden ser incrementados con la aplicación del riego, lo cual se observa en el caso del aguacate con riego (Figura 1). Pero en el aguacate de temporal, la humedad del suelo se comporta de manera muy semejante a la humedad del suelo del bosque. Estos datos, registrados en tiempo real (<www.fieldclimate.com>), muestran que independientemente de la cobertura de suelo, sea bosque o aguacate, la humedad se pierde igual, lo cual significa que el consumo de agua bajo condiciones de secano es igual en bosque o aguacate, o incluso cualquier otro cultivo, y que al menos en la parte más superficial del suelo no hay mayor aportación de agua por parte de una cubierta vegetal determinada.

Evapotranspiración real (ETr) y potencial (ETp). Los consumos de agua por ambas coberturas (aguacate y bosque de coníferas) fueron también analizados en términos de evapotranspiración real o actual (ETr) y comparados con la evapotranspiración

de referencia o potencial (ETp). En el periodo septiembre de 2010 a junio de 2011 la lluvia podría satisfacer la ETp calculada pero no tuvo una distribución uniforme en el tiempo ya que llovió solo en septiembre y junio, y el resto de los meses (octubre a mayo) la lluvia fue prácticamente nula (Cuadro 3). Bajo riego el consumo de agua del aguacate fue moderadamente bajo (313.5 mm), a pesar de tener un riego de 440 mm; sin embargo, bajo temporal el consumo se redujo a 102.3 mm, similar al consumo del bosque de 99.5 mm. Estos consumos son limitantes para el aguacate; en algunos árboles se observó una completa defoliación, la cual se recuperó en julio con la entrada del temporal en junio.

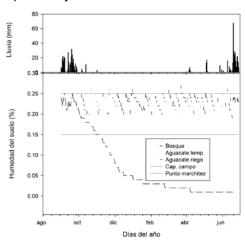


Figura 1. Humedad del suelo (%) en el periodo septiembre-junio de 2010 a 2011 en dos coberturas de suelo y dos métodos de manejo del agua en la Meseta Purépecha.

Cuadro 3. Valores registrados de consumo de agua por el diferente manejo del agua en uso agrícola y forestal en Michoacán de septiembre de 2010 a junio de 2011 (<www.fieldclimate.com>).

| Tratamiento | Riego | Lluvia | Evapotranspiración de referencia (ETo) | Evapotranspiración real (ETr) |
|----------------------|-------|--------|--|----------------------------------|
| | (mm) | (mm) | (mm) | (mm) |
| Aguacate riego | 440 | 709.2 | 645.5 | 313.5 |
| Aguacate temporal | 0.0 | 709.2 | 645.5 | 102.3 |
| Bosque | 0.0 | 709.2 | 645.5 | 99.5 |

La demanda evapotranspirativa del medio es de 2.1 mm/día, lo cual es un valor bajo comparado con otras regiones del estado, como el Bajío o el Valle de Apatzingán. Estas bajas tasas permiten el crecimiento y desarrollo del cultivo de aguacate bajo condiciones de temporal por su baja tasa fotosintética y el largo periodo de crecimiento del fruto de más de 9 meses (Tapia *et al.*, 2007). El consumo de agua del aguacate con riego es tres veces mayor que el del bosque, pero representa un 50% de la ETp, lo cual no muestra ningún otro cultivo. Incluso, el maíz requiere 4.6 mm/día (Al-Kaisi, 2000), y la papa tiene un consumo de agua con 3.6 mm/día (Haverkort, 1982), mientras que en este trabajo en el aguacate se midieron 1.2 mm/día bajo riego.

Conclusiones

El cambio climático en la Meseta Purépecha de Michoacán se manifiesta con alteraciones en el patrón de lluvias; ahora se registran menos días de lluvia durante la estación lluviosa y lluvias más intensas en 24 h, lo que puede causar daños ambientales y tragedias humanas. También se registran en promedio hasta 350 mm más de lluvia en el ciclo, totalizando 1,850 mm en promedio en los últimos 10 años, comparados con 1,500 mm que se tenían hace 40 años.

El consumo de agua por el cultivo de aguacate es bajo. En este trabajo se determinaron 1.6 mm/día bajo riego, mientras que en temporal menos de 0.4 mm/día; sin embargo, en algunos árboles estas tasas de consumo de agua producen defoliación total. En el bosque el consumo es similar al aguacate, con 0.4 mm/día. La producción de agua de infiltración es similar en ambas coberturas ya que la humedad del suelo se agota por igual casi al mismo tiempo a partir de 35 días después del temporal.

5.1.4. Producción y disponibilidad de agua

Miguel Bravo Espinosa¹, Luis Mario Tapia Vargas²

Importancia

La cubierta vegetal ejerce control sobre diferentes procesos ecohidrológicos que influyen en la provisión de agua, en la regulación del volumen y temporalidad de caudales, y en la purificación e infiltración, por citar algunos (Likens, 2004). En varios países del mundo se incentiva la conservación del desempeño hidrológico de los bosques a través de programas de pago por servicios ambientales hidrológicos (PSAH), los cuales necesitan de un proceso de evaluación y de una mayor base científica de la relación recurso forestal—agua, que supere a los mitos o generalizaciones (Calder, 2000). En nuestro país se operó entre 2003 y 2008 una superficie que osciló de 127 mil a 545 mil hectáreas dentro del PSAH (Rolón, 2009). Se estima que los bosques en Michoacán producen una recarga de agua entre 200 y 500 m³ por ha (Torres y Guevara, 2005).

México enfrenta actualmente serios problemas en el suministro de agua, ocasionados por la falta de disponibilidad, sobreexplotación de acuíferos y por contaminación (Jiménez et al., 2010); muchos de estos problemas son ocasionados por el cambio de uso de suelo, como los que ocurren en la franja aguacatera y otras regiones de Michoacán (Muñoz-Piña et al., 2005).

Información relevante

Antecedentes. En la franja aguacatera de Michoacán, con poco más de un millón de hectáreas, los agroecosistemas dominantes son cultivos básicos y huertos de aguacate, que cubren el 26 y 10%, respectivamente; los ecosistemas forestales (selva baja caducifolia, bosques de coníferas y latifoliadas) en su mayor parte fragmentados, abarcan alrededor del 40% de la superficie total (Tapia *et al.*, 2011). La conversión de terrenos forestales a huertos de aguacate u otro cultivo es un proceso importante en la región y en el mundo.

En Brasil, Malasia e Indonesia ocurren situaciones de reemplazo graves, como es el caso de la palma de aceite y la soya a costa de la destrucción de selvas tropicales (WWF, 2005; Fitzherbert *et al.*, 2008). Estas modificaciones se realizan pasando por

¹ Ph.D, ex investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

² Doctor en Ciencias, Investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

alto que los cambios de uso de suelo pueden alterar la distribución espacio-temporal en cantidad y calidad de los flujos de agua, tanto en el dosel de la vegetación como en la superficie del suelo y la atmósfera. Lo anterior enfatiza la importancia de conocer y documentar las interacciones regionales entre el bosque y el agua, además de evaluar el costo ambiental del uso del agua por los bosques en comparación con otros tipos de vegetación o usos del suelo (Calder, 2000; Wang et al., 2011).

Escurrimiento e intercepción de la lluvia con aguacate y pino

Resultados preliminares de un proyecto que está en marcha para medir el impacto hidrológico del cultivo de aguacate en la franja-forestal aguacatera (Tapia *et al.*, 2011), sugieren que el aguacate produce un escurrimiento y una intercepción del dosel similares a las del bosque de pino (Cuadro 1). Esto implica que bajo condiciones comparables de cobertura y edad, los dos sistemas pueden ser igual de benéficos sólo en términos de la cuantía del escurrimiento producido. Con relación a la calidad del agua, medida en la solución del suelo a 90 cm de profundidad respecto a la superficie, los resultados preliminares de este trabajo arrojan que el contenido máximo de nitratos (N-NO₃) fue de 42 y 13 mg L⁻¹ para aguacate y pino, respectivamente. Este valor de N-NO₃ para aguacate fue menor a otro determinado en un huerto ubicado en el municipio de Tancítaro, el cual fluctuó de 80 a 100 mg L⁻¹ (Tapia *et al.*, 2007b). En cuanto a otras propiedades, el pH fue ligeramente mayor en aguacate (7.7), pero la salinidad fue similar en ambos sistemas.

Cuadro 1. Respuesta hidrológica de dos tipos de vegetación en la franja forestal-aguacatera de Michoacán.

| Uso de Suelo | Escurrimiento | Intercepción Lluvia |
|--------------------|---------------|---------------------|
| Bosque de pino | 42 mm | 13.5% |
| Huerto de aguacate | 40 mm | 12.0% |

Diversos estudios han documentado que la presencia de bosques o huertos en una cuenca no significa *per se* el aumento de caudales en ríos o arroyos; por el contrario, es más probable que disminuyan (Calder, 2002). En el caso del aguacate respecto al pino, esta disminución puede ocurrir por su mayor demanda evapotranspirativa (ETP) y por ello es más demandante sobre el recurso hídrico en la época de estiaje, de enero a mayo, donde el aguacate requiere 700 m³ de agua por hectárea para mantener un buen desarrollo y producción. Este volumen se extrae de manantiales, pozos o de arroyos y ríos, para una parte de la superficie cultivada (Tapia *et al.*, 2005). La generalidad de esta relación de mayor ETP para aguacate respecto al bosque de pino debe medirse en las distintas condiciones de la franja aguacatera. En el tema de calidad del agua, se conoce que la concentración de N-NO₃ en el agua

infiltrada está directamente relacionada con la dosis de nitrógeno aplicada. Por ello, es importante cuidar y fraccionar el manejo de este nutriente en el cultivo de aguacate y de otros cultivos (Yates *et al.*, 1992; Coria, 2009). Un beneficio ambiental tanto del bosque como de los huertos de aguacate se genera de la ETP, porque ésta, al crear espacios disponibles en el suelo para almacenar agua, disminuye los riesgos de saturación y por tanto de inundación en las partes bajas de la cuenca.

Caudal de manantiales del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio. El aforo de los manantiales es determinante para identificar el impacto del cambio de la cobertura forestal a huertos de aguacate en la producción de agua. Su descarga está regulada por el nivel de saturación y recarga proveniente de la infiltración, las que dependen principalmente de la infiltración y compactación, así como del escurrimiento, la evapotranspiración y la intercepción de las lluvias por la vegetación. En dos de los principales manantiales del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, La Rodilla del Diablo y La Yerbabuena, se aprecia una disminución importante de los caudales en mediciones realizadas en 1974, 1987, 1990 y 1997 (Figura 1).

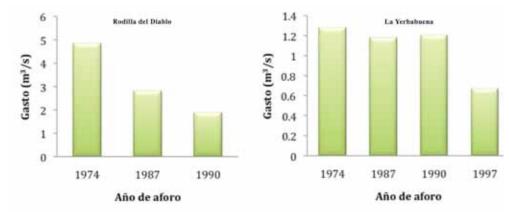


Figura 1. Aforos de los manantiales Rodilla del Diablo y La Yerbabuena, ubicados en el Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, Uruapan, Michoacán (adaptado de CONANP, 2006).

Disponibilidad de agua en el Área de Protección de Flora y Fauna Pico de Tancítaro. El Cerro de Tancítaro tiene influencia en la recarga natural de los acuíferos Cotija, Uruapan y Apatzingán, de manantiales que dan origen a los ríos Cupatitzio y Tepalcatepec, y arroyos de ésta y de otras regiones (García et al., 1998; Fuentes, 2011). En el municipio de Tancítaro se concentra el 25% de la superficie cultivada con aguacate, que representa la mayor área de cultivo de la franja aguacatera de Michoacán (Gutiérrez et al., 2010; Tapia et al., 2011). De las 16 cuencas del Cerro de Tancítaro, el aguacate cubre el 31% de superficie, con alrededor de una tercera parte bajo

condiciones de riego; constituye por ello el uso del suelo con mayor demanda de agua durante el estiaje. De acuerdo con un estudio realizado de 2002 a 2004, el 31% de las cuencas de esta montaña presentan baja disponibilidad de agua, el 44% disponibilidad moderada y sólo el 25% presentaron baja disponibilidad de agua, el 44% disponibilidad moderada y sólo el 25% presentaron alta disponibilidad. Otra característica es que el total de las fuentes de agua, tanto de manantiales como de arroyos y ríos, se encuentran actualmente en uso ya sea para riego o para consumo doméstico, reduciendo los caudales necesarios para el funcionamiento de los ecosistemas (Fuentes-Junco et al., 2004; Fuentes, 2011). Cabe destacar que una región está sometida a fuerte presión hidrológica cuando explota más del 40% del agua naturalmente disponible, también conocida como agua anualmente renovable (Bunge, 2010).

Acuíferos del Cupatitzio. El 69% de la cuenca geohidrológica del acuífero Uruapan corresponde al área de recarga, parte de la cual se encuentra en la franja forestal-aguacatera. El mecanismo de funcionamiento de este acuífero libre está determinado por un sustrato superior de alta permeabilidad que permite una rápida infiltración proveniente de las abundantes lluvias para la recarga. El 70% del agua subterránea se destina para el riego de huertos de aguacate, y el 85% del volumen derivado de manantiales es para uso doméstico. De acuerdo con un balance de aguas subterráneas en 2002 existía una disponibilidad del 51% de la recarga total anual (CNA, 2002).

Bravo et al., (2010) estudiaron las características de cuatro sitios de muestreo del acuífero Cupatitzio, y determinaron que por el lado norte y poniente los niveles estáticos aumentan, y que el flujo es de norte a sur y de poniente a oriente, mientras que al sur y oriente el flujo es estacionario y muy superficial (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características físicas de cuatro sitios representativos del acuífero del Cupatitzio.

| Sitio | Ubicación | Nivel Estático (m) | Caudal (L/s) |
|-------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------|
| Nurio | N 19°40' 15.1" W 102° 08' 05.9" | 310 | 32 |
| San Felipe | N 19° 37' 36.4" W 102 ° 10' 26.3" | 270 | 30 |
| Caltzontzin | N 19° 24' 56" W 102° 01' 36" | 2.5 | 16 |
| Zumpimito | N 19° 22' 26" W 102° 03' 31" | 4 | 4 |

Respecto a la extracción de agua, hay 197 pozos registrados (CNA, 2009), con diferentes gastos de aprovechamiento y a diferentes profundidades con la tendencia mostrada arriba. El gasto total anual es de 810 L/s para un volumen total anual de

25,658,186 m³; de los equipos en funcionamiento el que más extrae es de 31 L/s, y el de menor extracción es de 0.05 L/s, con dominancia de equipos de bajo caudal de <16 L/s. El uso del agua proveniente del acuífero es principalmente para fines agrícolas (70%), mientras que el urbano-doméstico consume el 13.6%, el industrial el 10.8%, y el resto para el uso pecuario, patrón semejante al del resto del país (Cuadro 3).

Cuadro 3. Volúmenes de agua extraídos por tipo de uso del acuífero del Cupatitzio.

| Uso | Cantidad | Extracción diaria | Volumen anual (m³) |
|------------|----------|-------------------|--------------------|
| | (%) | (L/s) | |
| Agrícola | 69.7 | 570.0 | 17,879,473 |
| Pecuario | 5.9 | 47.7 | 1,505,767 |
| Industrial | 10,8 | 88.5 | 2,793,217 |
| Urbano | 12.6 | 102.3 | 3,246,494 |
| Doméstico | 1.0 | 7.4 | 233,235 |

Las principales propiedades hidráulicas del acuífero del Cupatitizio fueron evaluadas y se aprecia que mantiene buenas condiciones de operación, recarga y un alto valor de transmisibilidad. Los niveles dinámicos no se abaten, se aprecia que la recarga es buena y que la recuperación del nivel estático, después del bombeo es de menos de 60 segundos en la parte alta de la cuenca y de 20 minutos en la parte baja, pero sin riesgo de abatimiento del acuífero (Cuadro 4).

Cuadro 4. Evaluación de acuíferos de la subcuenca del Cupatitizio.

| Acuífero | Nivel Estático | Nivel Dinámico | Gasto | Recuperación (s) | Geoposición | Altitud |
|--------------|-------------------|-------------------|-------|------------------|---------------------------|---------|
| | (m) | (m) | (L/s) | (0) | | (msnm) |
| Milpillas | 95.9 | 96.6 | 30 | 60 | N19°24′28″ | 2040 |
| Cheranguerán | 95.1 | 95.5 | 5 | 60 | W102°09′33" N19°28′02" | 1832 |
| | | | | | W102°05′5.5" | |
| Uruapan | 7.2 | 7.8 | 4 | 1200 | N19°23′43" W102°03′27" | 1605 |

En cuanto a sus propiedades químicas y biológicas, los acuíferos situados al norte y poniente presentan buenas características considerando que se han determinado valores de pH cercano a 7.0 y conductividad eléctrica baja, sin perjuicio para cualquier actividad, incluso para agua potable (Cuadro 5). Sin embargo, los acuíferos una vez

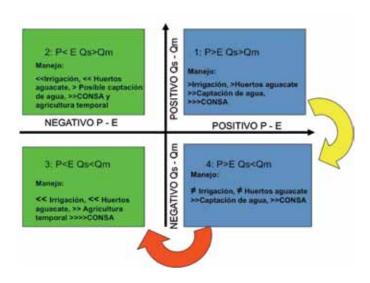
que fluyen desde los manantiales como el canal Camelina en Uruapan, y los acuíferos del centro y oriente de la cuenca presentan contaminación por coliformes fecales, algunos muy graves como La Camelina y Centro Uruapan y es posible que se extienda a todo este manto. Esto refleja que la contaminación es producto de los asentamientos humanos situados encima del acuífero ya sea porque se carece de drenaje o porque hay filtraciones de la red de drenaje, como podría ser el caso en el centro de la cuenca (Centro Uruapan) donde el agua está contaminada por fecalismo humano.

Cuadro 5. Propiedades químicas y biológicas de diferentes acuíferos de la cuenca del Cupatitzio.

| Sitio | рН | CE | Coliformes |
|--|-----|---------|--------------|
| | | (µS/cm) | Fecales |
| | | | (NMP/100 ml) |
| Campo Experimental Uruapan, INIFAP | 7.5 | 112 | <3 |
| Parque, San Juan Nuevo Parangaricutiro | 7.5 | 112 | <3 |
| La Basilia | 7.5 | 104 | <3 |
| Cheranguerán | 7.3 | 205 | <3 |
| La Camelina, Uruapan | 7.1 | 167 | 1,100 |
| Rodilla del Diablo, Uruapan | 6.9 | 148 | <3 |
| La Yerbabuena, Parque Nacional | 6.9 | 162 | 4 |
| Centro Uruapan | 6.5 | 302 | 460 |

CE= Conductividad eléctrica

Escenarios de Manejo. Se usó el método del cuadrante sugerido por Calder (2007) con el fin de proponer escenarios de manejo del agua en la franja forestal-aguacatera de Michoacán. Diversos investigadores sostienen que para asegurar el flujo de agua a los distintos usuarios de una cuenca, ya sea para uso agrícola, doméstico o industrial, es importante considerar dos aspectos: a) analizar la relación entre el uso del suelo y la demanda evapotranspirativa, esto es, determinar si en el largo plazo la precipitación (P) excede a la evaporación (E) para los diferentes uso del suelo; y b) analizar si el volumen promedio de los escurrimientos de ríos y arroyos (Qs), exceden un volumen mínimo requerido (Qm). Las cuatro combinaciones que resultan del análisis permiten generar escenarios para el manejo de la evaporación, en verde, y para el manejo del agua de los ríos, en azul (Figura 2).



P=precipitación, E=evaporación, Qs=escurrimiento superficial, Qm= escurrimiento superficial mínimo

Figura 2. Escenarios hidrológicos para definir opciones de manejo en la franja forestal-aguacatera de Michoacán (adaptado de Calder, 2007).

El cuadrante 1 indica que si la condición en la cuenca es: P>E y Qs>Qm, entonces se tienen oportunidades para aumentar usos de suelo con alta demanda evapotranspirativa; por ejemplo, aumentar la superficie de riego. También se puede aumentar la infraestructura de captación de agua, por ejemplo de bordos y represas. Para el caso de la cuenca forestal-aguacatera de Michoacán, esta no es su condición actual; fue en la década de los 60s, cuando la cubierta dominante era la forestal.

El cuadrante 2 indica que si la condición de la cuenca es P<E y Qs>Qm, entonces se deben reducir los cultivos o usos del suelo con alta demanda evapotranspirativa, y favorecer la construcción de embalses. Esta condición no se vislumbra en la cuenca.

El cuadrante 3 indica que si la condición de la cuenca es: P<E y Qs<Qm, entonces se deben restringir los usos del suelo con alta demanda evapotraspirativa, también reducir la infraestructura de bordos y represas. Se observa que este puede ser un escenario que está ocurriendo en algunas microcuencas, y que puede generalizarse en el plazo corto en la región forestal-aguacatera, si se siguen estableciendo más

huertas con riego. Por ello es urgente iniciar programas orientados a promover el uso de tecnologías ahorradoras de agua y de uso eficiente del agua.

El cuadrante 4 indica que si la condición en la cuenca es: P>E y Qs<Qm, entonces se pueden aumentar los usos del suelo con alta demanda evapotranspirativa, pero reducir en la cuenca la construcción de bordos, represas y ollas de agua, porque los ríos y arroyos llevan caudales mínimos. Para el caso de la región forestal-aguacatera esta es su condición actual.

De manera general, en la zona se están reduciendo los escurrimientos en los arroyos por la demanda de agua para el cultivo de aguacate (Figura 2, cuadrante 2). De continuar ascendiendo esta demanda por el aumento de la superficie de riego en aguacate y en otros cultivos, es probable que la zona transite a un escenario 3, lo cual afectará significativamente la recarga del acuífero y con ello crear una mayor presión hídrica (porcentaje de agua extraída con respecto a la disponibilidad media) con repercusiones para el consumo y para las actividades económicas de los centros urbanos de la franja aguacatera. El reto que se tiene es encontrar un justo equilibrio entre la necesaria producción de alimentos y el indispensable acceso público al agua para uso urbano.

Un escenario deseable y posible es que se fortalezca un proceso corresponsable de organización regional entre propietarios forestales, los productores de aguacate y los centros urbanos, para diseñar un plan integral de manejo responsable de los recursos naturales. En este sentido, es importante reconocer que en Michoacán diversos ejidos, comunidades y pequeños propietarios participaron en el programa de PSAH, con una superficie cercana a 20 mil hectáreas (SEMARNAT, 2011). Sería importante que también se incluyeran tareas y compromisos que verifiquen el cumplimiento de los objetivos del PSAH y validen generalizaciones de la relación bosque-agua que en su mayor parte son inapropiadas. De la misma manera, considerando el dominio de las comunidades rurales sobre sus bosques, es prioritario que el Estado siga fortaleciendo los apoyos e iniciativas para un manejo y aprovechamiento sustentables, como ocurrió para la Meseta Purépecha en resultados de convocatorias recientes (CONAFOR, 2011).

Conclusiones

Los bosques tienen un rol esencial en la provisión y regulación del agua; sin embargo, la expansión de la superficie cultivada con aguacate y el aumento en ésta del uso del riego, comienzan a impactar de manera estacional al servicio ambiental hidrológico, reflejándose con una tendencia decreciente en los caudales de los manantiales de las dos principales áreas naturales protegidas de la región aguacatera. Es muy importante monitorear el aforo permanente de estas fuentes de agua para determinar su tendencia.

Los acuíferos del Cupatitzio son profundos en la parte de captación más importante, norte y poniente, y someros en la parte central, sur y oriental de la cuenca; presentan buenas condiciones físicas de recarga, transmisibilidad y niveles dinámicos y pueden considerarse en equilibrio, pero con riesgo para los manantiales, quizá como consecuencia de la deforestación. Aun cuando sus propiedades químicas son buenas, hay un riesgo muy importante de contaminación biológica que puede limitar su uso para el consumo humano. Son notables tanto la ausencia de drenaje sanitario en muchas poblaciones, así como las filtraciones de las redes de drenaje existentes al acuífero.

Reconocemos que no estamos en condiciones de ofrecer un análisis completo del impacto del cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agrícolas en la producción de agua. Esto se debe a que existen vacíos de conocimiento en las áreas de la hidrología, como el aforo de manantiales, y la configuración del sistema hidrológico de la zona aguacatera; también de otros factores geoecológicos, de análisis del cambio de uso de suelo, socioeconómicos y de conocimiento de la relación bosque-agua, y la falta de un sistema de monitoreo y observación a largo plazo del sistema agua-suelo-vegetación regional. También se necesita monitorear la contaminación difusa de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos por el efecto del lavado o percolado de agroquímicos. A mediano y largo plazo, los impactos hidrológicos del cambio de uso de suelo pueden ser críticos porque más del 85% del agua de los manantiales se destina para el abasto de agua potable de los centros urbanos. Es importante apoyar estudios que aborden e instrumenten estos vacíos de conocimiento y de infraestructura.



5.1.5. Adaptación al cambio climático

José de la Luz Sánchez Pérez 1

Importancia

Los cambios del clima pueden afectar a los sistemas ecológicos, a la mezcla de especies que éstos contienen y a su capacidad para aportar toda una diversidad de beneficios que permiten a las sociedades seguir existiendo. Los sistemas ecológicos son intrínsecamente dinámicos y están constantemente influenciados por la variabilidad del clima.

El principal impacto del cambio climático sobre los ecosistemas se derivará, previsiblemente, de la rapidez y magnitud con que cambien los valores medios y extremos — ya que se espera que el cambio climático sea más rápido que el proceso de adaptación y reasentamiento de los ecosistemas — y de los efectos directos de una mayor concentración de CO₂ en la atmósfera, que podría incrementar la productividad y la eficiencia de utilización del agua en algunas especies vegetales. Los efectos secundarios del cambio climático consistirían en cambios de las características de los suelos y de los regímenes de perturbación, por ejemplo, incendios, plagas o enfermedades, que favorecerían a algunas especies más que a otras, alterando por consiguiente, la composición de los ecosistemas.

En un período de creciente demanda de alimentos, semillas, fibra y combustible, el cambio climático podría dañar irreversiblemente la base de recursos naturales de la que depende la agricultura. Ambos están íntimamente interrelacionados: la agricultura contribuye al cambio climático de varias formas importantes y el cambio climático en general afecta negativamente a la agricultura.

En las regiones de latitudes medias o altas, los aumentos locales moderados de temperatura pueden tener pequeños efectos benéficos en el rendimiento de las cosechas; en las regiones de latitudes bajas, esos ascensos moderados de la temperatura probablemente incidan negativamente en el rendimiento. Algunos de los efectos negativos son visibles ya en muchas partes del mundo. Un calentamiento adicional repercutirá cada vez más negativamente en todas las regiones. La creciente escasez de agua y los períodos de su disponibilidad limitarán cada vez más las producciones (IAASTD, 2008).

El cambio climático requerirá una nueva visión del manejo de agua a fin de hacer frente a los impactos de precipitaciones mayores y más extremas, mayores

¹ Doctor en Ciencias, ex investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

variaciones intra e interestacionales y tasas más elevadas de evapotranspiración en todos los tipos de ecosistema. Los fenómenos climáticos extremos como inundaciones y sequías van en aumento, y se calcula que su frecuencia y magnitud se incrementarán y que probablemente afecten de forma considerable a todas las regiones por lo que respecta a la producción forestal y de alimentos y a la seguridad alimentaria. Existe un riesgo serio de conflictos futuros por tierras habitables y recursos naturales tales como el agua dulce. El cambio climático está afectando a la distribución de plantas, las especies invasivas, las plagas y los vectores de enfermedades y es posible que aumenten la incidencia y la localización geográfica de muchas enfermedades del ser humano, los animales y las plantas (Evans, 1996; IAASTD, 2008; Wei et al., 2009).

En el caso particular del aguacate y de acuerdo con la información existente, los parámetros ambientales de mayor impacto serán las temperaturas, la disponibilidad de agua y nutrientes, y el incremento de CO₂ en la atmósfera. Algunos de los impactos serán en detrimento de la producción de aguacate, agua y aumentos excesivos de temperatura, mientras que en el corto plazo otros serán benéficos o neutros en su acción sobre el comportamiento de los árboles, a saber: incrementos moderados de las temperaturas y atmósfera rica en CO₂ (Allen *et al.*, 1996; Ward and Strain, 1999).

Ante este panorama, es necesario tomar iniciativas y medidas para reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales y humanos contra los efectos actuales y esperados del cambio climático. Esto se define como adaptación al cambio climático, y no debe confundirse con la mitigación al cambio climático, ya que esta comprende la implementación de políticas y acciones que tienen la finalidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e incrementar los resumideros de estos gases (IPCC, 2012). Las medidas de adaptación que tomen los productores de aguacate para mantener o incrementar sus rendimientos, sin duda tendrán un impacto adicional sobre los bosques con los cuales comparte grandes extensiones geográficas.

Información relevante

Con base en simulaciones de distribución de la vegetación y en escenarios del clima definidos a partir de Modelos de Circulación General (MCG), se esperan importantes desplazamientos de las fronteras de vegetación hacia latitudes y elevaciones mayores. Probablemente cambiará la variedad de especies de que se componen ciertas clases vegetales. Presuponiendo escenarios del clima basados en los MCG en condiciones de equilibrio, extensas regiones sufrirían disminuciones de la vegetación causadas por la sequía, aun cuando se incluyan los efectos directos de la fertilización por CO2. A efectos comparativos, para escenarios del clima en condiciones de transición —en que los gases vestigiales aumentan lentamente durante un período de años— el efecto total de los cambios de temperatura y precipitación se retrasa en varios decenios con respecto a los efectos del cambio de composición de la

atmósfera; por consiguiente, los efectos positivos del CO2 anteceden al efecto total de los cambios del clima (Watson *et al.*, 1997; Battles *et al.*, 2006).

El aumento de la variabilidad de los cursos de agua, particularmente en términos de frecuencia y duración de las grandes crecidas y sequías, tendería a aminorar la calidad del agua, la productividad biológica y los hábitats fluviales (Watson *et al.*, 1997).

Los insectos y microorganismos poseen la habilidad de adaptarse más rápidamente que sus árboles hospederos, aumentando por ello la probabilidad de impactos severos. Conforme los parásitos se mueven dentro de nuevos hábitats más favorables, su potencial de dispersión y daño es alto debido a que los árboles no se pueden adaptar tan rápidamente. De ésta manera, si el cambio climático favorece la expansión del rango de un parásito, el impacto sería similar al de una especie exótica. Además de la llegada de nuevos parásitos, los parásitos nativos que dependen del estrés de sus hospederos, serían más prevalentes debido a una mayor proporción de árboles estresados por efecto del cambio climático (Battles et al., 2006).

Sobre la base de la información de la interacción de la planta de aguacate con variables del medio ambiente, los principales impactos que se observarían se presentan en los Cuadros 1 y 2.

Cuadro 1. Impactos positivos u oportunidades de variables climáticas en el cultivo de aguacate.

| Evento | Impactos potenciales sobre el crecimiento y desarrollo del aguacate |
|---|---|
| Noches más cálidas | Menos oportunidad de fallas en el cuajado del fruto en áreas que actualmente sufren disminución de cosecha debido a noches frías durante la floración |
| Tiempo para alcanzar la madurez fisiológica del fruto | Temperaturas más cálidas implican un adelanto en el cuajado y madurez fisiológica del fruto en áreas diferentes (Steven et al., 2007) |
| Niveles más altos de CO ₂ en la atmósfera | Mayor potencial para el cuajado de fruto y menos caída del mismo |

Fuentes: Allen et al., 1996; Ward and Strain, 1999; Deuter et al., 2005 Frank et al., 2007.

Cuadro 2. Impactos negativos o riesgos de variables climáticas en el cultivo de Aguacate.

| Evento | Impactos potenciales sobre el crecimiento y desarrollo del aguacate |
|---|---|
| Menor rango de temperatura diurna | Potencial reducción para el traslape entre los estados de los órganos masculino y femenino de la flor, disminuyendo así las oportunidades de polinización (relevante para plantaciones con una sola variedad) |
| En general temperaturas significativamente más cálidas | Un cambio de las regiones de producción mas allá de las áreas más cálidas de producción hacia las áreas actualmente consideradas como frías |
| Tiempo para alcanzar la madurez fisiológica del fruto | Temperaturas más cálidas sugieren que los frutos cuajarán y alcanzarán la madurez de cosecha más temprano en la estación, cambiando la época de cosecha para diferentes áreas |
| "Almacenamiento" del fruto en el árbol | Las temperaturas más cálidas pueden reducir el período durante el cual se puede almacenar el fruto en el árbol, reteniendo una aceptable calidad |
| Actividad de microorganismos fitopatógenos | Un incremento general de la temperatura significa que las enfermedades estarán activas por mayores períodos durante el año |
| Temperaturas más altas durante el Verano | Frutos de aguacate Hass más pequeños |
| Actividad de los insectos | Un aumento en la temperatura sugiere mas actividad de los insectos plaga |
| Mayor número de días de stress por calor | Se esperaría mas fallas de la polinización, caída de frutos y quemaduras de sol. |

Fuentes: Bazzaz y Sombroek, 1996; Pangga et al., 2004; Deuter et al., 2005; Lobell et al., 2006; Frank et al., 2007; Pachauri y Reisinger, 2007; Lake and Wade, 2009; IAASTD, 2008.

Ante un escenario adverso debido al cambio climático y en la búsqueda de opciones para recuperar los niveles de productividad, los productores se verían forzados a aplicar algunas medidas de adaptación a nivel regional, tales como:

• Búsqueda de nuevas áreas de producción en climas más templados o fríos. Esto podría llevarse a cabo estableciendo nuevos huertos a mayores altitudes en

climas templados y fríos que actualmente están cubiertos por bosques naturales. Se estima que la superficie actual de aguacate ubicada en climas cálidos y semicálidos, que serían los más afectados por el cambio climático, es alrededor del 58% del total (Figuras 1 y 2).

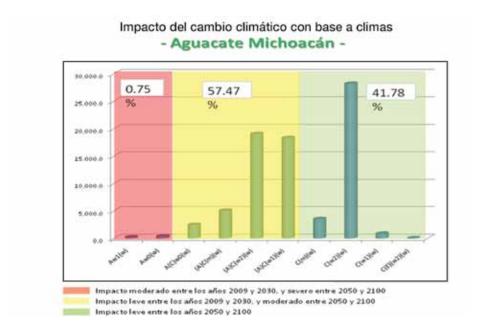


Figura 1. Estimación del impacto del cambio climático con base en los climas existentes en la región productora de aguacate de Michoacán. Se estima que los impactos negativos ocurrirán gradualmente, iniciando con los climas cálidos, enseguida los climas semicálidos, y finalmente los templados (Elaborado con datos de Anguiano et al., 2006; IPCC, 2007).

- Dado que el cambio climático favorecería la actividad de plagas y microorganismos fitopatógenos, se esperaría un incremento sustancial en el uso de plaguicidas, aumentando con ello la contaminación ambiental y probablemente la resistencia a los pesticidas.
- Un recurso que requerirá mayores incrementos para sostener la producción de aguacate, es el agua, tanto de origen pluvial como la de los mantos freáticos.
 Dada la creciente escasez de este recurso, es poco probable que las plantaciones de aguacate puedan acceder a ella sin provocar serios conflictos sociales con otros usuarios.

promedio ℃ - Aguacate Michoacán 34.54% 25000 42.12% 29.33%

Impacto del cambio climático con base a temperaturas maximas

Figura 2. Estimación del impacto del cambio climático con base en las temperaturas máximas promedio que se presentan en la región productora de aguacate de Michoacán. Se estima que los impactos negativos ocurrirán gradualmente, iniciando con los rangos de temperatura más altos (26.1 a >30° C), enseguida los óptimos para aguacate (24.1 a 26° C), y finalmente los templados (<20 a 24 ° C) actualmente considerados marginales para el cultivo de aguacate (Elaborado con datos de Anguiano et al., 2006; IPCC, 2007).

Impacto moderado entre los años 2009 y 2030, y severo entre 2050 y 2100 Impacto leve entre los años 2009 y 2030, y moderado entre 2050 y 2100

Impacto leve entre los años 2050 y 2100

- A corto plazo, un incremento de CO₂ en la atmósfera incidirá en incrementos de producción de aguacate debido a una mayor eficiencia del proceso fotosintético. Sin embargo, es condición para obtener este incremento, que se apliquen mayores cantidades de agua y nutrientes a los árboles. El uso excesivo de los fertilizantes está provocando ya contaminación de acuíferos y mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.
- En virtud de que las respuestas de árboles frutales al cambio climático son diferentes que las de cultivos anuales, las tecnologías generadas y/o recomendadas que se han propuesto para la adaptación a los impactos del cambio climático para estos últimos, no serán aplicables para el aguacate, por lo que habrá que generar tecnologías específicas para este cultivo.

Conclusiones

Las opciones de adaptación existentes para los ecosistemas son limitadas y su efectividad es incierta. Algunas de ellas son: disminuir o evitar el cambio de uso del suelo, acelerar la reforestación y forestación y la restauración de áreas degradadas.

Según las proyecciones, la rapidez del cambio será mayor que la que necesitan las especies para restablecerse, y dado el aislamiento y fragmentación de muchos ecosistemas, la existencia de múltiples factores de desgaste como el cambio de uso de las tierras y la contaminación, y las escasas opciones para la adaptación, los ecosistemas y especialmente los sistemas forestales y montanos, son vulnerables al cambio climático.

En la primera etapa del cambio climático en los años 2009-2050, con un aumento moderado de las temperaturas y un enriquecimiento de la atmósfera con ${\rm CO_2}$, se esperan impactos que beneficiarán la productividad tanto del aguacate como de los bosques. En la segunda etapa en el periodo años 2050-2100, el impacto del cambio climático sobre los bosques será bastante moderado, aún sin medidas de adaptación siempre y cuando el incremento de las temperaturas no exceda en promedio los 2 °C. En caso de que el aumento en temperaturas sea mayor, hasta 3.5°, los bosques resentirán impactos que van de moderados a severos.

En el caso del aguacate, los impactos serán más evidentes, repercutiendo en bajas en la producción en las áreas más cálidas en la primera etapa, ya que los efectos favorables de alto CO2 en la atmósfera, se verán contrarrestados por las altas temperaturas desfavorables. En la segunda etapa, los huertos de áreas muy cálidas tenderán a ser derribados y sustituidos por otros cultivos mejor adaptados, o bien variedades de aguacate de la raza Antillana e híbridos naturales de las razas Antillana y Guatemalteca.

Es muy probable que los productores decidan emigrar hacia áreas más frías, que actualmente son marginales para el cultivo del aguacate, que en mayor proporción están ocupadas por bosques naturales o se dedican a cultivos como maíz, trigo, triticale y avena, por ejemplo.

Es indispensable la ordenación del cultivo de aguacate para evitar en la actualidad y en el futuro que ese cultivo siga expandiéndose a costa de áreas con bosques naturales. Esto independientemente de las medidas que se tomen a corto plazo para la conservación y sustentabilidad de los bosques actuales.



5.2. Tasas de cambio de uso de suelo

Miguel Bravo Espinoza¹, Manuel Mendoza Cantú², J.Trinidad Sáenz Reyes³

Importancia

La cobertura vegetal y el uso del suelo (CVUS) son dos elementos clave del ambiente en relación con el bienestar humano. El primer elemento describe los objetos de origen natural como los bosques, selvas, cultivos, cuerpos de aqua, etc.. y el segundo aquellos originados o mantenidos por el hombre, entre ellos las ciudades, presas o carreteras, que se localizan sobre la superficie del planeta. El concepto de uso del suelo describe el tipo de actividad humana que se desarrolla en la superficie terrestre con el fin de producir bienes y servicios para la sociedad (Mendoza et al., 2011). El conocimiento del cambio de uso del suelo ofrece información sobre los procesos de deforestación, degradación y pérdida de la biodiversidad de una región (Velázquez et al., 2002). El cambio de uso del suelo es la segunda fuente más importante de generación de CO2 en México, y los desmontes para uso agropecuario son la causa de deforestación que destaca con el 82% del daño total (Galicia et al., 2007). La deforestación y el cambio de uso de suelo pueden reducir la biomasa hasta en 90% (Mendoza y Galicia, 2010). En este capítulo se revisan las tasas de pérdida de la cubierta forestal reportadas para la franja aguacatera de Michoacán.

Información relevante

La deforestación de los bosques de pino, encino y pino-encino en la franja aguacatera de Michoacán, es y ha sido un tema de controversia. En la literatura mundial se reconoce que existen discrepancias y retos, desde la definición misma de deforestación así como por la forma de medirla (Lambin *et al.*, 2001). En esta contribución se define a la deforestación como la pérdida del bosque resultado de su conversión a otros usos. También es importante mencionar que la deforestación no incluye la amplia degradación que ocurre en los bosques, es decir, la erosión gradual del bosque que resulta en la reducción de la cubierta vegetal, sin llegar a su remoción total, y la alteración en la composición de las especies, por los incendios, la tala ilegal o las plagas y enfermedades (FAO, 2011). Como referente, en la cuenca del Río Balsas la degradación de bosques templados ocurre en más de 700 mil ha, lo cual representa la mayor superficie de bosques secundarios del país (Cuevas *et al.*, 2010).

¹ Ph. D., ex investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

² Doctor en Ciencias, investigador del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-UNAM. Campus Morelia.

³ Ingeniero, investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

Para la franja aguacatera no hay muchos estudios que se hayan centrado en el tema de la deforestación, y los pocos que existen fueron desarrollados en los últimos cinco años (Cuadro 1). Existe una gran variación en las tasas de deforestación estimadas por los diferentes estudios revisados, las cuales fluctuaron entre 691 y 3,037 ha/año. Entre las posibles causas que explican esta variación se pueden mencionar: diferencias en los periodos y áreas geográficas estudiadas, diferencias en las técnicas de interpretación e insumos empleados, y en la definición y clasificación de la cubierta vegetal y usos de suelo, así como en el contexto del estudio (Cuadro 1). Un común denominador en los estudios analizados fue que los resultados estuvieron basados en interpretaciones visuales de imágenes satelitales, que en general tienen mayor confianza que las técnicas de análisis digital (Bocco y Valenzuela, 1988; Mas y Ramírez, 1996); empero se ha reconocido que esta técnica puede ofrecer estimaciones imprecisas, principalmente debido al carácter subjetivo de la interpretación, la cual depende tanto de la experiencia como conocimientos de los intérpretes (Fearnside, 1990; Menon y Bawa, 1998; Green y Hartley, 2000; Couturier y Mas, 2009).

Cuadro 1. Tasas de pérdida anual de la superficie de bosque templado por impacto de la expansión del cultivo de aquacate y otras causas.

| Referencia | Tasa | Periodo Área geográfica Fuente de datos |
|--|-------------------------|---|
| Garibay y Bocco (2007) | -0.33% (690.7 ha/año) | 1976-2005 Meseta Purépecha (11 municipios). Imágenes SPOT |
| Barsimantov y Navia-Antezana (2008) | -1.7% (3,037.5 ha/año)¹ | 1990-2006 Once municipios de la franja aguacatera Imágenes Landsat TM y ETM |
| Toledo <i>et al</i> . (2009) | -2,4% (1,717.7 ha/año)¹ | 1996-2005 Veintidós municipios de la franja aguacatera Inventario de predios, trabajo de campo y GPS (COMA, 2005; Anguiano <i>et al.</i> , 2006) |
| Bravo <i>et al.</i> (2010) | -0.95% (707.1 ha/año) | 1975-2008 Subcuenca Río Cupatitzio (8 municipios) Imágenes Landsat ETM y SPOT |

¹Valor estimado aplicando la ecuación de la FAO (1995) con base en la información reportada por los autores. Garibay y Bocco (2007) y Bravo *et al.* (2010) usaron esta ecuación para determinar la tasa de deforestación.

Para contextualizar en el ámbito nacional la magnitud del rango de las tasas de deforestación obtenidas en la franja aguacatera, un estudio reciente muestra que en el 36% del territorio (59 cuencas) se presentaron tasas de pérdida en el rango de 1,000 a 10,000 ha/año durante el periodo 1970-2009 (Cuevas *et al.*, 2010); los autores reconocieron que en promedio las cuencas del país pierden anualmente 1,130 ha de vegetación natural y que sólo en el 5% del territorio ocurrió una condición estable o sin cambios. También destacaron que la tasa promedio representa un riesgo inminente para la funcionalidad de cuencas menores de 2,000 km².

En los estudios analizados se coincide en que la deforestación del bosque templado en la franja aguacatera ocurre por varias razones. Entre estas destaca la expansión del cultivo de aguacate, y que el mayor incremento ocurrió en las décadas de 1980 y 1990. En este periodo los principales detonantes fueron el auge exportador, primero en los 80s con mercados europeos y asiáticos, y después en los 90s con la unión americana (TLCAN) facilitado por cambios legales en 1992 que afectaron la tenencia común del bosque en las comunidades rurales (Stanford, 1998; Barsimantov y Navia-Antezana, 2008; Echánove, 2008). En la Meseta Purépecha la deforestación ha disminuido en los últimos años, quizá porque las zonas de mayor altitud, actualmente ocupadas por bosques primarios, rebasan los umbrales de tolerancia climática del aguacate (Garibay y Bocco, 2007). También es probable que en otras zonas la tasa de deforestación sea mayor en los últimos años, por la escasez de tierras de cultivo de temporal, lo que presiona directamente a bosques y selvas bajas, motivando el cambio de uso del suelo a huertos de aguacate.

En la literatura internacional se destaca la importancia de conocer la superficie y distribución de la vegetación nativa como un indicador del estado ambiental de un ecosistema o cuenca y su capacidad para mantener funciones y servicios ecosistémicos vitales para la sociedad. También se reconoce el rol que juega el conocimiento preciso y detallado de la superficie que ocupa un cultivo así como su dinámica y el impacto ambiental que genera (Hassan, 2006; Lubowsky et al., 2006). Esta información es básica para la planeación, operación y evaluación del desarrollo agropecuario, y para valorar espacial y temporalmente las medidas para restaurar la vegetación natural perdida. Bajo este contexto, la imprecisión en las tasas de deforestación puede influir o justificar posiciones y quehaceres diferentes ante el problema de la deforestación.

Lo anterior enfatiza la importancia de contar con estudios que cuantifiquen de manera precisa la deforestación y otros procesos y dinámicas en la franja aguacatera de Michoacán. La necesidad de realizar inventarios precisos de actualización puede lograrse usando imágenes satelitales de muy alta resolución (VHR por sus siglas en inglés). Actualmente las imágenes VHR más empleadas son IKONOS y QuickBird, que ofrecen distintos productos para la actualización de cartografía topográfica o temática

con escalas de representación de 1:10,000 a 1:5,000 (Kartal *et al.*, 2004). También se requiere mejorar el entendimiento de las complejas causas de la deforestación, como lo sugiere el trabajo de Barsimantov y Navia-Antezana (2008).

La idea de que los bosques son un capital natural que suministran servicios de un valor incalculable, pero agotables y vulnerables, se está instalando en la cultura de la sociedad y en las dependencias públicas de los gobiernos estatal y municipales. El reto ahora es la real valoración de los servicios ambientales y la eventual aplicación de estímulos. También es prioritario analizar y resolver la tensión entre el desarrollo económico del sistema-producto aguacate y la restauración del ambiente con proyectos en que los dos ganen. Una alternativa, que algunos productores entienden y comienzan a implementar con prácticas agroecológicas, es impulsar la producción sostenible de aguacate con mejores prácticas de manejo y minimizar el impacto ambiental de esta actividad. Esta es la mejor manera para cubrir la demanda sin aumentar la presión sobre los bosques templados, como ya ocurre en la producción de la palma de aceite y en el cultivo de soya que también reemplazan y dañan a las selvas y bosques tropicales (Ardiansyah, 2006; Tallis *et al.*, 2008).

Conclusiones

La importancia de la deforestación y sus consecuencias ecológicas y socioeconómicas en la franja aguacatera de Michoacán, enfatizan la necesidad de una evaluación precisa de la dinámica que existe en las superficies con aguacate y uso forestal, usando imágenes satelitales VHR como requisito metodológico imperativo. Se sugiere impulsar la producción sostenible del aguacate, como una estrategia de mediano plazo para reducir el cambio de uso del suelo en el ecosistema forestal.

5.3. Cambio de uso de suelo y erosión

J. Trinidad Sáenz Reyes¹, Luis Mario Tapia Vargas²

Importancia

El estado de Michoacán se caracteriza por su riqueza cultural y social, así como por su gran variedad de recursos naturales, resultado de su contrastante orografía y situación geográfica, que se manifiesta en una gran diversidad biológica y de expresiones en todos los ámbitos. El uso antropogénico de los recursos naturales para la satisfacción de sus necesidades da origen al concepto de uso del suelo. El cultivo de aguacate y el aprovechamiento de bosques de coníferas, representan dos sistemas-producto con el mayor porcentaje de utilización en el Estado, que generan importantes aportes para su economía pero también producen diferentes niveles de deterioro de los recursos agua, suelo y biodiversidad.

Información relevante

Alrededor de 1,790,179 ha, que representan 29.9% del total forestal del estado, con vocación forestal son dedicadas a otros usos o se encuentran en proceso de degradación por incendios, plagas y otros factores, entre los que se incluye a los terrenos con riesgo evidente de erosión (COFOM, 2001). Durante el periodo de 1993 a 2000, se registró una pérdida de 102,538 ha, es decir, 14,648 ha anuales en los bosques de Michoacán, principalmente por cambio de uso de suelo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cambio de uso de suelo en zonas forestales michoacanas durante el periodo de 1993 a 2000.

| TIPO DE VEGETACIÓN | 1993 | 2000 | CAMBIO DE USO (ha) |
|--------------------|--------------|--------------|-----------------------|
| Bosques | 1,658,373.00 | 1,555,834.80 | 102,538.2 |
| Selvas | 2,056,763.40 | 1,734,149.90 | 322,613.5 |

Fuente: SEMARNAT, 2009b

En la región de la Meseta Purépecha, que comprende los municipios de Charapan, Cherán, Los Reyes, Nahuátzen, Nuevo Parangaricutiro, Paracho, Peribán, Tancítaro, Tingambato, Uruapan y Ziracuaretiro, se reporta una superficie con cambio de uso del suelo de 15,543 ha en bosques de coníferas, y de 6,234 ha en bosques de coníferas con latifoliadas, durante el periodo de 1976 a 2005 (Cuadro 2).

¹ Ingeniero, investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

² Doctor en Ciencias, investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

Cuadro 2. Cambio de uso de suelo por tipo de vegetación en la región Meseta Purépecha durante el periodo 1976 – 2005.

| TIPO DE VEGETACIÓN | SUPERFICIE (ha) | | | CAMBIO EN SUPERFICIE (ha) | |
|----------------------------------|-----------------|--------------|--------------|------------------------------|--------------|
| | 1976 | 2000 | 2005 | 1976-2005 | 2000-2005 |
| Agricultura (Temporal) | 132 394.9 | 149 548.6 | 153 695.1 | 21 300.2 | 4 146.5 |
| Agricultura (Riego y Humedad) | 24 101.7 | 18 424.8 | 17 182.5 | - 6 919.3 | - 1 242.3 |
| Áreas Sin Vegetación Aparente | 4 941.0 | 5 080.0 | 4 277.9 | 663.0 | - 802.1 |
| Asentamiento Humano | 1 157.1 | 6 581.2 | 7 952.1 | 6 795.0 | 1 371.0 |
| Caducifolia y Subcaducifolia | 5 631.7 | 5 862.5 | 9 392.8 | 3 761.1 | 3 530.3 |
| Coníferas | 96 277.7 | 89 987.9 | 80 734.6 | - 15 543.1 | - 9 253.3 |
| Coníferas-Latifoliadas | 119 777.6 | 109 268.2 | 113 542.7 | - 6 234.9 | 4 274.5 |
| Latifoliadas | 3 163.3 | 2 413.1 | 5384.0 | 222.8 | 2971.0 |
| Mesófilo de Montaña | 1 399.6 | 1 698.4 | 1856.0 | 456.3 | 157.5 |
| Pastizal | 17 081.2 | 17 637.5 | 12 484.4 | - 4 596.8 | - 5 153.1 |

Fuente: Garibay y Bocco, 2007

La superficie forestal ocupada por huertas de aguacate antes del año 2000 era de 13,590.52 ha (Cuadro 3).

Cuadro 3. Superficie y porcentaje de la superficie ocupada por huertas de aguacate que antes del año 2000 estaban cubiertas por vegetación forestal por municipio.

| Municipio | Superficie con aguacate (ha) | Superficie forestal ocupada por aguacate (ha) | Porcentaje de la superficie con aguacate en terrenos forestales |
|------------|------------------------------------|--|---|
| Acuitzio | 744.21 | 143.63 | 19.3 |
| Apatzingán | 506.99 | 134.35 | 26.5 |
| Ario | 7,979.64 | 1883.20 | 23.6 |

Continúa Cuadro 3...

Continuación Cuadro 3...

| Municipio | Superficie con aguacate (ha) | Superficie forestal ocupada por aguacate (ha) | Porcentaje de la superficie con aguacate en terrenos forestales |
|--------------------------|------------------------------------|--|---|
| Cotija | 734.38 | 39.66 | 5.4 |
| Los Reyes | 2,886.48 | 886.15 | 30.7 |
| Madero | 394.70 | 94.73 | 24.0 |
| Nuevo Parangaricutiro | 4,695.50 | 1408.65 | 30.0 |
| Peribán | 6,890.92 | 675.31 | 9.8 |
| Salvador Escalante | 5,633.69 | 771.82 | 13.7 |
| Tacámbaro | 8,168.94 | 1356.04 | 16.6 |
| Tancítaro | 18,207.79 | 3532.31 | 19.4 |
| Tangamandapio | 1,000.10 | 215.02 | 21.5 |
| Tangancícuaro | 27.49 | 10.99 | 40.0 |
| Taretan | 461.69 | 184.68 | 40.0 |
| Tingambato | 2,455.58 | 451.83 | 18.4 |
| Tingüindín | 3,604.94 | 504.69 | 14.0 |
| Tocumbo | 249.20 | 49.09 | 19.7 |
| Turicato | 1,021.65 | 469.96 | 46.0 |
| Tuxpan | 256.68 | 56.98 | 22.2 |
| Uruapan | 9,545.24 | 18.71 | 19.6 |
| Ziracuaretiro | 1,443.85 | 480.80 | 33.3 |
| Zitácuaro | 1,132.25 | 221.92 | 19.6 |
| Total | 78,041.91 | 13,590.52 | Promedio 17.41 |

Fuente: Anguiano et al., 2006.

Garibay y Bocco (2007) reportan que tan solo durante el periodo 2000 al 2005, la superficie de bosques convertida a plantaciones de aguacate fue de 8,706.9 ha (Cuadro 4).

Cuadro 4. Análisis de los cambios espaciales de cultivos de aguacate en la región de la Meseta Purépecha durante el periodo 2000-2005.

| PROCESOS DE CAMBIOS DE COBERTURAS 2000-2005 | Cambio de uso del suelo (ha) |
|--|---------------------------------|
| Superficies agrícolas convertidas a cultivos de aguacate | 4 722.7 |
| Deforestación de bosque primario para cultivo de aguacate | 2 362.1 |
| Deforestación de bosque secundario para cultivo de aguacate | 6 344.8 |
| Permanencia de cultivos de aguacate y/u otros frutales | 53 752.1 |
| Sin procesos aparentes de conversión agrícola a cultivos de aguacate | 339 853.4 |

Fuente: Garibay y Bocco, 2007.

Con la suma de la superficie forestal reportada como ocupada por aguacate en los dos estudios anteriores, se tiene una superficie total de 22,297.42 ha. Sin embargo, se detecta una superficie que en los últimos tres años se ha plantado con aguacate, principalmente en los municipios de Morelia, Zitácuaro, Salvador Escalante, entre muchos más, que no está cuantificada. Se estima que 25.7% de la superficie plantada con aguacate ocupa terrenos con vocación forestal.

En cuanto a erosión, se estimó que 51.47% de los suelos de Michoacán presentan fuertes problemas de erosión, con niveles clasificados como de altos a severos; 19.10% moderados y 29.43% con ligeros a nulos (COFOM, 2001). La erosión ligera se refiere a la de tipo laminar principalmente, mientras que la clase moderada considera la presencia de erosión concentrada en canalillos o laminar avanzada (pináculos). Por último, la clase de erosión alta a severa corresponde al tipo que se presenta en forma de canalillo profundo, zanjas y hasta cárcavas. La erosión hídrica afecta el 74.1% de la superficie del estado.

Entre las causas que originan la erosión y degradación de los suelos se encuentran la deforestación y el cambio de uso del suelo, así como la combinación de este tipo de afectaciones, que en conjunto se establecen como la causa de erosión en el 64.42% de la superficie erosionada; destaca también, el mal manejo de los suelos agrícolas como una causa de erosión en el 11.91% de la superficie, así como el sobrepastoreo combinado con el cambio de uso del suelo, en el 9.66% de la superficie erosionada (SEMARNAT, 2009a).

En el estudio de tres niveles de erosión en la cuenca de Pátzcuaro, como base para acciones y obras de conservación, se determinó el nivel 1 (erosión baja) localizado en suelos forestales donde se conserva el suelo con todos sus horizontes, los volúmenes de pérdida oscilan entre 0 y 1.5 t/ha/año y es perceptible como laminar ligera. El nivel 2 (erosión media), donde solo se tienen los horizontes "B" y "C" completos en

bosques con poca degradación o zonas de frontera forestal degradada, se pierden de 3 a 25 t/ha/año (Gómez-Tagle, 1994).

En huertas de aguacate nuevas y sobre todo aquellas ubicadas en pendientes superiores al 4%, se tiene mayor impacto en la erosión del suelo, con estimaciones de más de 10 t/ha/año. A medida que la huerta adquiere madurez, el efecto en la erosión del suelo se reduce a niveles considerados por debajo del umbral de impacto en la región de 2.0 t/ha/año. Este proceso negativo puede incrementarse en huertas montadas sobre camellones tipo chileno y con alta densidad de población; dichos camellones por desconocimiento o negligencia no se trazan a nivel sino a favor de la pendiente, en tales condiciones las pérdidas de suelo pueden ser mayores a 20 t/ha/año, de alto impacto negativo. Las pérdidas de suelo en bosque con o sin manejo forestal, son siempre por debajo del umbral de impacto de 2.0 t/ha/año, ya que se mantiene la base de cobertura vegetal.

Conclusiones

La superficie forestal reportada como ocupada por aguacate es de 22,297.42 ha, sin embargo, se detecta una superficie que en los últimos tres años se ha plantado y que falta de cuantificar y agregar a la estadística.

En el 51.47% de los suelos de Michoacán, se presentan niveles de erosión clasificados como de altos a severos. Las pérdidas de suelo en bosque con o sin manejo forestal, son siempre por debajo del umbral de impacto de 2.0 t/ha/año. La erosión en huertos de aguacate es mayor al inicio del establecimiento de la plantación y gradualmente se reduce, sin embargo, en sistemas con mal manejo del suelo pueden ocurrir pérdidas de 20 t/ha/año. Estos valores son estimados, por lo que se requiere realizar trabajos de campo para medir el proceso de erosión.

Se recomienda realizar estudios de actualización para cuantificar la zona forestal ocupada por plantaciones de aguacate mediante sistemas de información geográfica y verificación de campo, así como estudios cuantitativos de la erosión en bosques de la zona aguacatera.



5.4. Factores limitantes climáticos y altitudinales

Juan José Alcántar Rocillo¹, Hipólito Jesús Muñoz Flores²

Importancia

Las condiciones agroambientales prevalecientes en la región productora de aguacate en Michoacán, propician un buen desarrollo del árbol y la obtención de fruto en prácticamente todo el año, así como un traslape continuo de las diferentes fases fenológicas del árbol, ello principalmente determinado por el rango altitudinal, así como por el arreglo topológico de las plantaciones con respecto a su exposición al sol, la pendiente y la dirección prevaleciente del viento (Anguiano et al., 2006).

Dependiendo de la raza de origen del aguacate, éste puede establecerse desde el nivel del mar hasta los 3,000 m de altitud, aunque en la práctica huertos a más de 2,400 m se consideran fuera del área apropiada para una producción rentable. La raza mexicana prospera en altitudes de 1,500 a 3,000 m; la guatemalteca de 1,000 a 2,000 m y la antillana desde el nivel del mar hasta los 1,000 m (Benacchio, 1982; Ruiz-Corral et al., 1999). El desarrollo del árbol a altitudes superiores a 2,000 m, se reduce en cuanto a altura, diámetro y volumen del follaje; a nivel interno, la fisiología se altera por reducción de auxinas y giberelinas, originando aborto de flores y frutos pequeños, retraso de la floración, cambio de forma de fruto y periodo de maduración extendido en dos a tres meses (Martínez, 1988).

El aguacate es un frutal de hoja persistente, y la principal condicionante es la sensibilidad a bajas temperaturas por el problema de heladas (Gardiazabal, 2004). La resistencia al frío de la variedad Hass es de -1.1°C. Por otro lado, bajas temperaturas en época de floración, menores a 20°C en el día y a 10°C en la noche, pueden provocar una reducción considerable en el cuajado de frutos. La temperatura propicia una amplificación de las fases fenológicas del cultivo y que puede acortar o alargar por sí misma, el periodo de cosecha (Salazar-García *et al.*, 2005). De acuerdo con la literatura mundial, la fluctuación de la temperatura es responsable de la mayor parte de la variabilidad en la producción de aguacate (Lomas, 1988).

Otros factores climáticos que limitan al cultivo son: heladas durante el invierno, bajos promedios de temperatura mínima durante la floración y cuajado de fruto y súbitas ondas de calor durante la etapa de cuajado de fruto. El mayor amarre de frutos de aguacate ocurre con temperaturas entre 20 y 25°C, pero temperaturas por encima de 28°C provocan la abscisión de flores individuales (Lovatt, 1990). Bajo

¹ Ingeniero, ex investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

² Ingeniero, investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

condiciones controladas, la temperatura crítica para el cultivo fue de 10°C (Zamet, 1990) y con umbrales térmicos entre 10 y 35 °C (Martínez, 1988; Benacchio, 1992).

Información relevante

De acuerdo con la información generada mediante el Programa de Levantamiento y Verificación de Productores, Predios y Lotes del Cultivo del Aguacate en el Estado de Michoacán, coordinado por el Consejo Nacional de Productores de Aguacate (CONAPA) y la Comisión Michoacana del Aguacate (COMA) en el período 2003-2005, el área productora de aguacate de Michoacán la conforman 22 municipios, incluyendo la Región Purépecha. Dadas las condiciones del relieve que prevalecen en la entidad, las zonas donde se produce aguacate no son ajenas a este aspecto, y los municipios se ubican en estratos altitudinales que van desde los 1,300 m, hasta localidades con alturas superiores a los 2,400 m (Figura 1). Esta situación ambiental va aparejada con el gradiente térmico.

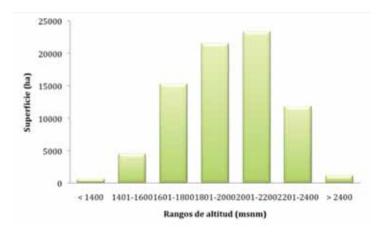


Figura 1. Distribución altitudinal de la superficie con aguacate en Michoacán.

En las Figuras 2 y 3, se muestra en forma gráfica como se distribuye la superficie de aguacate en los distintos rangos de temperatura mínima y máxima de acuerdo a valores promedio anuales que se registran en la región.

Con relación al rendimiento medio de aguacate por rangos altitudinales, los mejores rendimientos fluctúan entre 8.28 a 8.52 t/ha y se encuentran en los rangos altitudinales de 1,400 a 2,000 m; en los gradientes inferiores a 1,400 m la producción es de 5.65 t/ha y en altitudes de los 2,000 a los 2,400 m, el rendimiento es de 5.34 a 5.18 t/ha, respectivamente, mientras que en los rangos superiores a los

2400 m, los rendimientos se reducen hasta un 70%, con tan solo 2.5 t/ha (Figura 4; Sánchez, 2008).

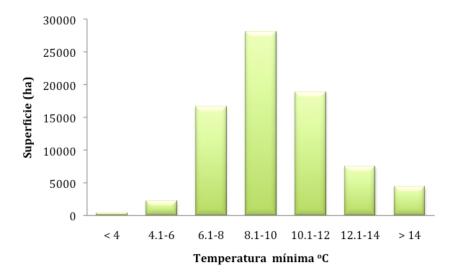


Figura 2. Distribución por rango de temperatura mínima de la superficie con aguacate en Michoacán.

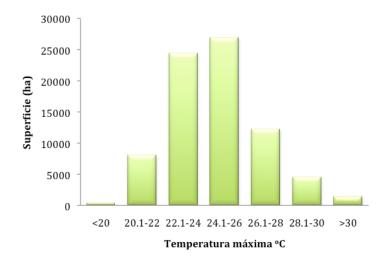


Figura 3. Distribución por rango de temperatura máxima de la superficie con aguacate en Michoacán.

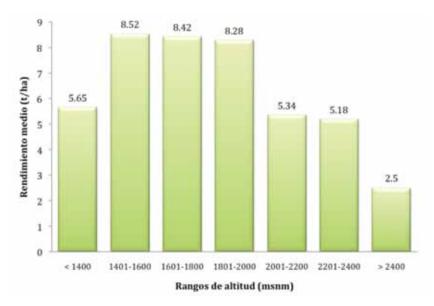


Figura 4. Rendimiento medio de aguacate por rango altitudinal en el área productora de aguacate en Michoacán.

Siete especies de pino se distribuyen de manera natural en los rangos de altitud donde se han establecido huertas de aguacate: *Pinus oocarpa, P. douglasiana, P. leiophylla, P. michoacana* Var. Martínez, *P. michoacana* var. *cornuta, P. pseudostrobus* y *P. montezumae*. Sus requerimientos climáticos, es decir, temperaturas, máxima, mínima, media y precipitación total anual coinciden con los del cultivo de aguacate en Michoacán (Cuadro 1).

Calidad de sitio forestal se utiliza para denotar la productividad de un lugar a partir de factores ambientales, lo cual permite realizar clasificaciones de la calidad del terreno según su potencial de producción. La productividad de un determinado sitio usualmente se representa mediante el índice de sitio, expresado por la altura dominante que alcanzan los árboles a una edad base. Esto es de utilidad para establecer las bases del manejo forestal.

En las mejores calidades de sitio, para P. douglasiana, P. pseudostrobus y P. herrerai se tienen índices con alturas de 28 a 35 m a la edad base de 50 años, mientras que P. michoacana var. cornuta y P. oocarpa alcanzan de 17 a 22 m de altura a los 50 años.

En los rangos de altitud para la producción de aguacate de 1,600 a 2,250 m, un indicador de las especies forestales son los bosques de *Pinus leiophylla de* 1,600 a

2,500 m, *P. douglasiana* de 1,480 a 2,250 m, y *P. michoacana* asociada con *P. lawsonii* de 1,500 a 1,840 m, principalmente (Figura 5).

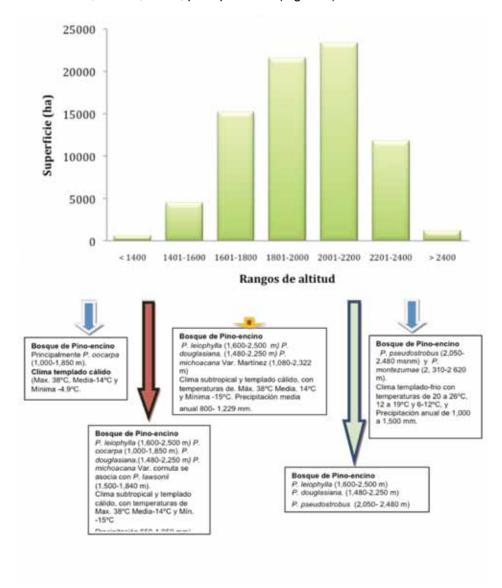


Figura 5. Distribución altitudinal de la superficie con aguacate y tipos de vegetación forestal en Michoacán.

Conclusiones

Los rangos óptimos de altitud y temperatura para el cultivo del aguacate son de 1,600 a 2,000 m y de 20 a 25 °C, respectivamente. Con respecto a la altitud, se concluye que 77% de la superficie aguacatera se distribuye en condiciones óptimas y el 23% en áreas marginales. En cuanto a la temperatura máxima, el 76 % se encuentra en lo óptimo y el 24% es marginal. Para la temperatura mínima, los porcentajes son del 60% y 40%, respectivamente. Estos rangos climáticos y altitudinales coinciden con los de las especies de pinos de interés comercial que se distribuyen de manera natural en esta región, por lo que se presenta una clara sobreposición espacial de ambos sistemas de producción.

Cuadro 1. Distribución altitudinal y tipo de vegetación forestal del área productora de aguacate en Michoacán.

| | Altitud (m) | | | | | | |
|---|--|---|---|--|---|---|---|
| Variable | < 1,400 | 1,401- 1,600 | 1,601- 1,800 | 1,801- 2,000 | 2,001-2,200 | 2,201-2,400 | > 2,400 |
| Especies forestales y rangos altitudinales | Bosque de Pino-encino, principalmente P. oocarpa (1,000- 1,850 m) en asociación con Quercus magnolifolia, Q. resinosa, y Q. glaucoides | Bosque de pino-encino <i>P. oocarpa</i> , (1,000-1,850 m) <i>P. douglasiana</i> (1,450-2,250 m) | Bosque de P. leiophylla (1,600-2,500 m) P. douglasiana, (1,480-2,250 m) P. michoacana Var. Cornuta, se asocia con P. lawsoni i (1,500-1,840 m) Q. castanea, y Q. spp. | Bosque de P. leiophylla (1,600-2,500 m) P. douglasiana, (1,480-2,250 m) Bosque de P. michoacana Var. Martinez (1,080-2,322 m) P. douglasiana, (1,480-2,250 m) | Bosque de P. leiophylla (1.600-2.500 m) P. douglasiana (1.480-2.250 m) Bosque de P. pseudostrobus (2.050-2.480 m) asociación de Q. rugosa y Q. candicans | Bosque de P. leiophylla (1,600-2,500 m) P. douglasiana, (1,480-2,250 m) Bosque de P. pseudostrobus (2,050-2,480 m) | Bosque de P. pseudostrobus (2,050- 2,480 m) Bosque de P. montezumae (2, 310-2 620 m). Asociación de Q. crassipes,y Q. castanea |
| Municipios | Uruapan Tumbiscatio Ziracuaretiro Taretan Tingambato Nvo. Parangaricutiro Ario de Rosales | Uruapan Tumbiscatio Ziracuaretiro Taretan Tingambato Tocumbo Nvo. Parangaricutiro Ario de Rosales | Uruapan Tancitaro Tocumbo Los Reyes Nvo. Parangaricutiro Ziracuaretiro Madero Taretan Tumbiscatio Tingambato | Uruapan Cherán Angahuan Nvo. Parangaricutiro Taretan Ziracuretiro Tingambato Tancitaro | Angangueo Tlaipujahua Salvador Escalante Hidalgo Los Reyes Uruapan Nvo. Parangaricutiro Tacámbaro Pátzcuaro Madero Zitácuaro Coalcomán | Angangueo Tlaipujahua Salvador Escalante Hidalgo Los Reyes Uruapan Nvo. Parangaricutiro Tacámbaro Pátzcuaro Madero Zitácuaro Coalcomán | Nvo. Parangaricutiro Nahuatzen Salvador Escalante Charo Erongaricuaro Los Reyes Paracho Tancitaro Tingambato Uruapan Zacapu Quiroga Maravatio |
| Clima (Temperatura, máxima, media y mínima) y precipitación media anual | Clima templado cálido 38°C- 14°C-4.9°C. Precipitación media anual de mínima de 750 a 1 300 mm. | Clima templado cálido (21ºC, 19°C, 13°C) Precipitación media anual: 1300 mm. | Clima subtropical y templado cálido, con temperaturas de 38°C-14°C- 15°C Precipitación 650-1 050 mm) | Clima subtropical y templado cálido, con temperaturas de.38°C- 14°C-15°C. Precipitación media anual 800- 1,229 mm. | Clima templado-frio con temperaturas de 20 a 26°C,12 a 19°C y 6-12°C, y Precipitación anual de 1,000 a 1,500 mm | Clima templado-frio con temperaturas de 20 a 26°C, 12 a 19°C y 6-12°C, y Precipitación anual de 1,000 a 1,500 mm. | Clima templado-frio con temperaturas de 20 a 26°C.12 a 19°C y 6-12°C. y Precipitación anual de 1,000 a 1,500 mm |
| Tipo de suelo | Luvisol | Luvisol, Andosol | Andosoles | Andosoles | Andosoles | Andosoles | Andosoles |

5.5. Manejo y producción forestal

J. Trinidad Sáenz Reyes¹, Hipólito Jesús Muñoz Flores², Francisco J. Villaseñor Ramírez³

Importancia

Los bosques en la zona aguacatera de Michoacán están conformados por una mezcla de especies de pinos, como *Pinus douglasiana*, *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *Pinus oocarpa*, *P. michoacana*, *P. herrerae*, *P. tenuifolia*, *P. pringlei* y *P. michoacana var. cornuta*, que se desarrollan asociadas con árboles latifoliados como *Arbutus* sp., *Alnus sp.*, *Quercus rugosa*, *Q. laurina*, *Q. candicans*, *Q. crassipes* y *Q. obtusata*. Los ingresos económicos obtenidos por los propietarios forestales a partir del aprovechamiento de estos bosques para satisfacer la demanda de bienes y servicios, son un factor determinante en las inversiones en ordenación forestal.

La extracción de madera proporciona una perspectiva sobre la productividad de los bosques. Aunque se conocen muy bien las funciones protectoras de los bosques, estos valores se reconocen cada vez más y se debaten en los medios de difusión, así como en los círculos gubernamentales y académicos. La mayor parte de los bosques de México se encuentran bajo el régimen de propiedad comunal, ya sean ejidos o comunidades, y algunos de ellos son sujeto de ordenación forestal, aunque otros carecen de ella. Recientemente se han realizado cambios que están mostrando ya importantes beneficios, tales como una nueva legislación forestal y el establecimiento de la Comisión Nacional Forestal (FAO, 2007).

En Michoacán, existe una superficie forestal bajo manejo de 259,000 ha, con un potencial total de aprovechamiento de 9.5 millones de m³ en el periodo 1993-2010. Tiene un lugar importante en cuanto a su producción maderable, ocupando el tercer lugar nacional. Esta producción se mantuvo por arriba de 1 millón de m³ en el periodo de 1995 al 2000; el incremento se estimó en 3.4 millones de m³/año. La producción maderable en el estado durante 2001-2007 fue de 5,298,608 m³ en rollo (Figura 1) con un valor de \$3,443,997,483.00 (SEMARNAT, 2009c), en un total de 1,183 autorizaciones de aprovechamientos y una cobertura de 128,018 ha (SEMARNAT, 2010).

Los métodos de cosecha de bajo impacto, como el aprovechamiento selectivo, causan pocos daños ambientales y resultan económicos si se tienen en cuenta los efectos ambientales, como el daño a las masas residuales. Dos obstáculos principales amenazan la aplicación eficaz de las mejores prácticas en la explotación forestal: la tala ilegal y la falta generalizada de clara conciencia o preocupación por sus

¹ Ingeniero, investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

² Ingeniero, investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

³ Ingeniero, ex investigador del Campo Experimental Uruapan, CIRPAC, INIFAP.

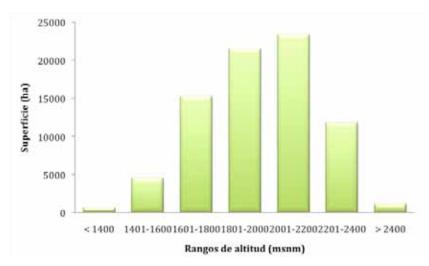


Figura 1. Producción maderable (m³ rollo) en el estado de Michoacán durante el periodo de 2001 a 2007 (SEMARNAT, 2009d).

beneficios económicos, ambientales y sociales. Existen directrices técnicas, sociales y ambientales, pero no se aplican de forma adecuada, por lo que es necesario aumentar la capacitación y la investigación para superar estos desafíos (FAO, 2007).

El manejo forestal implica la manipulación de las masas forestales con el propósito de obtener productos como leña, madera, tablas, pilotes y resina, entre otros, los cuales se utilizan directamente o se transforman y permiten un beneficio inmediato. También ofrecen otros beneficios indirectos, como la protección del suelo, regulación microclimática, cortinas rompeviento, que permiten la conservación de la biodiversidad y la captación y almacenamiento del agua, además de la captura de carbono (Ordóñez, 2008).

En México se aplican diferentes métodos de manejo forestal, adecuados a diferentes condiciones de edad, composición, estructura, ubicación y pendiente, principalmente, y que están enfocados a satisfacer esas condiciones, así como las necesidades de los propietarios (Ordóñez, 2008). Además, nuestro país es uno de los mayores productores de resina de pino en el mundo, lo que representa un renglón importante para la economía nacional (SEMARNAT, 2009c). La extracción y comercialización de resina constituye una fuente importante de trabajo para la población más marginada que habita los bosques de pino del país; 20 mil personas se dedican a la recolección de resina en Michoacán, con lo obtienen ingresos complementarios a su economía, basada principalmente en actividades agrícolas de temporal y en ganadería extensiva.

Información relevante

Estudios realizados en la zona sobre el crecimiento e incremento de las principales especies forestales, indican que *P. michoacana* var. *cornuta* presentaba la culminación del incremento corriente anual (ICA) en altura de los 27 a 34 años. A los 50 años la altura alcanzada fue de 17 a 22 m, lo cual indica que se encontraba creciendo en una calidad de sitio pobre. El crecimiento en diámetro es muy uniforme de los 30 a 70 años, después disminuye y se conserva también muy regular aun después de los 100 años. El ICA en diámetro culmina entre los 50 y 60 años, alcanzando después el diámetro de aprovechamiento de 30 cm sin corteza, apropiado para madera aserrada, entre los 80 a 96 años de edad. Es una especie de crecimiento lento, ya que el volumen de 0.1 m³ se obtiene hasta los 35 años, el primer m³ a los 65 a 75 años y los 4 m³ de 125 a 170 años (Mas, 1978).

Métodos silvícolas

Los principales métodos silvícolas aplicados en los bosques de la zona aguacatera de Michoacán, son el Método Mexicano de Ordenación de Montes (MMOM), también denominado Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), y el Método de Desarrollo Silvícola (MDS). En una reducida superficie se aplican el Sistema de Cortas Sucesivas de Protección (SICOSUP) y el Sistema Silvícola de Selección (SISISE) (SEMARNAT, 2010).

El MMOM fue el primer método de ordenación forestal formalmente adoptado en México. Se caracteriza por ser un método extensivo para la producción de madera, de regulación por volumen e incremento volumétrico que se aplica en bosques irregulares y también busca conformar éste tipo de bosques; se aplica principalmente a especies tolerantes y de tolerancia intermedia. El método de regeneración que se usa es de selección e intenta recuperar al final del ciclo de corta las existencias que se tenían antes de ésta. Hay una intensidad de corta que se determina sin emplear fórmulas, lo que favorece la atención a las necesidades silvícolas y económicas. Asume que el volumen después de la corta se recupera al ritmo del interés compuesto y se recalcula la intensidad de corta por cada rodal, de acuerdo con su incremento volumétrico (Castro, 2005a; Castro, 2005b).

Este método se aplica principalmente en áreas forestales accidentadas, donde existe el riesgo de un rápido deterioro de los ecosistemas forestales, o en áreas donde no se quiere alterar significativamente el paisaje natural. Sin embargo, no conduce a los bosques a lograr su "normalidad" y se ha demeritado por extraer solo el arbolado mejor conformado y de mayores dimensiones, lo cual no recomienda el método, ya que deben existir individuos de todas las clases diamétricas y los mejor conformados (Castro, 2005a; Castro, 2005b).

El tratamiento permite mejorar la composición y las condiciones sanitarias del bosque, ya que se da prioridad a la extracción de árboles plagados, enfermos, muertos, dañados por diferentes causas, dominados o defectuosos. Así mismo, mediante la aplicación de cortas intermedias se extraen árboles de menores dimensiones en lugares donde es muy intensa la competencia, lo que permite mantener los estratos en condiciones óptimas de incremento volumétrico y salud. Ofrece mayor protección contra los factores destructivos más frecuentes, como los incendios forestales y las plagas, pues la presencia de arbolado de diversas edades y tamaños le da resistencia contra estos factores. También se aprovecha el suelo al máximo, puesto que las raíces de los árboles grandes son más profundas, las de los medianos algo menos, y las de los pequeños y los arbustos bastante menos, por lo que hay poca competencia entre ellos y el suelo se aprovecha al máximo (Castro, 2005a; Castro, 2005b). En los predios forestales de la franja aguacatera de Michoacán, donde se aplica el MMOM o MMOBI se encuentran las siguientes especies: P. pseudostrobus, P. michoacana, P. michoacana var. cornuta, P. oocarpa, P. leiophylla, P. montezumae, P. pringlei, Quercus spp., Arbutus glandulosa, Alnus jorullensis, A. firmifolia, Lisiloma acapulcensis y Tilia mexicana.

EL MMOBI se aplica seleccionando los árboles en forma individual o por grupos, con una duración del turno de 50 ó 60 años y ciclos de corta de 10 años con intervenciones anuales, puesto que a esa edad los árboles tienen dimensiones de 40 a 50 cm de diámetro normal, adecuados para su aprovechamiento industrial (Castro, 2005a; Castro, 2005b).

El MDS es otro método alternativo de manejo para los bosques de coníferas en terrenos con poca pendiente; utiliza como unidad mínima de manejo el sub-rodal, con el tratamiento de árboles padres, cuyo objetivo es asegurar el establecimiento de la regeneración natural. Este método es apropiado para el pino ya que las especies de este género son intolerantes a la sombra y su semilla es diseminada por el viento. Se aplica en turnos de 50 años y con ciclos de corta de 10 años, con los tratamientos silvícolas siguientes:

Corta de regeneración. Es el tratamiento principal por el cual los rodales de un bosque se aprovechan y reemplazan por nuevas generaciones; consiste en aprovechar los árboles que han llegado a su madurez, seleccionando por sus características morfológicas a los mejores individuos para dejarlos en pie como "árboles padres" o "semilleros", distribuidos adecuadamente en el terreno con el objetivo de obtener el renuevo en forma natural de ellos (Figura 1).

Corta de liberación. Su finalidad es la liberación total o gradual del nuevo bosque para que ocupe definitivamente toda la superficie, extrayendo los árboles padres.

Aclareos. Su finalidad es la redistribución del incremento volumétrico en los mejores árboles mediante la aplicación de cortas de saneamiento, recuperación y mejoramiento (Aguilar, 2008; Figura 2).



Fotos de los autores

Figura 1. Corta de regeneración en bosques de Pinus montezumae en Michoacán.



Fotos de los autores

Figura 2. Aclareo en bosques de *Pinus pseudostrobus* de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

En los predios donde se aplica el MDS se encuentran especies como: *P. pseudostrobus*, *P. montezuma*e, *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *P. michoacana*, *Abies religiosa*, *Q. candicans*, *Q. rugosa*, *Q. laurina* y *Alnus jorullensis* (Aguilar, 2008).

El SICOSUP consiste en la aplicación de cortas periódicas de regeneración con el fin de regenerar la masa forestal: semillación, secundaria y liberación. Los intervalos entre cada una de ellas pueden ser de cuatro a diez años, ya sea en rodales completos o en franjas continuas o alternas, donde se pretende establecer la regeneración en forma paulatina bajo la protección de árboles semilleros. En el resto del bosque se aplican cortas intermedias que pueden ser aclareos, cortas de rescate o de saneamiento.

El SISISE tiene como objetivo lograr la normalidad de un bosque irregular. Este consiste en una estructura compensada en términos de los diámetros, y con la compensación volumétrica anterior y sus incrementos propiciar en forma constante y sostenida el rendimiento más favorable.

Las superficies forestales manejadas con los métodos descritos y los volúmenes autorizados anualmente mostraron altibajos entre 1994 y 2009 en Michoacán, con una clara tendencia hacia su reducción (Cuadros 1 y 2; SEMARNAT, 2010).

Cuadro 1. Superficie forestal manejada con diferentes métodos silvícolas en la zona aguacatera de Michoacán, 1994-2009.

| A ~ - | Superficie (miles ha) | | | | | |
|-------|-----------------------|--------|---------|--------|--|--|
| Año | ммові | MDS | SICOSUP | SISISE | | |
| 1994 | 3.270 | 1.787 | 0 | 0 | | |
| 1995 | 8.327 | 0.337 | 0.020 | 0.237 | | |
| 1996 | 0 | 0.261 | 0 | 0 | | |
| 1997 | 13.392 | 0.661 | 0 | 0 | | |
| 1998 | 13.098 | 6.698 | 0.061 | 0 | | |
| 1999 | 3.948 | 0 | 0 | 0 | | |
| 2000 | 14.025 | 0 | 0 | 0 | | |
| 2001 | 3.779 | 0.152 | 0.021 | 0 | | |
| 2002 | 4.603 | 0 | 0.018 | 0 | | |
| 2003 | 2.056 | 0.269 | 0 | 0 | | |
| 2004 | 7.378 | 0 | 0.389 | 0 | | |
| 2005 | 8.580 | 0 | 0 | 0 | | |
| 2006 | 3.246 | 0 | 0 | 0 | | |
| 2007 | 2.238 | 0.696 | 0 | 0 | | |
| 2008 | 6.749 | 7.793 | 0 | 0 | | |
| 2009 | 0.800 | 0 | 0 | 0 | | |
| TOTAL | 95.489 | 18.654 | 0.509 | 0.237 | | |

Fuente: SEMARNAT. 2010

Cuadro 2. Volumen autorizado en bosques manejados con diferentes métodos silvícolas en la zona aguacatera de Michoacán, 1994-2009.

| Año | Vo | olumen autoriza | ımen autorizado (miles m³ V.T.A.) | | | |
|-------|-----------|-----------------|-----------------------------------|--------|--|--|
| Allo | MDS | ммові | SICOSUP | SISISE | | |
| 1994 | 112.410 | 104.832 | | | | |
| 1995 | 23.010 | 309.650 | 2.216 | 0.017 | | |
| 1996 | 0.566 | | | | | |
| 1997 | 86.132 | 445.670 | | | | |
| 1998 | 597.061 | 541.940 | 2.715 | | | |
| 1999 | | 170.020 | | | | |
| 2000 | | 598.226 | | | | |
| 2001 | 17.632 | 127.276 | 0.705 | | | |
| 2002 | | 142.440 | 0.756 | | | |
| 2003 | 23.335 | 80.117 | | | | |
| 2004 | | 222.718 | 18.364 | | | |
| 2005 | | 278.490 | | | | |
| 2006 | | 145.671 | | | | |
| 2007 | 63.674 | 109.454 | | | | |
| 2008 | 519.954 | 293.690 | | | | |
| 2009 | | 34.042 | | | | |
| TOTAL | 1,443.774 | 3,604.236 | 24.756 | 0.017 | | |

Fuente: SEMARNAT, 2010

Aprovechamiento y producción de resina de pino

Los aprovechamientos de resina en México se llevan a cabo en los estados de Michoacán, México, Oaxaca, Jalisco y Chiapas. En Michoacán se aprovecha en los municipios de Ario, Madero, Hidalgo, Nuevo Parangaricutiro, Zinapécuaro, Cotija, Los Reyes, Tacámbaro, Zacapu, Tuzantla, Irimbo, Salvador Escalante, Tuxpan, Tzitzio, Uruapan y Pátzcuaro (Espinoza, 2011).

Se tiene registro de que en Michoacán ya existían aprovechamientos de resina en 1870 de *P. montezuma*e, *P. teocote* y *P. pseudostrobus*, cuya producción era empleada para el alumbrado público en la Ciudad de México (Espinoza, 2011). La extracción industrial de resina de pino en Michoacán se inició en 1920, aplicando los métodos de

"cajete", "americano" y "espina de pescado" o "alemán", formas de aprovechamiento que causan la muerte de los árboles. Por este motivo fueron prohibidos en 1937, autorizándose únicamente el método Francés o Hugues, que es el que hasta la fecha se utiliza. Desde 1950 a 1973 se implantó la veda de los bosques en el estado, permitiendo solo cortas de saneamiento y la extracción de resina. Lejos de alcanzar los fines para los que fue establecida, propició la incidencia de plagas, incendios, sobreresinación, clandestinaje, desmontes sin control y avance de la frontera agrícola, resultando en una importante disminución de la riqueza forestal.

En la década de 1970, el entonces Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIF), validó el método de resinación "pica de corteza" con aplicación de estimulantes químicos, que tiene la ventaja de no dañar la primera troza e incrementa la producción de resina. Sin embargo el método no fue adoptado debido a que los estimulantes les producían quemaduras a los resineros y contaminaba el medio ambiente (Romahn, 1992; Aguilar, 2008).

Michoacán siempre ha ocupado el primer lugar en la producción nacional de resina; en la década de 1970 llegó a producir más de 70 mil t anuales. Sin embargo, la producción en los siguientes años disminuyó, de tal manera que en el periodo 1997-2007 se produjeron un máximo de 35,507 t en 2000 y un mínimo de 12,126 t en 2006 (Figura 3; SEMARNAT, 2009c).

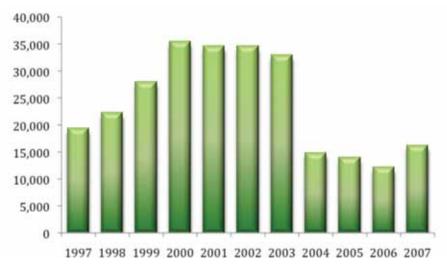


Figura 3. Producción de resina (t) en Michoacán, 1997-2007.

Las especies de mayor producción resinera en orden descendente son: *P. oocarpa*, *P. leiophylla*, *P. lawsonii*, *P. teocote*, *P. herrerae*, *P. tenuifolia*, *P. montezumae*, *P. ponderosa* y *P. pringlei* (SEMARNAT, 2009). Es importante señalar que el potencial de producción de algunas especies es superior al que autoriza la norma oficial de 2.5 kg/cara/año.

La Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005 establece los criterios y especificaciones técnicas para el aprovechamiento comercial de resina, como es la presentación de un aviso de aprovechamiento de recursos forestales no maderables de conformidad con lo establecido en la Ley Forestal y su Reglamento. El número máximo de caras está determinado por el diámetro del árbol, el cual debe medirse a 1.30 cm de altura (Cuadro 3). Asimismo, indica que el ancho máximo de la cara de resinación debe ser de 10 cm y el ancho mínimo de la entrecara también de 10 cm; una vez eliminada la corteza, la profundidad máxima de la cara será de 2 cm, excepto para la apertura de la cara que puede ser máximo 3 cm. La longitud máxima de apertura anual de una cara será de 50 cm y la longitud total podrá ser hasta de 3 m, sin exceder un tercio de la altura total del árbol. En el caso de resinación intensiva, el número de caras vivas por árbol estará determinado únicamente por la anchura de las entrecaras la cual no debe ser menor a 10 cm (SEMARNAT, 2006).

Cuadro 3. Número de caras autorizadas para resinación por la NOM-026-SEMARNAT-2005.

| Diámetro (cm) | Número máximo de caras vivas por árbol |
|----------------|---|
| 25.0-32.5 | 1 |
| 32.6-42.5 | 2 |
| 42.6-52.5 | 3 |
| 52.6 y mayores | 4 |

Fuente: SEMARNAT, 2006

Como se mencionó anteriormente, el método Francés o Hugues (Figura 4) es el que se emplea actualmente. Consiste en hacer una incisión, o cara de resinación, en el árbol a la que se da un ancho de 10 cm, profundidad de 10 a 15 mm y altura de 50 cm por año. La cara se inicia en la base del fuste y se va prolongando hacia arriba por medio de las "picas" o "rebanas". Este método incluye las labores siguientes: desroñe, desfrente, instalación, primera pica o rebana, remudas, limpieza de la resina, recolección o rejunta y alza de la instalación. Se recomienda realizar las picas una vez a la semana (Gutiérrez, 1981).

En 2010 en Michoacán se otorgaron 480 avisos para el aprovechamiento de resina en 81 mil ha, que incluyen 762 predios. La producción fue de 22 mil toneladas, lo que produjo una derrama económica de 233 millones de pesos por concepto de pago al resinero, resina entregada en los depósitos, instalación de cacharro, visera, clavo y



Figura 4. Aprovechamiento de resina con el método Francés o Hugues en bosques de *Pinus pseudostrobus* y *P. leiophylla*, Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán.

herramientas, traslado del producto a los depósitos de la industria, pago de servicios técnicos forestales y documentación para el transporte (Espinoza, 2011). En ese año operaban en el estado 17 plantas destiladoras de resina de pino, establecidas en la región Oriente, Centro y Meseta Purépecha, con una capacidad instalada de 55 mil t/año. Las empresas consumidoras de brea se ubican en el Estado de México, Distrito Federal, Michoacán, Jalisco, San Luis Potosí, Guanajuato y Nuevo León. Para el caso del aguarrás, los dos principales consumidores se ubican en los estados de Nuevo León y Querétaro. En el proceso de transformación industrial de la brea y el aguarrás se obtienen más de 150 productos derivados, como: goma esterificada, chicle, barnices, cosméticos, lacas, adhesivos, resinas sintéticas, jabones, plásticos, tintas para imprenta, aceite de pino, disolventes, insecticidas, colorantes, aromatizantes, desinfectantes, aislantes y otros subproductos (SEMARNAT, 2009c).

Entre los problemas que enfrenta esta actividad destaca que en los últimos años se ha registrado un abatimiento de hasta el 50% en la producción y en la derrama económica que genera la industria resinera. Esto es debido principalmente al

agotamiento de los pinares por la sobreexplotación, clandestinaje de madera, incendios y cambio de uso del suelo, además de que no se cuenta con personal suficiente para supervisar o vigilar la correcta aplicación de la norma oficial mexicana. La resinación es una actividad mal pagada y los trabajadores no cuentan con ningún tipo de prestación económica ni social. También se presenta un creciente falta de mano de obra, causada por la migración de la población residente en los bosques, principalmente jóvenes de entre 18 y 35 años (CONAFOR, 2005).

Conclusiones

El tiempo de aprovechamiento de las especies forestales en la zona aguacatera es de entre 40 y 80 años, dependiendo de las especies y de la calidad de sitio. Los volúmenes aprovechables maderables son de 19 hasta 71 m³rollo/ha, mientras que el rendimiento de aguacate en temporal es de 6 a 8 t/ha y en huertas de 10 años en adelante con riego, el rendimiento promedio es de 12 a 15 t/ha. La producción inicial del aguacate es a corto plazo, 2 a 3 a años, y en bosques es a largo plazo con turnos de 50 años y ciclos de corta de 10 años. Se recomienda realizar estudios más detallados sobre el crecimiento de las especies de pinos en las diferentes calidades de estación y por tipo de productos forestales.

Por las características topográficas de los bosques en la zona aguacatera de Michoacán, el método de manejo más ampliamente empleado es el MMOBI. Permite mejorar la composición y las condiciones sanitarias del bosque al dar prioridad a la extracción de árboles plagados, enfermos, muertos, dañados por diferentes causas, dominados o defectuosos.

El MDS es otra de las alternativas de manejo para los bosques de coníferas, Su objetivo es asegurar el establecimiento de la regeneración natural. Se aplica en una reducida superficie, principalmente en los predios de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, donde se tiene un buen control en su aplicación, pero principalmente porque no existe tala clandestina, siendo ésta una de las razones principales que afecta el resultado de cualquier método de manejo silvícola.

Los volúmenes y número de autorizaciones de resina han disminuido drásticamente debido a la sobreexplotación, tala clandestina, incendios y, principalmente, por el cambio de uso del suelo. Por otro lado, la extracción de resina está sujeta a normas técnicas que señalan los permisos de aprovechamiento y que generalmente no se aplican. En el caso de la extracción clandestina el aprovechamiento queda fuera de todo control. Sin embargo, la extracción de resina representa un importante rubro en la economía de las comunidades forestales.

Los productores enfrentan fuertes problemas sociales, ambientales, económicos y de competencia por la importación de brea y aguarrás, que ha inhibido el desarrollo de la actividad. Por esto los recolectores prefieren dedicarse a actividades mejor remuneradas; no existen problemas de mercado, ya que la venta de la producción nacional está garantizada. El problema fundamental es el abasto de materia prima.

Algunas medidas que se pueden tomar para incentivar y ordenar la actividad resinera incluyen: la implementación de programas de manejo combinado de producción de madera y resina; establecer plantaciones forestales con fines de producción de resina; probar y validar nuevos métodos de resinación; proteger los bosques de la tala clandestina y los cambios de uso del suelo; valorar los servicios ambientales que prestan los bosques dedicados al aprovechamiento de resina; y apoyo gubernamental a las industrias para que renueven su equipo y procesos productivos mediante incentivos fiscales.



6. CONCLUSIONES

La coincidencia de los requerimientos óptimos de altitud, temperatura y clima de las especies forestales, principalmente *Pinus leiophylla, P. douglasiana, P. oocarpa, P. michoacana* y *P. pseudostrobus*, y los del aguacate, explican en gran parte el fenómeno de la ampliación e incremento de huertas sobre las áreas con vocación forestal; son estas especies de pinos las que presentan un alto riesgo de desaparecer de los ecosistemas aledaños al área aguacatera.

La conservación de la cobertura forestal y de los suelos es fundamental por sus impactos regionales en la biodiversidad, en la producción de agua, disminución de la erosión, captura de carbono y en la regulación del clima. Por ello se deberá detener la deforestación que actualmente alcanza una tasa de 690 ha anuales en la Meseta Purépecha, mediante programas de estímulos y la operación de programas sustentables de manejo del bosque.

Es indispensable integrar un plan de largo plazo de transición hacia la sustentabilidad en la producción de aguacate que coparticipe en el manejo adaptativo de los recursos de suelo, agua, flora y fauna, y que mitigue el cambio climático. Asi mismo, que promueva el uso de tecnologías agroecológicas. La producción del aguacate es a corto plazo, iniciando desde los tres años y con un tiempo mínimo de vida útil de 55 años. Por otro lado en los bosques la producción es a largo plazo, con turnos técnicos de 50 años y ciclos de corta de 10 años y su aprovechamiento puede ser por tiempo ilimitado.

La alta generación de 304 mil empleos anuales por el cultivo del aguacate es importante para la región ya que demanda una gran cantidad de mano de obra, mientras que el bosque genera 96,400 empleos al año.

Así mismo, la importante derrama económica generada anualmente por el aguacate, superior a los 11 mil millones de pesos, contrasta con el desalentador panorama para los silvicultores, que ahora prefieren eliminar sus bosques o vender sus terrenos para dedicarlos al cultivo de este fruto. Por lo anterior, es necesario incentivar a los productores del sector forestal con opciones que contemplen el pago por servicios hidrológicos, captación de carbono y el desarrollo de ecoturismo, que frecuentemente generan mayores ingresos que el aguacate por unidad de superficie, aunado a la agilización y transparencia de los trámites burocráticos de los programas silvícolas.

Siete especies de pinos de importancia silvícola: Pinus oocarpa, P. douglasiana, P. leiophylla, P. michoacana Var. Martínez, P. michoacana Var.

cornuta, P. pseudostrobus y P. montezumae, nativas en el área aguacatera de Michoacán, presentan un riesgo inminente de desaparecer. Esto se acentuará debido al cambio climático, que inducirá a los productores de aguacate a buscar áreas menos cálidas, las cuales actualmente se encuentran ocupadas por especies forestales.

Desde el punto de vista normativo, el proceso de cambio de uso de suelo de vocación forestal para establecer huertos de aguacate debe regularse en los términos de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y su Reglamento en materia de Evaluación de Impacto Ambiental, así como de la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable y su Reglamento, y el Código Penal Federal, además de aplicar los ordenamientos estatales y municipales.



LITERATURA CITADA

- Aguilar S., D. 2008. Programa de manejo forestal persistente para el aprovechamiento de los recursos forestales maderables para el predio denominado Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Mich. Nuevo Parangaricutiro, Mich. 271 p.
- Al-Kaisi, M. 2000. Crop water use management. Integrated Crop Management. Iowa State University. USA 55 p. Allen, L. H., J. T. Baker and K. J. Boote. 1996. The CO₂ fertilization effect: carbohydrate production and retention as biomass and seed yield. *In*: Bazzaz, F. and W. Sombroek (Eds.). Global Climate Change and Agricultural Production. Direct and Indirect Effects of Changing Hydrological, Pedological and Plant Physiological Processes. John Wiley & Sons, England. 328 p.
- Anguiano C., J., J. Alcántar R., R.Toledo B., L. M. Tapia V., J. A. Ruíz C. y Y. Rodríguez C. 2006. Caracterización edafo-climática del área productora de aguacate de Michoacán. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Uruapan. Libro Técnico No. 4. Michoacán, México.
- APEAM. 2010. Sistema de Información Meteorológica de la Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de Michoacán A. C. En línea: www.apeam.clima>.
- Ardiansyah, F. 2006. Realising sustainable oil palm development in Indonesia: Challenges and opportunities. International Oil Palm Conference, Bali, Indonesia. 10 p.
- Balvanera, P. y H. Cotler. 2007. Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. Gaceta Ecológica (número especial) 84-85:8-15.
- Barsimantov, J. A., and J. Navia-Antezana. 2008. Land use and land tenure change in Mexico's avocado production region: Can community forestry reduce incentives to deforest for high value crops? Twelfth Biennial Conference of the International Association for the Study of the Commons, Cheltenham, United Kingdom, June 14-18.
- Battles, J. J., T. Robards, A. Das, K. Waring, J. K. Gilless, F. Schurr, J. LeBlanc, G. Biging, and C. Simon. 2006. Climate change impact on forest resources. A Report from: California Climate Change Center. 45 p.
- Benacchio, S. S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Bocco, G. y C. R. Valenzuela. 1988. Integration of GIS and image processing in soil erosion studies using ILWIS. ITC Journal 4:309-319.
- Bocco, G., M. Mendoza y O. Masera. 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. Investigaciones Geográficas. 44:18-38.
- Bravo E., M., J. de la L. Sánchez P., J. A. Vidales F., J. T. Sáenz R., J. G. Chávez L., S. Madrigal H., H. J. Muñoz F., L. M. Tapia V., G. Orozco G., J. J. Alcántar R., I. Vidales F. y E. Venégas G. 2009. Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC, Campo Experimental Uruapan. Publicación Especial Núm. 2. 76 p.
- Bravo, M., M. E. Mendoza, L. Medina, T. Allende, R. Páez y J. T. Sáenz. 2010. Degradación y restauración de suelos y cobertura vegetal en la Subcuenca del Río Cupatitzio. Informe Final Primera Etapa. Subproyecto integrado al Proyecto: Saneamiento, Restauración y Conservación de la Subcuenca del Río Cupatitzio (Clave: MICH-2009-C02-115897). Morelia, Mich. 30 p.
- Bunge, V. 2010. La presión hídrica en las cuencas de México. In: Cotler, H. (Coord.). Las cuencas hidrográficas de México: Diagnostico y priorización. Instituto Nacional de Ecología. México. pp. 88-96.
- Calder, I. R. 2000. Land use impacts on water resources. Land Use and Water Resources Research 1: 2.1–2.14. Disponible en: http://www.luwrr.com/uploads/calder.pdf>. Consultado: 5 julio 2011.
- Calder, I. R. 2002. Forests and hydrological services: Reconciling public and science perceptions. Land Use and Water Resources Research 2: 2.1–2.12. Disponible en: http://www.luwrr.com/uploads/paper02-02.pdf>. Consultado: 5 julio 2011.
- Calder, I. R. 2007. Forests and water: Ensuring forest benefits outweigh water costs. Forest Ecology and Management 251:110-120.

- Carranza G., E. 2005. Vegetación. *In*: Villaseñor, L. (Ed.). La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. CONABIO, SUMA-Michoacán, UMSNH. pp. 38-45.
- Castro, M. I. Y. 2005a. Programa de Manejo Forestal del Ejido Ziracuaretiro, Michoacán. 2005-2014. Permisionarios Forestales de la Meseta Tarasca. Ziracuaretiro, Michoacán. México. 268 p.
- Castro, M. I. Y. 2005b. Programa de Manejo Forestal de la Comunidad Indígena de Angahuan, Municipio de Uruapan, Michoacán. 2005-2014. Permisionarios Forestales de la Meseta Tarasca. Uruapan, Michoacán. México. 292 p.
- Chávez-León, G., J. J. Alcantar Rocillo, R. Toledo Bustos y J. Anguiano Contreras. 2008. Expansión del cultivo del aguacate y deforestación en Michoacán. Ponencia. Conferencia de Usuarios de SIGSA – ESRI. México, D.F., 27-29 de agosto de 2008.
- CNA. 2002. Determinación de la disponibilidad de agua en el acuífero Uruapan, Estado de Michoacán. Comisión Nacional del Agua, Gerencia de Aguas Subterráneas. México, D.F. Disponible en www.cna.gob.mx. 26 p.
- CNA. 2009. Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea. Acuífero (1614) Uruapan. Estado de Michoacán. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de agosto de 2009. Comisión Nacional del Agua, Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. 24 p. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/Conagua07/Aguasubterranea/pdf/DR 1614.pdf>.
- COFOM. 2001. Atlas Forestal del Estado de Michoacán. Comisión Forestal del Estado de Michoacán, Morelia, Mich. México. 97 p.
- COFOM. 2003. Inventario Forestal del Estado de Michoacán. Memoria General. SEDRU. Morelia, Mich. 74 p. COFOM. 2005. Programa de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Michoacán 2005 2030. Comisión Forestal del Estado de Michoacán. 141 p.
- COMA. 2005. Censo de aguacate en Michoacán. Comisión Michoacana del Aguacate, Plan Rector del Sistema Producto Aguacate. Uruapan, Mich.
- Comunidad Indígena. 2011. Resumen público de manejo forestal sustentable de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro. En línea: <www.comunidadindígena.com.mx>. Consultado: 16 enero 2012.
- CONAFOR. 2005. Productos forestales no maderables. Resina de pino. Comisión Nacional Forestal. Disponible en: <www.conafor.gob.mx>. Consultado: 12 agosto 2010.
- CONAFOR. 2011. Programa Federal Forestal Meseta Purépecha / Resultados 2011. Listado de Asignados. Comisión Nacional Forestal. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx/portal/index.php/tramites-y-servicios/convocatorias/203. Consultado: 29 noviembre 2011.
- CONAFOR. 2012. Estadísticas de los programas de la Comisión Nacional Forestal. Sistema Nacional de Información Forestal, CONAFOR. Disponible en: www.conafor.gob.mx. Consultado: 11 mayo 2012.
- CONANP. 2006. Programa de Conservación y Manejo, Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, México.

 Comisión Nacional de Aéreas Naturales Protegidas, Dirección Regional Occidente Patronato del Parque Nacional Barranca del Cupatitzio, A. C. Uruapan, Mich. 192 p.
- CONANP. 2012. Áreas de Protección de Flora y Fauna. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas En línea: swww.conanp.gob.mx. Consultado: 16 enero 2012.
- CONAPA. 2005. Comité Nacional del Sistema Producto Aguacate Comité Estatal del Sistema Producto Aguacate Plan Rector del Sistema Producto Aguacate. Junio 2005. CONAPA, Uruapan, Mich. México.
- Conde, C., R. M. Ferrer, C. Gay y R. Araujo. 2004. Impactos del cambio climático en la agricultura de México. *In*: Cambio Climático. Una Visión desde México. SEMARNAT-INE. pp. 225-236.
- Constanza, R., R. Darge, R. Degroot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neil, J. Paruelo, R. G. Raskin, P. Sutton, and M. Vandenbelt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387:253-260.
- Coria A., V. M. (ed). 2009. Tecnología para la producción de aguacate en México. Libro Técnico No. 8. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. 2a Edición y 1a Reimpresión. Uruapan, Michoacán, México. 222 p. Disponible en: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/2999.
- Costa, M. H. and J. A. Foley. 2000. Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazonia. Journal of Climate 13:18–34.

- Couturier, S, y J. F. Mas. 2009. ¿Qué tan confiable es una tasa de deforestación? Revista INE Investigación Ambiental 1:117-135.
- Cuevas, M. L., A. Garrido, J. L. Pérez y D. Lura. 2010. Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural. *In*: H. Cotler (Coord.). Las Cuencas Hidrográficas de México: Diagnostico y Priorización. INE, México. pp. 96-103
- Dale, H. V. 1997. The relationship between land use change and climatic change. Ecological Applications 7:753-769.
- De Luis, M., C. M. F. García, J. Cortina, J. Raventós, J. C. González H. and J. R. Sánchez. 2001. Climatic trends, disturbances and short term vegetation dynamics in a Mediterranean shrubland. Forest Ecology and Management 147:25-37.
- Deuter, P., M. Howden and S. Newett. 2005. Climate Change Risk and Opportunities for the Avocado Industry. New Zealand and Australia Avocado Grower's Conference'05. 20-22 September 2005 Tauranga, New Zealand.

 Disponible en: http://www.fao.org/docrep/013/i2000e/i2000e00.pdf.
- Echánove, F. 2008. Abriendo fronteras: el auge exportador del aguacate mexicano a Estados Unidos. Anales de Geografía 28:9-28.
- Espinoza I., J. 2011. La industria resinera de Michoacán, análisis retrospectivo y tendencias para su desarrollo. Consejo de Administración de la Cadena Productiva Forestal para la Resina S. A. de C. V. *In*: Memoria General del Encuentro Estatal Forestal, ¡Por Michoacán y sus Bosques!. Asociación Mexicana de Profesionales Forestales, A. C. Sección IV-Michoacán. Morelia, Mich. México. 32 p.
- Evans, T. E. 1996. The effects of changes in the world hydrological cycle on availability of water resources. In: Bazzaz, F.and W. Sombroek (Eds.). Global Climate Change and Agricultural Production. Direct and Indirect Effects of Changing Hydrological, Pedological and Plant Physiological Processes. John Wiley & Sons. England. 328 p.
- FAO. 1995. Forest Resources Assessment 1990. Global Synthesis. United Nations Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- FAO. 2007. Situación de los Bosques del Mundo 2007 Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/009/a0773s/a0773s00.htm.
- FAO. 2009. Situación de los Bosques del Mundo 2009. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/011/i0350s/i0350s00.htm. Consultado: 3 Diciembre 2011.
- FAO. 2011. State of the World's Forests 2011. United Nations Food and Agriculture Organization .Rome, Italy.
- Fearnside, P. M. 1990. The rate and extent of deforestation in Brazilian Amazonia. Environmental Conservation 17:213-226.
- Fitzherbert, E. B., M. J. Struebig, A. Morel, F. Danielsen, C. A. Brühl, P. F. Donald and B. Phalan. 2008. How will oil palm expansion affect biodiversity?. Trends in Ecology & Evolution 23:538-545.
- Frank, S. J., S. Sim, and A. E. Weis. 2007. Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to a climate fluctuation. PNAS 104:1278-1282.
- Fuentes J., J. J. A. 2011. Estimación del recurso hídrico superficial en el Pico de Tancítaro, Michoacán: Oferta, demanda y escenarios de disponibilidad. Tesis de Doctorado, Facultad de Filosofía y Letras. Posgrado en Geografía. UNAM, Morelia, Mich.
- Fuentes-Junco, J. J., M. Bravo-Espinosa and G. Bocco, 2004. Water balance and landscape degradation of an ungauged mountain watershed: Case study of the Pico de Tancítaro National Park, Michoacán, México. Journal of Environmental Hydrology 12:1-19.
- Galicia, L., A. García, L. Gómez y M. I. Ramírez. 2007. Cambio de uso del suelo y degradación ambiental. Ciencia 58:50-59
- García, I., J. Nava, R. E. Flores, M. Chazaro, J. A. Machuca, y E. del Río. 1998. Flora del Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. Informe Técnico Final. CIDIR-IPN. Jiquilpan, Mich. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/institucion/proyectos/resultados/InfH304.pdf. Consultado: 11 julio 2011.
- Gardiazabal I., F. 2004. Factores agronómicos a considerar en la implantación de un huerto de paltos. 2º Seminario Internacional de Paltos. Memoria. Sociedad Gardiazabal y Magdahl. Quillota, Chile.

- Garibay, O. C. y G. Bocco. 2007. Situación actual en el uso del suelo en comunidades indígenas de la Región Purépecha. Documento Técnico. CIGA-UNAM, Delegación Estatal de la Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas. Morelia, Mich. 60 p.
- Gómez-Tagle, A. 1994. Tres niveles de erosión en la Cuenca de Pátzcuaro, Michoacán, como base para acciones y obras de conservación. Folleto Técnico Núm. 26. SARH-INIFAP-CIRPAC. Uruapan, Mich. 28 p.
- Green, D. R. and W. Hartley. 2000. Integrating photo-interpretation and GIS for vegetation mapping: some issues of error. In: R. Alexander y A. C. Millington (Eds.). Vegetation Mapping from Patch to Planet. John Wiley & Sons. Nueva York. pp. 103-134.
- Gutiérrez, J. T. 1981. Método de resinación Hugues o Francés y su variante con estimulación. In: Apuntes del Curso Métodos Modernos de Resinación. Serie de Apuntes No. 4. INIF-SSF-SARH. Uruapan, Mich. México. pp. 63-69.
- Gutiérrez M., M., B. N. Lara, H. Guillen, y A. T. Chávez. 2010. Agroecología de la franja aguacatera de Michoacán, México. Interciencia 35:647-653.
- Havertkort, J. A. 1982. Water management in potato production. Technical Information Bulletin 15.
 International Potato Center. Lima, Peru. 24 p.
- IAASTD. 2008. Executive Summary of the Synthesis Report of the International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD). Intergovernmental Plenary in Johannesburg, South Africa (7-11 April 2008). Disponible en: http://www.agassessment.org/.
- IGBP. 2000. Environmental Variability and Climate Change. International Geosphere-Biosphere Programme. IGBP Science N° 3. 36 p.
- INEGI. 1997. La producción forestal en la Meseta Purépecha en el estado de Michoacán. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Aguascalientes, Ags. 59 p.
- INEGI. 2008. Producto interno bruto por entidad federativa 2003-2008. INEGI. Comunicado 091/10. Aguascalientes, Ags. 9 p.
- INEGI. 2012. Censo de Población y Vivienda 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/default.aspx. Consultado: 8 mayo 2012.
- IPCC. 2012. Glosario. Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponible en: <www.ipcc.ch/pdf/glossary/tar-ipcc-terms-sp.pdf>. Consultado: 7 noviembre 2011.
- Janka, H. 1996. Ecoturismo en áreas forestales. Gaceta Ecológica 39:18-21.
- Jiménez, B., M. L. Torregrosa y L. Aboites (Eds.). 2010. El agua en México: Cauces y encauces. Academia Mexicana de Ciencias. México, D. F. 702 p.
- Kartal, F., T. Eksioglu, K. Eren and A. Aal. 2004. The assessment of high resolution satellite images and applications in regional and local planning. Actas del Congreso ISPRS 2004. Disponible en: http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/197>. Consultado: 20 julio 2011.
- Kerckhoffs, L. H. J. and J. B. Reid. 2007. Carbon sequestration in the standing biomass of orchard crops in New Zealand. Report, prepared for New Zealand Institute for Crop & Food Research, Hastings, New Zealand. 4 p.
- Lake, J. A., and R. N. Wade. 2009. Plant-pathogen interactions and elevated CO₂: morphological changes in favour of pathogens. Journal of Experimental Botany 60:3123-3131.
- Lambin, E. F., B. I. Turner, H. J. Geist, S. B. Agbola, A. Angelsen, J. W. Bruce, O. T. Coomes, R. Dirzo, G. Fischer, C. Folke, P. S. George, K.Homewood, J. Imbernon, R. Leemans, X. Li, E. F. Moran, M. Mortimore, P. S. Ramakrishnan, J. F. Richards, H. Skanes, W. Steffen, G. D. Stone, U. Svedin, T. A. Veldkamp, C. Vogel, and J. Xu. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. Global Environmental Change 11:261-269.
- Likens, J. E. 2004. Some perspectives on long-term biogeochemical research from the Hubbard Brook ecosystem study. Ecology 85:2355-2362.
- Lobell, D. B., C. B. Field, K. N. Cahill and C. Bonfils. 2006. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. Agricultural and Forest Meteorology 141:208-218.

- Lomas, J. 1988. An agrometeorological model for assessing the effect of heat stress during the flowering and early fruit set on avocado yields. Journal of the American Society for Horticultural Science 113:172-176.
- Lovatt, C. J. 1990. Factors affecting fruit set/early fruit drop in avocado. California Avocado Society 1990 Yearbook 74:193-199.
- Lubowski, R. N, S. Bucholtz, R. Claassen, M. J. Roberts, J. C. Cooper, A. Gueorguieva, and R. Johansson. 2006. Environmental Effects of Agricultural Land-Use Change. Economic Research Report No. 25. U.S.D.A. 82 p.
- Luna, I., J. J. Morrone y D. Espinosa (Eds.). 2007. Biodiversidad de la Faja Volcánica Transmexicana. CONABIO-UNAM. 514 p.
- Madrigal H., S. 1995. Determinación de la productividad de dos especies de pino considerando características físicas y químicas del suelo, en Michoacán. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 115 p.
- Marques, M. J., R. Bienes, R. Pérez-Rodríguez and L. Jiménez. 2007. Soil degradation in Central Spain due to sheet water erosion by low intensity rainfall events. Earth Surface Processes and Landforms 33:414-423.
- Martínez, B. R. 1988. Comportamiento del aguacate Hass bajo diferentes condiciones ecológicas. UMSNH Facultad de Agrobiología. Uruapan, Mich. 75 p.
- Mas C., J. F., A. Velázquez M. y T. Fernández V. 2005. Monitoreo de los cambios de cobertura del suelo en Michoacán. In: Villaseñor, L. (Ed.). La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. CONABIO, SUMA-Michoacán, UMSNH. pp. 204-205.
- Mas, J. F. and I. Ramírez. 1996. Comparison of land use classification obtained visual interpretation and digital processing. ITC Journal 3-4:278-283.
- Mas P., J. 1978. Características de crecimiento de seis especies mexicanas de pino con gran futuro para reforestaciones artificiales. In: Memoria de la Primera Reunión Nacional de Plantaciones Forestales. Dirección General de Investigación y Capacitación Forestal. SARH. México. D. F. pp. 27-72.
- Medina G., G., J. A. Ruiz C. y A. María R. 2004. SICA: Sistema de Información para caracterizaciones agroclimáticas. Versión 2.5. Documentación y manual del usuario. Tema didáctico Núm.
 2. Segunda edición. Centro de Investigación Regional Norte-Centro. Campo Experimental Zacatecas. Calera, Zacatecas, México. 74 p.
- Medina O., L., M. Bravo E., C. Prat, M. Martínez M., E Ojeda T. y B. E. Serrato B. 2008. Pérdida de suelo, agua y nutrientes en un acrisol bajo diferentes sistemas agrícolas en Michoacán, México. Agricultura Técnica en México 34:201-211.
- Mendoza, A. and L. Galicia. 2010. Aboveground and belowground biomass and carbon pools in highland temperate forest landscape in Central Mexico. Forestry 83:497-506.
- Mendoza, M. E., E. López Granados, D. Geneletti, D. R. Pérez-Salicrup and V. Salinas. 2011. Analysing land cover and land use change processes at watershed level: A multitemporal study in the Lake Cuitzeo Watershed, Mexico (1975-2003). Applied Geography 31:237-250.
- Menon, S. and K. S. Bawa. 1998. Deforestation in the tropics: Reconciling disparities in estimates for India. Ambio 27:576-577.
- Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, D. C. 137 p.
- Morales, L. M. y G. Cuevas. 2011. Inventarios 1974 2007 y evaluación del impacto ambiental regional del cultivo del aguacate en el estado de Michoacán. Informe Final. Etapa I. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM. Morelia, MICH. 138 p.
- Muñoz-Piña, C., A. Guevara, J. M. Torres, and J. Braña. 2005. Paying for the hydrological services of Mexico's forests: Analysis, negotiations and results. Documento Técnico. Instituto de Ecología, México, D. F. 36 p.
- Nogués-Bravo, D. R. Ohlemüller, P. Batra and M. B. Araújo. 2010. Climate predictors of Late Quaternary extinctions. Evolution 64:2442-2449.
- OCDE. 1998. Towards sustainable development: Environmental indicators. Organisation for Economic Co-operation and Development. Paris, France.

- Olmstead, A. L. and P. W. Rhode. 2011. Adapting North American wheat production to climatic changes 1839-2009. Proceedings of the National Academic of Sciences 108:480-485.
- ONU. 1998. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 25 p.
- Ordóñez D., J. A. B. 2008. Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. Ciencias 90:36- 42.
- Pachauri, R. K. y Reisinger, A. (Eds.). 2008. IPCC 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC, Ginebra, Suiza. 104 p.
- Pagiola, S., A. Arcenas and G. Platais. 2005. Can payments for environmental services help reduce poverty?. An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. World Development 33:237-253.
- Palacio-Prieto, J. L., G. Bocco. y A. Velázquez. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: Resultados del inventario forestal nacional 2000. Investigaciones Geográficas 43:183-203.
- Pangga, I. B., S. Chakraborty, and D. Yates. 2004. Canopy size and induced resistance in Stylosanthes scabra determine anthracnose severity at high CO₂. Phytopathology 94:221-227.
- Prodiversitas. 2010. Cambio climatico. Disponible en: http://www.prodiversitas.bioetica.org/des26.htm>.
- Rolón, E. 2009. Situación actual y futura de los pagos por servicios ambientales en México: el caso de hidrológicos. SEMARNAT, México, DF. Disponible en: http://www.ine.gob.mx/descargas/con_eco/2009_sem_ser_amb_pres_03_erolon.pdf>. Consultado: 12 julio 2011.
- Romahn de la V., C. F. 1992. Principales productos forestales no maderables de México. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo, México. 392 p.
- Ruiz-Corral, J. A. G. Medina-García, I. J. González-Acuña, C. Ortiz-Trejo. H. E. Flores-López, R. A. Martínez-Parra, y K. F. Byerly-Murphy. 1999. Requerimientos Agroecológicos de Cultivos. SAGAR, INIFAP, CIRPAC. Libro Técnico No. 3. Guadalajara, Jalisco, México. 324 p.
- Sáenz R., J. T., J. A. González T, O. J. Jiménez, A. Larios G., V. M. Gallardo, F. Villaseñor R. y R. C. Ibañez. 2010. Alternativas agroforestales para reconversión de suelos forestales. INIFAP. Folleto Técnico 18. Uruapan, Mich. 52 p.
- Salazar-García, S., L. Zamora-Cuevas, y R. J. Vega-López. 2005. Actualización sobre la industria del aguacate en Michoacán, México. California Avocado Society 2004-05 Yearbook 87: 45-54.
- Sánchez G, A. 2011. Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable. INE-SEMARNAT, México, D. F.
- Sánchez P., J. de la L. 2008. Situación actual y perspectivas del cultivo de aguacate en Michoacán. Magno Curso de Actualización Aguacate 2008. Uruapan, Mich. 4-6 Sep.2008.
- SE. 2012. Monografía del Sector Aguacate en México: Situación Actual y Oportunidades de Mercado. Secretaría de Economía, Dirección General de Industrias Básicas. 21 p. Disponible en: www.se.gob.mx/files/>.
- SEMARNAT. 2006. Norma Oficial Mexicana NOM-026-SEMARNAT-2005, Que establece los criterios y especificaciones técnicas para realizar el aprovechamiento comercial de resina de pino. Diario Oficial. Jueves 28 de septiembre de 2006. Primera sección. México, D. F. 5 p.
- SEMARNAT. 2009a. El Medio Ambiente en México 2009: En Resumen. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D. F.
- SEMARNAT, 2009b. Autorizaciones de programas de manejo forestal 1993-2009. Delegación Federal en Michoacán. Subdelegación de Gestión para la Protección Ambiental y de los Recursos Naturales. Unidad de Aprovechamiento y Restauración de los Recursos Naturales. Morelia, Mich.
- SEMARNAT, 2009c. Anuario estadístico de producción forestal 2001-2007. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Delegación Federal en Michoacán. Documento interno. Morelia, Mich. Inédito.
- SEMARNAT, 2009d. Cobertura de vegetación y uso del suelo para el Estado de Michoacán en los años 1976,1993 y 2000 Geodatabase de la SEMARNAT. Análisis geográfico: Delegación de SEMARNAT en Michoacán. Departamento de Estadística e Información Ambiental, Unidad de Planeación y Política Ambiental.

- SEMARNAT. 2010. Autorizaciones de programas de manejo forestal 1993-2009. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Delegación Federal en Michoacán. Documento Interno. Morelia, Mich. Inédito.
- SEMARNAT. 2011. El ambiente en números. Selección de estadísticas ambientales para consulta rápida. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General de Estadística e Información Ambiental. México, D. F.
- Shlenkler, W. and M. J. Roberts. 2009. Nonlinear temperature effects indicates severe damages to U.S. crop yields under climatic change. Proceedings of the National Academy of Sciences 106:15594-15598.
- SIAP–SAGARPA. 2012. Avance siembras y cosechas perennes. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Disponible en: www.siap.gob.mx>. Consultado: 14 mayo 2012.
- SISPRO. 2012. Sistema Producto Aguacate. SIAP-SAGARPA. Disponible en: <www.aguacate.gob.mx>. Consultado: 29 de agosto 2012.
- SNIARN. 2011. Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales—SNIARN. SEMARNAT, México. En línea: http://www.semarnat.gob.mx/informacionambiental/Pages/sniarn.aspx> Consultado: 28 septiembre 2011.
- Sombroek, W. G. and R. Gommes. 1996. The climate change Agriculture conundrum. *In*: Bazzaz, F. and W. Sombroek (Eds.) Global Climate Change and Agricultural Production. Direct and Indirect Effects of Changing Hydrological, Pedological and Plant Physiological Processes.. FAO and John Wiley & Sons Ltd., England. pp. 1-14.
- Stanford, L. 1998. Mexico's Empresario in Export Agriculture: Examining the Avocado Industry of Michoacán. Prepared for delivery in the session, "AGR07: La intermediación en las cadenas internacionales de mercancías agrícolas". Proceedings of the Latin American Studies Association, The Palmer House Hilton Hotel. Chicago, Illinois, September 24-26.
- Stanford, L. 2002. Constructing "quality": The political economy of standards in Mexico's avocado industry. Agriculture and Human Values 19: 293-310.
- Steven, J., Š. J. Franks, S. Sheina and A. E. Weis. 2007. Rapid evolution of flowering time by an annual plant in response to a climate fluctuation. PNAS 104:1278-1282.
- SUMA. 2012. Listado de áreas naturales protegidas de carácter estatal. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente Dirección de Ordenamiento y Protección del Patrimonio Natural. En línea: <www.suma.mich.gob.mx>. Consultado: 16 enero 2012.
- Tallis, H., P. Kareiva, M. Marvier and A. Chang. 2008. An ecosystem services framework to support both practical conservation and economic development. Proceedings of the National Academy of Sciences 105:9457-9464.
- Tapia V., L. M., M. Tiscareño L., J. J. Stone, J. L. Oropeza, and V. M. Velázquez. 2001. Tillage system effects on runoff and sediment yield in hillslope agriculture. Field Crops Research. 69:173-182.
- Tapia, V., M., M. Tiscareno I., J. H. Salinas R., M. Velazquez V., A. Vega P. y H. Guillen A. 2002. Respuesta de la cobertura residual del suelo a la erosión hídrica y la sostenibilidad del suelo en laderas agrícolas. Terra 20:345-353.
- Tapia, M., I. Vidales y J. Anguiano. 2005. Uso y manejo del agua en el cultivo del aguacate. Campo Experimental Uruapan. INIFAP. Folleto Técnico.
- Tapia, L. M., A. Larios, L. Tapia, J. Anguiano and I. Vidales. 2007. Nitrate leaching in two nutritional and water management systems of avocado in Michoacan. Proceedings VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile. 12 –16 Nov.
- Tapia V., L. M., A. Larios G., J. Anguiano C., A. y J. J. Alcántar R. 2008. Avances en la caracterización hidrológica en el sistema aguacate en Michoacán. El Aguacatero 54:15-19.
- Tapia V., L. M., A. Larios G., V. M. Coria A. y S. Salazar G. 2009a. Ambiente y fenología del aguacate. In: V. Coria (Ed.). Tecnología para la Producción de Aguacate en México. Libro Técnico No. 8. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC. 2a Edición y 1a Reimpresión. Uruapan, Michoacán, México. pp. 36-53. Disponible en: https://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/handle/123456789/2999.
- Tapia V., L. M., I. Vidales F. y A. Larios G. 2009b. El agua como recurso natural renovable y la cubierta vegetal en la zona aguacatera de Michoacán. El Aguacatero 12:15-19.

- Tapia, M., A. Larios, I. Vidales, M. Bravo, A. Hernández, L. Tapia V. 2011. Caracterización hidrológica del aguacate en Michoacán. Informe Técnico Anual. Campo Experimental Uruapan-INIFAP. Uruapan. Mich.
- Thompson, M. L. 1975. Weather variability, climatic change and grain production. Science 188:535-541.
- Toledo, R., J. J. Alcántar, J. Anguiano y G. Chávez. 2009. Expansión del cultivo del aguacate y deforestación en Michoacán. Boletín El Aguacatero Núm. 58. Disponible: http://www.aproam.com/boletines/a58.html#1. Consultado: 10 julio 2011.
- Torres, J. M. y A. Guevara. 2005. El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. Documento INE. México, D.F. 26 p.
- Vaks, A., M. Bar-Matthews, A. Ayalon, A. Matthews, L. Halicz and A. Frumkin. 2007. Desert speleothems reveal climatic window for African exodus of early modern humans, Geology, 35:831-834.
- Velázquez, A., J. F. Mas, J. R. Díaz, R. Mayorga, P. C. Alcántara, R. Castro, T. Fernández, G. Bocco, E. Ezcurra, J. L. Palacio. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica 62:21-37.
- Vidales F, J. A. 2007. Memorias del Curso de Plagas y enfermedades. FIRA Morelos, México. 10 p.
- Vidales F., J. A. 2009. Contaminación por agroquímicos. *In*: Bravo. *et al.* Impactos Ambientales y Socioeconómicos del Cambio de Uso del Suelo Forestal a Huertos de Aguacate en Michoacán. Publicación Especial Núm. 2. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Uruapan. pp. 45-46. Disponible en: http://www.inifap.gob.mx/inicio/libro_aguacate.pdf>.
- Vidales F., J. A. y G. Orozco G. 2009. Empleo, costos y valor de la producción. *In*: Bravo. *et al.* Impactos Ambientales y Socioeconómicos del Cambio de Uso del Suelo Forestal a Huertos de Aguacate en Michoacán. Publicación Especial Núm. 2. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Uruapan. pp. 63-64. Disponible en: http://www.inifap.gob.mx/inicio/libro_aguacate.pdf.
- Villaseñor, L. (Ed.). 2005. La Biodiversidad en Michoacán: Estudio de Estado. CONABIO, SUMA-Michoacán, UMSNH.
- Wang, S., B. J. Fu, C. S. He, G. Sun, and G. Y. Gao. 2011. A comparative analysis of forest cover and catchment water yield relationships in northern China. Forest Ecology and Management 262:1189-1198.
- Ward, J. K. and B. R. Strain. 1999. Elevated CO₂ studies: past, present and future. Tree Physiology 19:211-220. Watson, R. T., M. C. Zinyowera, R. H. Moss and J. Dokken (Eds.). 1997. Impactos regionales del cambio climático Evaluación de la vulnerabilidad. Informe especial del Grupo de Trabajo II del IPCC.
- Wei, X., C. Declan, L. Erda, X. Yinlong, J. Hui, J. Jinhe, H. Ian and Li Yan. 2009. Future cereal production in China: the interaction of climate change, water availability and socio-economic scenarios. Global Environmental Change 19:34–44.
- Wenny, D. G., T. L. DeVault, M. D. Johnson, D. Kelly, C. H. Sekercioglu, D. Tomback and C. J. Whelan. 2011. The need to quantify ecosystem services provided by birds. The Auk 128:1-14.
- WMO-UNEP. 2001. Climate Change 2001. The scientific basis. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 881 p.
- Wunder, S. 2006. Pagos por servicios ambientales: principios básicos esenciales. Centro Internacional de Investigación Forestal, CIFOR Occassional Paper No. 42. Disponible en: http://www.cifor.cgiar.org
- Wunder, S., S. Wertz-Kanounnikoff y R. Moreno-Sánchez. 2007. Pago por servicios ambientales: una nueva forma de conservar la biodiversidad. Gaceta Ecológica (número especial) 84-85:39-52.
- WWF. 2005. Oil palm, soy and tropical forests: A strategy for life. World Wildlife Fund. Disponible en: http://assets.panda.org/downloads/fcibrochure.pdf>. Consultado: 11 julio 2011.
- Yates, M. V., D. E. Stottlemyer, J. L. Meyer, and M. L. Arpaia. 1992. Irrigation and fertilizer management to minimize nitrate leaching in avocado production. In: Proceedings of the Second World Avocado Congress. California, USA. pp. 331-335.
- Zamet, D. N. 1990. The effect of minimun temperature on avocado yield. California Avocado Society 1990 Yearbook 74:247-256.







CENTROS DE INVESTIGACIÓN Y CAMPOS EXPERIMENTALES



- Sede de Centro de Investigación Regional
- Centro Nacional de Investigación Disciplinaria
- Campo Experimental

COORDINACIÓN EDITORIAL

Juan Bautista Rentería Ánima

REVISIÓN TÉCNICA

José Luis Romano Muñoz, Carlos Mallén Rivera, Juan Bautista Rentería Ánima

EDICIÓN

Gilberto Chávez-León Juan Bautista Rentería Ánima

CRÉDITOS FOTOGRÁFICOS

Gilberto Chávez-León, Juan Bautista Rentería Ánima

DISEÑO Y FORMACIÓNSilvia Onodera Hamano

La presente publicación se terminó de imprimir el mes de agosto de 2012 en México, D.F.

Su tiraje consta de 1,000 ejemplares.





CAMPO EXPERIMENTAL URUAPAN

Dr. Ignacio Vidales Fernández Director de Coordinación y Vinculación en Michoacán y Jefe de Campo

> Ing. Alma Adriana Zamudio Cervantes Jefe de Operación

PERSONAL INVESTIGADOR

Dr. Fernando Bahena Juárez M.C. Gerardo Barrera Camacho

Dr. Víctor Manuel Coria Avalos Dr. Luis Eduardo Cossío Vargas M.C. Juan Antonio Herrera González MVZ Clicerio Ibánez Reducindo Ing. Jorge Jiménez Ochoa M.C. Antonio Larios Guzmán Ing. Lucas Madrigal Huendo Ing. Mauro Raúl Mendoza López Ing. Hipólito Jesús Muñoz Flores

> M.C. Gabriela Orozco Gutiérrez Ing. J. Trinidad Sáenz Reves Dr. Luis Mario Tapia Vargas

Biol. Miguel B. Nájera Rincón

Sanidad Forestal y Agrícola

Mitigación del Impacto Ambiental de la

Producción Agropecuaria

Sanidad Forestal y Agrícola

Frutales Frutales

Sanidad Animal

Pastizales y Cultivos Forrajeros

Frutales

Plantaciones y Sistemas Agroforestales

Frutales

Plantaciones y Sistemas Agroforestales

Sanidad Forestal y Agrícola

Plantaciones y Sistemas Agroforestales

Plantaciones y Sistemas Agroforestales

Ingeniería de Riego



www.gobiernofederal.gob.mx www.sagarpa.gob.mx www.inifap.gob.mx



