

EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECOLÓGICO DEL CULTIVO DE AGUACATE A NIVEL REGIONAL Y DE PARCELA EN EL ESTADO DE MICHOACÁN

INVENTARIO 2011
Y EVALUACIÓN DEL IMPACTO
AMBIENTAL FORESTAL

Informe Final
Etapa 2
Junio 2012



CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

GRUPO DE TRABAJO

- M. en C. Luis Miguel Morales Manilla
- M. en G. Gabriela Cuevas García
- L. en C. A. Alejandro Reyes González
- Biól. Margarita Onchi Ramuco
- M. en G. Héctor Ulises Sánchez Sepúlveda
- Dr. Gerardo Bocco Verdinelli
- Dr. Carlos Valenzuela (Asesor)

Cita de este informe: Morales Manilla, L.M, Reyes González, A., Cuevas García, G. y M. Onchi Ramuco (2012). Inventario 2011 del cultivo del aguacate y evaluación del impacto ambiental forestal en el estado de Michoacán. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, UNAM – COFUPRO. Morelia, MICH. 108 pp.

Fotografía de la portada: Yair Merlín.

Contenido

PRESENTACIÓN	5
I. AREA DE ESTUDIO	6
Descripción.....	6
Proyección cartográfica	7
II. INVENTARIO 2011 DEL CULTIVO DE AGUACATE.....	8
Materiales	8
Método	9
Rectificación de imágenes	9
Identificación de límites de la superficie de cultivo	10
Verificación de campo.....	12
Determinación del Nivel de Desarrollo del Cultivo	12
Infraestructura hidráulica de soporte para el cultivo.....	13
Resultados	15
Municipio de Acuitzio	18
Municipio de Apatzingán	20
Municipio de Ario	22
Municipio de Buenavista	24
Municipio de Charapan	26
Municipio de Cotija.....	28
Municipio de Gabriel Zamora	30
Municipio de Huiramba.....	32
Municipio de Juárez	34
Municipio de Jungapeo.....	36
Municipio de Los Reyes	38
Municipio de Madero	40
Municipio de Morelia	42
Municipio de Nuevo Parangaricutiro	44
Municipio de Nuevo Urecho	46
Municipio de Ocampo	48
Municipio de Paracuaro.....	50
Municipio de Pátzcuaro	52
Municipio de Peribán	54
Municipio de Salvador Escalante	56
Municipio de Susupuato	58
Municipio de Tacámbaro.....	60
Municipio de Tancítaro	62
Municipio de Tangamandapio	64
Municipio de Tangancícuaro	66
Municipio de Taretan	68
Municipio de Tingambato	70
Municipio de Tingüindin	72
Municipio de Tocumbo	74
Municipio de Turicato	76
Municipio de Tuxpan	78

Municipio de Uruapan.....	80
Municipio de Ziracuaretiro.....	82
Municipio de Zitácuaro	84
Resumen municipal	86
III. INVENTARIO 2011 DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA ASOCIADA A HUERTOS DE AGUACATE (ollas de agua).....	89
Resultados	89
III. EVALUACIÓN DEL IMPACTO FORESTAL	91
Cambio del uso del suelo por cultivo de aguacate.....	91
Pérdida forestal estimada.....	92
Determinación de la probabilidad de las secuencias de cambio	93
Resultados	96
Impacto forestal estimado por municipio	108

PRESENTACIÓN

El Estado de Michoacán es el primer productor de aguacate a nivel mundial. No obstante su importancia manifiesta, no existen datos precisos sobre la superficie de cultivo dentro del Estado. Aunque en la literatura técnica sobre el tema existen algunas cifras, éstas conllevan cierta incertidumbre, principalmente porque las metodologías de levantamiento de los inventarios o cuantificaciones no han sido claras, o porque los inventarios solo ofrecen datos para algunas áreas. Consecuencia parcial de esto es el hecho que las dependencias federales y estatales a las que concierne el conocimiento del estado del cultivo reporten cifras que en el mejor de los casos son solo aproximadas, y a veces contradictorias. En razón del trabajo aquí reportado podemos decir con gran aproximación que el cultivo de aguacate se realiza actualmente en poco más de 153,000 hectáreas, ya que la cifra dada por el Inventario 2007, reportado en la primera etapa del proyecto, arroja la cantidad de 112,725 hectáreas, y desde entonces el cultivo ha seguido su expansión a un ritmo acelerado.

Este desconocimiento de la extensión real del cultivo existía en cuanto al número de hectáreas cultivadas, y también en cuanto a la localización exacta de las tierras empleadas para este fin. Y aunque el número de hectáreas es un dato importante, es principalmente el conocimiento de la ubicación del cultivo lo que posibilita realizar un diagnóstico de las condiciones territoriales en las que se lleva a cabo, y cuál ha sido y es el impacto que ha tenido sobre el medio ambiente. Solo sobre la base de información precisa y verificable es factible tomar decisiones para impulsar o mejorar el cultivo, y corregir aquellas situaciones no sustentables.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos en la realización del Inventario 2011 de la superficie cultivada con aguacate en el estado de Michoacán.

En el estado de avance que posee, la información presentada en este trabajo (y en versión extendida en un anexo cartográfico digital) tiene un valor muy grande, porque marca la línea de base sobre la que puede ser realizado cualquier estudio posterior de actualización o de investigación de otras temáticas.

I. AREA DE ESTUDIO

Descripción

El área de estudio para este trabajo se determinó en el año 2009, a partir de imágenes de satélite, información de inventarios anteriores, y recorridos de campo. Puesto que las imágenes a las que se tuvo acceso entonces no tienen gran detalle, y porque los recorridos no fueron exhaustivos, el área mostrada en la figura 1 es aproximada a la verdadera extensión del cultivo, y aunque comprende las áreas de mayor densidad de tierras de cultivo de aguacate, existen otras áreas de menor densidad fuera de ella, a las que habría que agregar las áreas que se abrieron a este cultivo en los años subsiguientes a este estudio, y que no han podido ser cuantificadas.

El área de estudio también se delimitó usando información altitudinal y de cubierta vegetal, para incluir aquellas áreas, cercanas a las del cultivo actual, susceptibles de ser usadas para el cultivo por sus características ambientales de semejanza con áreas de cultivo existentes.

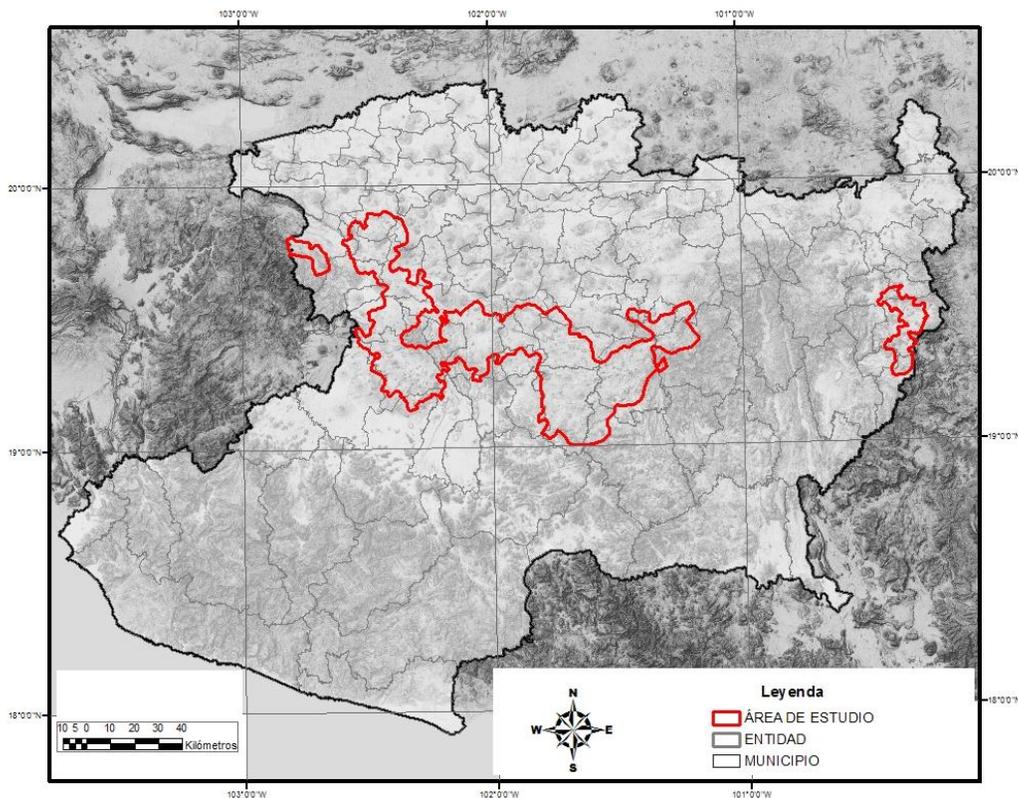


Figura 1. Área de estudio.

Esta área comprende porciones de los municipios de Cotija, Tocumbo, Tangamandapio, Tangancícuaro, Tinguindín, Los Reyes, Charapan, Peribán, Nuevo Parangaricutiro, Buenavista, Tancítaro, Apatzingán, Uruapan, Tingambato, Ziracuaretiro, Taretán, Nuevo Urecho, Salvador Escalante, Ario, Tacámbaro, Turicato, Pátzcuaro, Acuitzio, Huiramba, Morelia, Madero, Tuxpan, Ocampo, Juárez, y Zitácuaro.

Proyección cartográfica

A fin de realizar cálculos de área con el menor error posible fue necesario crear una proyección geográfica adecuada. Ya que la proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) es una proyección equiárea adecuada para este fin pero divide al estado en dos zonas UTM (13 y 14) en el meridiano 102° W, se creó una proyección UTM modificada a la que se denominó UTM Zona 13-5 N, cuyos parámetros son los siguientes:

Meridiano Central: -102.00000
Datum: WGS84
Falso Este: 500000.00000000
Falso Norte: 0.00000000
Factor de Escala: 0.99960000
Latitud de Origen: 0.00000000
Unidad Lineal: Metros

Esta área de estudio y proyección se emplearon en la elaboración de la cartografía del inventario.

II. INVENTARIO 2011 DEL CULTIVO DE AGUACATE

Materiales

Para la elaboración de este inventario se emplearon imágenes de satélite de muy alta resolución correspondientes a fechas de marzo y noviembre de 2011. Las imágenes fueron tomadas por el satélite WorldView 2, y tienen una resolución nominal de 50 cm en el nadir. Las imágenes fueron adquiridas por la COFUPRO a través del distribuidor autorizado en la Ciudad de Guadalajara, GTT Imaging. Las imágenes consisten en un mosaico con balance de color y georeferenciado, dividido, por razones de facilidad de manejo, en varios segmentos de tamaños diversos correspondientes a la zona de estudio.

Ejemplos de estas imágenes se pueden ver en las figuras 2 y 3. El detalle en la figura 3 es suficiente para distinguir con precisión los límites de la zona de cultivo de aguacate, incluso en huertos en los que apenas se ha sembrado la planta. Igualmente es posible distinguir otros elementos asociados al cultivo, tales como la infraestructura hidráulica de los huertos y la red de caminos.

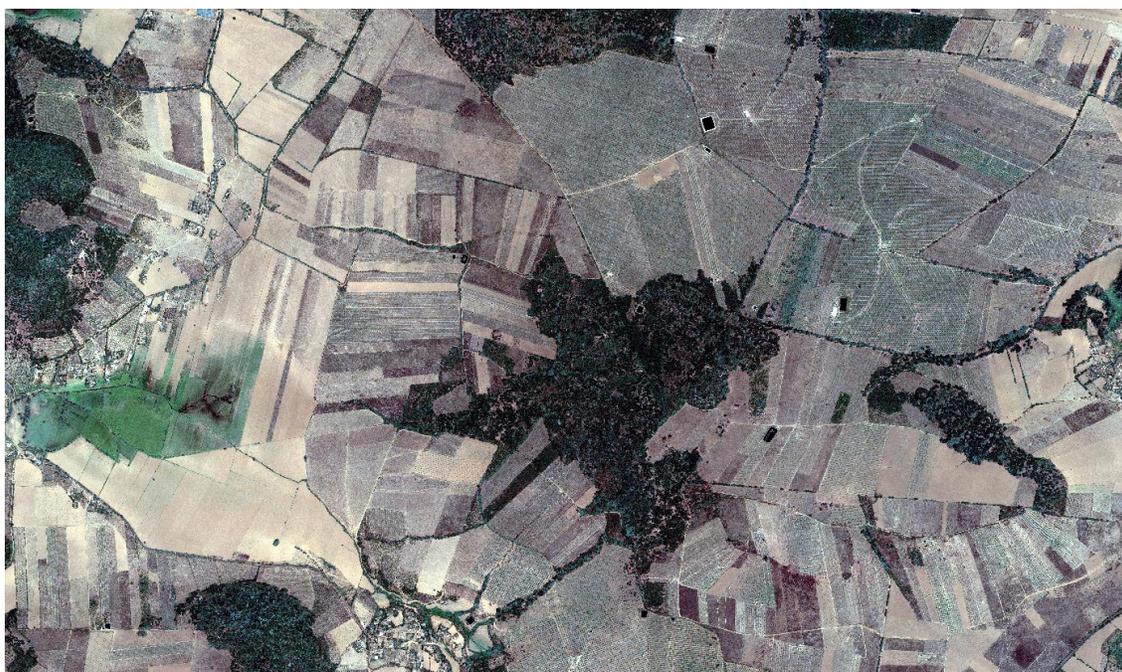


Figura 2. Ejemplo de imagen de satélite WorldView 2 de un área con cultivo de aguacate al sur del lago de Zirahuén.



Figura 3. Nivel de detalle apreciable en las imágenes empleadas para elaborar el inventario.

Método

Este inventario fue concebido con un doble propósito: cuantificar la superficie cultivada con aguacate en el año 2011, y determinar el estado del cultivo en la superficie cultivada.

Para dar cumplimiento al primer propósito, por razones de representación cartográfica, se decidió elaborar la cartografía de superficie de cultivo a escala 1:20,000, aun cuando la interpretación preliminar se lleva a cabo a escala 1:2,000.

Rectificación de imágenes

Aun cuando las imágenes se encuentran georeferenciadas, en algunas de ellas se observa un desplazamiento respecto a su posición real de más de 20 metros, lo que es necesario corregir para cumplir con el nivel de precisión exigido en la cartografía a escala 1:20,000.

Para realizar esta corrección se emplearon dos métodos:

- comparación visual con ortofotografías obtenidas por INEGI en 1995,
- comparación visual con información de campo de los caminos de la zona a corregir, levantados con GPS de alta precisión (submétrico).

Durante la comparación visual con ambas fuentes se detectan las áreas con desplazamiento inaceptable y se generan puntos de control para rectificar la geometría de las imágenes y

darles la posición correcta según las fuentes de referencia mencionadas. Esto asegura que las imágenes puedan ser usadas para generar cartografía y obtener medidas confiables de áreas, distancias y ángulos.

El procedimiento consiste fundamentalmente en identificar una serie de puntos de control terrestre sobre la imagen y ligarlos a puntos similares en la ortofoto de INEGI o en la cartografía de caminos levantada con GPS. Un ejemplo del resultado de este procedimiento de ajuste puede observarse en la figura 4.



Figura 4. Ejemplo de imagen rectificadas para corregir las distorsiones presentes en la original. La línea roja corresponde al levantamiento del camino hecho con receptor GPS de alta precisión. Como se observa, el ajuste de la imagen es excelente, y el ligero desplazamiento que aun es posible observar es más que aceptable para la escala del inventario.

Identificación de límites de la superficie de cultivo

A partir del mosaico de imágenes se hizo la interpretación de las mismas, identificando las áreas de cultivo de aguacate, sin distinguir todavía el nivel de desarrollo del mismo. Se empleó la técnica de digitización de polígonos en pantalla con el software ARCGIS, versión ARCMAP. Los polígonos se digitizaron de tal manera que no se repiten los límites comunes de polígonos adyacentes, esto es, no hay traslape entre polígonos.



Figura 5. Ejemplo de imagen interpretada para identificar la superficie cultivada con aguacate. Los polígonos delimitados con línea verde y achurado negro señalan dicha superficie. La escala es 1:20,000.



Figura 6. Detalle del alto nivel de precisión logrado en la interpretación. El nivel de error en la interpretación es en promedio de 2 metros. La escala es 1:3,000.

Verificación de campo.

Aunque las imágenes poseen un nivel de detalle que hace posible el identificar el cultivo de aguacate con un error mínimo, en algunas huertas, principalmente localizadas hacia los límites de la zona de estudio es posible que exista alguna confusión con otros cultivos de frutales, por lo que se realizó un trabajo de verificación de aquellos huertos que al identificarse, se tenía duda sobre el tipo de cultivo de que se trataba.

La verificación de campo consiste en desplazarse al lugar que corresponde en la imagen al huerto en cuestión y verificar visualmente el tipo de cultivo que se lleva a cabo.

Determinación del Nivel de Desarrollo del Cultivo

Dado que la información que contiene la imagen permite diferenciar claramente el estado del cultivo, se hace posible el dar cumplimiento al segundo propósito del inventario, el de conocer el estado de desarrollo del cultivo.

Para ello se definieron dos niveles de desarrollo a identificar dentro de la superficie cultivada:

- Nivel 1. Cultivo en pleno desarrollo
- Nivel 2. Cultivo con desarrollo incipiente

La información de estos niveles proporciona un panorama más preciso del estado del cultivo que el de la mera cifra de superficie cultivada, permitiendo a futuro realizar tareas de planeación de cosechas, y de mejoramiento del cultivo, de una manera muy precisa y geográficamente localizada.

La determinación de estos niveles se hace de manera preliminar en forma visual, aunque se están explorando métodos semiautomatizados de llevar a cabo esta tarea. La figura 7 muestra los resultados de este procedimiento para la misma área de la figura 6.

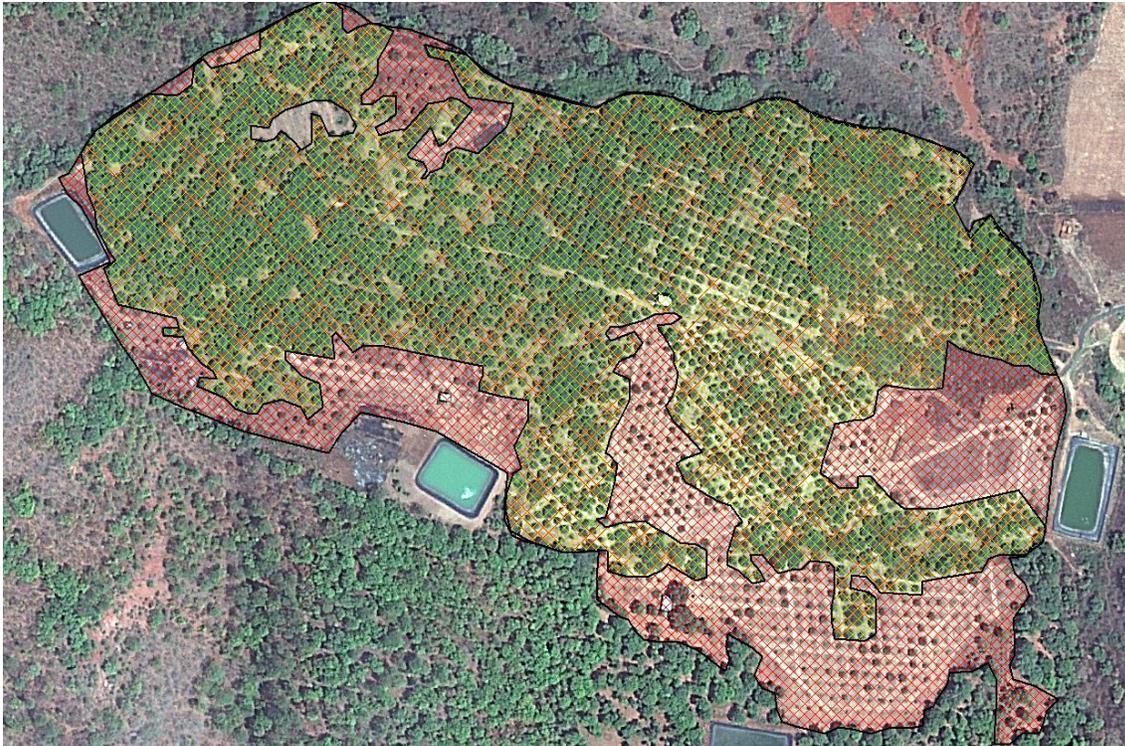


Figura 7. Niveles de desarrollo del cultivo. El huerto posee una extensión total de 21.28 hectáreas, de las cuales 15.70 se encuentran en el Nivel 1 de desarrollo y 5.58, una cuarta parte, se encuentran en el Nivel 2.

Infraestructura hidráulica de soporte para el cultivo

Adicionalmente al levantamiento del área de cultivo y a la identificación de sus características de desarrollo, se hizo un levantamiento de la infraestructura auxiliar de soporte al cultivo, específicamente de la identificación de la infraestructura hidráulica (ollas de agua) existente en los huertos

La figura 8 muestra la infraestructura hidráulica y la de almacenamiento de una región al occidente del estado.

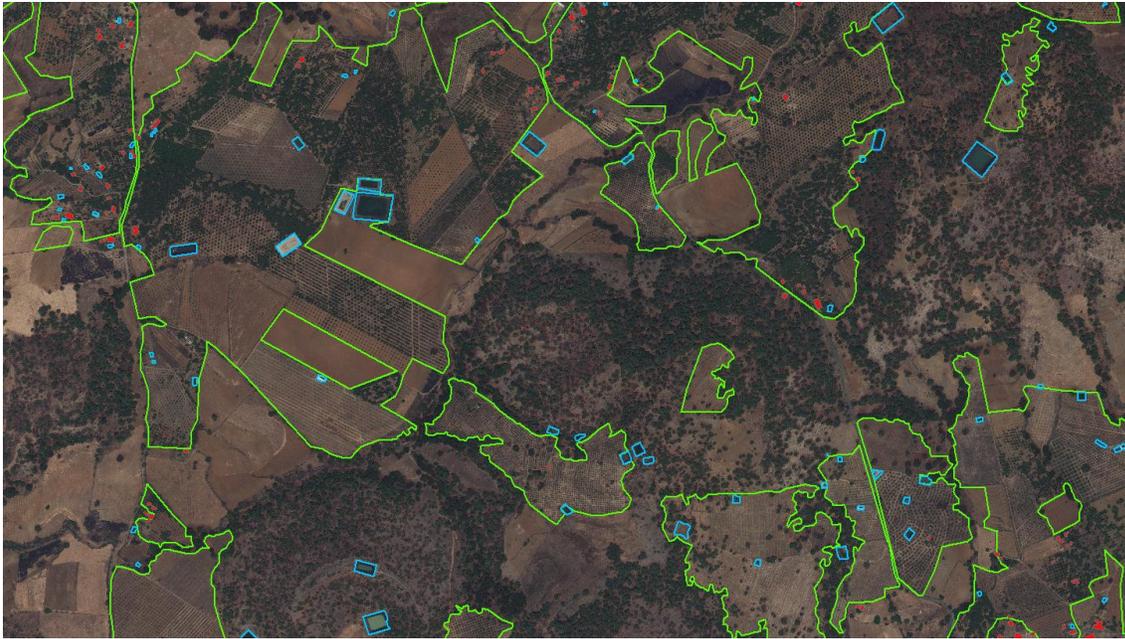


Figura 8. Infraestructura. Los polígonos con línea azul representan ollas de agua, y los polígonos rojos ubican construcciones dentro de los huertos de aguacate. En línea verde se muestran los límites de huerto.



Figura 9. Detalle de la infraestructura hidráulica de los huertos.

Resultados

(NB: para visualizar mejor los mapas de esta sección se recomienda consultar los mapas en formato PDF de la cartografía digital, que se anexan a este informe).

El avance que presenta el inventario 2011 arroja una cifra de 153,018 hectáreas de superficie cultivada.

Esto representa una diferencia de 41,000 hectáreas con respecto a la cifra del Inventario 2007, que era de 112,000 hectáreas. Aunque en la cifra del 2007 existía una subestimación de la superficie cultivada de más o menos 18,000 hectáreas, la cifra del inventario 2011 indica que el cultivo ha continuado expandiéndose a un ritmo acelerado.

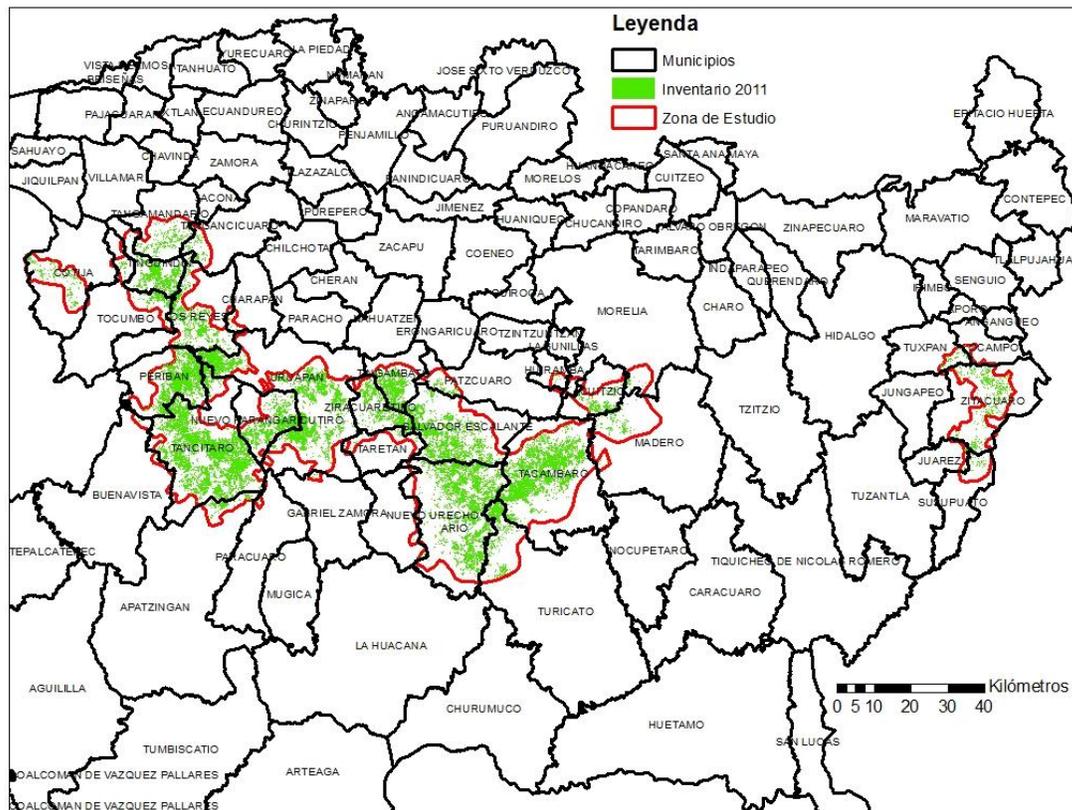


Figura 10. Inventario 2011 de la superficie cultivada con aguacate en el estado de Michoacán.

En la figura 10 se observa la extensión de la superficie de cultivo determinada mediante interpretación de imágenes de satélite WorldView 2 y con verificación de campo. Se aprecia que en algunos municipios, la superficie de cultivo se encuentra muy cerca de los límites de la zona de estudio. Esto indica que en tales lugares el cultivo se ha extendido más

allá de la zona que se había señalado como de máxima extensión en el 2009. En campo se corroboró que esta situación ocurre principalmente en los municipios de Los Reyes, Charapan, Nuevo Parangaricutiro, Uruapan, Tingambato, Pátzcuaro, Erongarícuaro y Zitácuaro, y en menor medida en el resto de los municipios.

Este inventario no cubre áreas en donde se ha observado recientemente existencia del cultivo, tales como la región de la Cañada de los Once Pueblos, la Región Sierra Costa, Maravatío, entre otras.

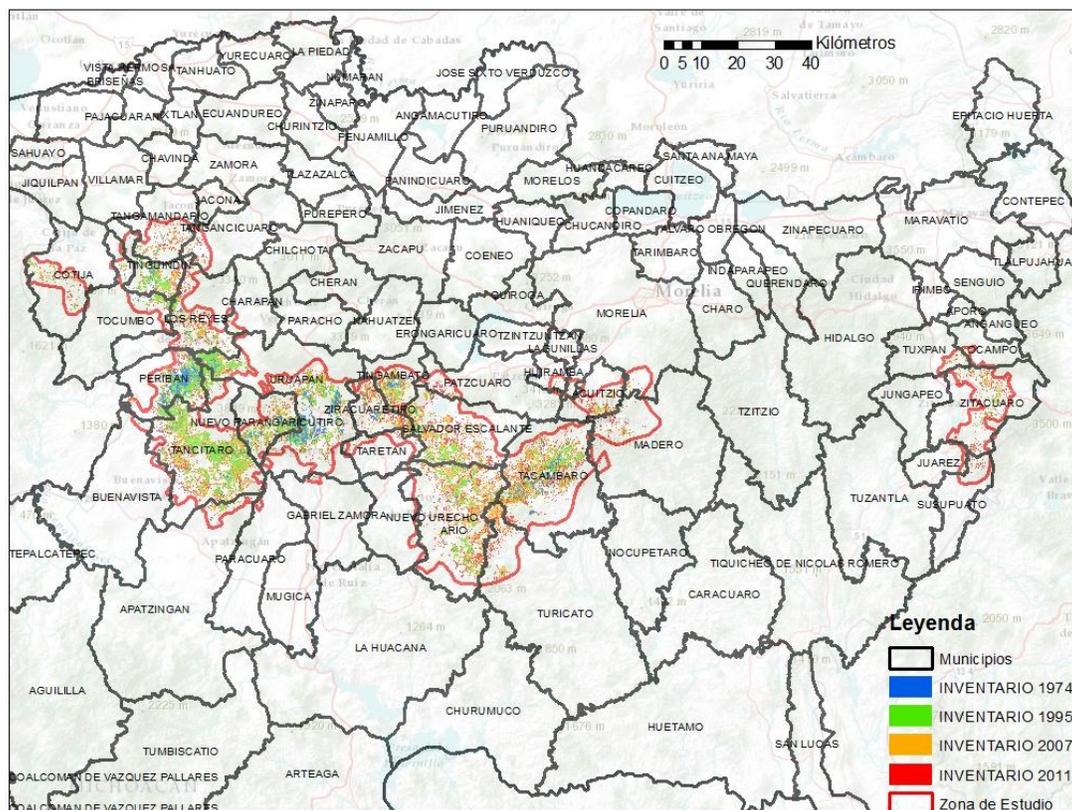


Figura 11. Comparación visual de superficies cultivadas en cuatro fechas diferentes.

Un hecho notorio que se observa en la figura 11 es que el crecimiento de las áreas de cultivo en el período 2007 – 2011 ocurre en general en áreas cercanas a áreas ya cultivadas con anterioridad, pero en algunos municipios este ha tenido lugar en zonas en las que no existía este cultivo. De igual manera, en ciertas zonas, las superficies más recientes consisten en grandes áreas contiguas, mientras que en otras las superficies de crecimiento están más dispersas y son de menor área. Estos aspectos se aprecian mejor en el desglose a nivel municipal que se ofrece en la sección siguiente.

En la tabla 1 se observa el crecimiento de la superficie cultivada en porcentaje del total registrado en el 2011. Los años corresponden a los inventarios realizados (con excepción

del 2005) y reportados en la primera etapa de este proyecto. El crecimiento en superficie es de más de 10 veces el que existía en 1974.

Tabla 1. Superficie cultivada con aguacate en diferentes años.

AÑO	HECTÁREAS	PORCENTAJE
1974	13,045	8.52
1995	58,545	38.26
2005	74,951	48.98
2007	112,725	73.66
2011	153,018	100.00

Aunque en esta tabla se presenta la cifra correspondiente al año 2011 como el 100% de la superficie cultivada, es necesario recordar que el inventario de esta fecha no fue del todo exhaustivo, ya que fuera del área de estudio se detectaron pequeñas áreas de crecimiento que no fueron inventariadas debido a que no era rentable adquirir imágenes de tales zonas. Esto significa que en realidad la cifra total es ligeramente mayor a la reportada, aunque probablemente no llega a las 160,000 hectáreas, de acuerdo con las observaciones realizadas en campo.

A continuación se presenta la descripción desagregada de las superficies de cultivo, y su evolución a lo largo de 4 fechas para cada uno de los municipios de la zona de estudio.

Municipio de Acuitzio

Superficie de cultivo en 2011: 1,841.63 hectáreas

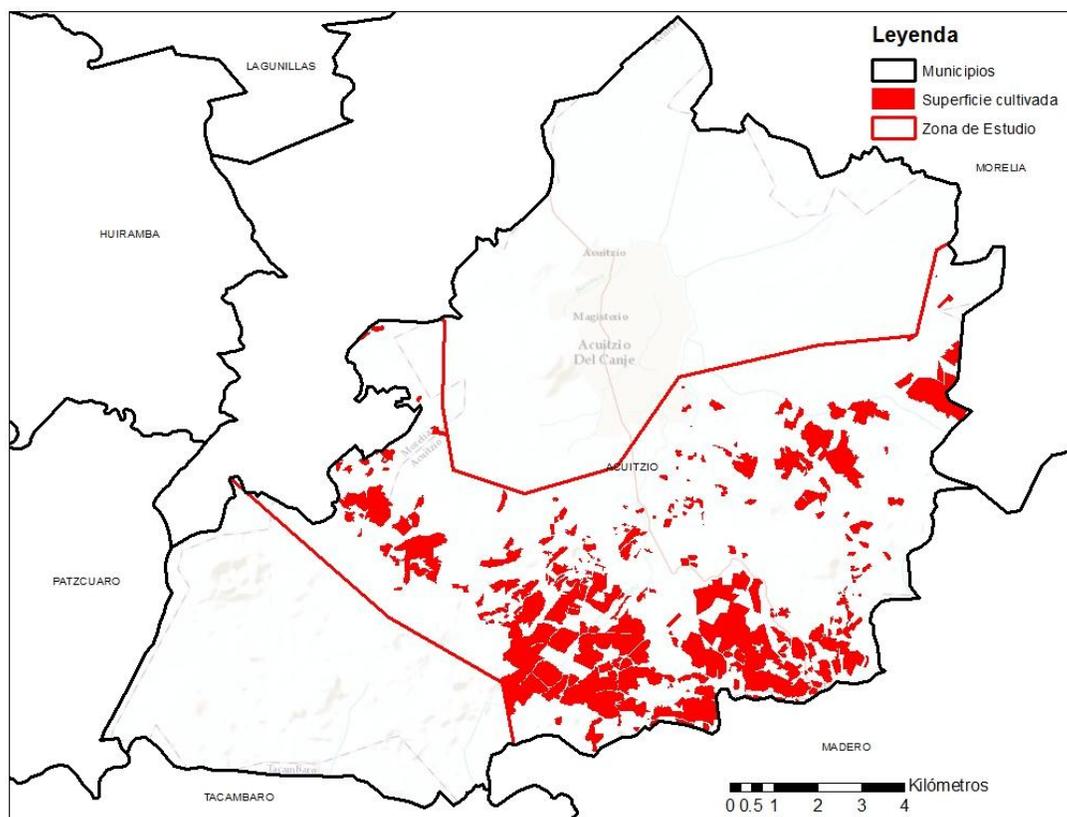


Figura 12. Municipio de Acuitzio. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 12 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se extienden hasta el límite de la zona de estudio en la porción suroeste, lo que indica que probablemente existen más áreas de cultivo fuera de este límite, en esta zona.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 13. En ella se aprecia que solo hacia 1995 comenzó a cultivarse el aguacate en el municipio, y que desde entonces se ha expandido sustancialmente, y que esta expansión continua al mismo ritmo.

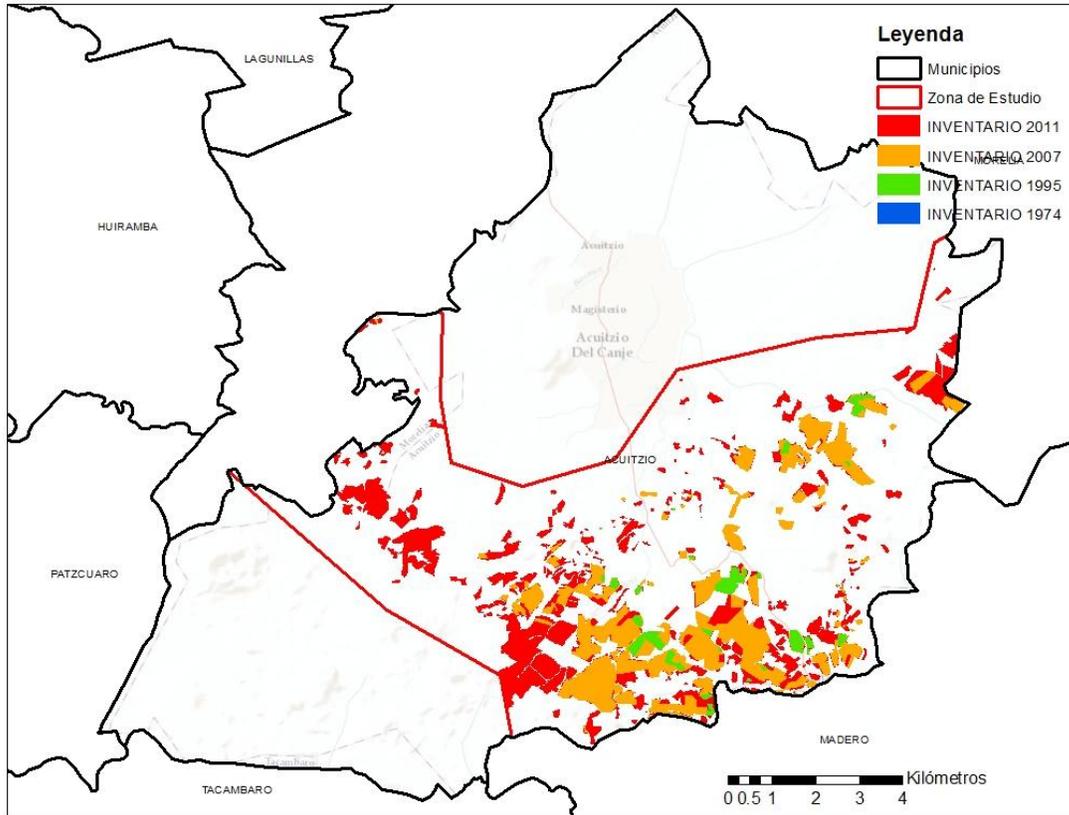


Figura 13. Municipio de Acuitzio. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Apatzingán

Superficie de cultivo en 2011: 1,237.02 hectáreas

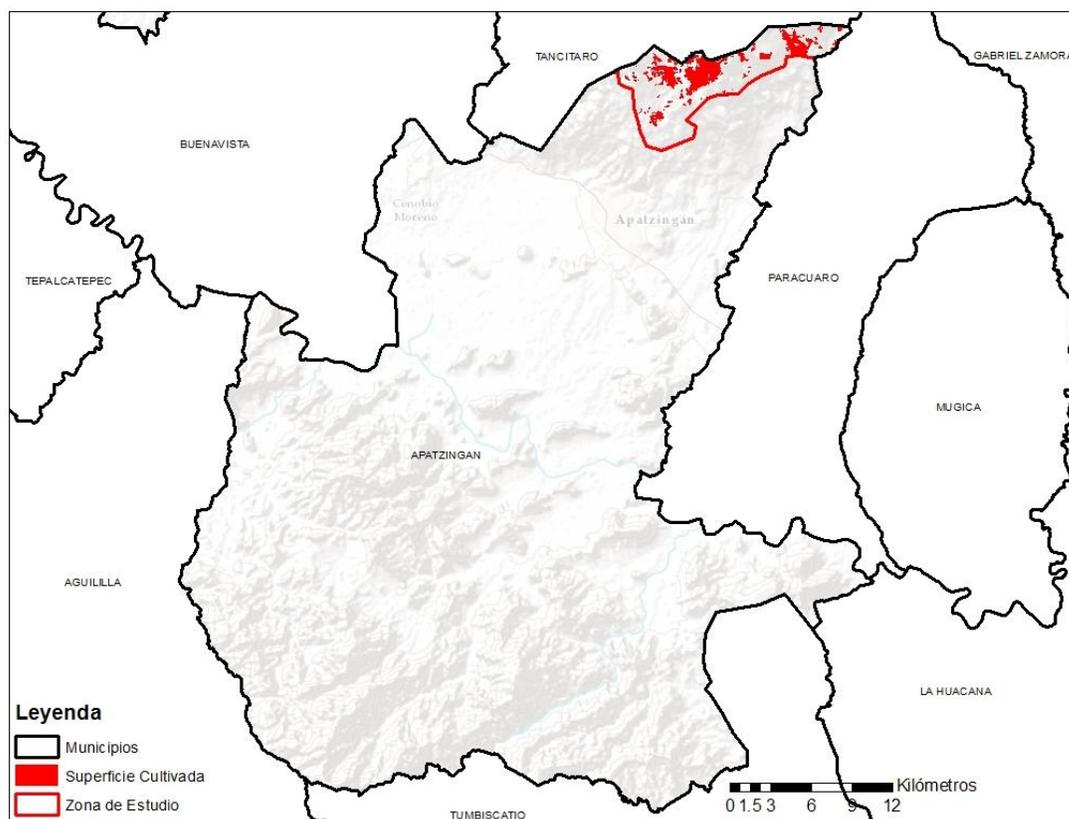


Figura 14. Municipio de Apatzingán. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 14 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción noreste del municipio, dentro de la región conocida como franja aguacatera. Igualmente, es posible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, en la zona en donde estas llegan hasta dicho límite.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 15. En ella se aprecia que en 1974 existían algunas áreas con cultivo de aguacate, pero que solamente después de 1995 se han se han expandido significativamente.

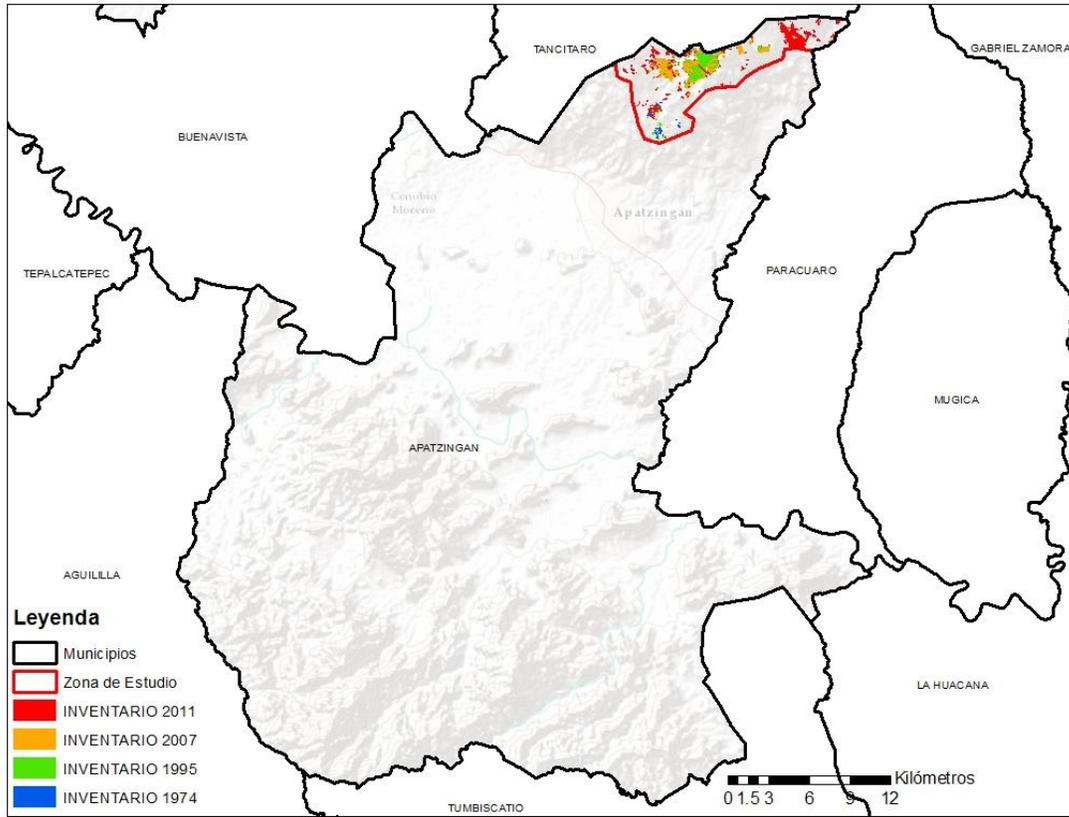


Figura 15. Municipio de Apatzingán. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Ario

Superficie de cultivo en 2011: 19,514.79 hectáreas

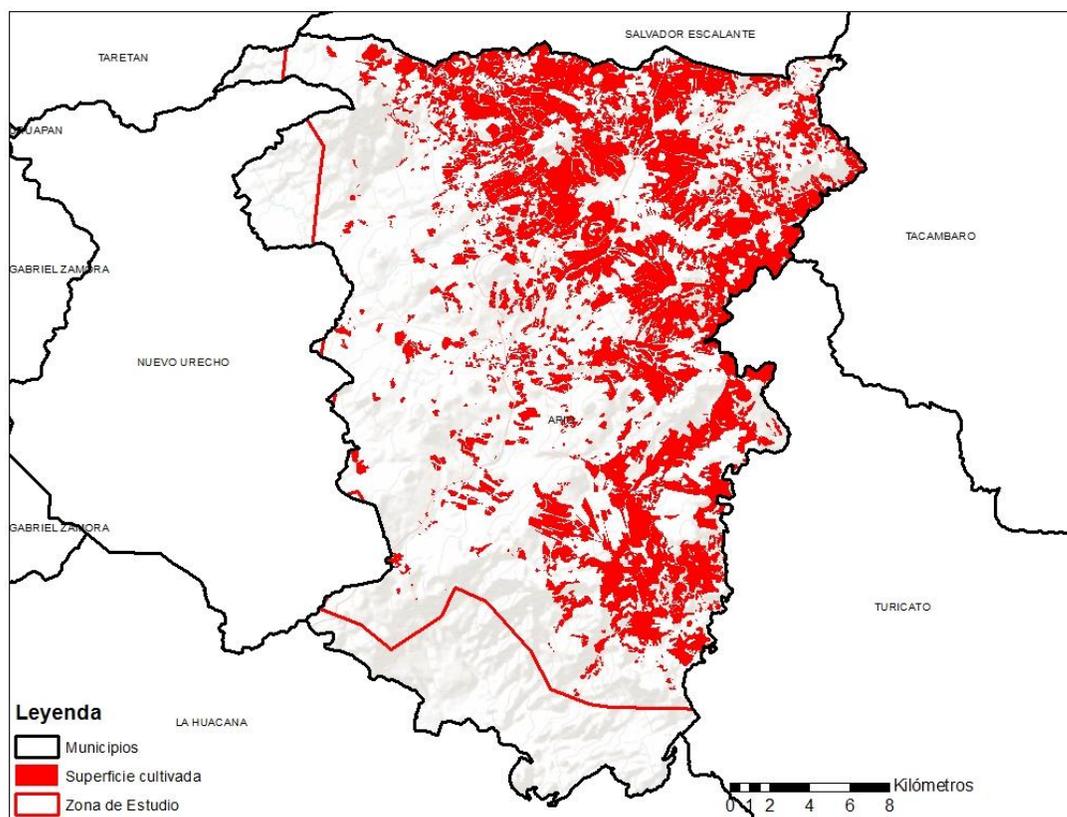


Figura 16. Municipio de Ario. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 16 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la mitad oriental del municipio, que es la que tiene mayor elevación. No es probable que las áreas cultivadas se extiendan significativamente más allá del límite occidental, debido a que la elevación decrece rápidamente y el clima se hace demasiado cálido.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 17. Es notorio que el cultivo se expandió significativamente entre 1995 y 2007, y en menor medida en años más recientes.

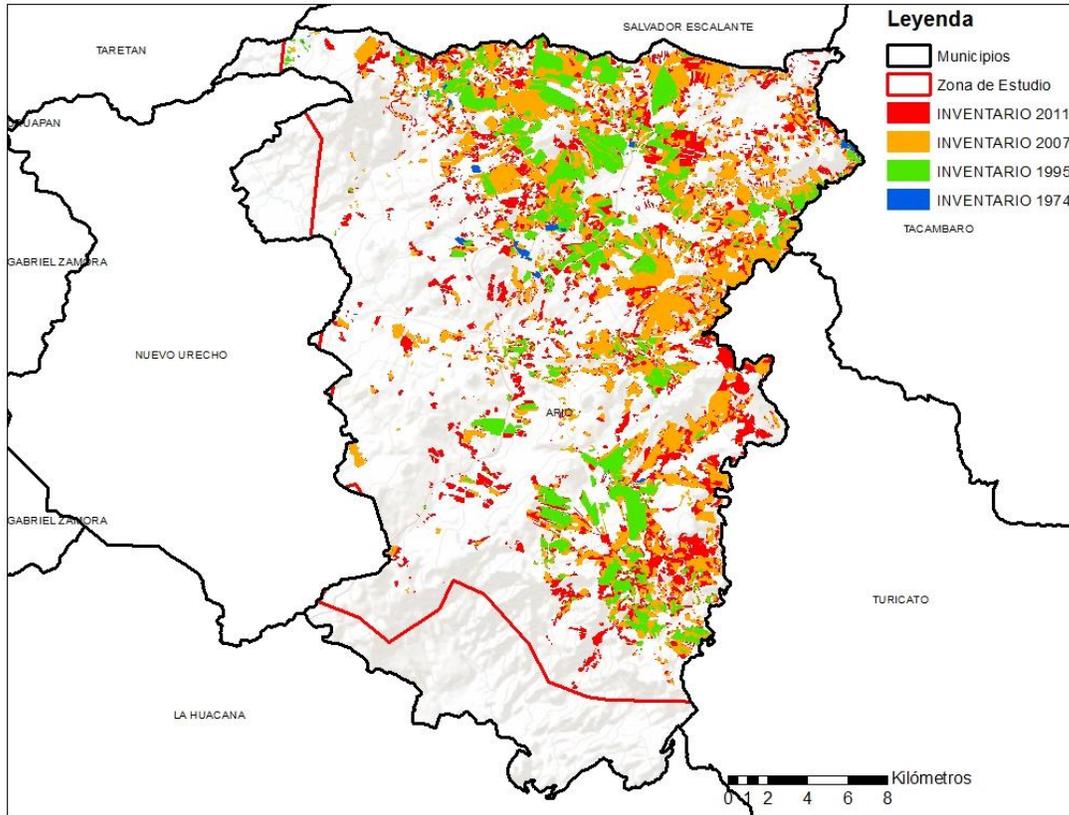


Figura 17. Municipio de Ario. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Buenavista

Superficie de cultivo en 2011: 97.98 hectáreas

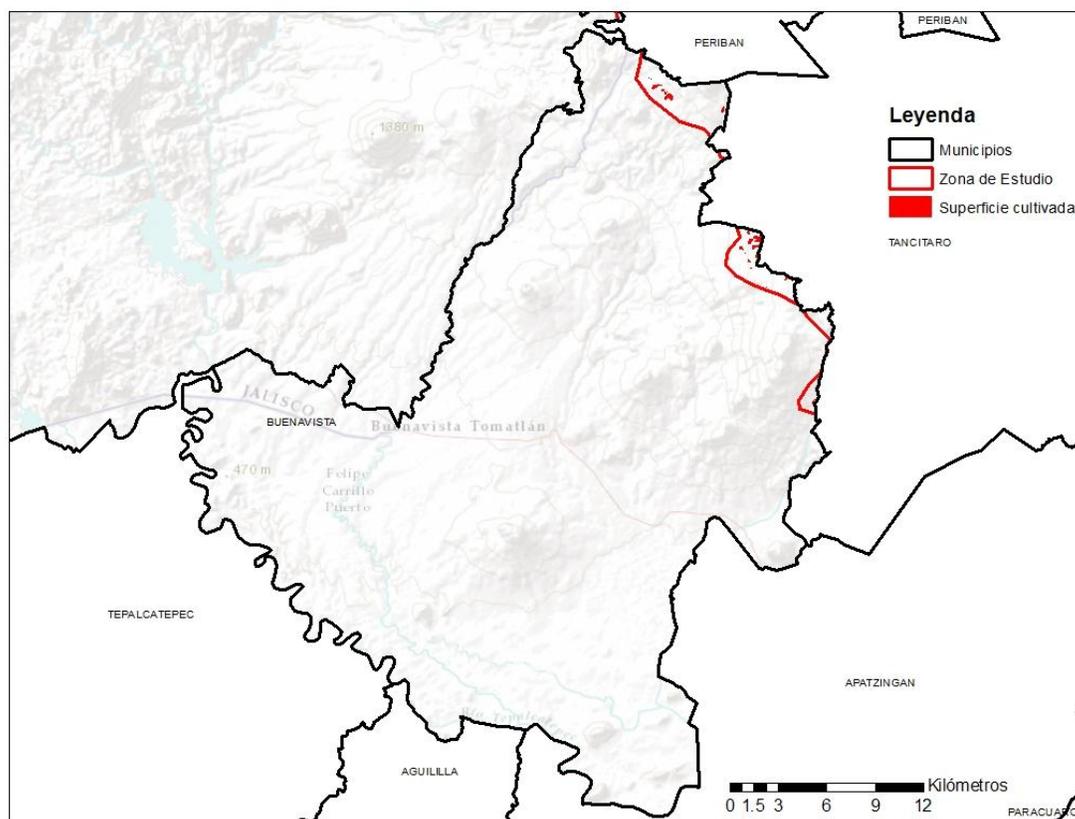


Figura 18. Municipio de Buenavista. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 18 se observa que las áreas cultivadas con aguacate son escasas y se concentran en la porción noreste del municipio, dentro de la región conocida como franja aguacatera. Igualmente, es poco factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a las condiciones climáticas poco adecuadas para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 19. En ella se aprecia que en la expansión del cultivo ha ocurrido principalmente en años recientes.

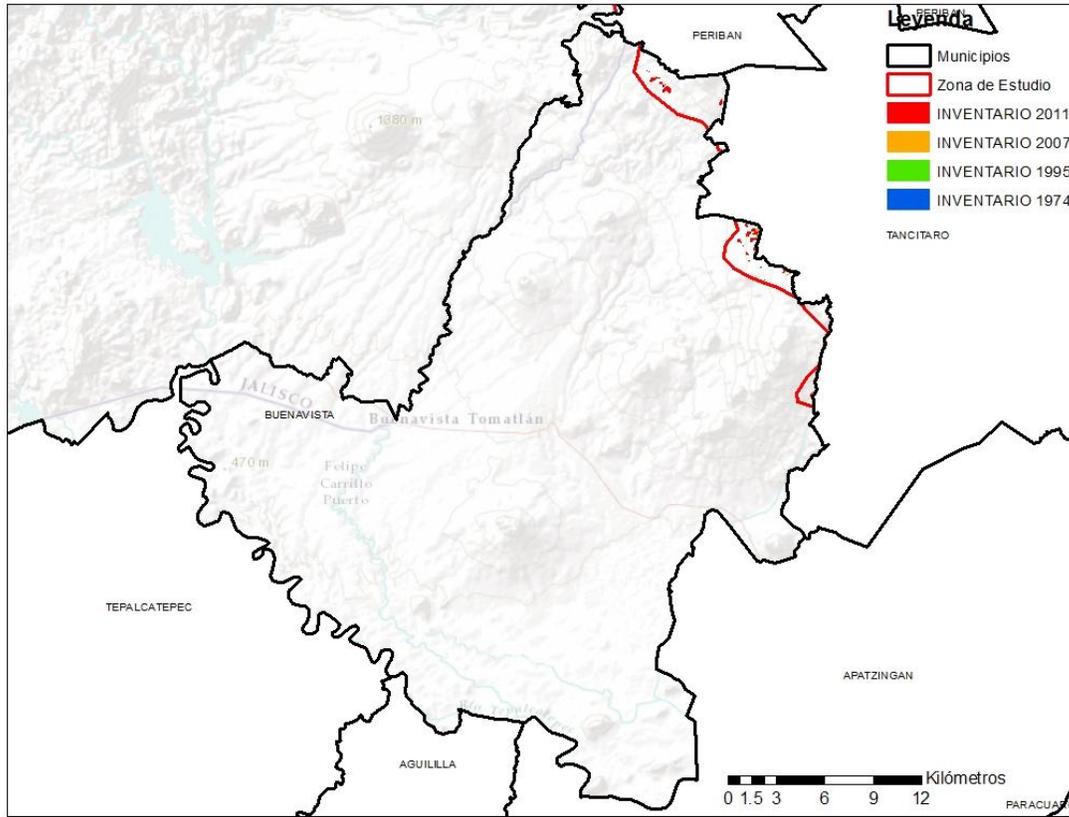


Figura 19. Municipio de Buenavista. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Charapan

Superficie de cultivo en 2011: 132.42 hectáreas

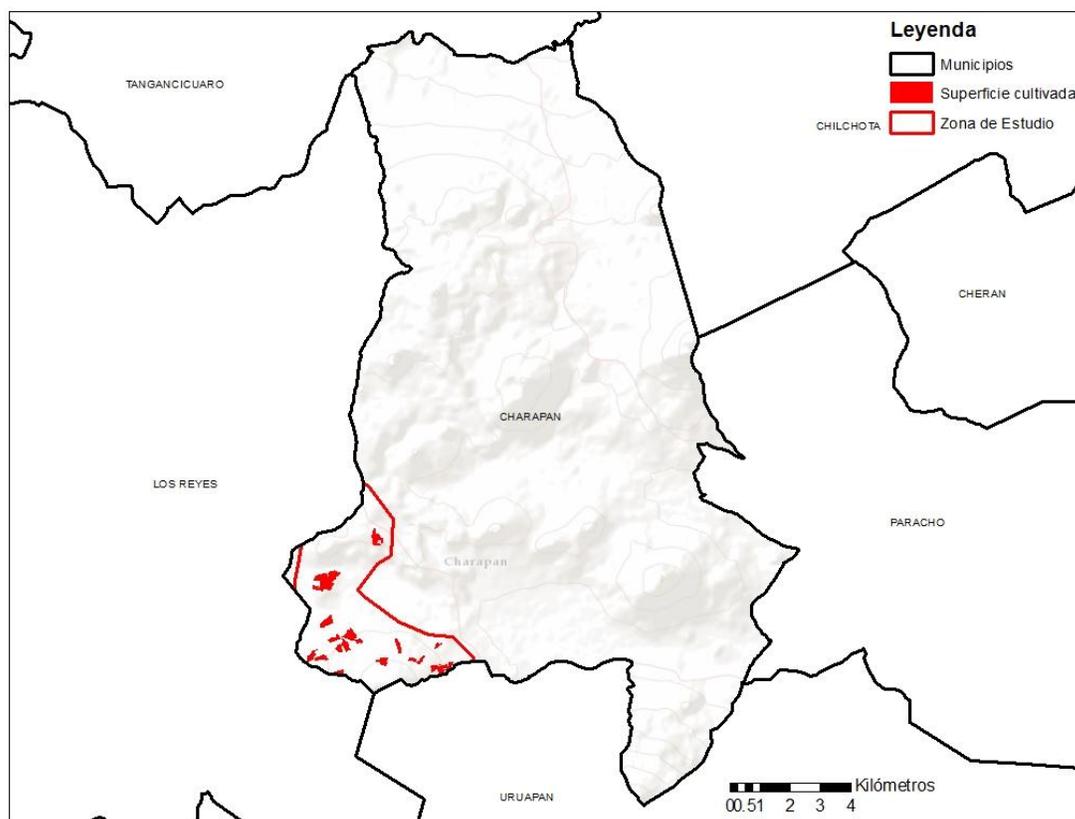


Figura 20. Municipio de Charapan. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 20 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción suroeste del municipio. Debido a limitantes climáticas no es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan significativamente más allá del límite de la zona estudiada.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 21. En ella se aprecia que en aun cando en 1995 existían algunas áreas con cultivo de aguacate, la expansión ha tenido lugar principalmente en la última década.

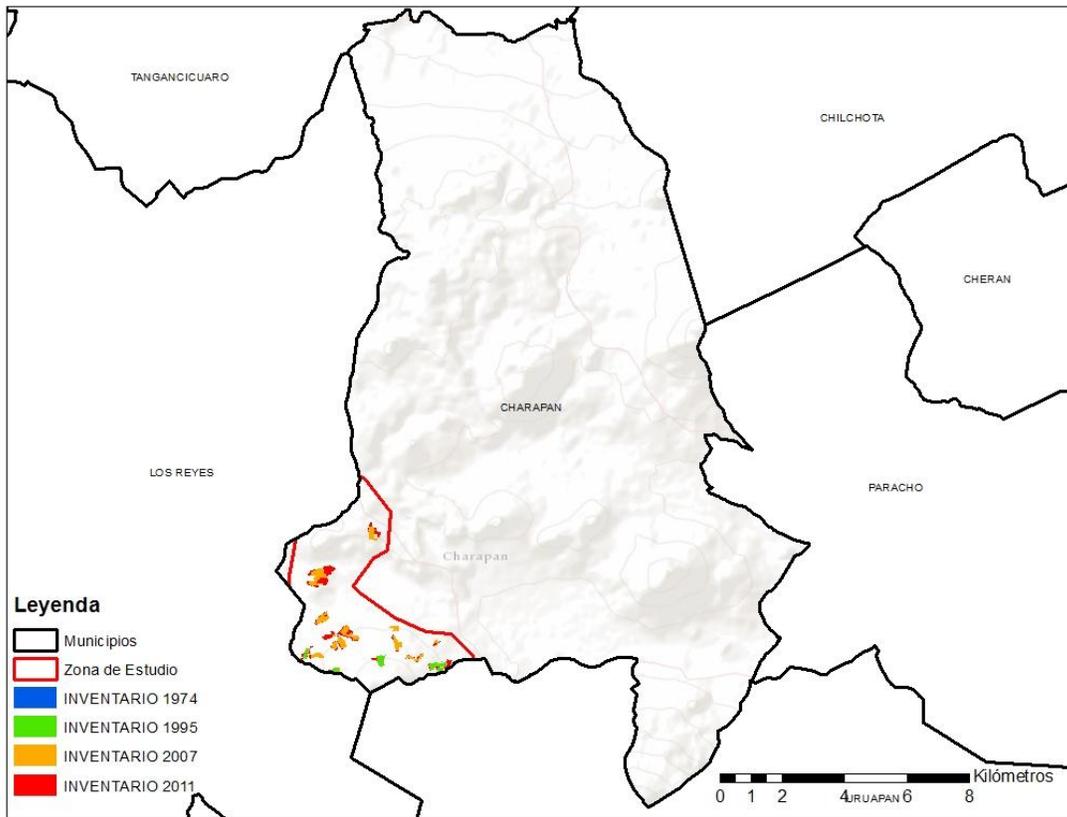


Figura 21. Municipio de Charapan. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Cotija

Superficie de cultivo en 2011: 1,676.27 hectáreas

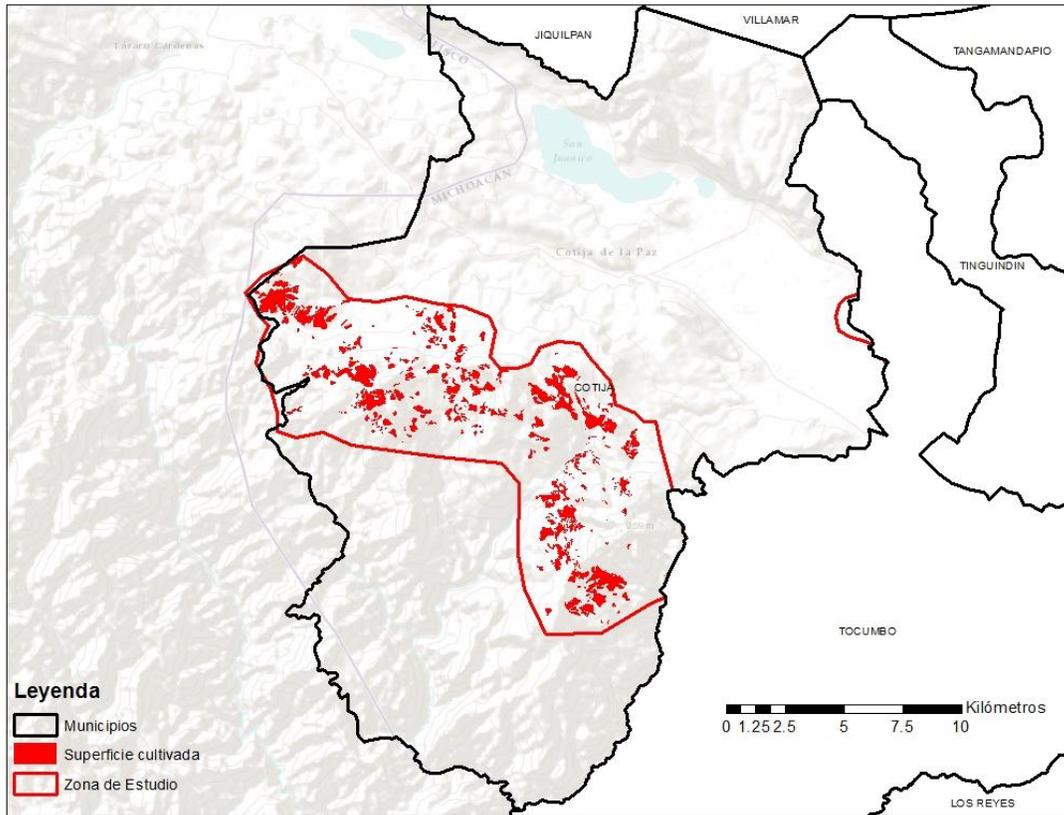


Figura 22. Municipio de Cotija. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 22 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción central del municipio. Es factible que las áreas cultivadas se extiendan en el futuro más allá del límite de la zona estudiada, especialmente hacia la porción sur del municipio, en donde pudieran existir condiciones climáticas similares a las de la zona actual de cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 23. En ella se aprecia que en solo hacia 1995 existían áreas significativas del cultivo, y que éste se ha expandido notablemente en la última década.

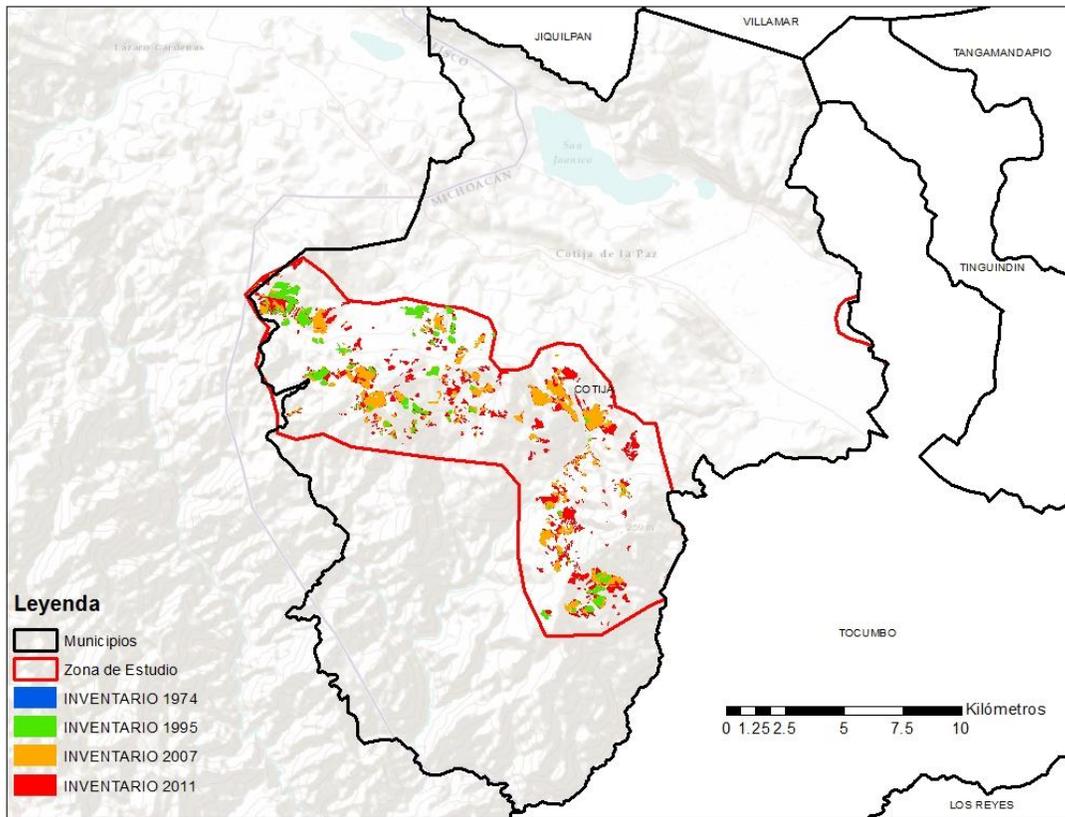


Figura 23. Municipio de Cotija. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Gabriel Zamora

Superficie de cultivo en 2011: 74.81 hectáreas

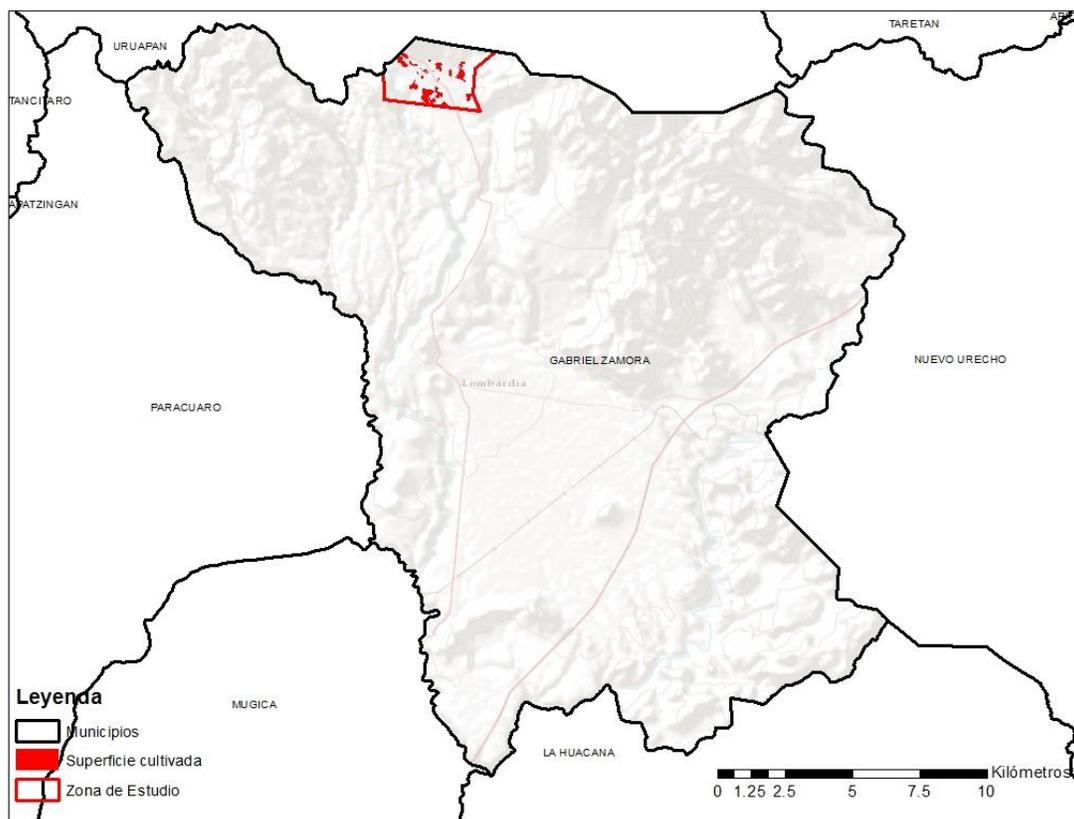


Figura 24. Municipio de Gabriel Zamora. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 24 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción norte del municipio, dentro de la región conocida como franja aguacatera. Es posible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, en la zona en donde estas llegan hasta dicho límite.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 25. En ella se aprecia que en es solo en años muy recientes que se han sembrado algunas áreas con cultivo de aguacate, y que su expansión se da de manera contigua a zonas con cultivos previos, pero también en nuevas áreas.

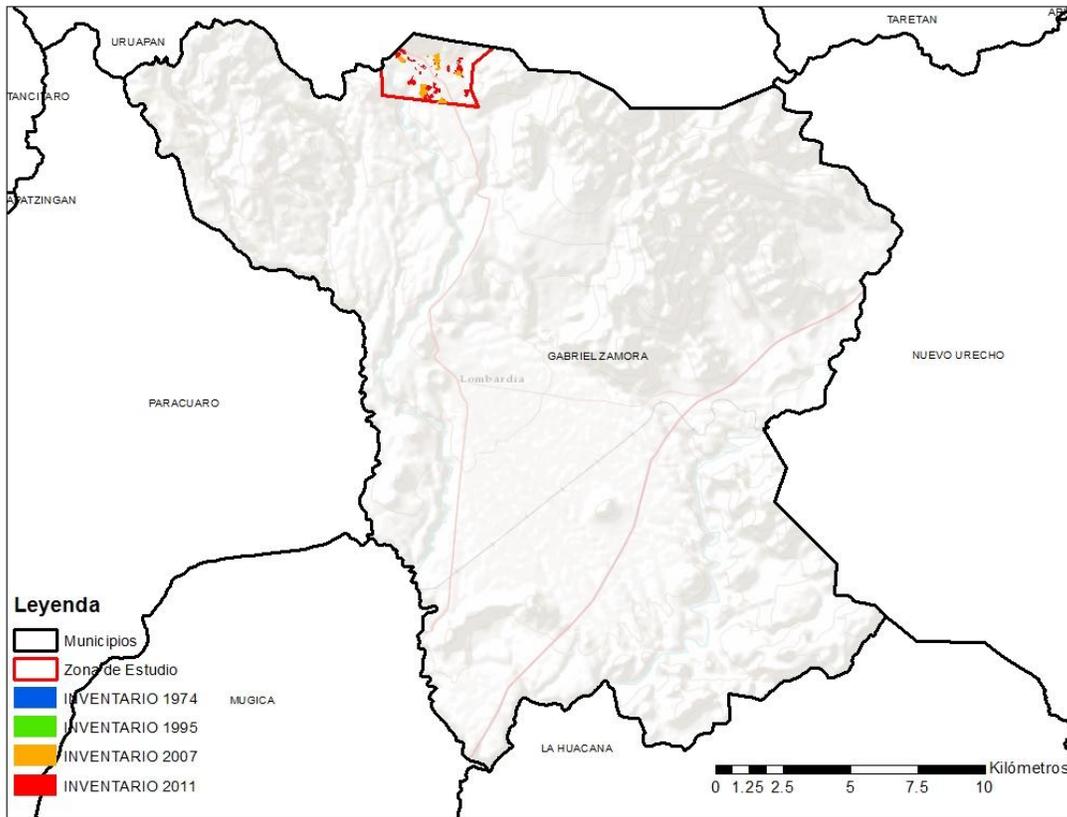


Figura 25. Municipio de Gabriel Zamora. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Huiramba

Superficie de cultivo en 2011: 127.44 hectáreas

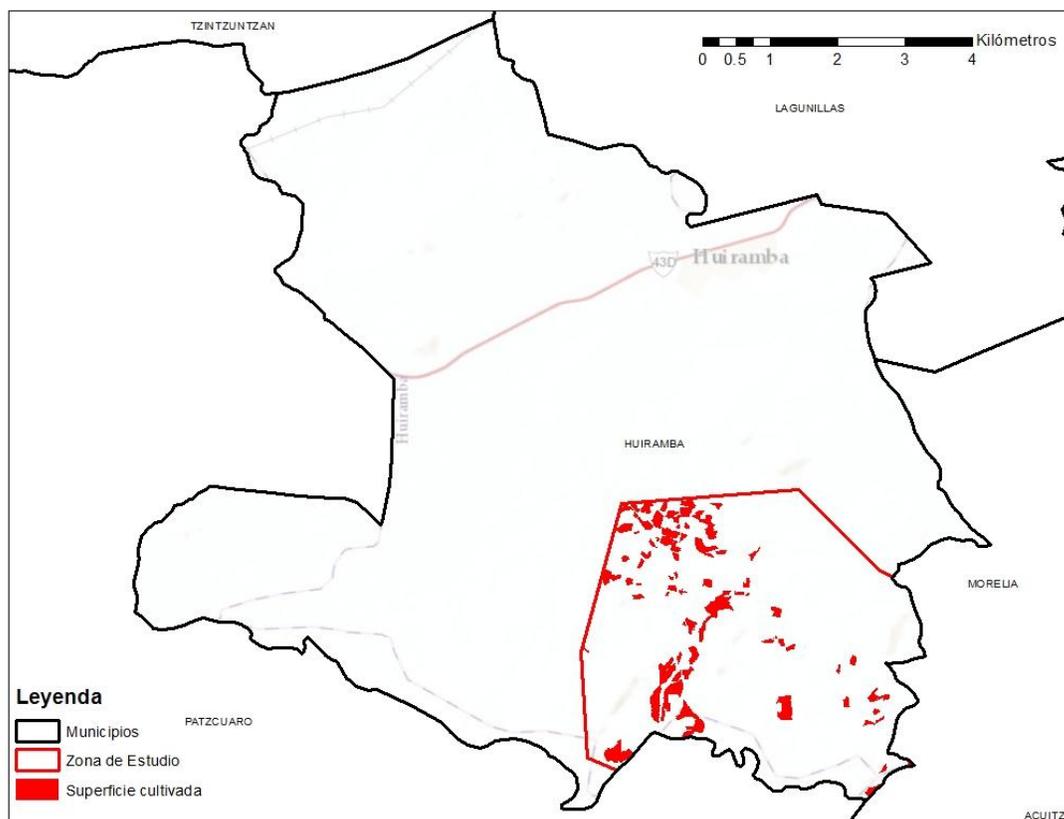


Figura 26. Municipio de Huiramba. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 26 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción sureste del municipio. Es posible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, en la zona en donde estas llegan hasta dicho límite, hacia el centro del municipio.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 27. En ella se aprecia que solo en años muy recientes se ha introducido el cultivo de aguacate, y que su expansión ha sido más importante en los últimos 5 años.

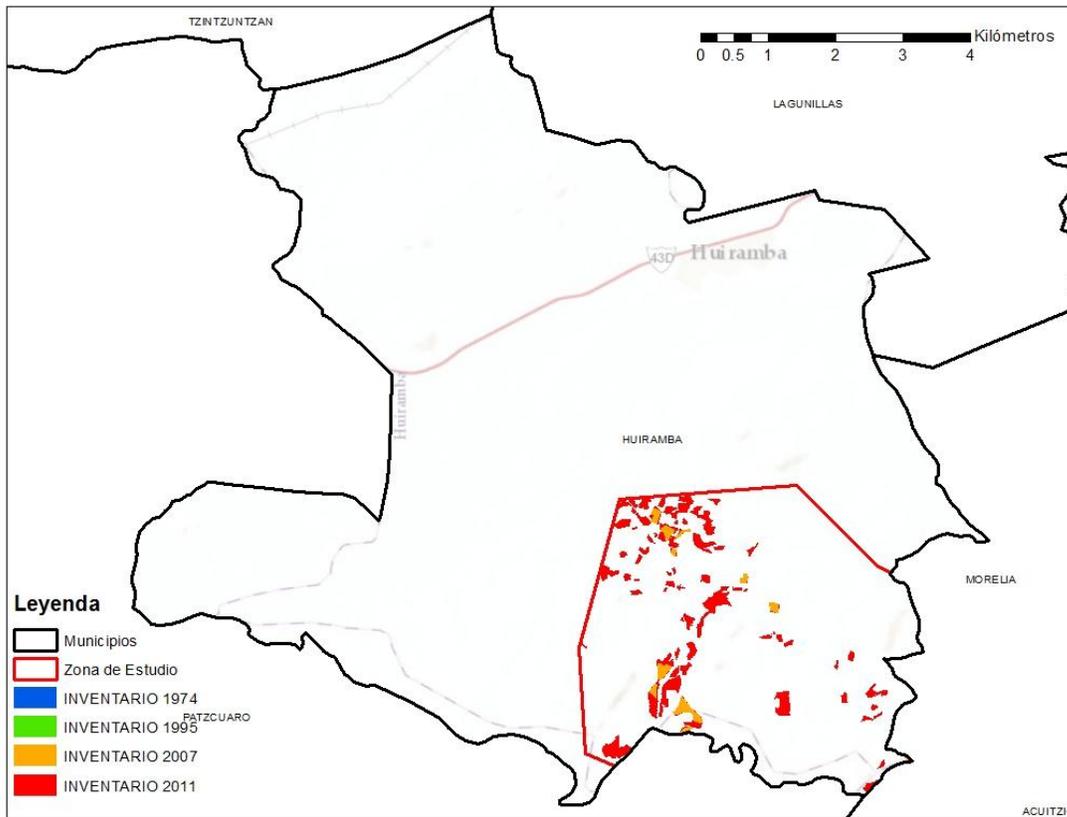


Figura 27. Municipio de Huiramba. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Juárez

Superficie de cultivo en 2011: 202.68 hectáreas

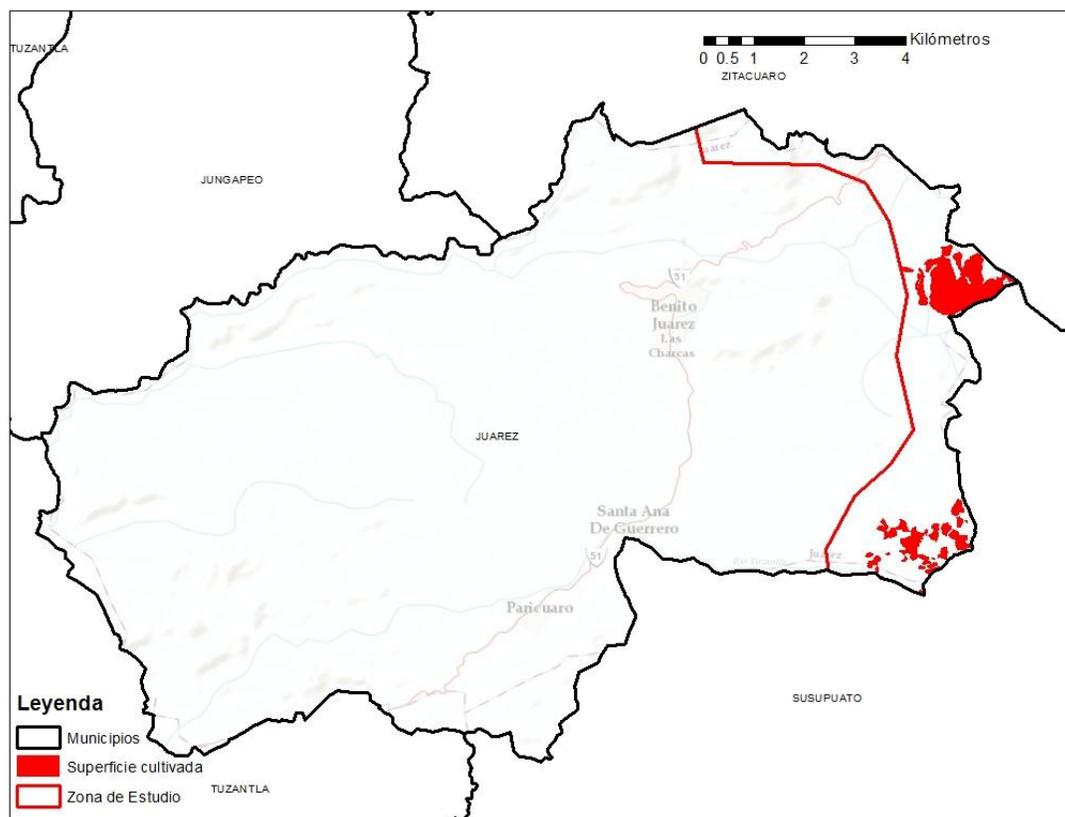


Figura 28. Municipio de Juárez. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 28 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción oriental del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el centro del municipio, debido a condiciones climáticas poco adecuadas para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 29. En ella se aprecia que solo en años muy recientes se ha introducido el cultivo de aguacate, y que su expansión ha sido más importante en los últimos 5 años.

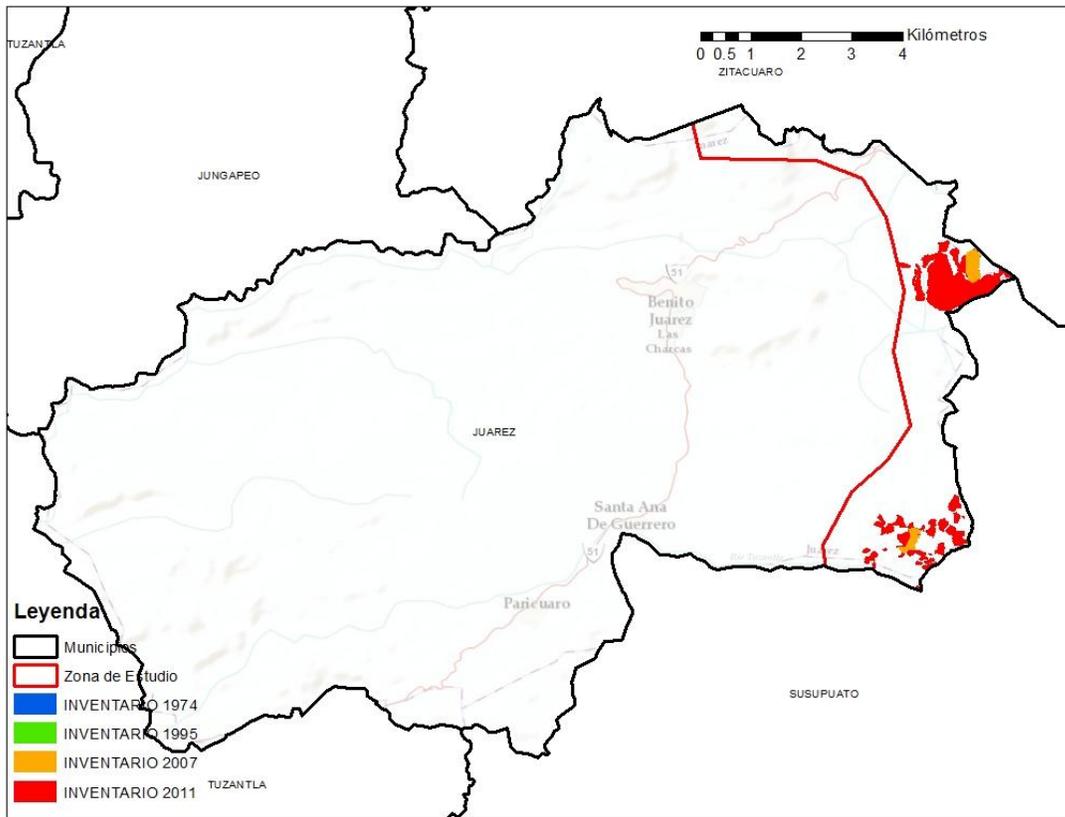


Figura 29. Municipio de Juárez. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Jungapeo

Superficie de cultivo en 2011: 14.57 hectáreas

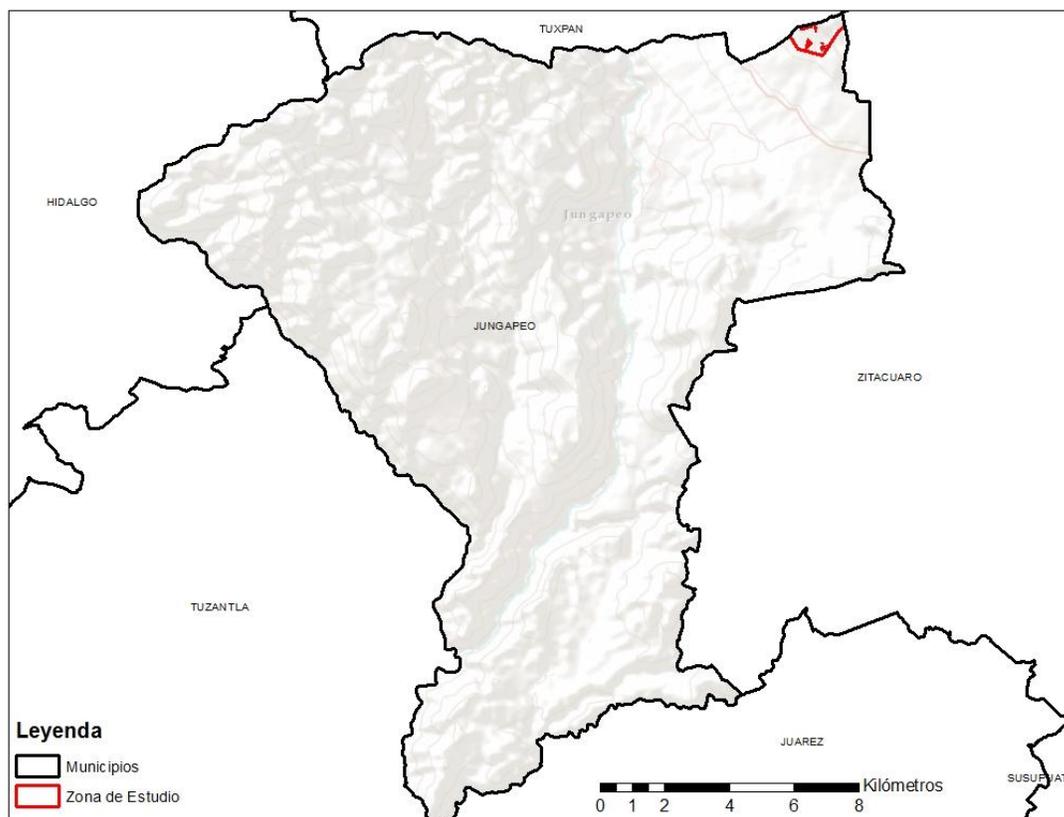


Figura 30. Municipio de Jungapeo. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 30 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción noreste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, principalmente porque existen ya otros cultivos frutales y porque las zonas más occidentales no son tan accesibles.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 31. En ella se aprecia que solo en años muy recientes se ha introducido el cultivo de aguacate, y que su expansión ha sido más importante en los últimos 5 años.

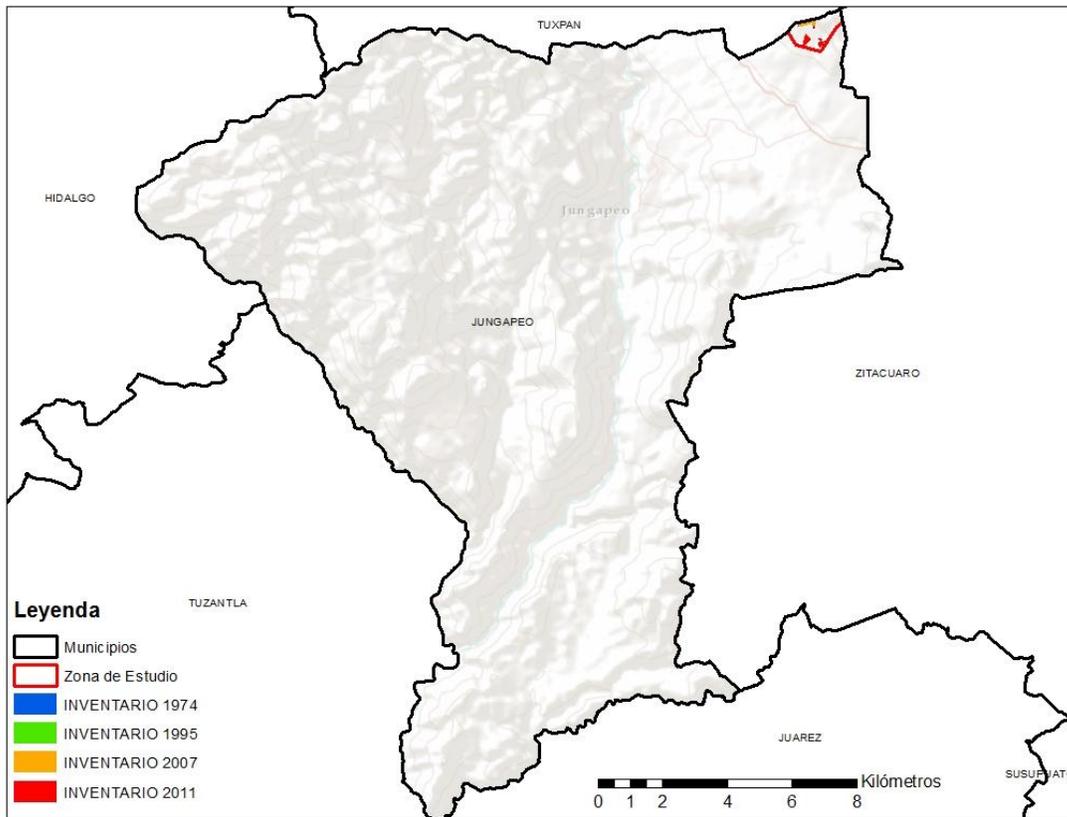


Figura 31. Municipio de Jungapeo. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Los Reyes

Superficie de cultivo en 2011: 5,769.03 hectáreas

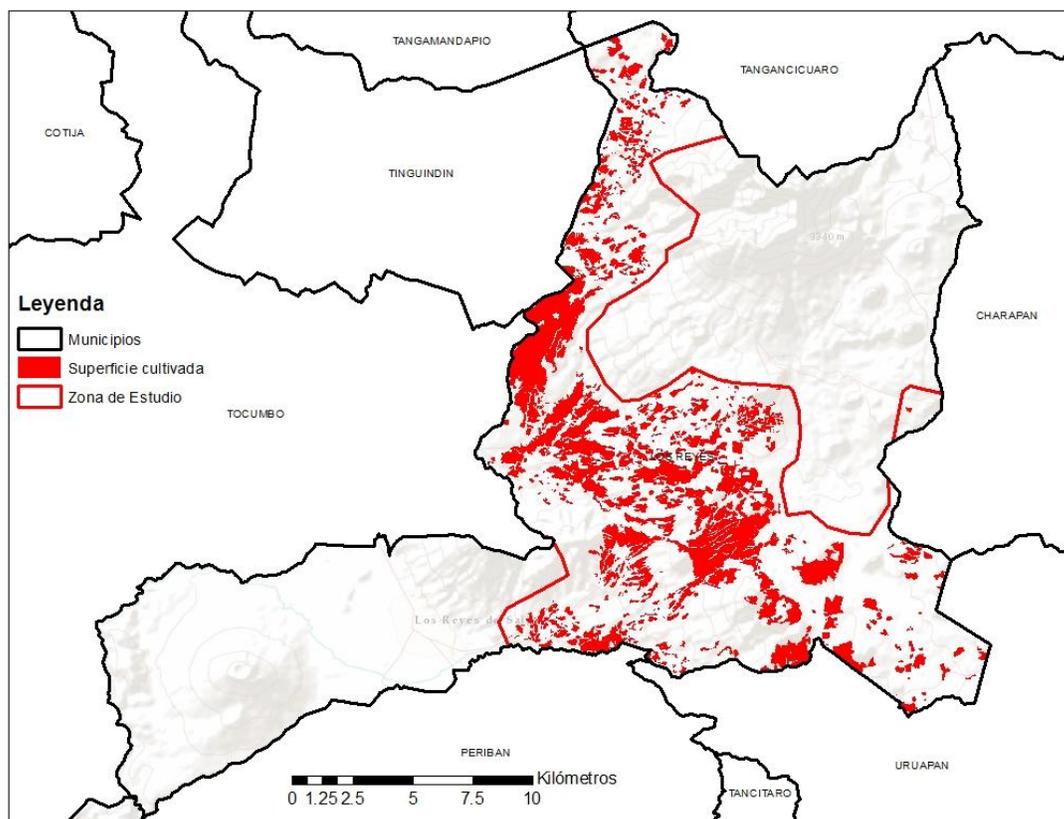


Figura 32. Municipio de Los Reyes. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 32 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción central del municipio. Es posible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, en la zona en donde estas llegan hasta dicho límite, hacia el centro del municipio.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 33. En ella se aprecia que desde 1974 ya existían algunas áreas de cultivo de aguacate, y que entre 1995 y 2007 la expansión fue significativa, continuando todavía en los últimos 5 años.

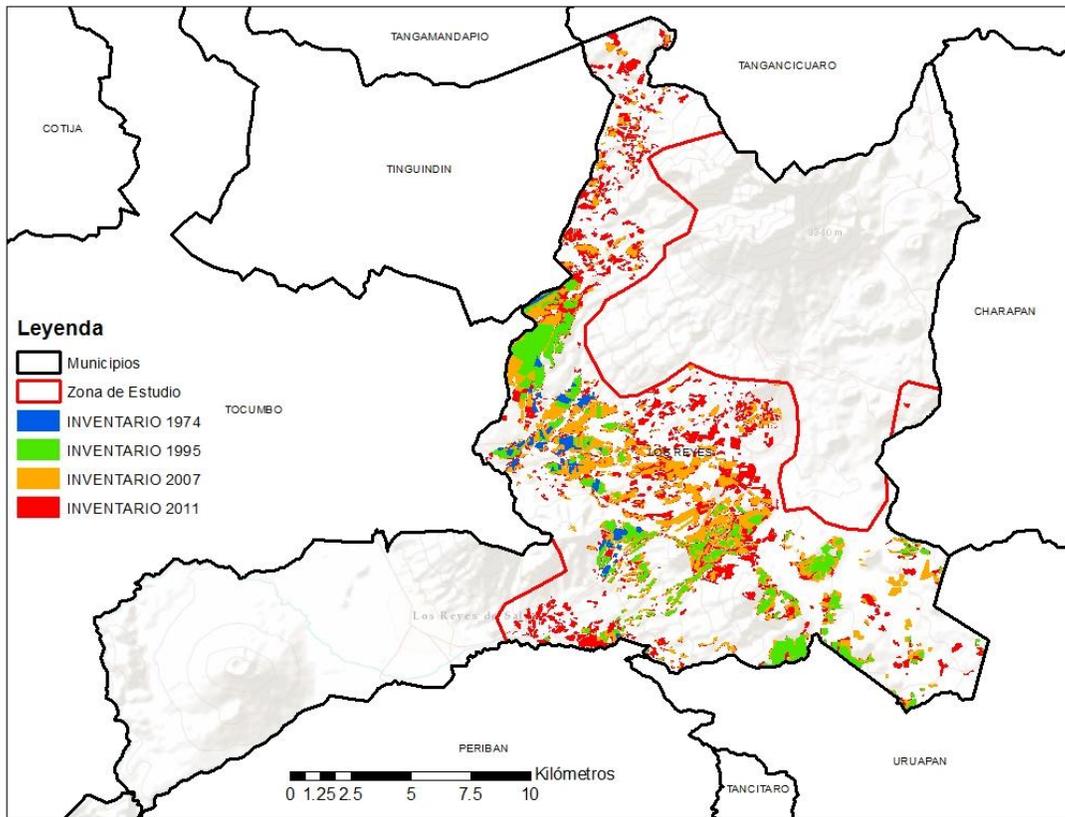


Figura 33. Municipio de Los Reyes. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Madero

Superficie de cultivo en 2011: 1,326.00 hectáreas

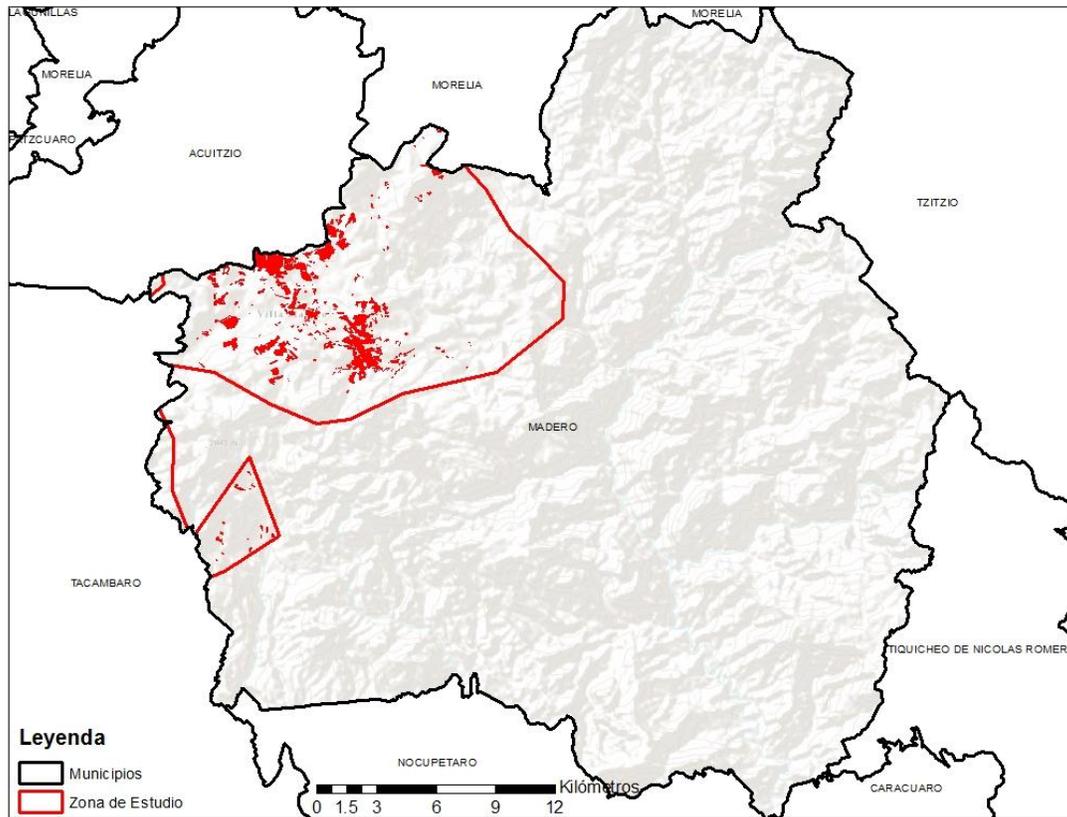


Figura 34. Municipio de Madero. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 34 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción noroeste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, debido a condiciones adversas de accesibilidad, hacia el centro del municipio.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 35. En ella se aprecia que desde 1974 ya existían algunas áreas de cultivo de aguacate, y que entre 1995 y 2007 la expansión fue significativa, continuando todavía en los últimos 5 años.

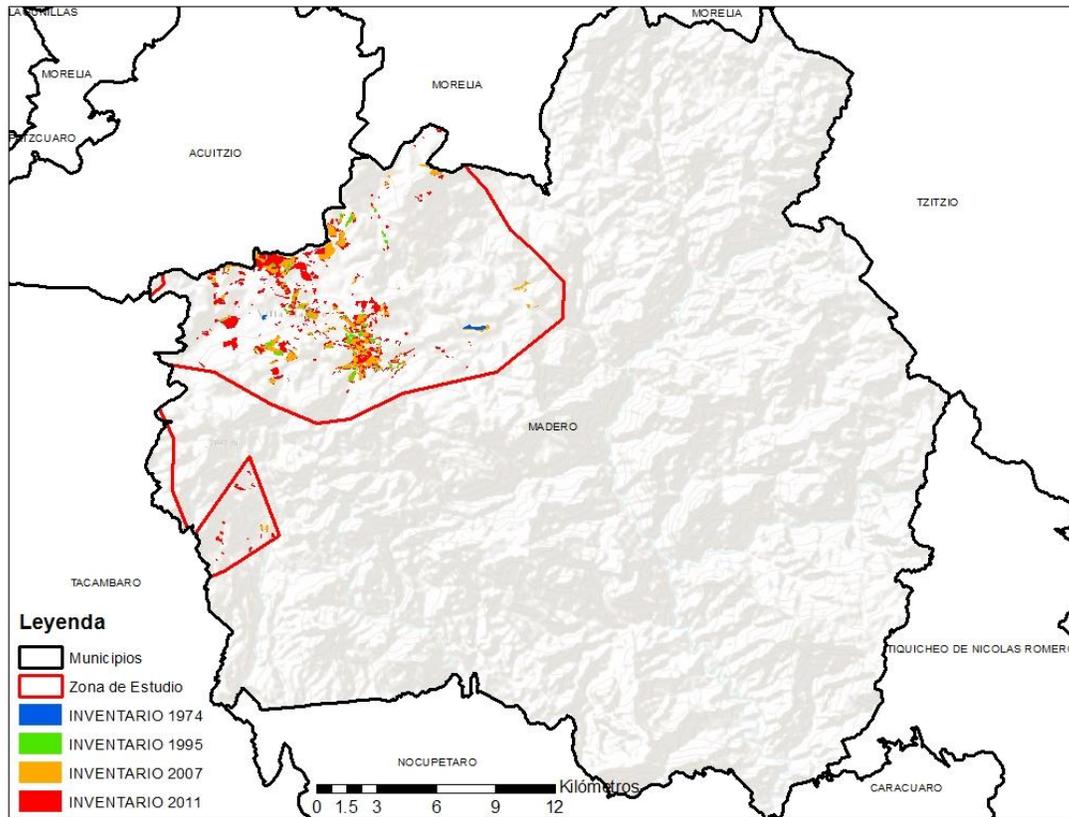


Figura 35. Municipio de Madero. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Morelia

Superficie de cultivo en 2011: 361.62 hectáreas

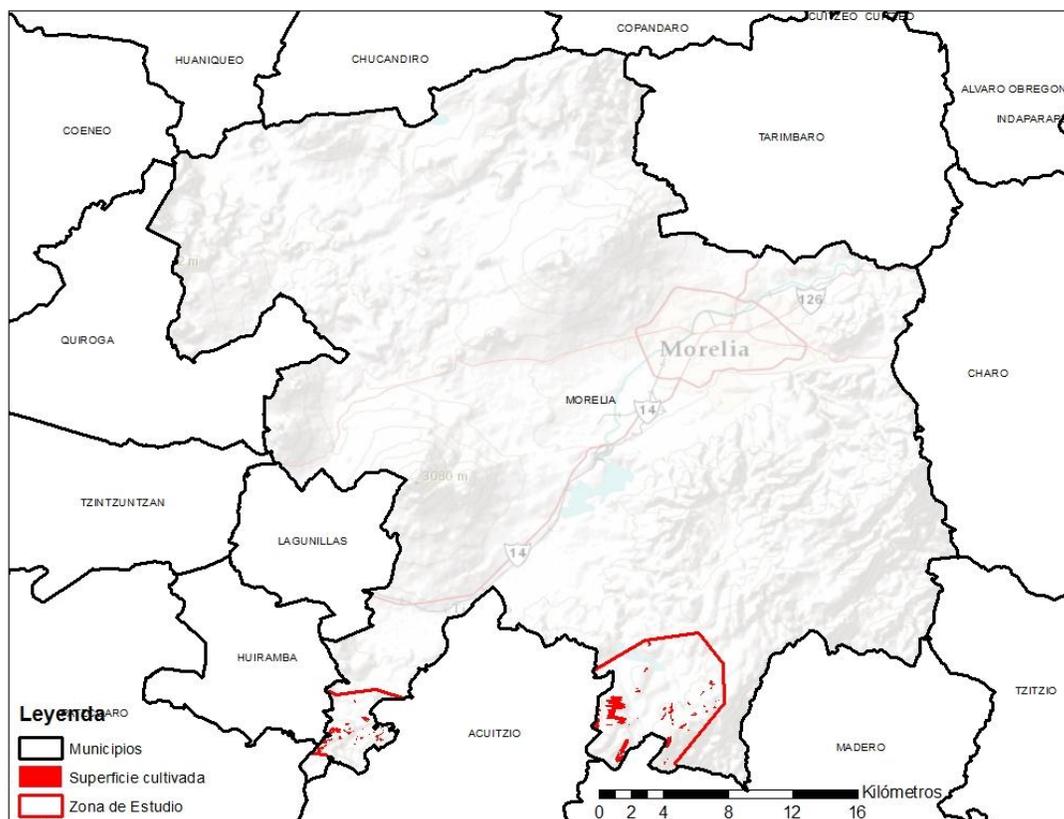


Figura 36. Municipio de Morelia. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 36 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción sur del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el centro del municipio.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 37. En ella se aprecia que solo en años muy recientes se ha introducido el cultivo de aguacate, y que su expansión ha sido poco importante en los últimos 5 años.

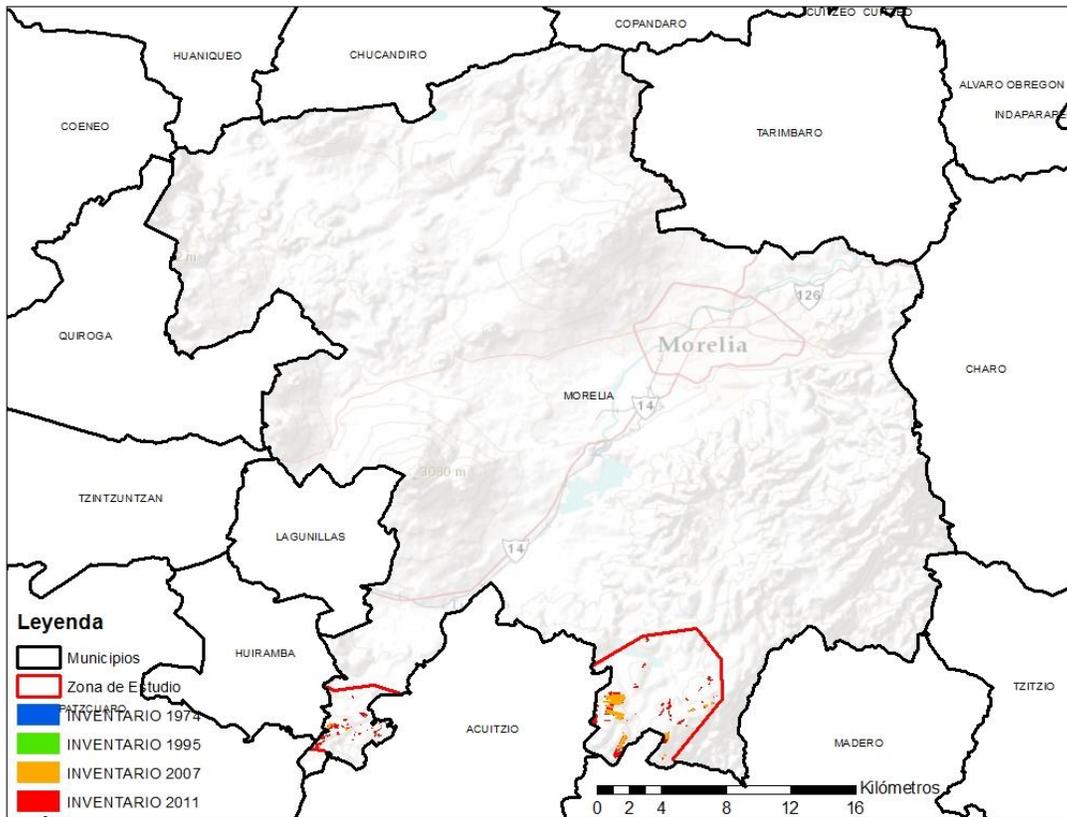


Figura 37. Municipio de Morelia. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Nuevo Parangaricutiro

Superficie de cultivo en 2011: 6,210.15 hectáreas

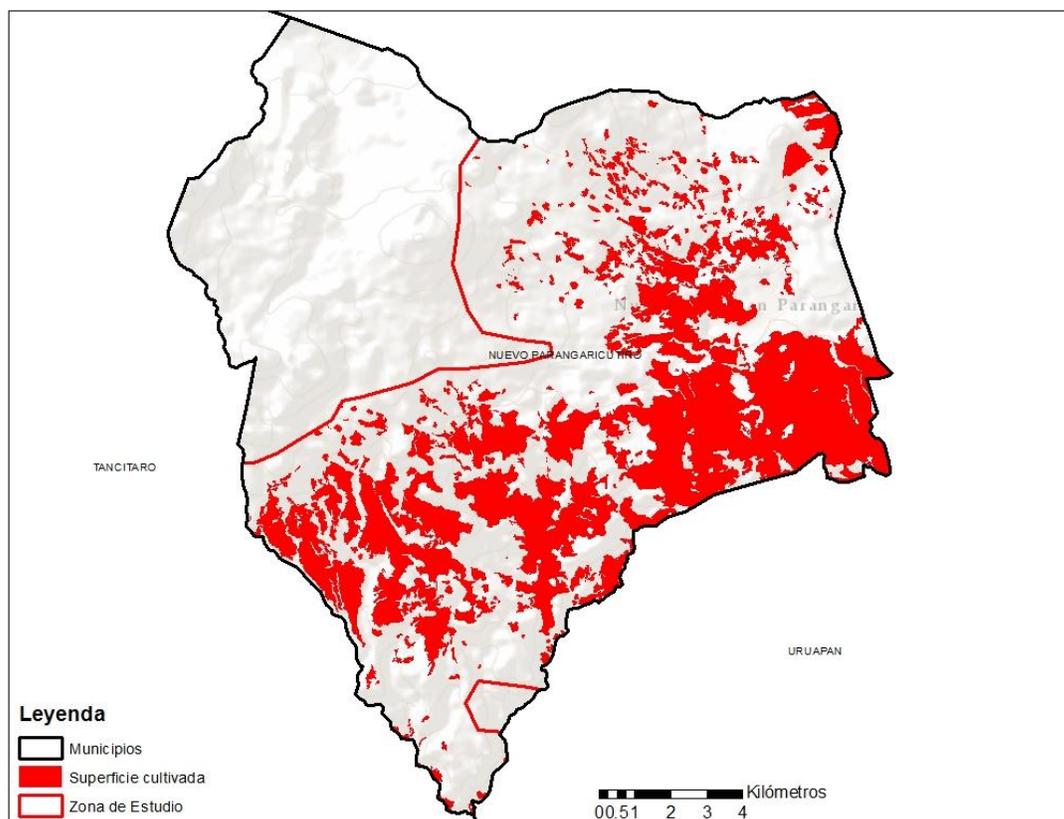


Figura 38. Municipio de Nuevo Parangaricutiro. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 38 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en las porciones centro sur y noreste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el noroeste del municipio, debido a condiciones climáticas poco adecuadas resultantes de una mayor elevación del terreno .

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 39. En ella se aprecia que desde 1974 ya existían áreas importantes de cultivo de aguacate, y que entre 1995 y 2007 la expansión fue significativa, aunque parece haber disminuido en los últimos 5 años.

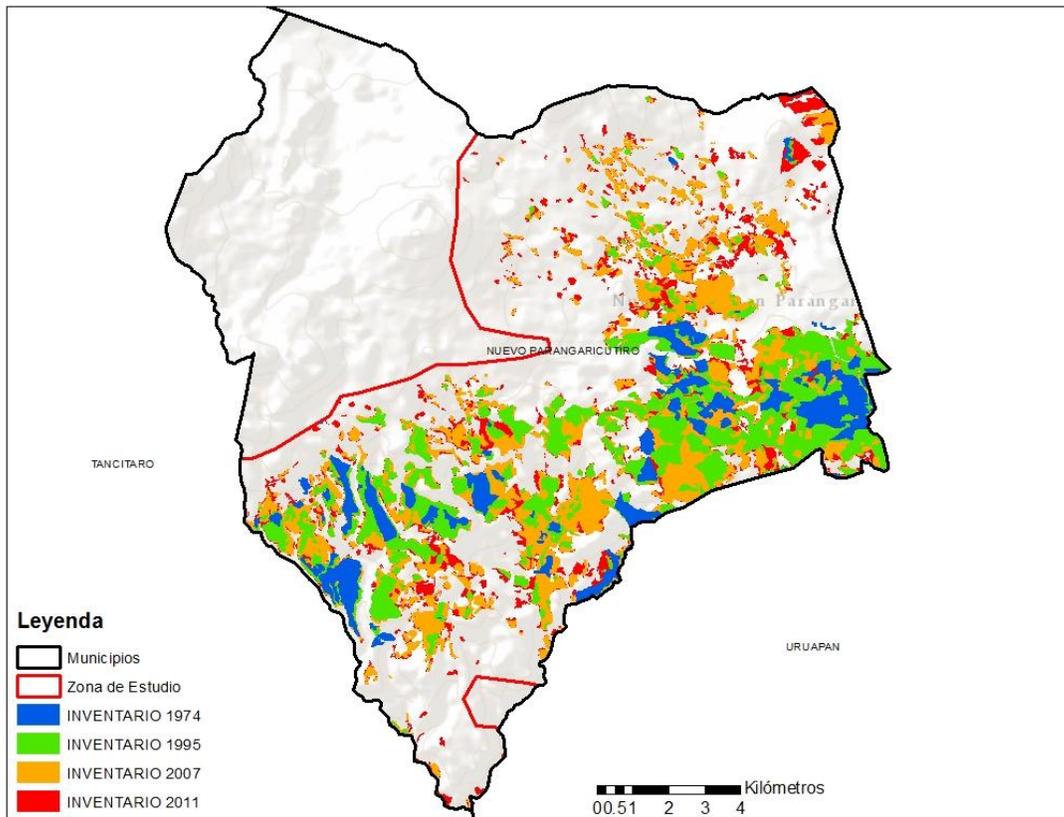


Figura 39. Municipio de Nuevo Parangaricutiro. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Nuevo Urecho

Superficie de cultivo en 2011: 66.37 hectáreas

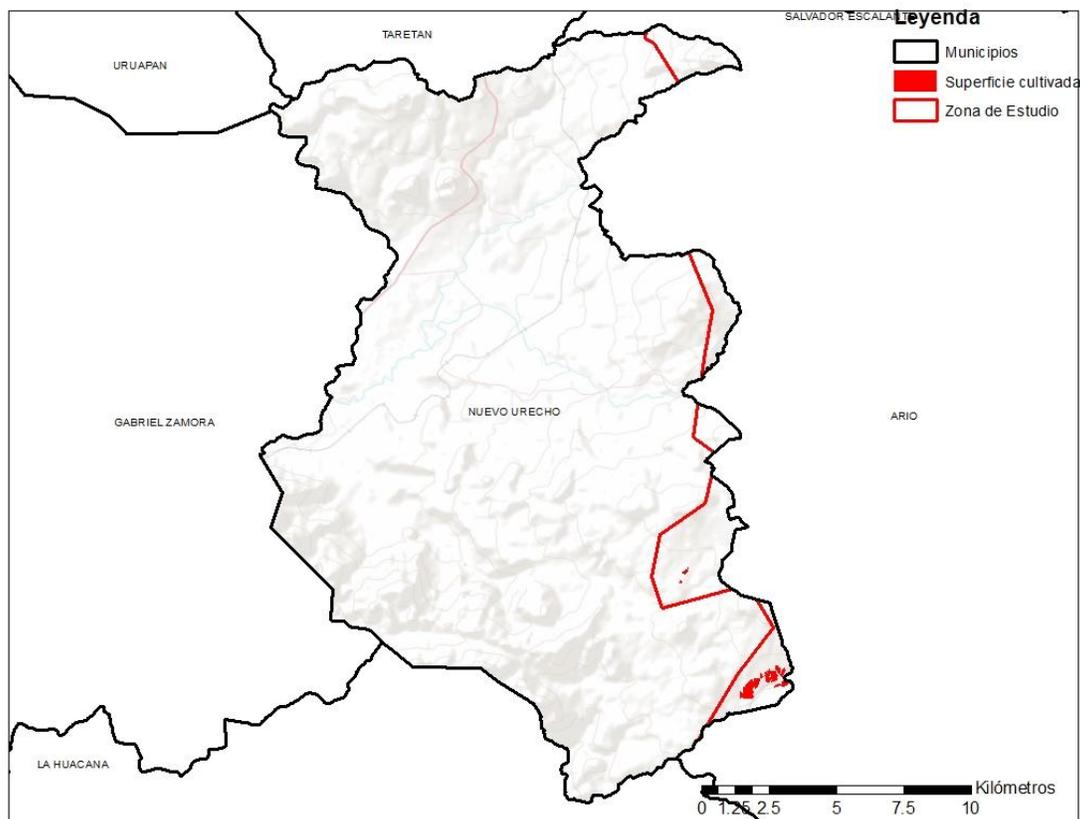


Figura 40. Municipio de Nuevo Urecho. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 40 se observa que las pocas áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción sureste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco adecuadas resultantes de una baja elevación del terreno.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 41. En ella se aprecia que solo en años muy recientes se ha introducido el cultivo de aguacate, y que su expansión ha sido más importante en los últimos 5 años.

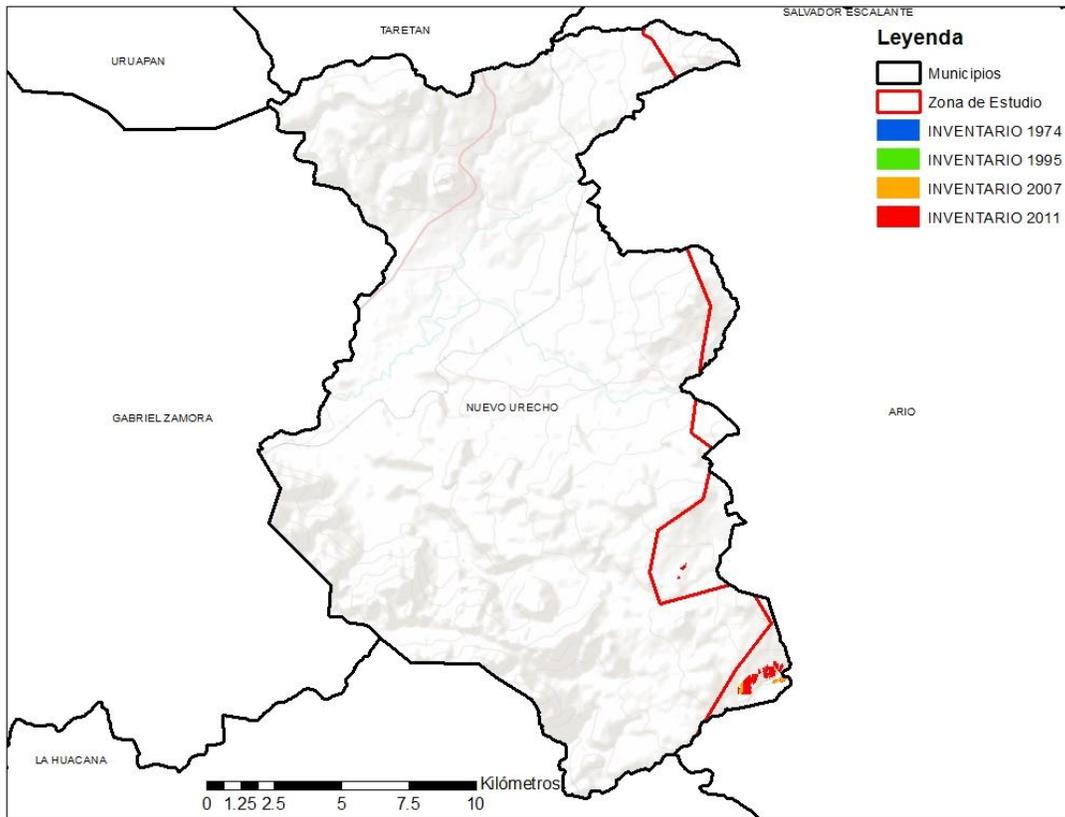


Figura 41. Municipio de Nuevo Urecho. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Ocampo

Superficie de cultivo en 2011: 50.25 hectáreas

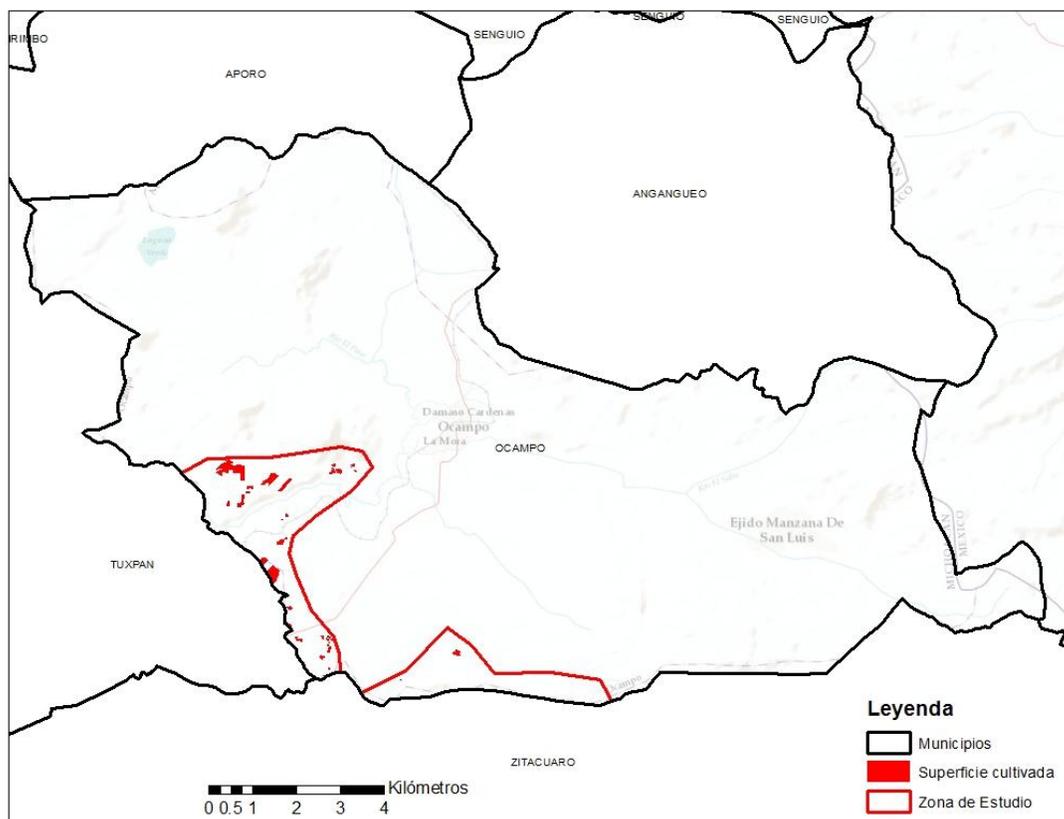


Figura 42. Municipio de Ocampo. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 42 se observa que las pocas áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción sureste del municipio. Es posible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 43. En ella se aprecia que solo en años muy recientes se ha introducido el cultivo de aguacate, y que su expansión ha sido más importante en los últimos 5 años.

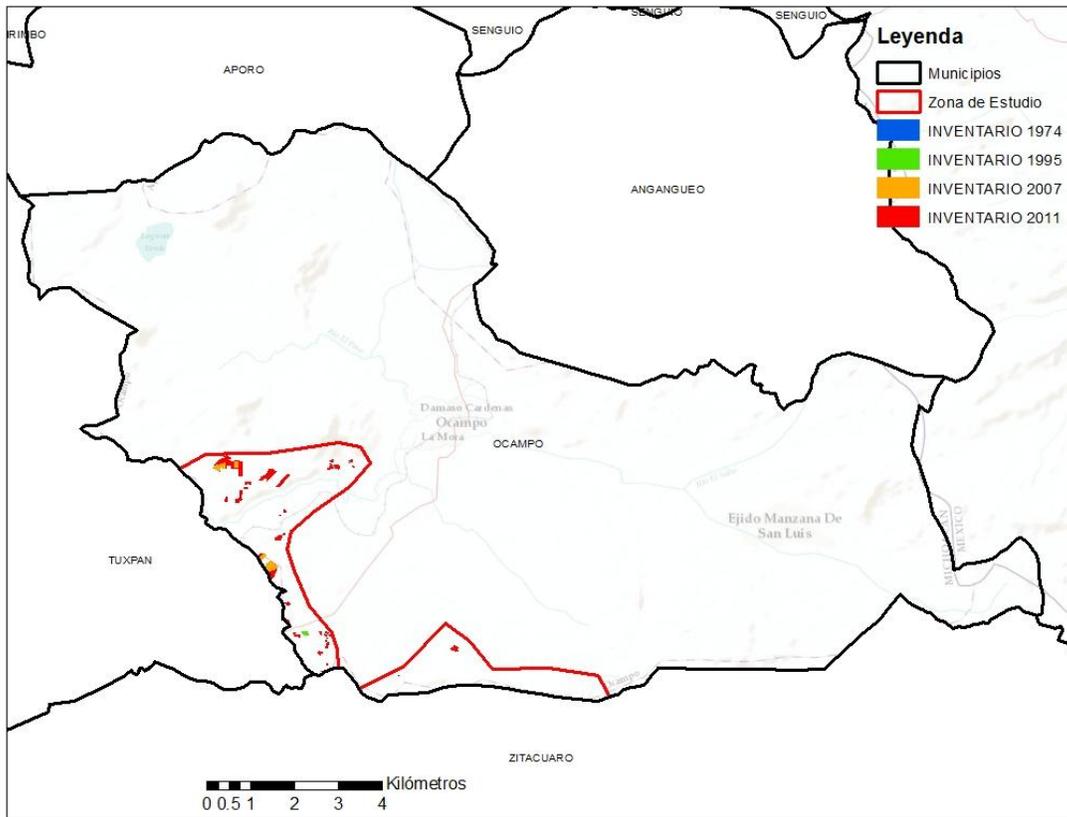


Figura 43. Municipio de Ocampo. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Paracuaro

Superficie de cultivo en 2011: 35.15 hectáreas

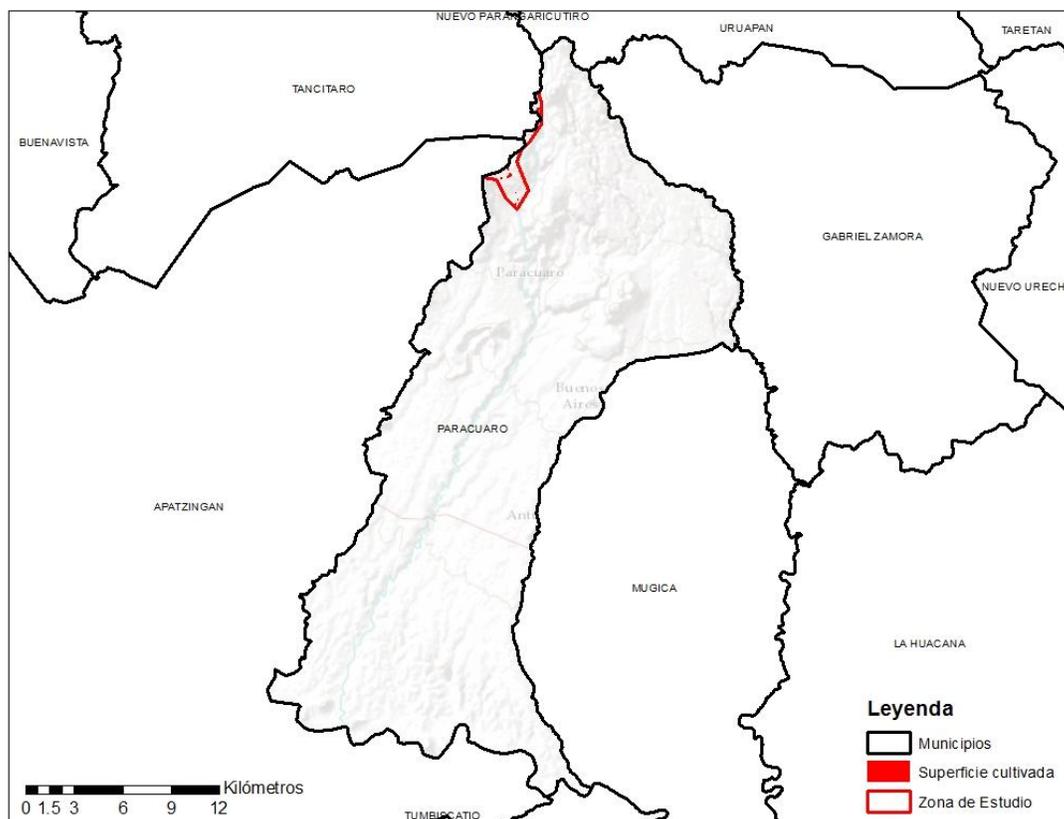


Figura 44. Municipio de Paracuaro. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 44 se observa que las pocas áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción norte del municipio. No es factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco adecuadas para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 45. En ella se aprecia que aun cuando ya existían áreas de cultivo de aguacate en 1974, solo en años muy recientes se ha expandido.

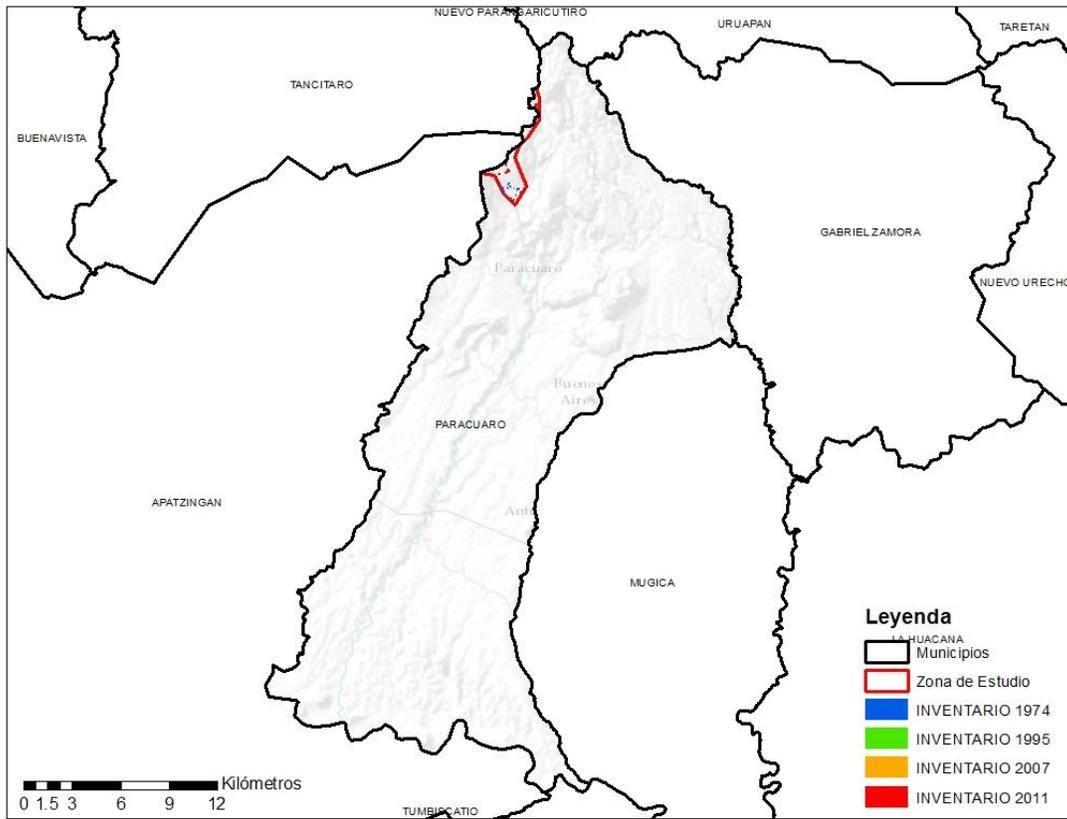


Figura 45. Municipio de Paracuaro. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Pátzcuaro

Superficie de cultivo en 2011: 674.18 hectáreas

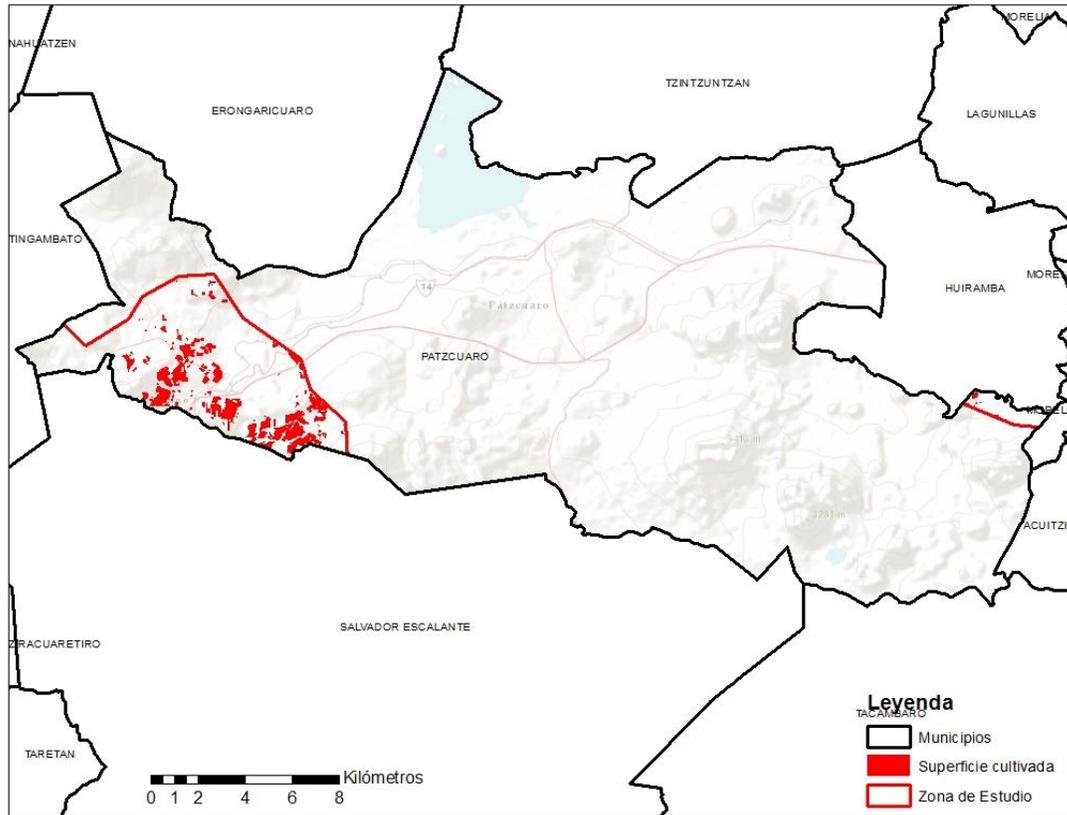


Figura 46. Municipio de Pátzcuaro. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 46 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción occidental del municipio. Es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, en las porciones en donde el cultivo llega hasta el límite.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 47. En ella se aprecia que aun cuando ya existían áreas de cultivo de aguacate en 1995, solo en años muy recientes se ha dado una expansión importante.

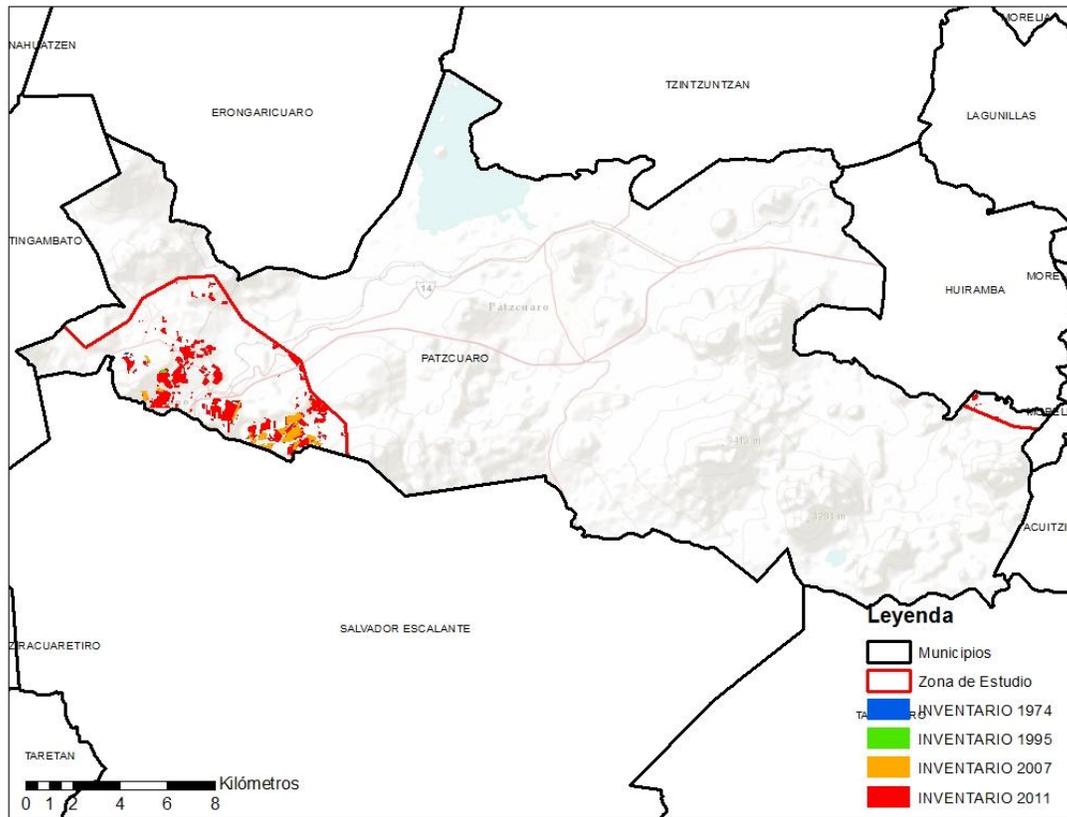


Figura 47. Municipio de Pátzcuaro. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Peribán

Superficie de cultivo en 2011: 10,149.72 hectáreas

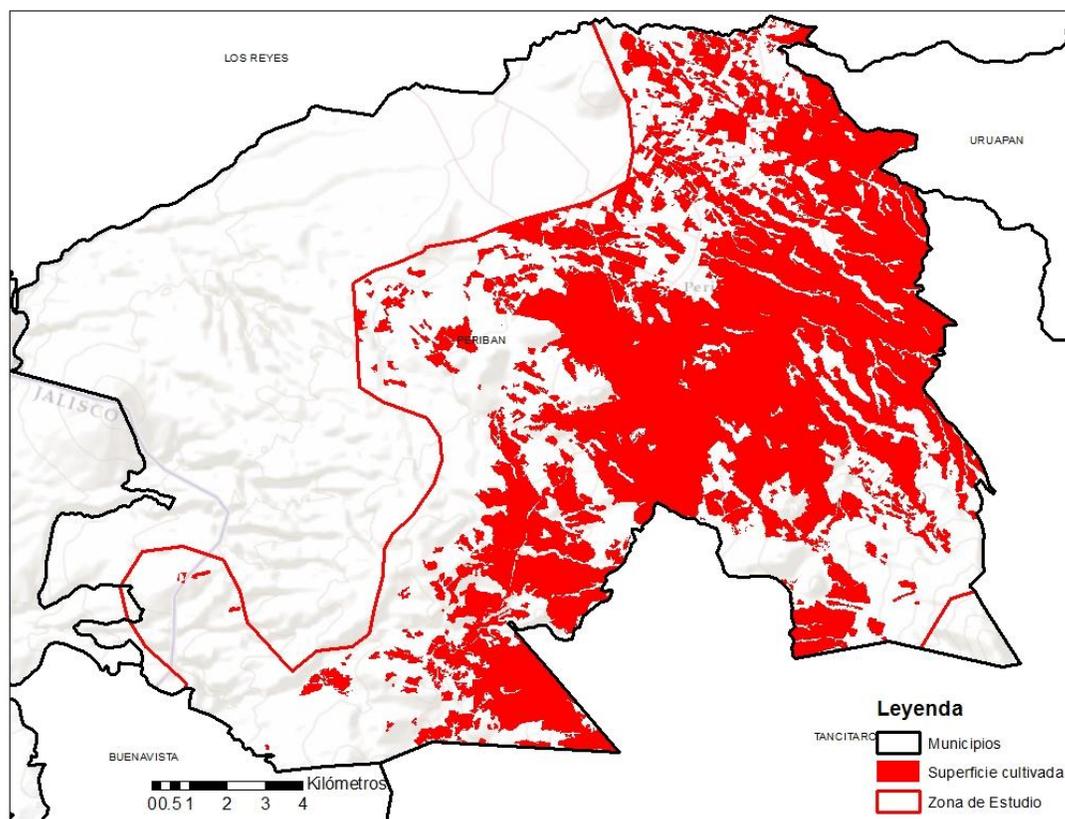


Figura 48. Municipio de Peribán. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 48 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la mitad oriental del municipio. Es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, en las porciones en donde el cultivo llega hasta el límite, especialmente en la región noroeste.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 49. En ella se aprecia que desde 1974 ya existían áreas importantes de cultivo de aguacate, y que hasta 1995, la expansión fue significativa, reduciéndose hacia 2007, aunque parece haberse renovado en los últimos 5 años.

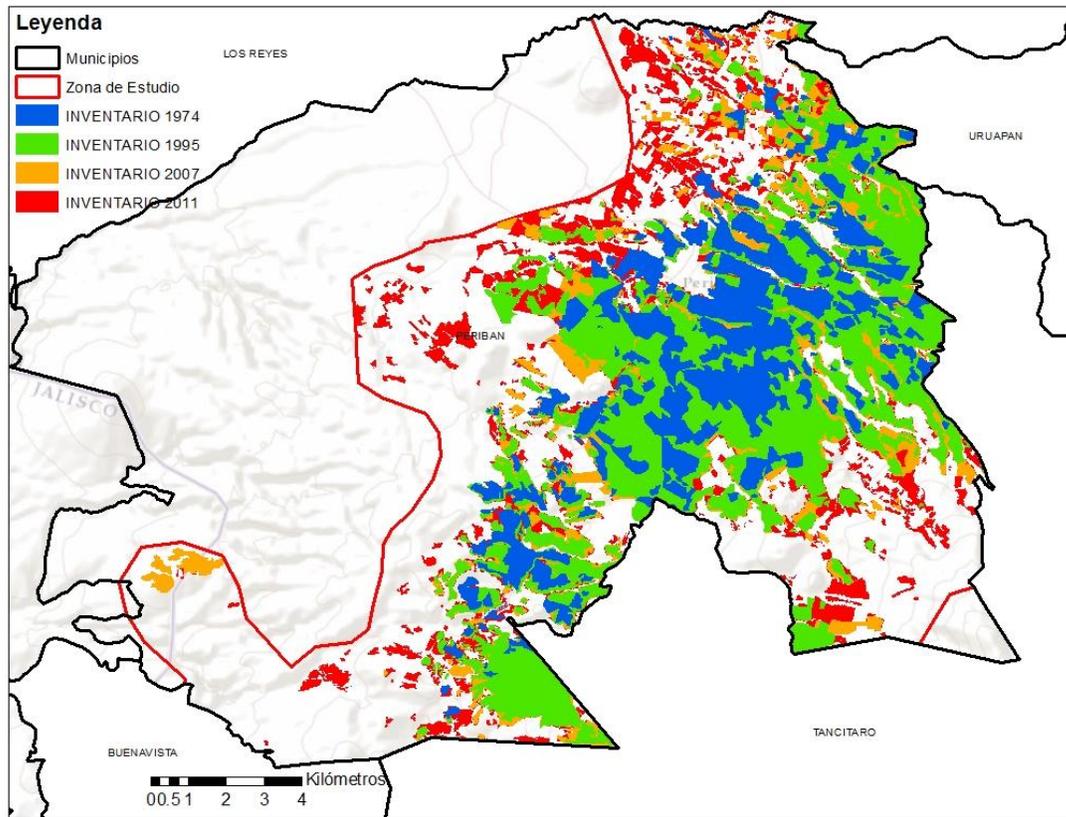


Figura 49. Municipio de Peribán. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Salvador Escalante

Superficie de cultivo en 2011: 12,363.84 hectáreas

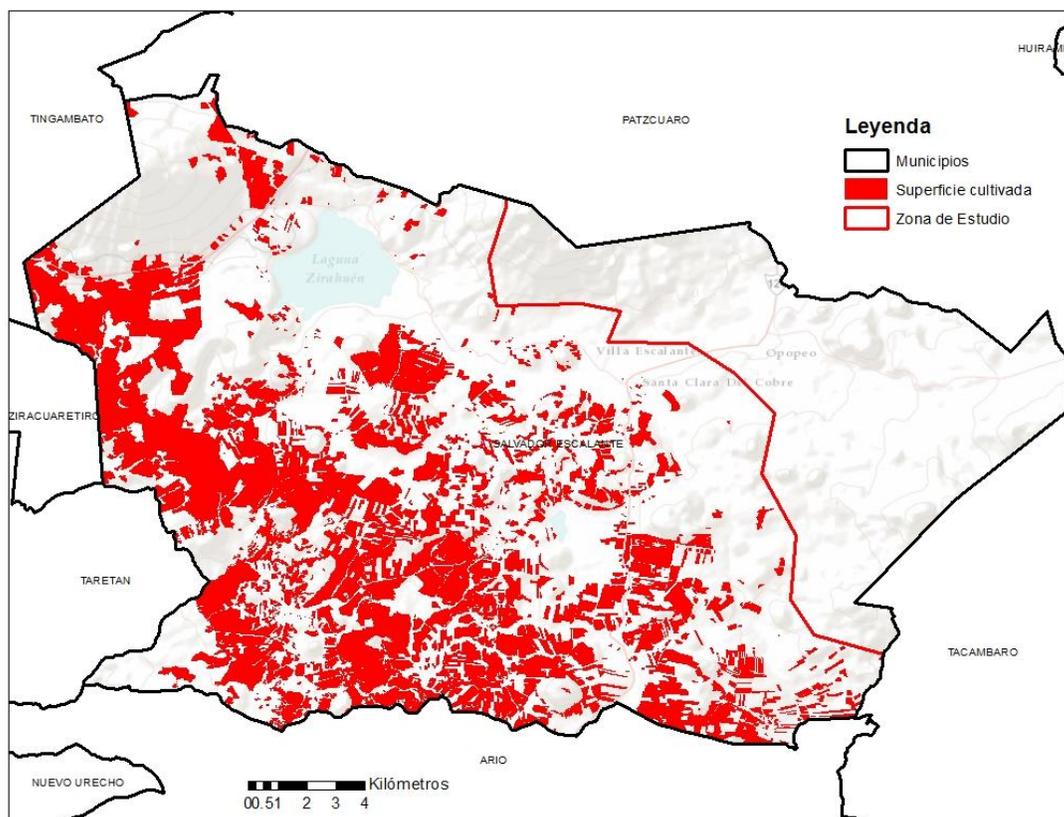


Figura 50. Municipio de Salvador Escalante. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 50 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la mitad occidental del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite oriental de la zona estudiada, hacia el oriente del municipio.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 51. En ella se aprecia que desde 1974 ya existían algunas áreas de cultivo de aguacate, y que desde entonces la expansión ha sido significativa, sin que parezca existir una reducción en este proceso.

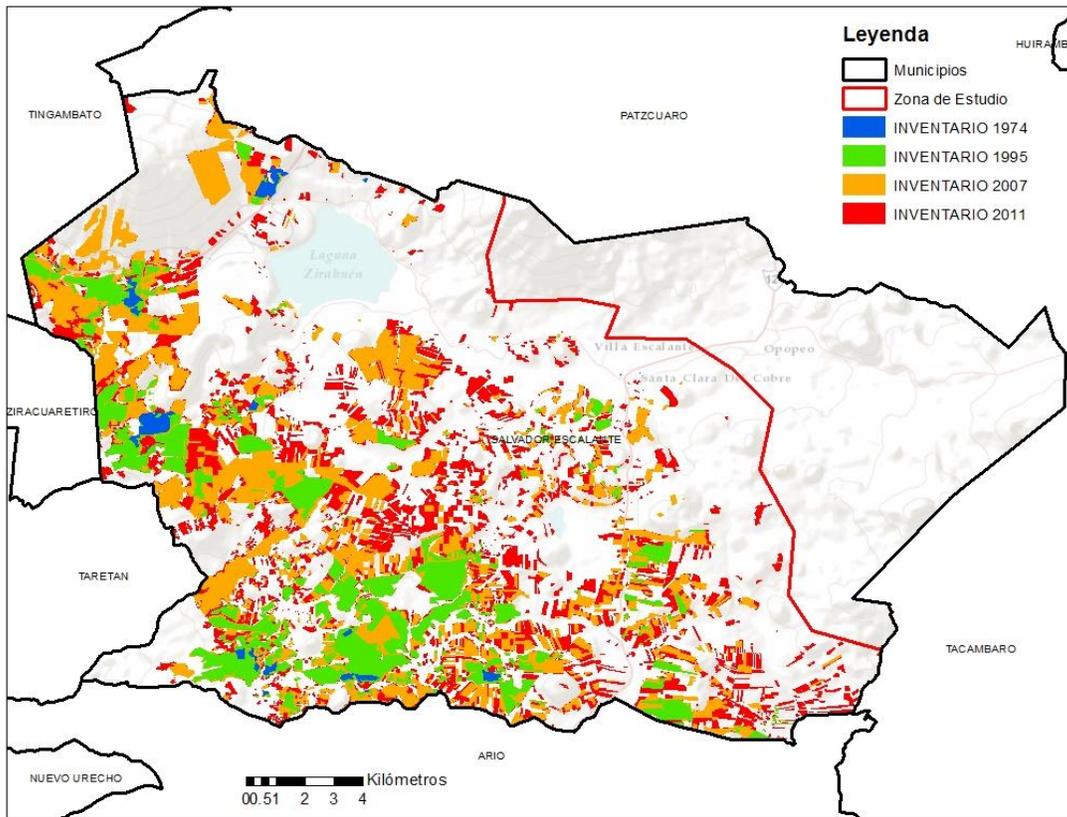


Figura 51. Municipio de Salvador Escalante. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Susupuato

Superficie de cultivo en 2011: 412.69 hectáreas

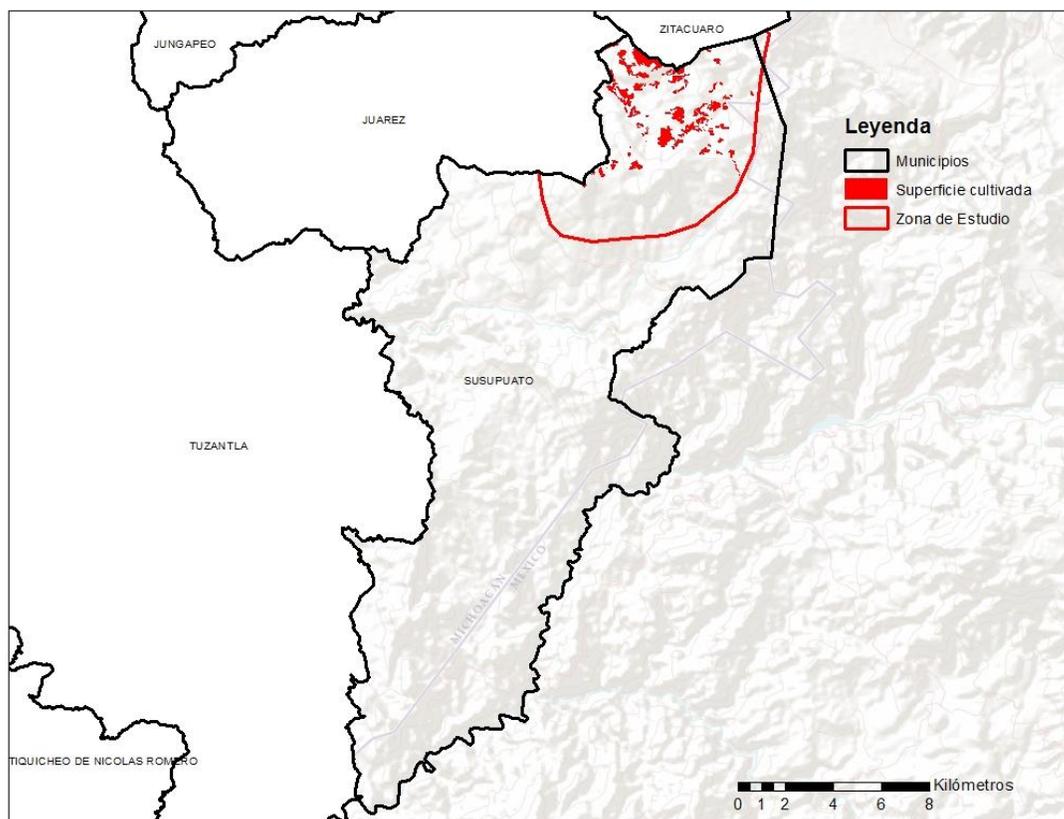


Figura 52. Municipio de Susupuato. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 52 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción norte del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco favorables para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 53. En ella se aprecia que, con excepción de una pequeña área, la introducción del cultivo ha tenido lugar en los últimos 5 años.

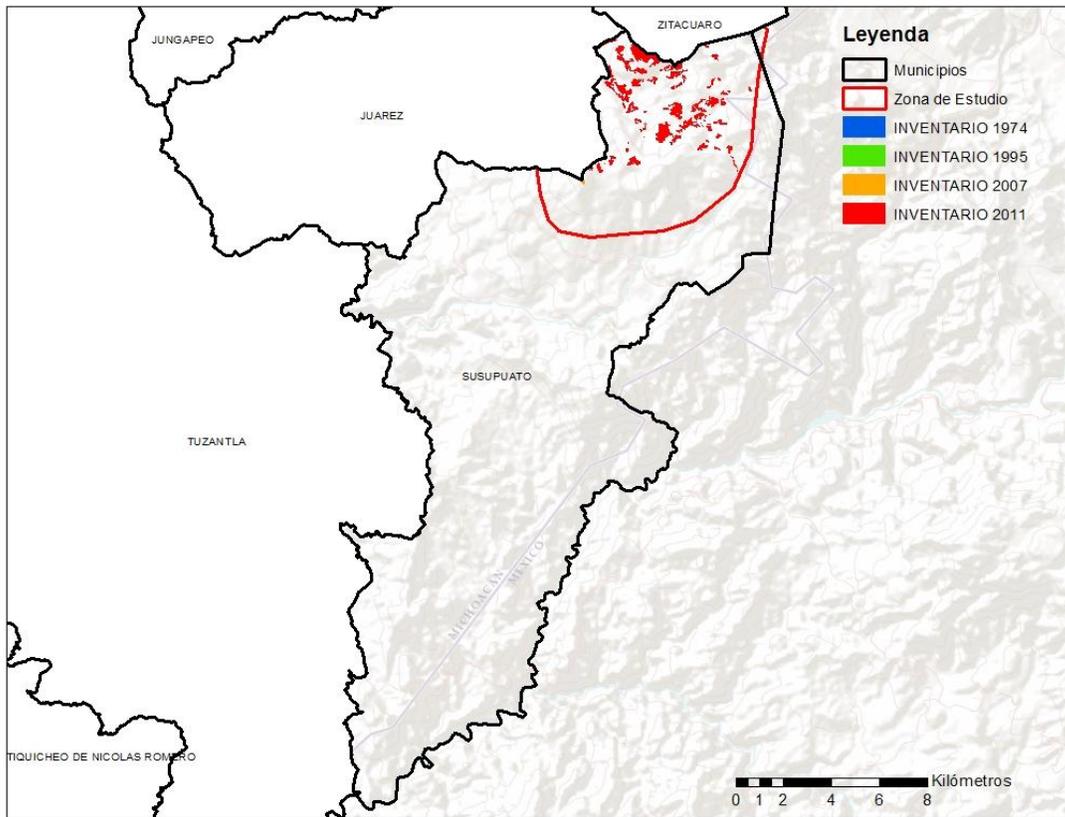


Figura 53. Municipio de Susupuato. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Tacámbaro

Superficie de cultivo en 2011: 18,558.51 hectáreas

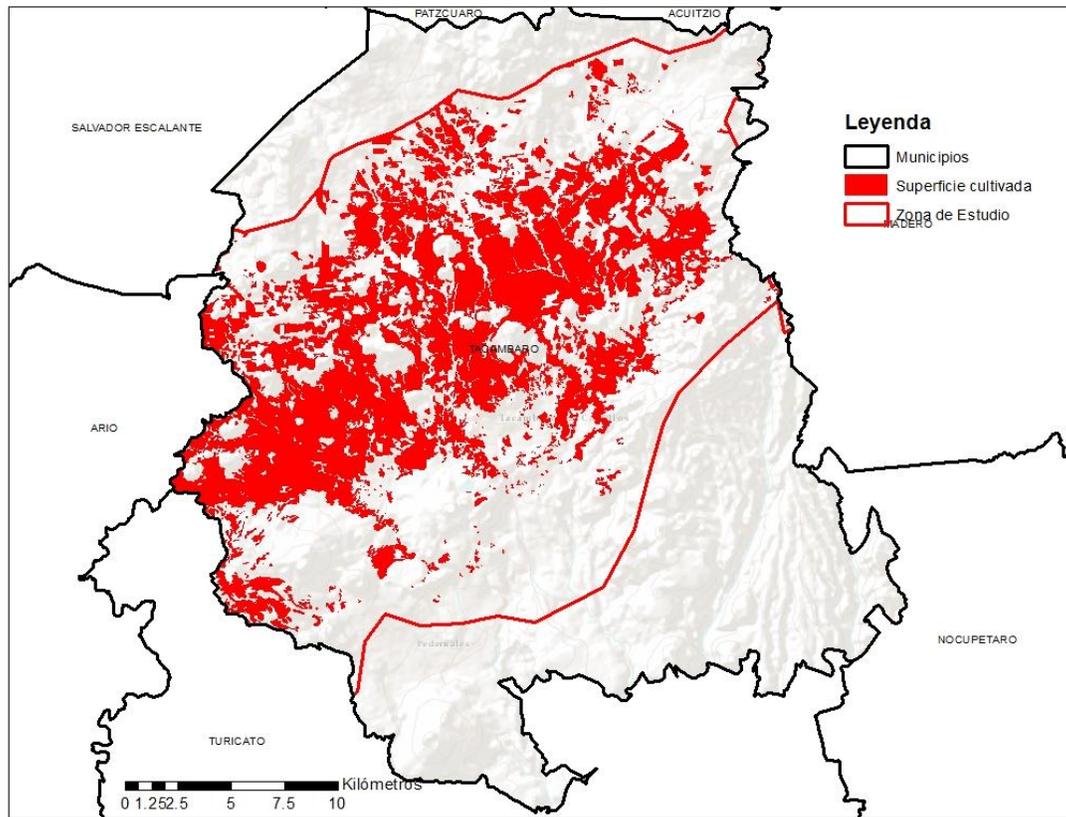


Figura 54. Municipio de Tacámbaro. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 54 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción central del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, con excepción de la zona del límite noroeste, debido a condiciones climáticas poco favorables para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 55. En ella se aprecia que desde 1974 existían áreas importantes de cultivo de aguacate, y que la mayor expansión tuvo lugar desde entonces y hasta 2007, aunque todavía parece tener importancia pero a un ritmo más reducido.

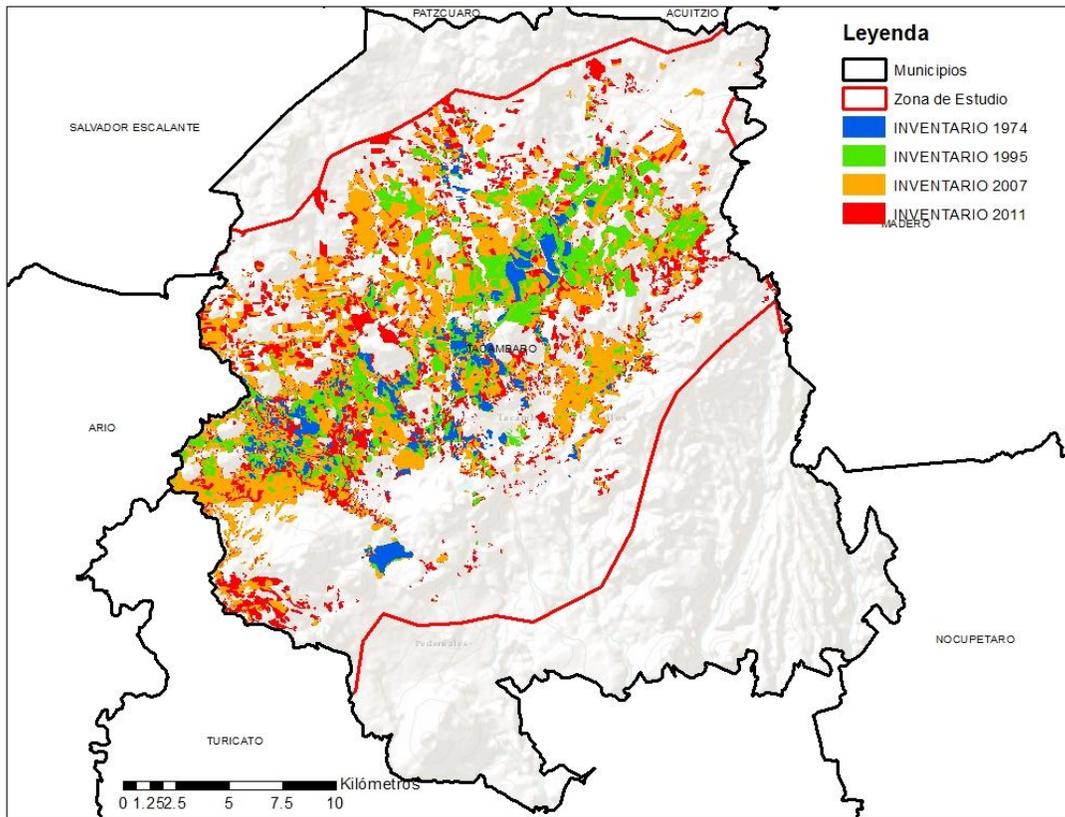


Figura 55. Municipio de Tacámbaro. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Tancítaro

Superficie de cultivo en 2011: 26,570.27 hectáreas

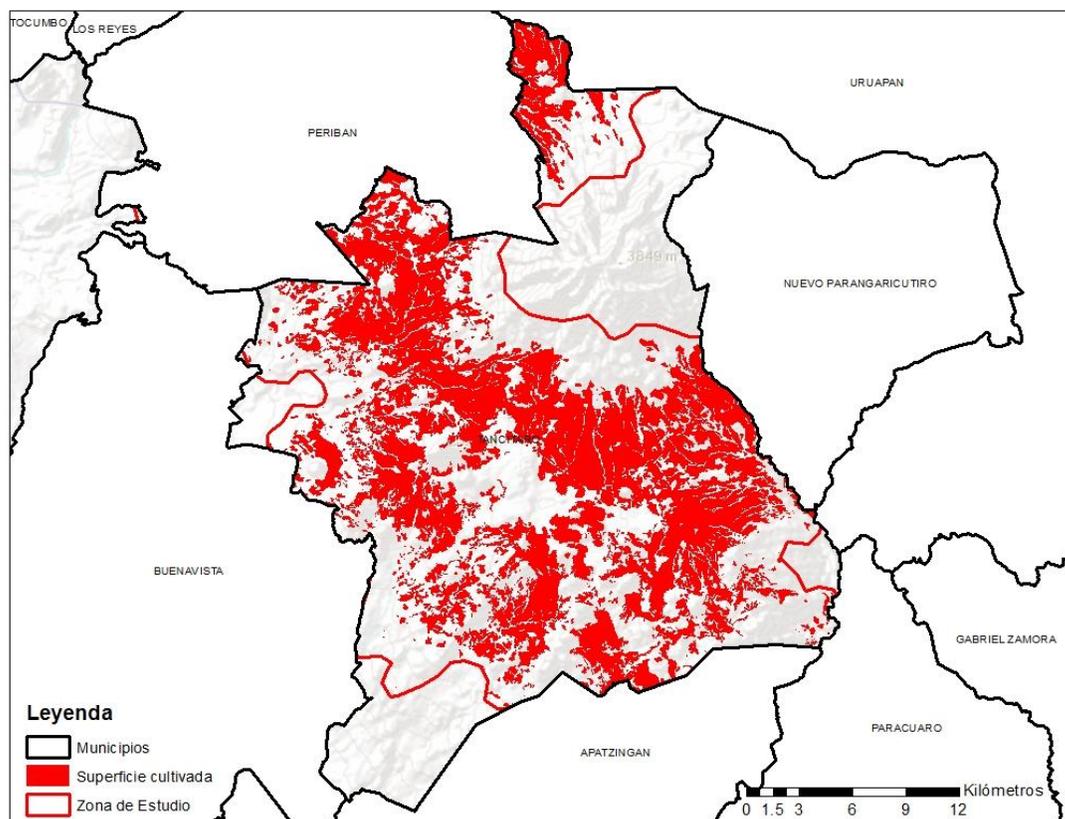


Figura 56. Municipio de Tancítaro. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 56 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se hallan en casi todo el territorio del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco favorables para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 57. En ella se aprecia que desde 1974 existían algunas áreas de cultivo de aguacate, y que la mayor expansión parece haber tenido lugar desde entonces y hasta 1995, continuando hacia el 2007 y el 2011 pero a un ritmo cada vez más reducido.

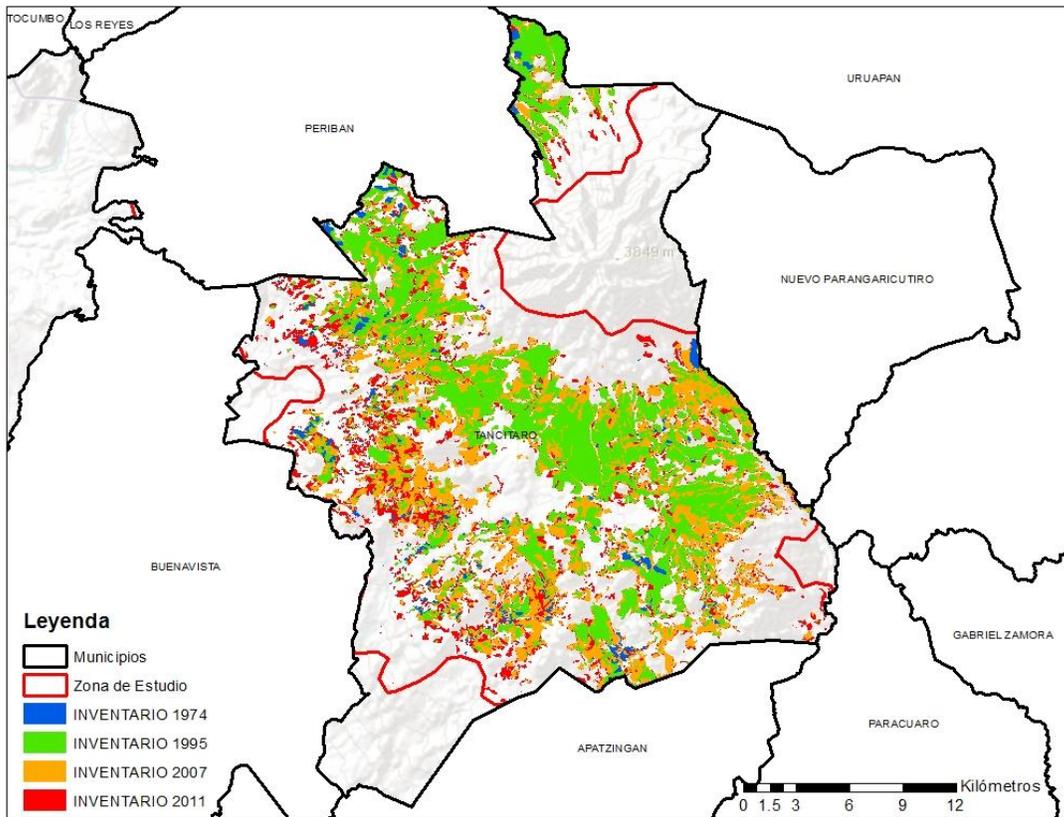


Figura 57. Municipio de Tancítaro. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Tangamandapio

Superficie de cultivo en 2011: 2,168.01 hectáreas

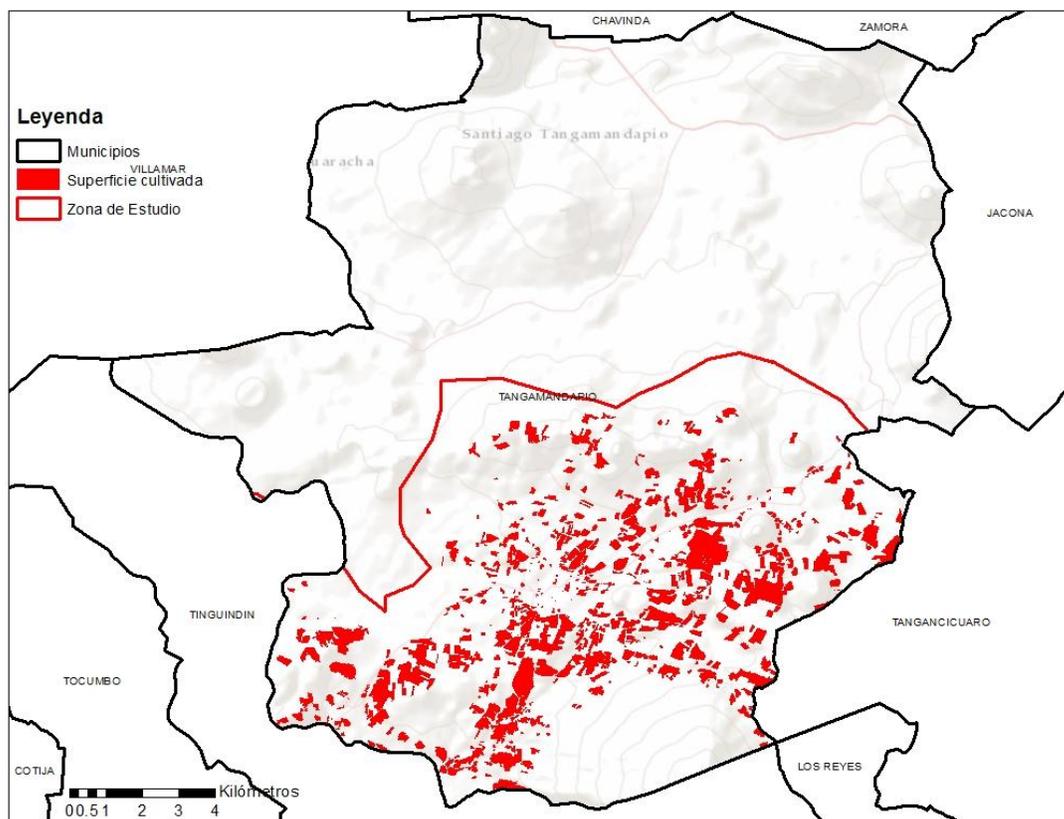


Figura 58. Municipio de Tangamandapio. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 58 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción sur y sureste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco favorables para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 59. En ella se aprecia que desde 1974 existían algunas áreas de cultivo de aguacate, y que hacia 1995 había habido una expansión significativa, la que ha continuado hacia el 2007 y el 2011 de manera importante.

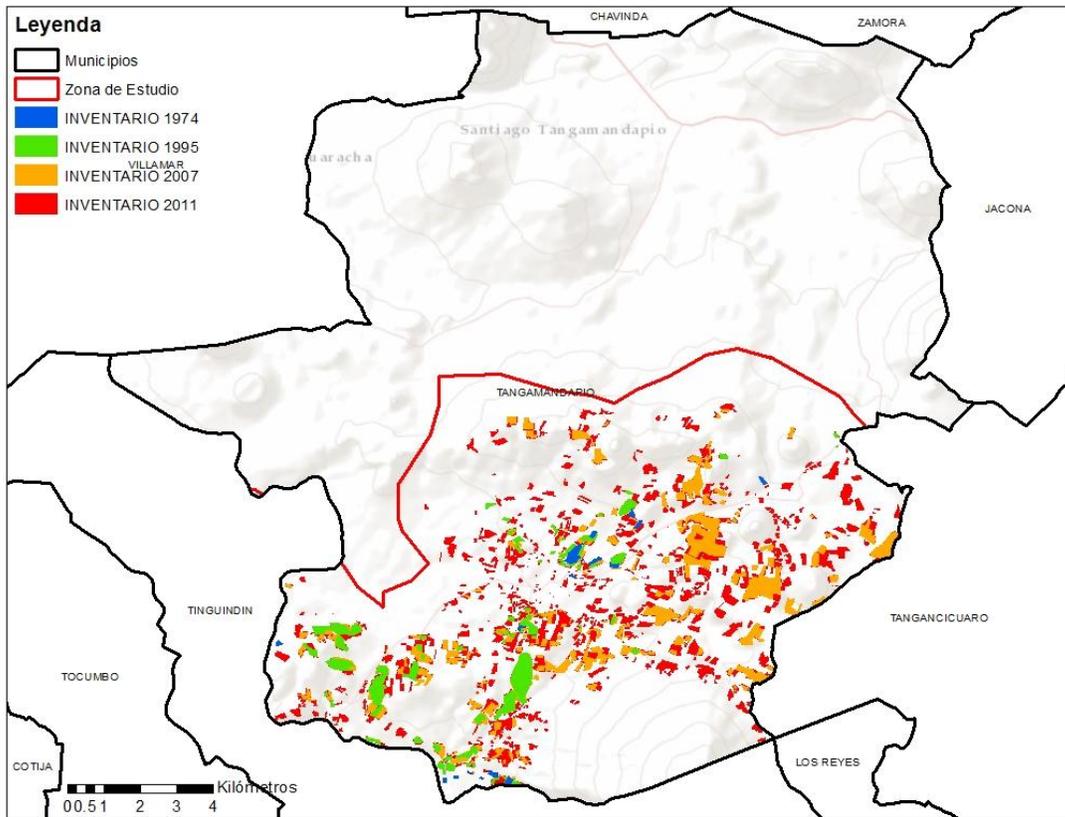


Figura 59. Municipio de Tangamandapio. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Tangancícuaro

Superficie de cultivo en 2011: 1,008.80 hectáreas

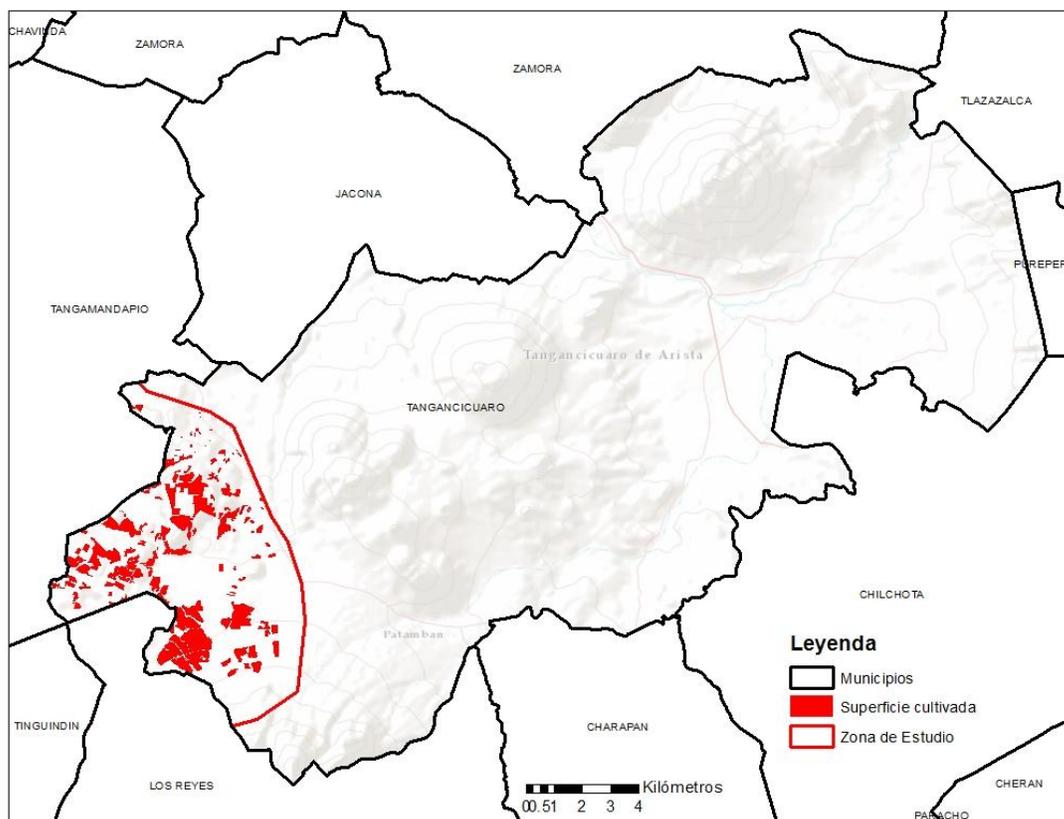


Figura 60. Municipio de Tangancícuaro. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 60 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción oriental del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco favorables para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 61. En ella se aprecia que el cultivo se introdujo solamente en la última década con una expansión importante.

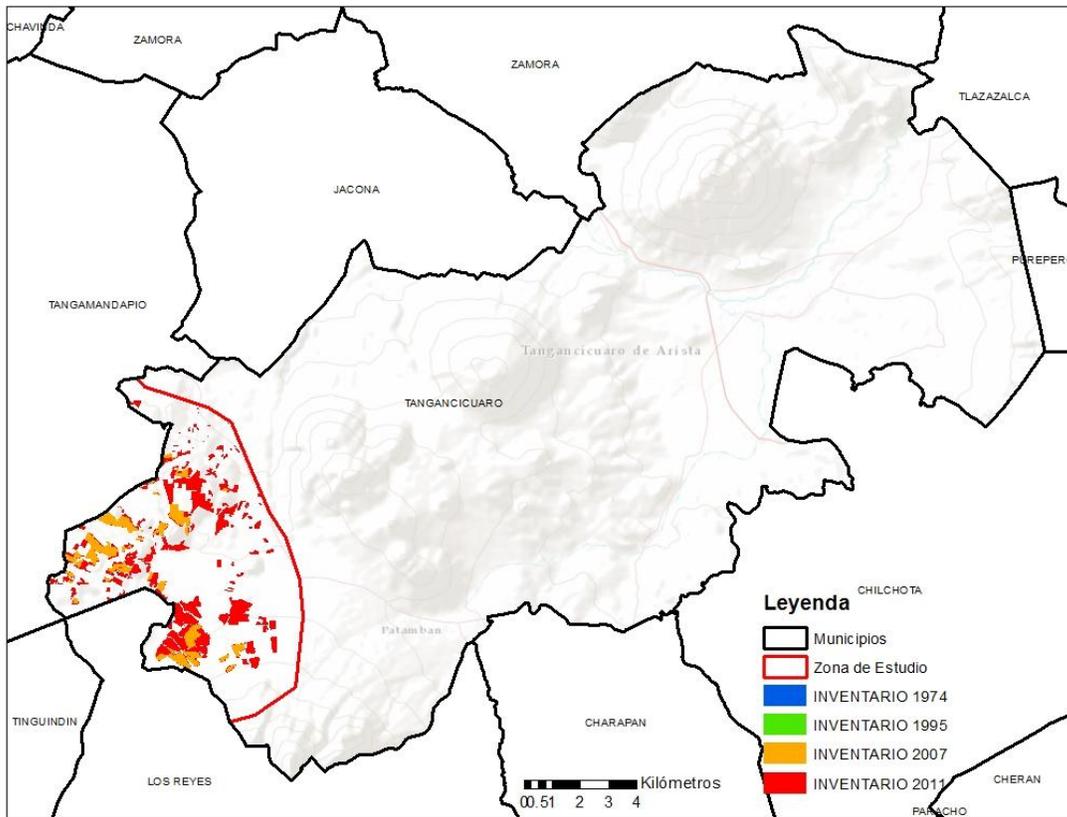


Figura 61. Municipio de Tangancicuaro. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Taretan

Superficie de cultivo en 2011: 566.92 hectáreas

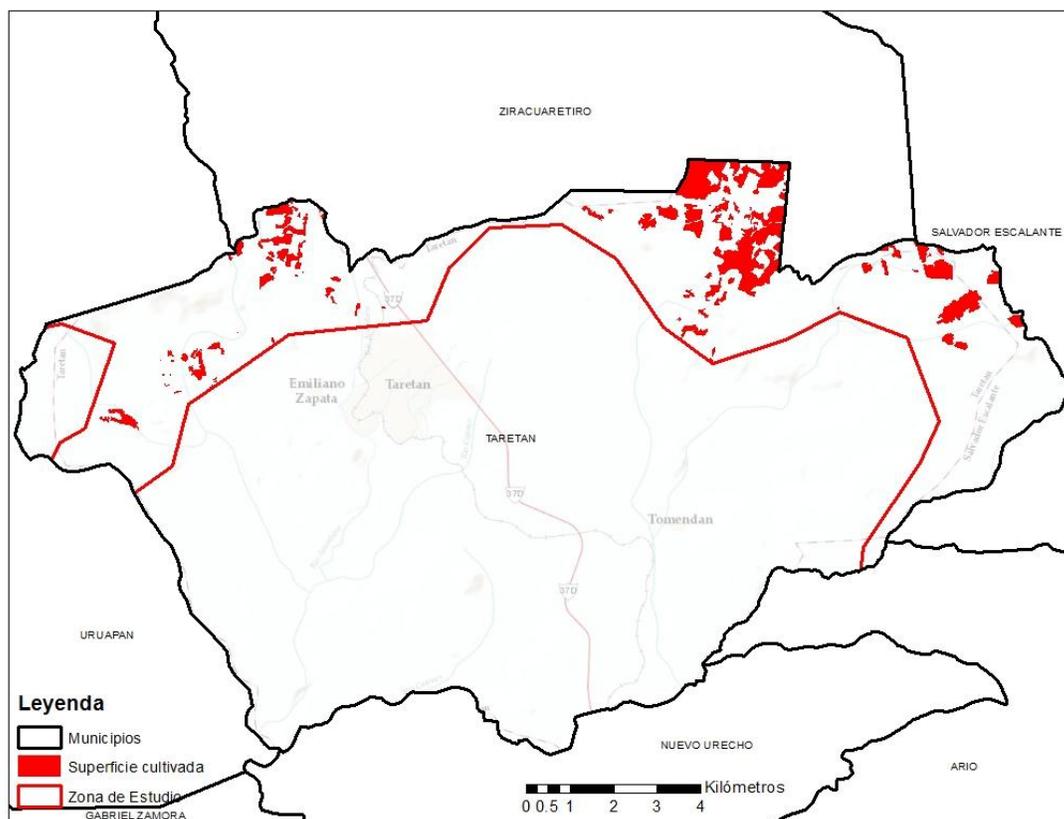


Figura 62. Municipio de Taretan. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 62 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en las porciones noroeste y noreste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco favorables para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 63. En ella se aprecia que el cultivo se introdujo hacia 1995, con una expansión importante en la última década.

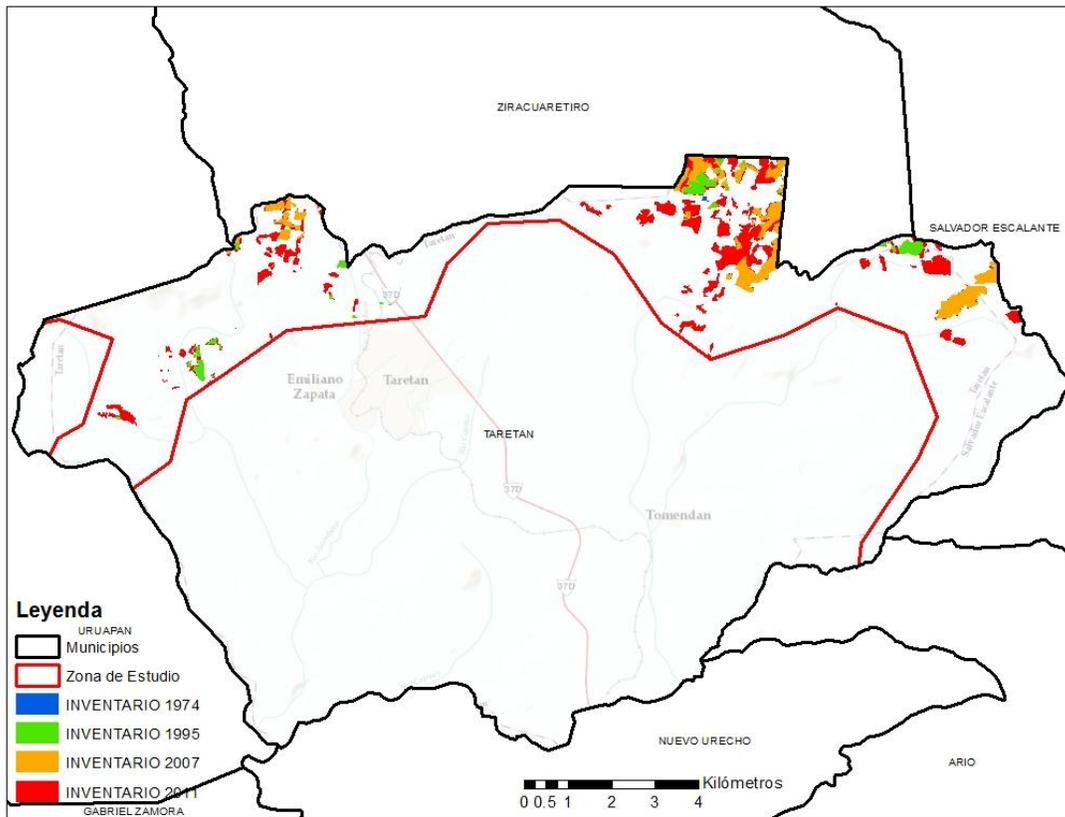


Figura 63. Municipio de Taretan. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Tingambato

Superficie de cultivo en 2011: 4,736.58 hectáreas

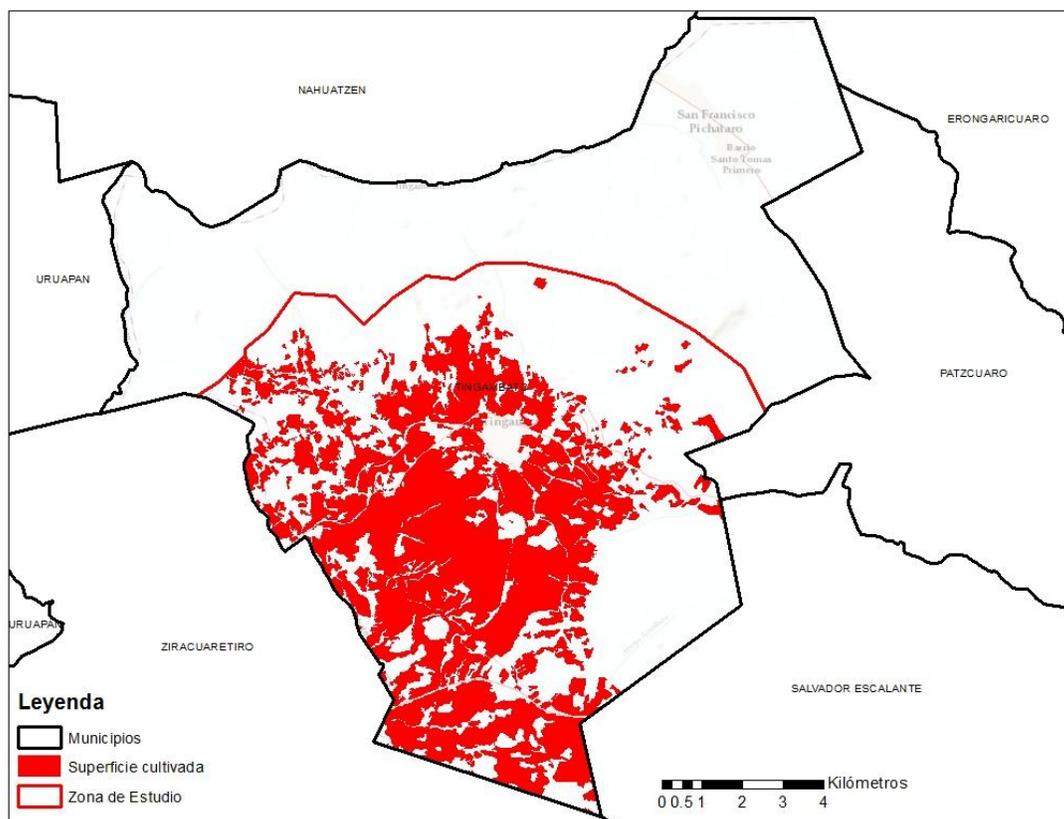


Figura 64. Municipio de Tingambato. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 64 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la mitad sur y suroeste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco favorables para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 65. En ella se aprecia que desde 1974 existían áreas importantes del cultivo y que su ritmo de expansión ha sido sostenido desde entonces.

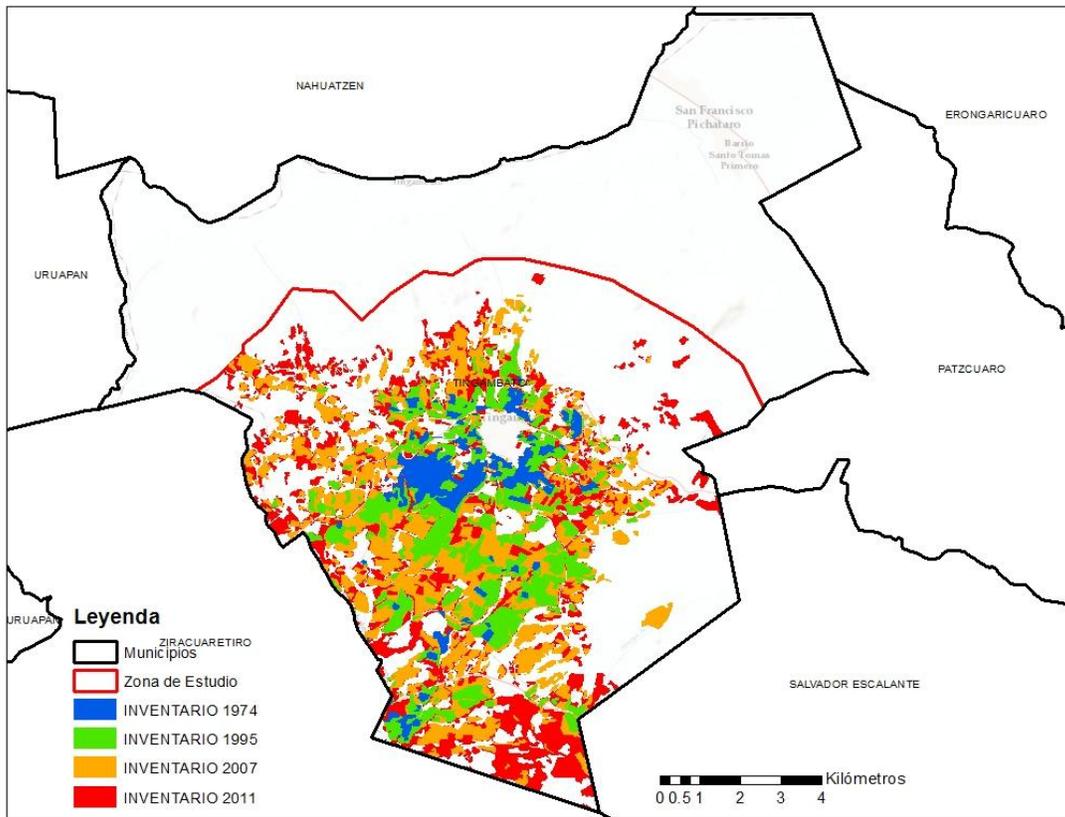


Figura 65. Municipio de Tingambato. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Tingüindin

Superficie de cultivo en 2011: 5,105.61 hectáreas

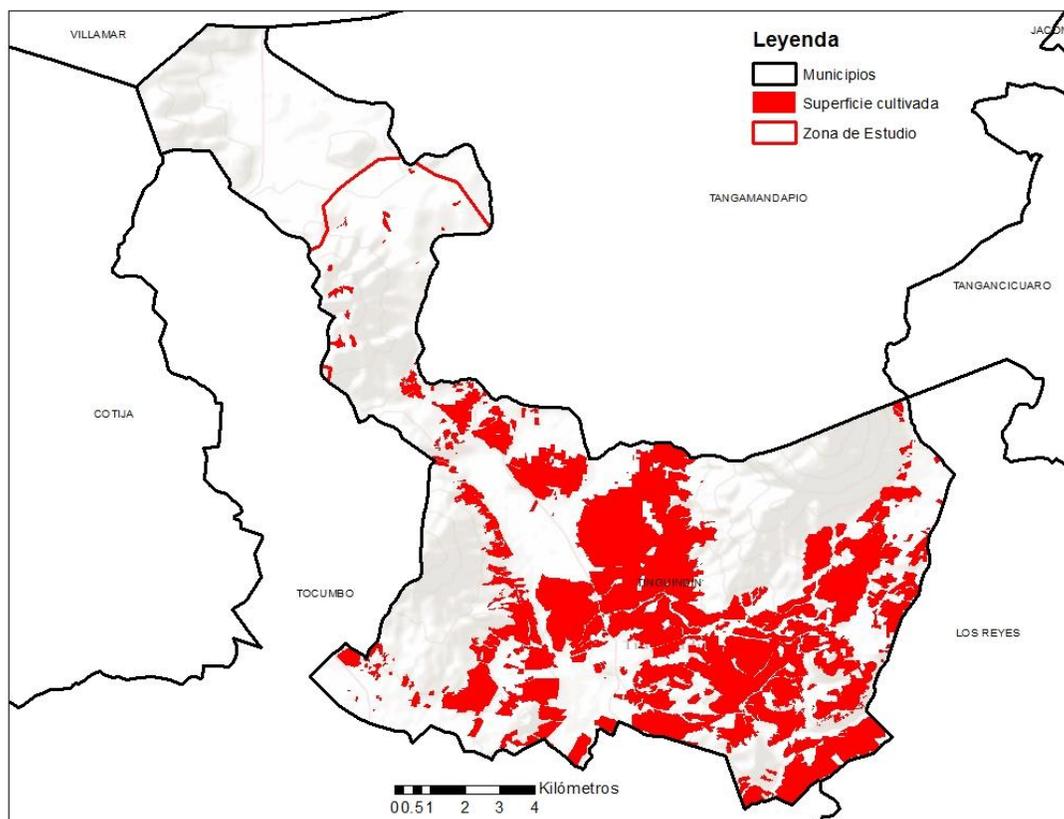


Figura 66. Municipio de Tingüindin. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 66 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la mitad sur del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones climáticas poco favorables para el cultivo.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 67. En ella se aprecia que desde 1974 existían áreas importantes del cultivo, registrando su mayor expansión hacia 1995, continuando a un ritmo menor, pero importante, desde entonces.

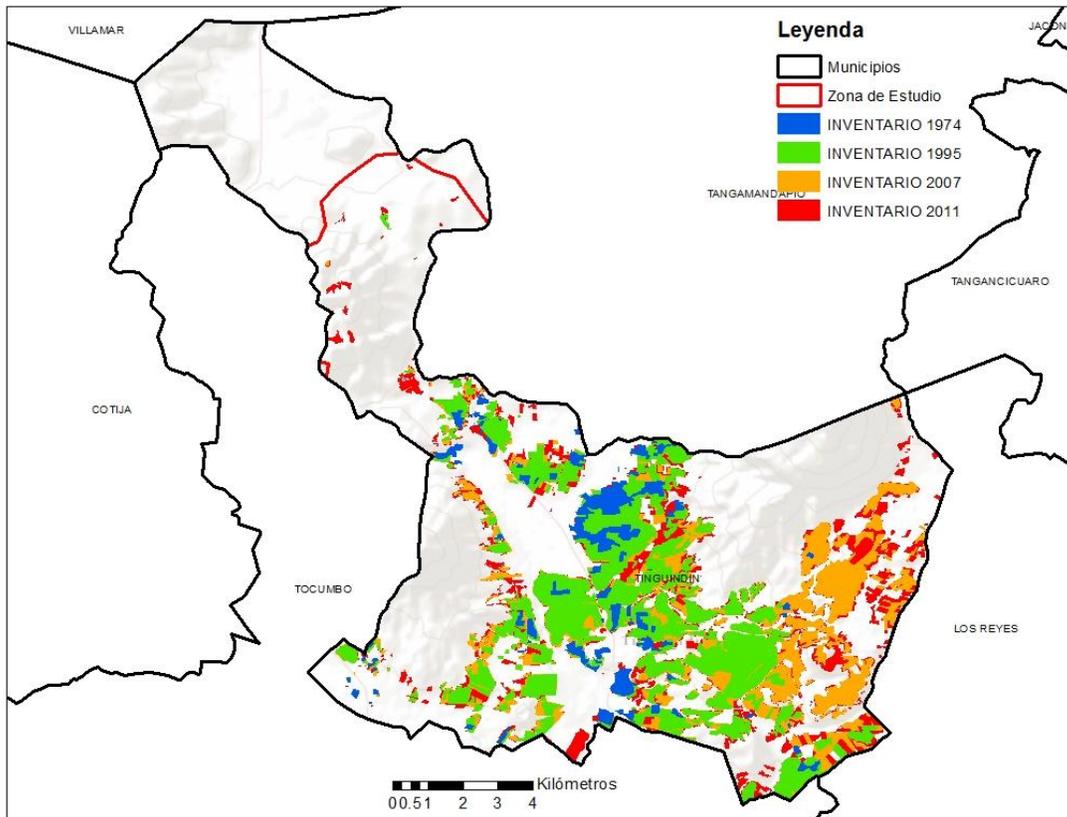


Figura 67. Municipio de Tingüindin. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Tocuambo

Superficie de cultivo en 2011: 1,926.79 hectáreas

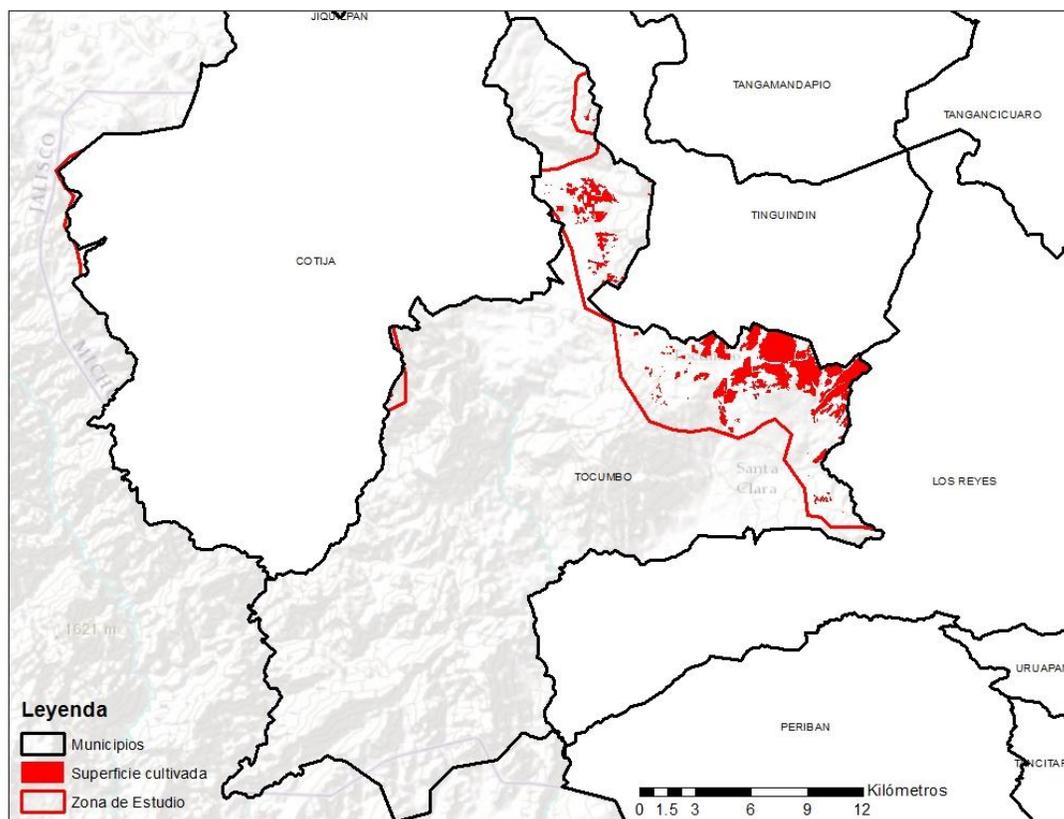


Figura 68. Municipio de Tocuambo. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 68 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción noreste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones de accesibilidad poco favorables.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 69. En ella se aprecia que desde 1974 existían algunas áreas del cultivo, registrando su mayor expansión hacia 1995, y continuando a un ritmo menor, pero importante, desde entonces.

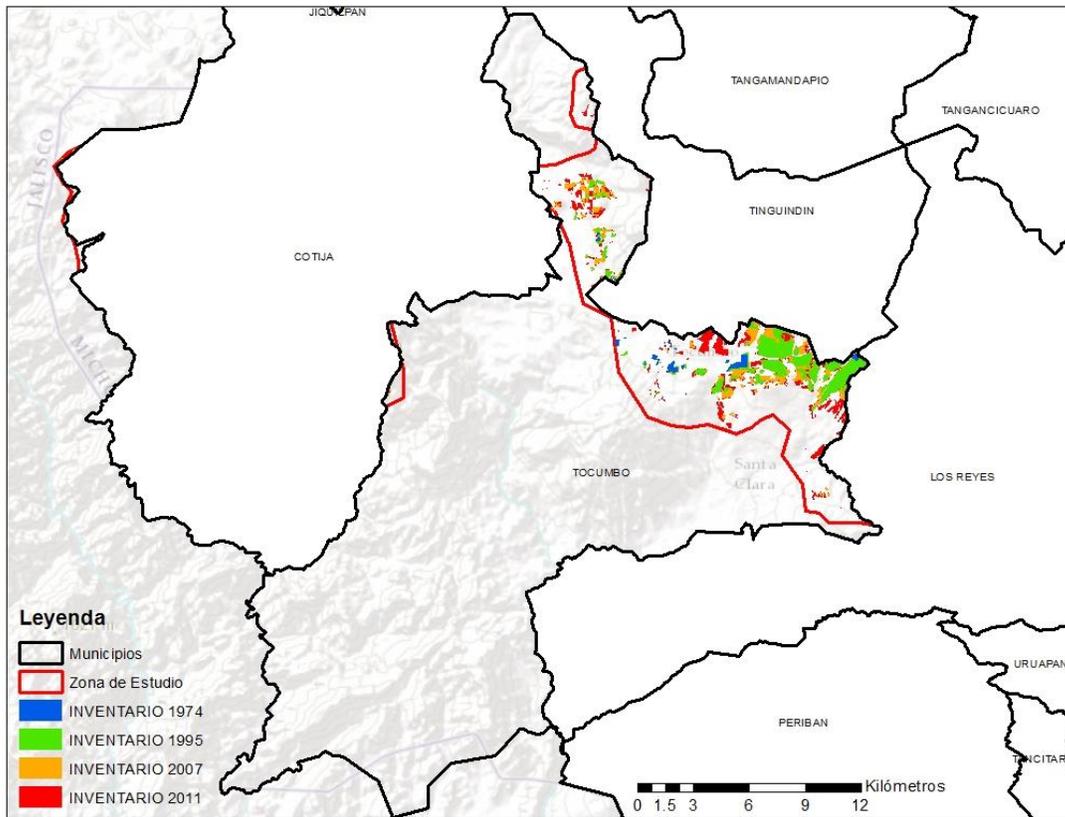


Figura 69. Municipio de Tocuambo. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Turicato

Superficie de cultivo en 2011: 3,860.10 hectáreas

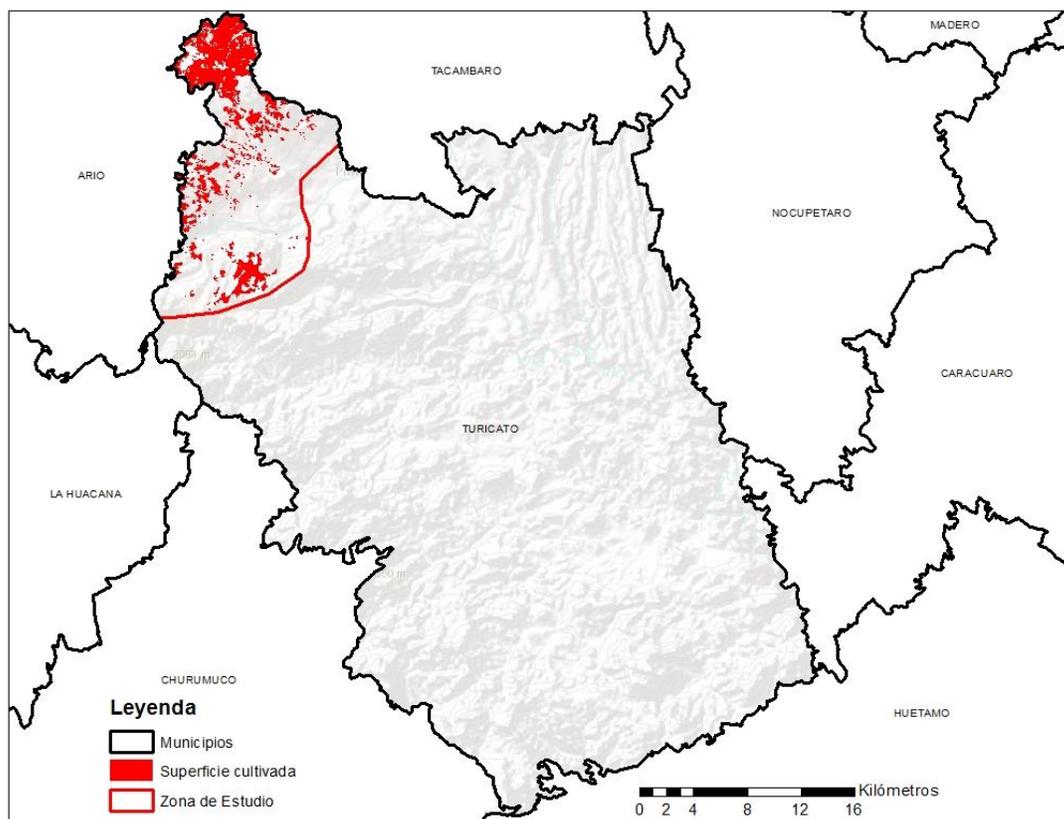


Figura 70. Municipio de Turicato. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 70 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción noroeste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a condiciones de accesibilidad poco favorables.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 71. En ella se aprecia que desde 1995 existían algunas áreas del cultivo, registrando su mayor expansión hacia 2007, y continuando a un ritmo menor, pero importante, desde entonces.

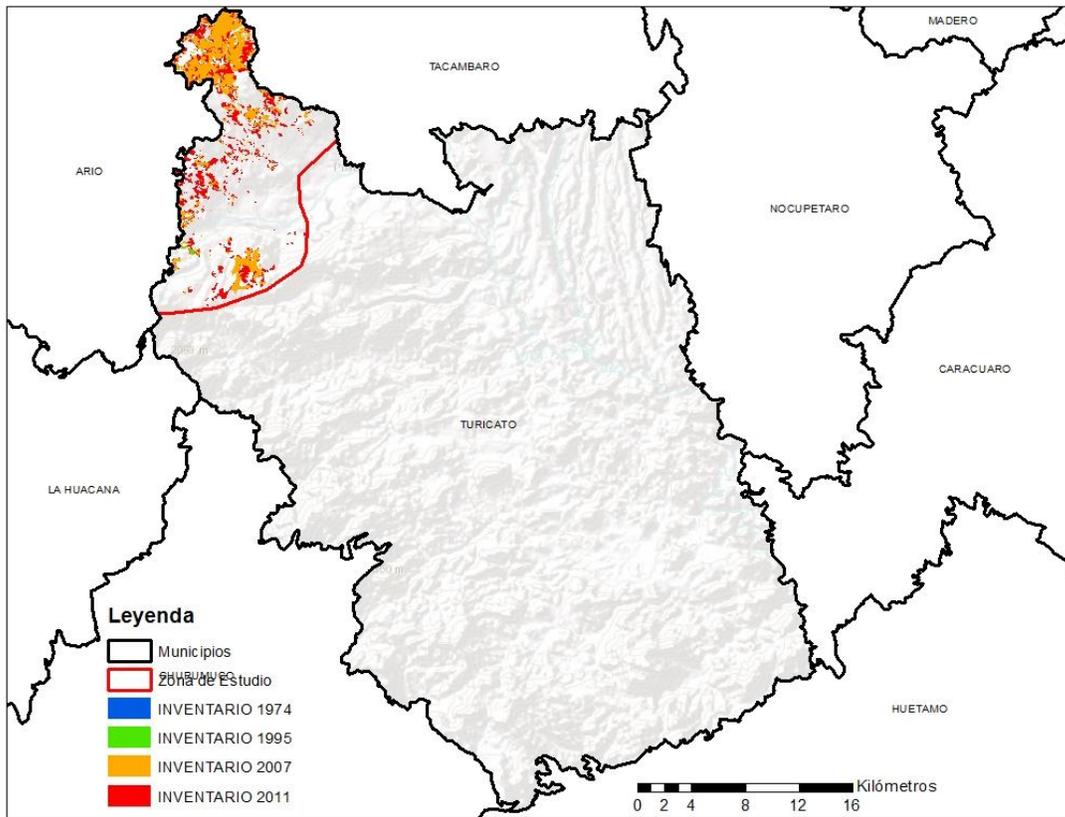


Figura 71. Municipio de Turicato. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Tuxpan

Superficie de cultivo en 2011: 417.97 hectáreas

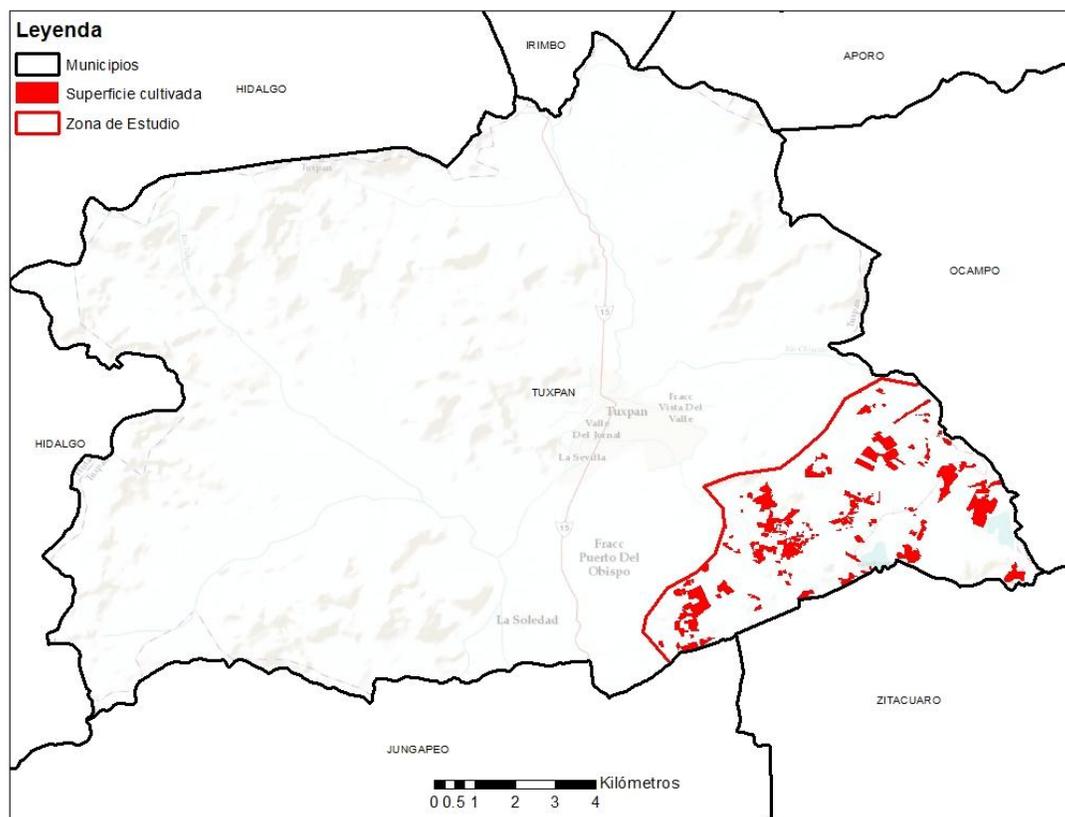


Figura 72. Municipio de Tuxpan. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 72 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la porción sureste del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, hacia el resto del municipio, debido a la existencia de otros cultivos frutales igualmente rentables.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 73. En ella se aprecia que desde 1995 existían algunas áreas del cultivo, registrando su mayor expansión hacia 2007, y continuando a un ritmo menor, pero importante, desde entonces.

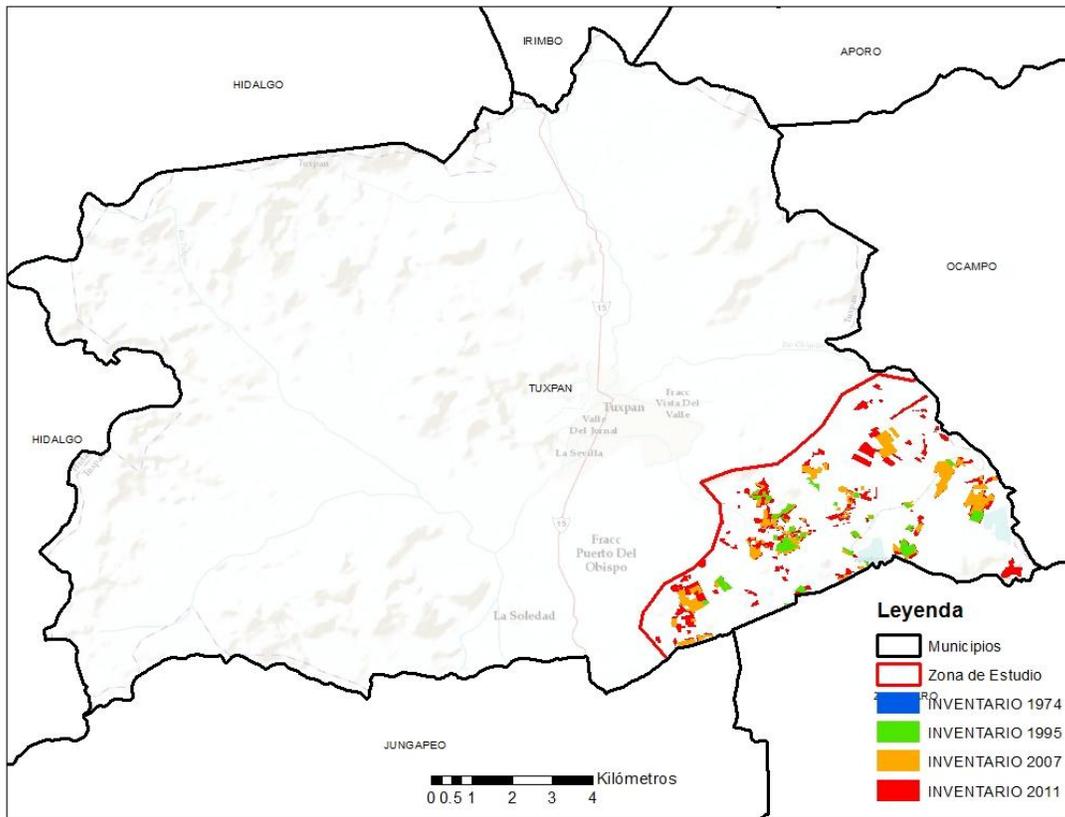


Figura 73. Municipio de Tuxpan. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Uruapan

Superficie de cultivo en 2011: 17,032.66 hectáreas

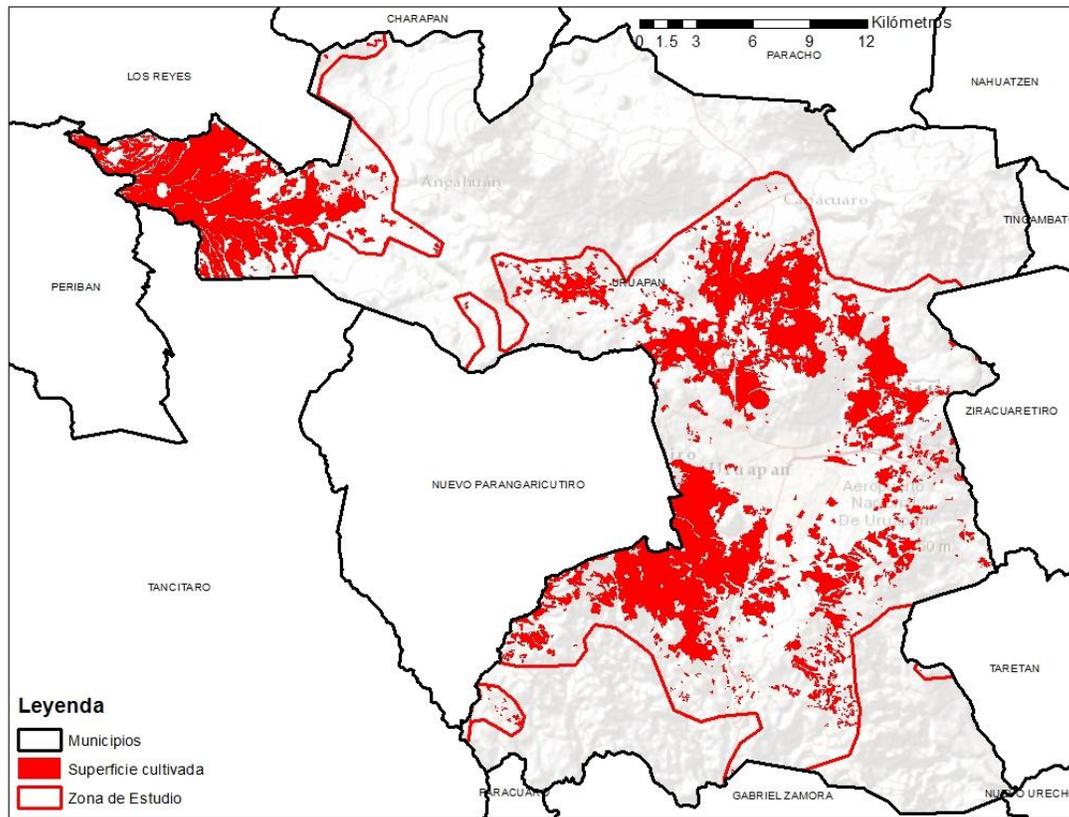


Figura 74. Municipio de Uruapan. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 74 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en las porciones centro sur, centro norte y noroeste del municipio. Es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, sobre todo en las porciones centro norte y sureste del municipio.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 75. En ella se aprecia que desde 1974 existían áreas importantes del cultivo, expandiéndose a un ritmo sostenido hasta el 2007, y continuando a un ritmo menor, pero importante, desde entonces.

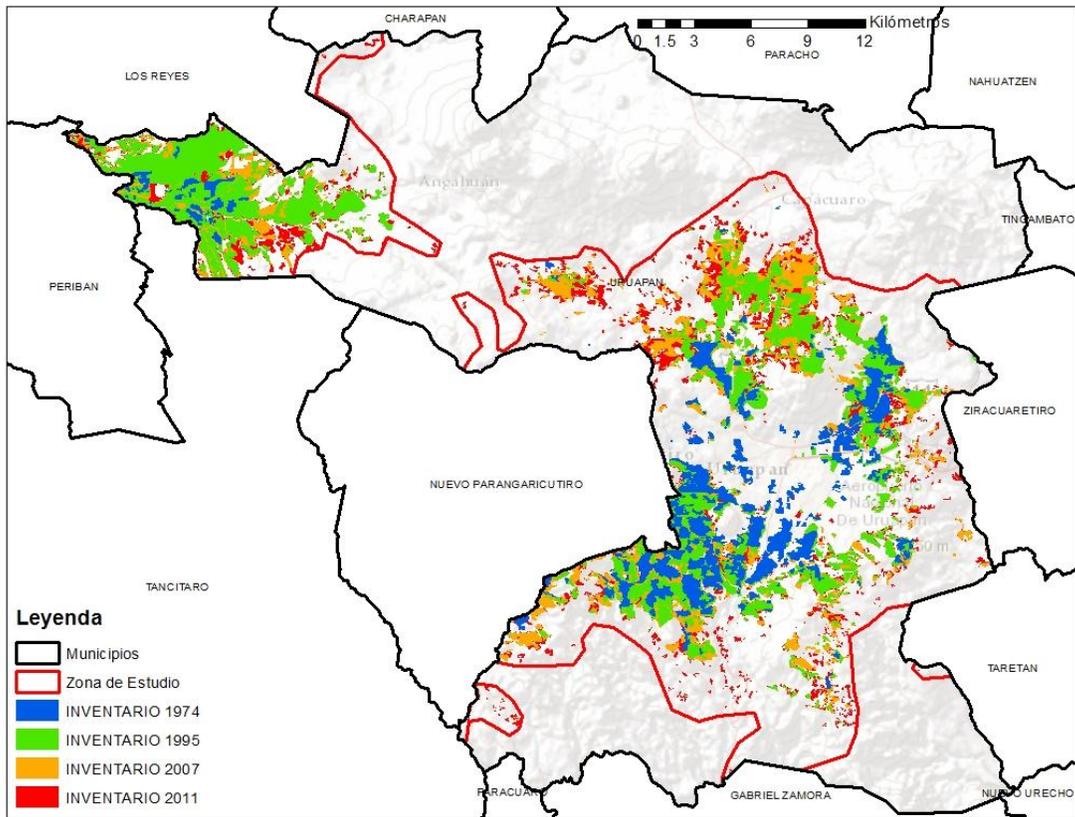


Figura 75. Municipio de Uruapan. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Ziracuaretiro

Superficie de cultivo en 2011: 5,136.16 hectáreas

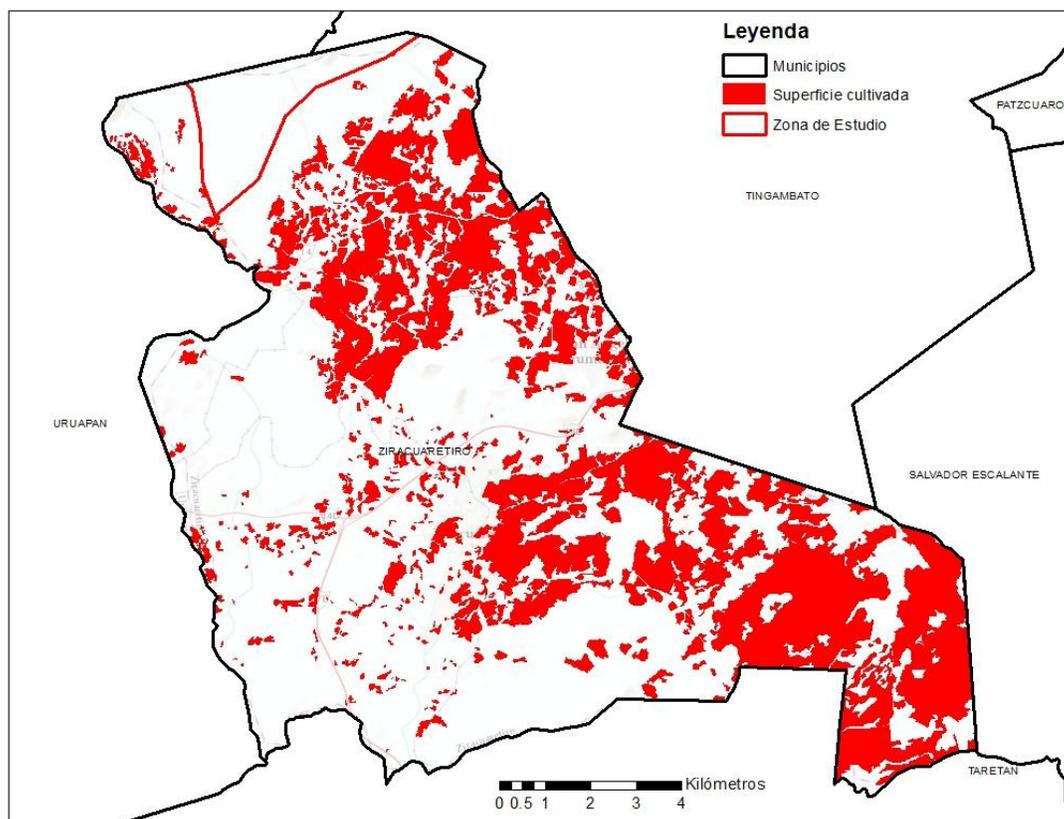


Figura 76. Municipio de Ziracuaretiro. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 76 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en la mitad oriental del municipio. No es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan más allá del límite de la zona estudiada, debido a condiciones climáticas desfavorables.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 77. En ella se aprecia que desde 1974 existían áreas importantes del cultivo, expandiéndose a un ritmo sostenido desde entonces.

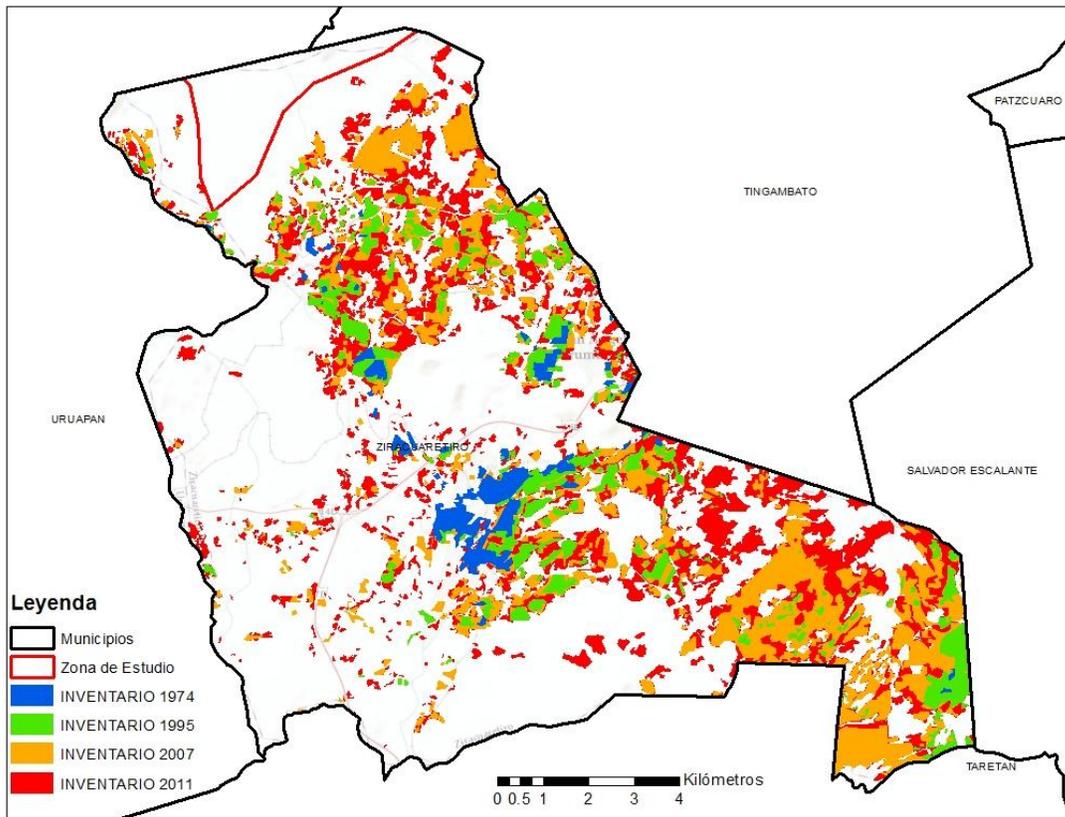


Figura 77. Municipio de Ziracuaretiro. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Municipio de Zitácuaro

Superficie de cultivo en 2011: 3,562.14 hectáreas

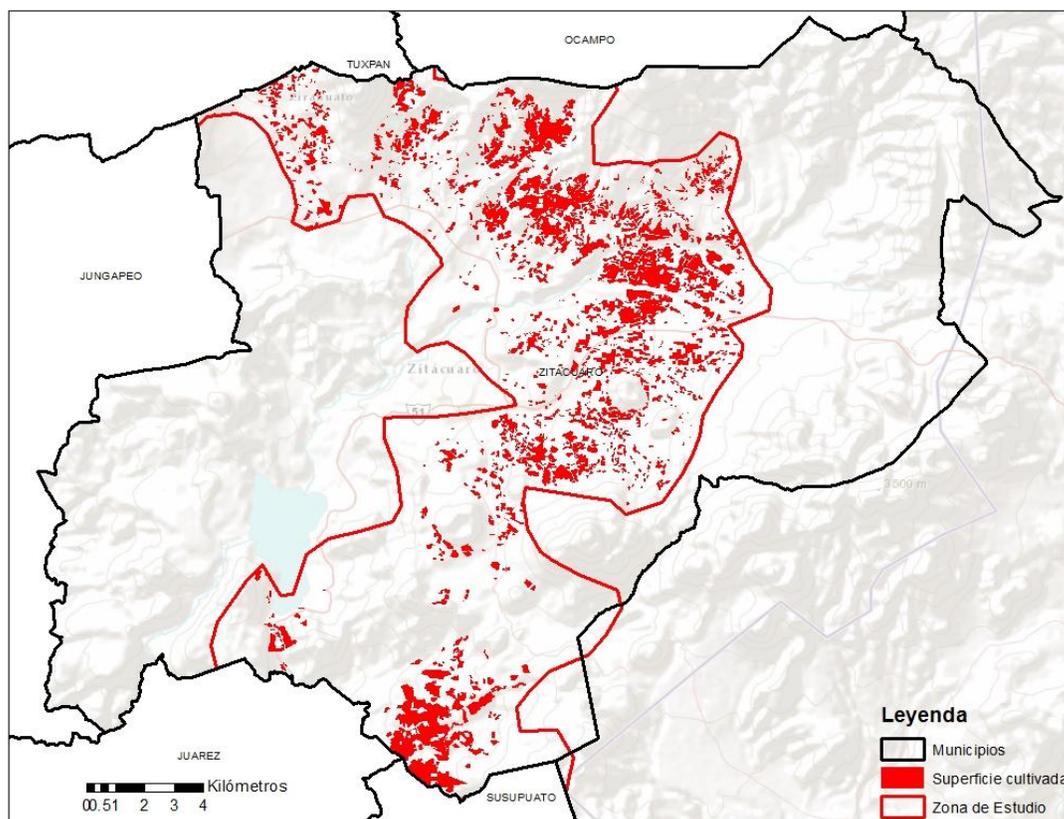


Figura 76. Municipio de Zitácuaro. Superficies de cultivo de aguacate en 2011.

En la figura 76 se observa que las áreas cultivadas con aguacate se concentran en una franja central de sur a norte del municipio. Es muy factible que las áreas cultivadas se extiendan ligeramente más allá del límite de la zona estudiada, particularmente hacia el oriente y noroeste del municipio.

La evolución de las áreas cultivadas en el municipio se ilustra en la figura 77. En ella se aprecia que desde 1995 existían áreas importantes del cultivo, expandiéndose a un ritmo sostenido hasta el 2007, y acelerado en los últimos 5 años, particularmente en la porción sur.

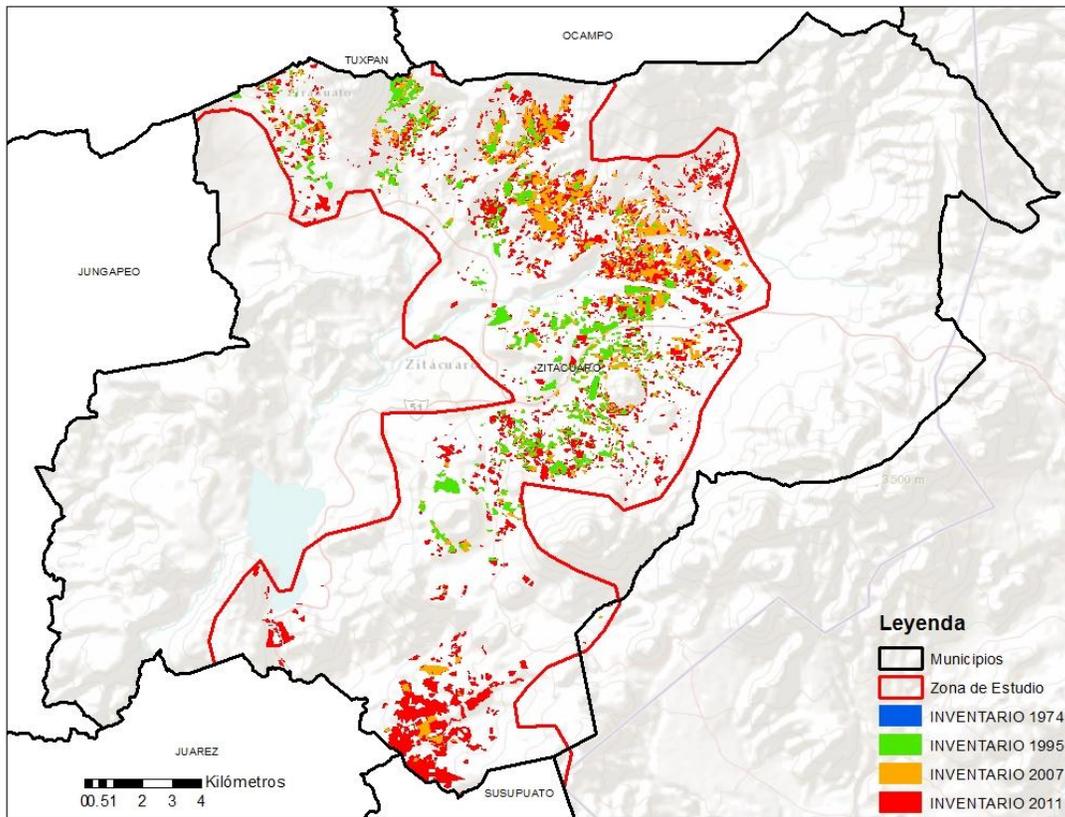


Figura 77. Municipio de Zitácuaro. Evolución de las áreas cultivadas con aguacate.

Resumen municipal

A continuación se presenta un resumen de las superficies de cultivo del inventario 2011 del cultivo de aguacate en el estado.

Tabla 2. superficie de cultivo de aguacate por municipio, en hectáreas, 2011.

MUNICIPIO	HECTÁREAS
Acuitzio	1,841.63
Apatzingán	1,237.02
Ario	19,514.79
Buenavista	97.98
Charapan	132.42
Cotija	1,676.27
Gabriel Zamora	74.81
Huiramba	127.44
Juárez	202.68
Jungapeo	14.57
Los Reyes	5,769.03
Madero	1,326.00
Morelia	361.62
Nuevo Parangaricutiro	6,210.15
Nuevo Urecho	66.37
Ocampo	50.25
Paracuaro	35.15
Pátzcuaro	674.18
Peribán	10,149.72
Salvador Escalante	12,363.84
Susupuato	412.69
Tacámbaro	18,558.51
Tancítaro	26,570.27
Tangamandapio	2,168.01
Tangancícuaro	1,008.80
Taretan	566.92
Tingambato	4,736.58
Tingüindin	5,105.61
Tocumbo	1,926.79
Turicato	3,860.10
Tuxpan	417.97
Uruapan	17,032.66
Ziracuaretiro	5,136.16
Zitácuaro	3,562.14

Seis de los municipios abarcan casi el 70% de la producción del estado: Tancítaro, Ario, Tacámbaro, Uruapan, Salvador Escalante y Peribán. Juntos tienen una superficie de cultivo de 104,000 hectáreas.

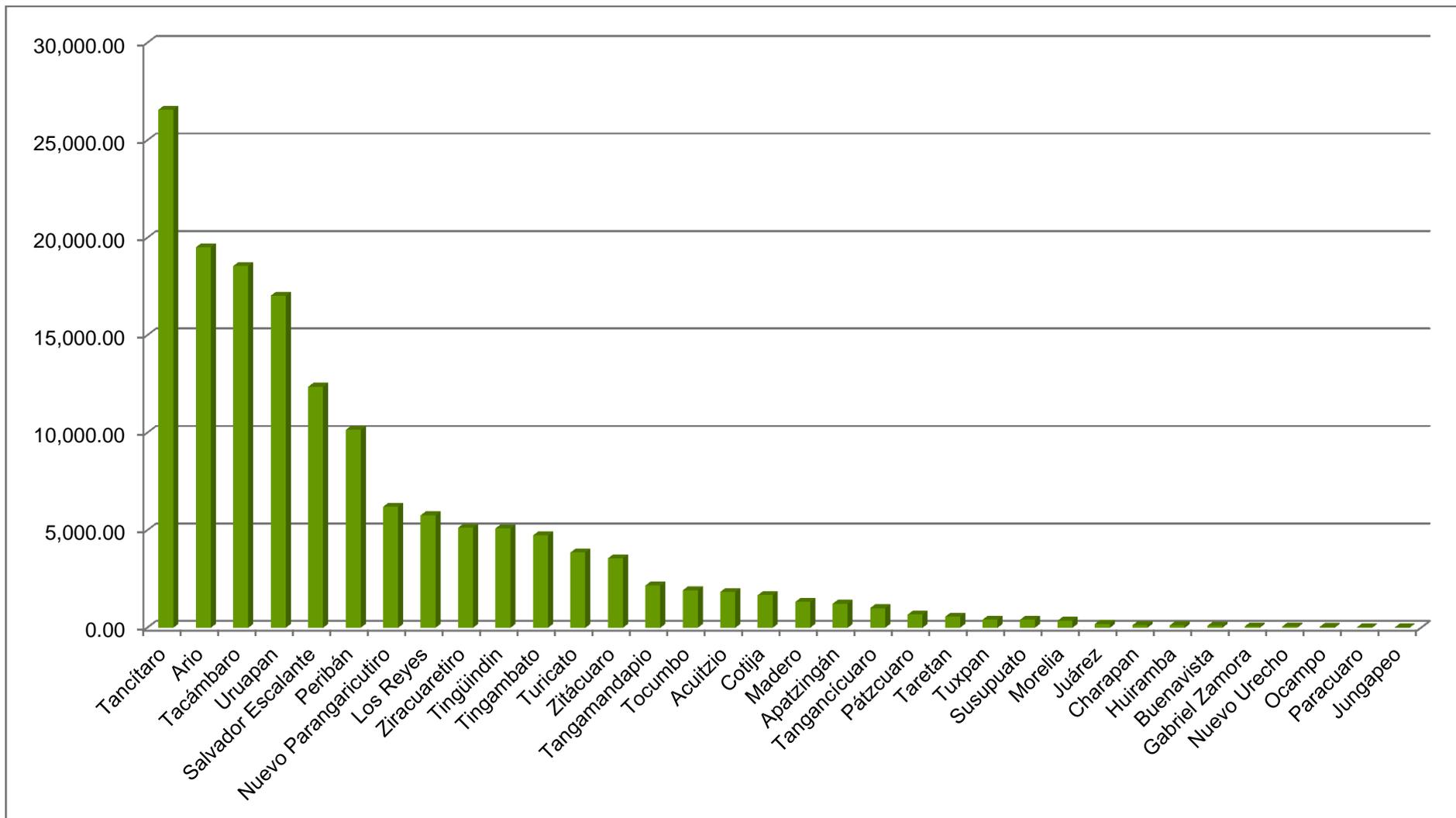


Figura 78. Superficies de cultivo de aguacate por municipio, en hectáreas.

III. INVENTARIO 2011 DE LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA ASOCIADA A HUERTOS DE AGUACATE (OLLAS DE AGUA).

Resultados

De la identificación de ollas de agua asociadas a huertos de aguacate se obtuvo la cifra de 14,537, las cuales tienen un área agregada de 735 hectáreas, y un volumen no cuantificado. Estas obras tienen un efecto sobre el ciclo hidrológico no determinado todavía.

La distribución de ollas de agua es muy variable en toda la región aguacatera, pero en algunos municipios como Tacámbaro, Ario, Peribán y Tancitaro tienen densidades notables, como se observa en la figura 79. La gran mayoría tienen extensiones menores o iguales a 0.1 hectárea, pero algunas tienen tamaños de poco más de 2 hectáreas.

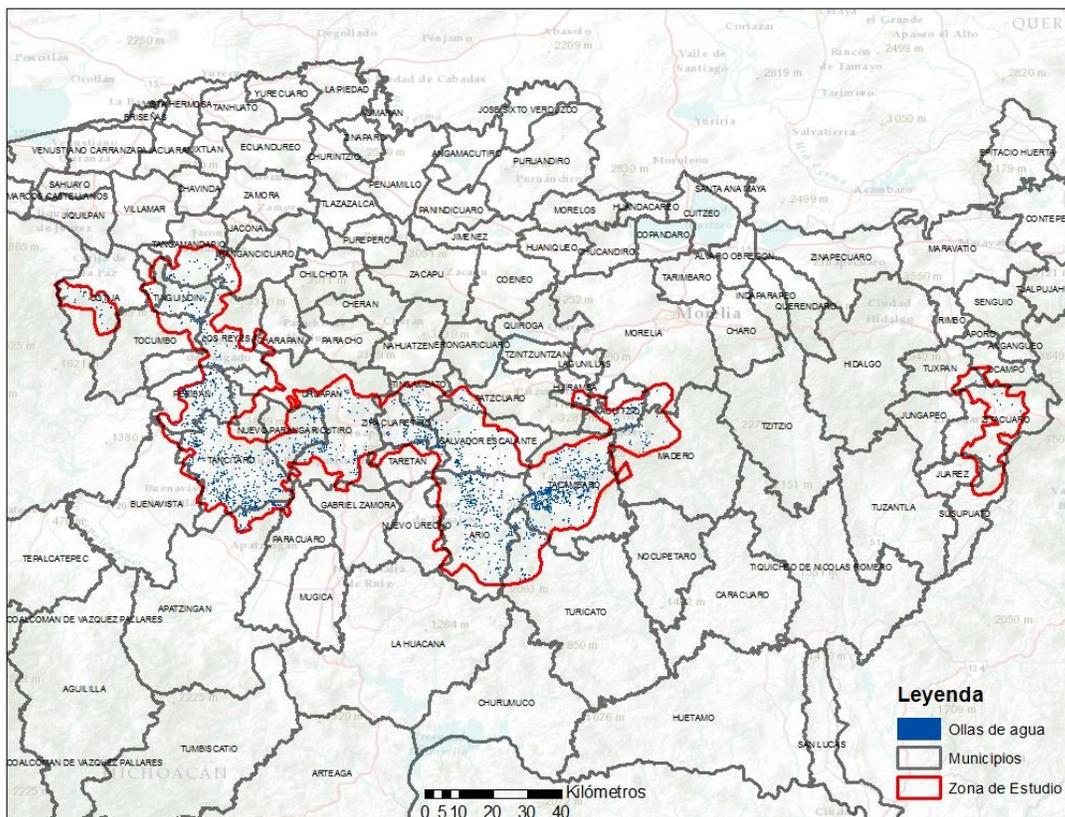


Figura 79. Distribución de ollas de agua en la región aguacatera.

El propósito de las ollas de agua es abastecer a las plantas de aguacate de este líquido en temporada de secas. Pero este almacenamiento temporal o retención del agua, aunado a la evaporación, debe tener un efecto más o menos importante en el funcionamiento local del ciclo hidrológico, además de que casi todas fueron construidas sin el permiso de la autoridad correspondiente. Por ello sería recomendable realizar estudios en este sentido.

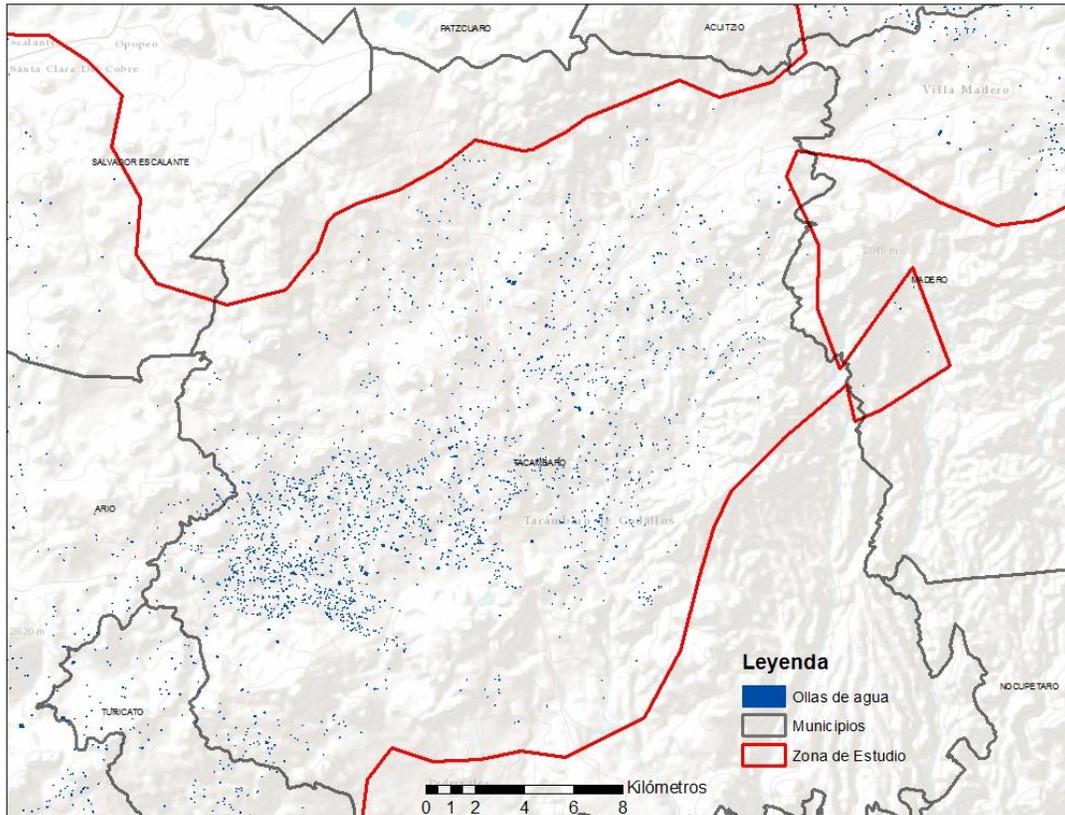


Figura 80. Detalle de la distribución de ollas de agua en la zona aguacatera del municipio de Tacámbaro.

III. EVALUACIÓN DEL IMPACTO FORESTAL

Cambio del uso del suelo por cultivo de aguacate

En la primera etapa de este proyecto se elaboró un mapa de uso y cubierta del suelo con fotografías aéreas de 1974. Este mapa contiene la distribución de las áreas de cultivo (incluyendo aguacate) y forestales que existían en ese año en el territorio de estudio. La información de ese mapa ha servido en este informe como línea base para establecer la forma y la magnitud del cambio en el uso y cubierta del suelo, especialmente la forestal, ocasionado por la expansión del cultivo de aguacate en el estado de Michoacán.

La expansión del cultivo del aguacate se hizo inicialmente sobre áreas que se empleaban para la agricultura de temporal y en menor medida en áreas de pastizal y matorral, dentro de la zona en donde las condiciones ambientales son favorables para su cultivo. Conforme esta expansión fue reduciendo la disponibilidad de esos tipos de uso / cubierta del suelo, el aguacate comenzó a cultivarse con mayor frecuencia en áreas forestales. En la última década la afectación este tipo de cubierta ha sido cada vez más amplia.

La tabla 3 presenta un resumen de las superficies ocupadas con aguacate en 2011 y la clase de uso o cubierta que estas tenían en 1974.

Tabla 3. Superficies de las zonas de cambio de uso / cubierta 1974 a aguacate en 2011

Uso / Cubierta	Hectáreas	Porcentaje
Zonas de cultivo de temporal	74,701	53.4
Zonas de cubierta forestal	49,043	35.0
Zonas de matorral - pastizal	16,144	11.5
Zonas sin vegetación aparente	131	0.1
TOTAL	140,019	100.0

En la tabla se aprecia que poco más de 90,000 hectáreas (64.9 %) que ahora ocupa el cultivo de aguacate fueron antes ocupadas con cultivos de temporal y áreas de pastizal y matorral. Este cambio, correspondiente a un proceso de arborización, que, como se documentó en el informe de la primera etapa, ha sido positivo en algunos aspectos, aunque también ha tenido impactos negativos importantes. El otro cambio importante corresponde a la ocupación de zonas forestales, con poco más de 49,000 hectáreas (35%). Aunque es probable que en gran parte el aguacate haya sido la causa directa de esta pérdida forestal, no toda esta superficie forestal fue inicialmente afectada por el cultivo, sino que hay algunas zonas en donde primero se reemplazó el bosque con otros tipos de usos y después se introdujo el aguacate, como se expone en la siguiente sección.

En la tabla 3 se reporta cambio a cultivo de aguacate en poco más de 140,000 hectáreas, sin embargo el inventario 2011 señala que existen 153,000 hectáreas. La diferencia se explica porque en 1974 había ya 13,000 hectáreas del cultivo, las que no cambiaron de uso, con lo cual se tiene un total equivalente a la superficie cultivada en 2011.

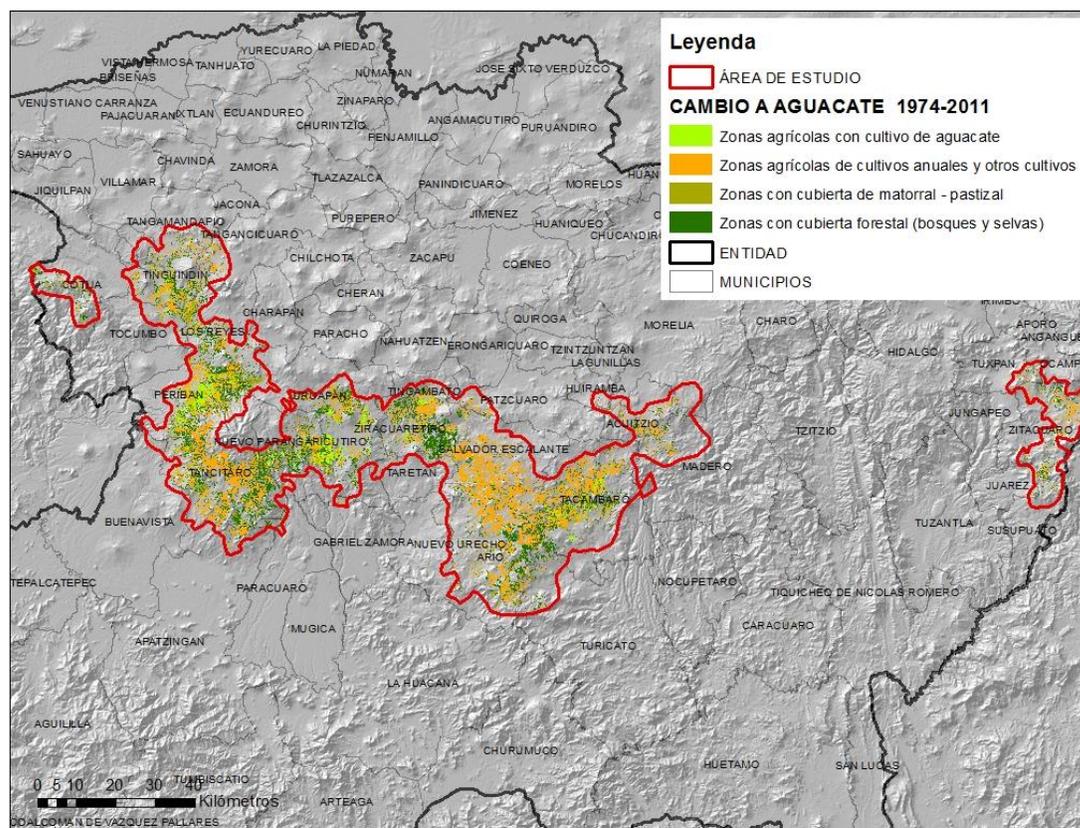


Figura 81. Cambios en el uso /cubierta del suelo de 1974 a cultivo de aguacate en 2011.

Los cambios reportados han ocurrido de manera generalizada en toda la zona de estudio, como se ilustra en la figura 81, aunque son notables las áreas dentro del municipio de Ario en las que el cultivo del aguacate ocupó grandes extensiones de zonas agrícolas de cultivos anuales, y las áreas dentro del municipio de Salvador Escalante, en las que el cultivo del aguacate ocupa ahora zonas que anteriormente tenían cubierta forestal.

Pérdida forestal estimada

Normalmente se asume que si en el mapa de cambio se observa que el aguacate reemplazó a la cubierta forestal, esto está fuera de duda. Sin embargo, esta suposición sólo sería (casi) totalmente válida si pudiera evaluarse el cambio año tras año. Si esto no es así, entonces solamente los habitantes de la región en donde ocurrió este cambio podrían afirmarlo con seguridad. La razón de esto estriba en el hecho de que es factible que, si el período de tiempo

entre la línea base y el inventario es de más de un año, la cubierta forestal haya sido reemplazada inicialmente no por el cultivo del aguacate, sino por un área de otro cultivo, y luego ésta haya sido transformada a su vez en un área de cultivo de aguacate. Luego entonces tenemos dos posibilidades en la secuencia de cambios bosque a aguacate:

- A. bosque > otros cultivos > cultivo de aguacate
- B. bosque > cultivo de aguacate

Determinación de la probabilidad de las secuencias de cambio

Entender estas posibilidades es importante porque permite definir las posibles causas directas del cambio en la cubierta forestal, y por tanto las responsabilidades. Pero, ¿cuál es la probabilidad de ocurrencia de cada una de las secuencias de cambio bosque a aguacate? En general, para la primera secuencia, la probabilidad es más alta mientras más años de diferencia existan entre las dos fechas de información del uso / cubierta del suelo. Para la última secuencia, la probabilidad es mayor mientras menos años haya de diferencia entre estas fechas. Desafortunadamente, esta valoración sería muy subjetiva y dependería solo de las fechas de la información empleada.

Pero la probabilidad de cambio en las secuencias mencionadas no depende solo del tiempo transcurrido, sino que hay muchos otros factores que determinan estas probabilidades. Por ejemplo, para la primera secuencia, las probabilidades de cambio estarían muy seguramente dictadas por factores tales como la pendiente del terreno (que tiene que ver con la profundidad del suelo, el tipo de suelo, y su fertilidad, de alguna manera), o la cercanía de las posibles áreas de cultivo de temporal a un camino (accesibilidad). Para la segunda secuencia de cambio, los factores serían similares, aunque los valores tanto de pendiente como de proximidad a caminos serían posiblemente mayores que aquellos deseables para la agricultura de temporal.

Es posible estimar las probabilidades de estas posibilidades de cambio si se investiga cómo cada una determina el que el territorio sea usado o no para cada uno de estos dos tipos de uso (agricultura de temporal, cultivo de aguacate). Una manera de hacerlo consiste en extraer de los patrones de uso/cubierta del suelo, los valores de preferencia locales de dichos usos, puesto que en ellos se encuentra la historia ambiental de la región.

Esto es lo que se ha hecho en este estudio para lograr superar el obstáculo de no poder decir con certeza si el cultivo del aguacate ha sustituido directamente al bosque en la zona de estudio.

Para iniciar este procedimiento de estimar la probabilidad empírica de las posibles secuencias de cambio bosque a aguacate es necesario establecer los factores que determinarán esta probabilidad. Todos estos factores tienen la forma de relaciones

espaciales entre los cultivos de temporal o las zonas de aguacate, y ciertos aspectos del territorio. Una vez determinada la probabilidad de cambio para cada secuencia, se toma como final la probabilidad más alta de las dos.

Entonces, para cada una de estas secuencias se debe definir un conjunto de factores que determinarán la probabilidad de cambio. Estos factores son (tabla 4):

Tabla 4. Factores de probabilidad de cambio para tres secuencias de cambio bosque a aguacate (ver texto)

A. Secuencia bosque > otros cultivos > aguacate	
1.	Pendiente del terreno, en grados, de las zonas de cultivo de temporal
2.	Proximidad de cultivos de temporal a caminos
B. Secuencia bosque > aguacate	
1.	Pendiente del terreno, en grados, de las zonas de cultivo de aguacate
2.	Proximidad de las zonas de cultivo de aguacate a caminos

Para cada factor de cada secuencia se calcula una función de probabilidad de uso del suelo. Si se asume que las preferencias de los agricultores locales de uso del territorio están reflejadas en el patrón de uso del suelo, estas funciones representan dichas preferencias de uso del territorio para cultivos de temporal o aguacate. Así, por ejemplo, se calcula la probabilidad de uso agrícola para cultivos de temporal dependiendo de la pendiente del terreno, luego la probabilidad de uso agrícola para cultivos de temporal dependiendo de su accesibilidad, y se hace lo mismo para el otro uso. Estas funciones de probabilidad se combinan para definir la probabilidad integral de que una zona en donde aparentemente hubo un cambio de bosque a aguacate, en el período de estudio, haya primero cambiado primero a cultivo de temporal o directamente a aguacate. Como para cada una de estas zonas existirán al menos 2 probabilidades integrales, la que tenga el máximo valor será la que se asigne y por tanto la que indique la secuencia de cambio más probable.

El procedimiento de cálculo de estas funciones comienza por la elaboración de mapas base. Estos se obtienen en su mayoría del mapa de uso y cubierta del suelo 1974:

- mapa de zonas de cultivo de temporal
- mapa de zonas de cubierta forestal
- mapa de zonas de cultivo de aguacate

Adicionalmente se empleó un mapa de caminos derivado de la cartografía topográfica de INEGI a escala 1:50,000, y un modelo digital de elevación.

De estos mapas base se derivan los mapas intermedios que representan las relaciones entre el territorio y algunos de los tres clases del uso del suelo. Estos mapas intermedios son:

- mapa de pendiente del terreno
- mapa de proximidad a caminos

Estos mapas intermedios se combinan con los mapas de zonas de cultivo de temporal y de zonas de cultivo de aguacate, para producir los mapas finales que representarán a cada uno de los factores de probabilidad de cambio listados en la tabla 4. Esta combinación se hace de la siguiente manera (tabla 5).

Tabla 5. Combinación de mapas para producir los mapas de cada factor de probabilidad de cambio

Factor (tabla 4)	Mapa Base	Mapa Intermedio
A1	Mapa de zonas de cultivo de temporal	Mapa de pendiente del terreno
A2	Mapa de zonas de cultivo de temporal	Mapa de proximidad a caminos
B1	Mapa de zonas de cultivo de aguacate	Mapa de pendiente del terreno
B2	Mapa de zonas de cultivo de aguacate	Mapa de proximidad a caminos

Los mapas de cada factor contienen valores, de pendiente o de distancia, que representan las condiciones territoriales que los agricultores locales prefieren, en mayor o menor medida, para cada uno de los dos tipos de uso implicados en las secuencias. De estos valores es posible entonces derivar estadísticamente las funciones de probabilidad que permiten establecer las probabilidades de cambio. Estas funciones se definen con base en la probabilidad empírica de las distribuciones de frecuencia de valores observadas en los mapas de cada factor.

Con estas funciones de probabilidad se calculan mapas con valores de probabilidad de cambio únicamente para las zonas en donde se identificó cambio de bosque a aguacate, según la comparación inicial entre el mapa de uso y cubierta del suelo en 1974 y el inventario de superficie cultivada en 2011. Estos mapas de probabilidad por factor se combinan para generar dos mapas de probabilidad integral de cambio, uno para cada secuencia.

Finalmente, estos dos mapas se combinan a su vez para obtener el mapa de causa inicial probable de cambio, el cual tiene solo tres valores posibles A, o B, dependiendo de la secuencia que tuvo el mayor valor de probabilidad para una determinada porción del territorio dentro de las zonas de cambio de bosque a aguacate. Este mapa indica entonces cual fue probablemente la causa inicial de cambio de la cubierta forestal: cultivos de temporal o cultivo de aguacate.

Resultados

Secuencia bosque > otros cultivos > cultivo de aguacate

La gráfica de la figura 82 muestra la frecuencia en el uso del territorio del área de estudio para otros cultivos según la pendiente del terreno. La interpretación de esta gráfica indica que los agricultores prefieren el uso de terrenos con pendientes suaves (hasta 10 grados aproximadamente), con algunas áreas en donde las pendientes pueden variar entre 10 y 20 grados. En la figura se muestra con color rojo la forma de la función de probabilidad ajustada a los datos combinados de zonas uso de otros cultivos y pendiente del terreno. La ecuación de esta función es:

$$PU = e^{-0.012852719 + (-0.003672932 * Pendiente^{2.5})}$$

y se empleó para calcular los valores de probabilidad del mapa de la figura 83. En la ecuación: PU = probabilidad de uso; Pendiente = mapa de pendientes del terreno en grados.

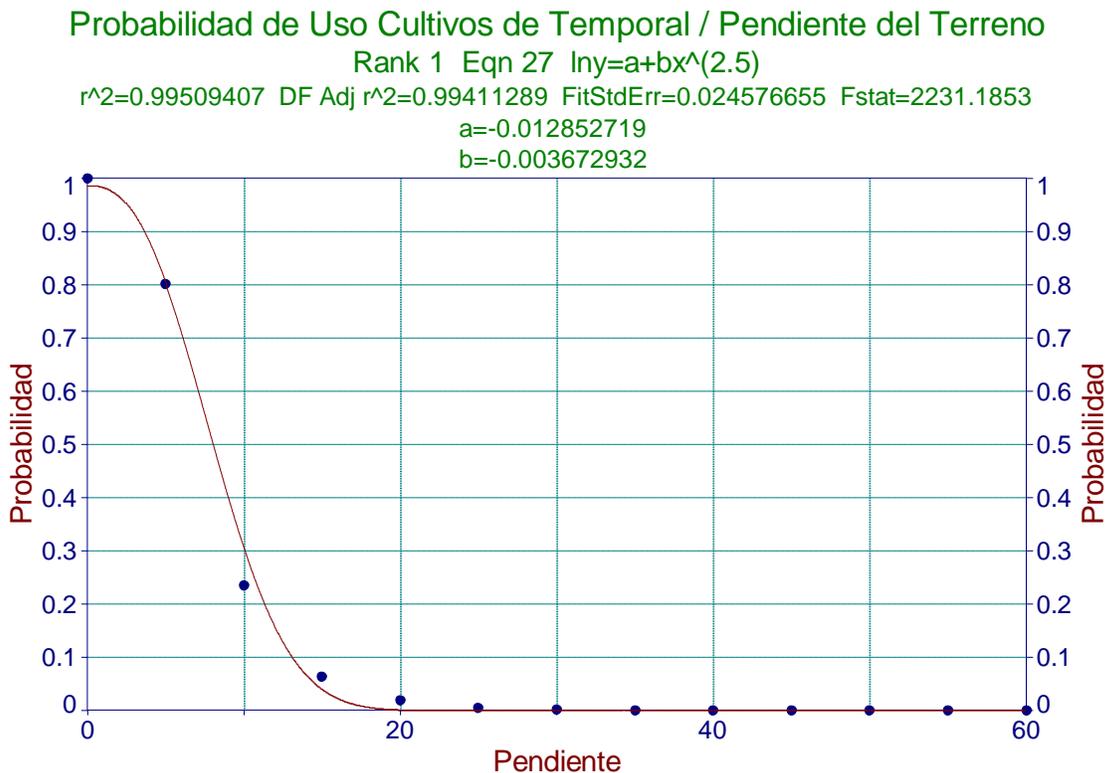


Figura 82. Función de probabilidad del factor A1.

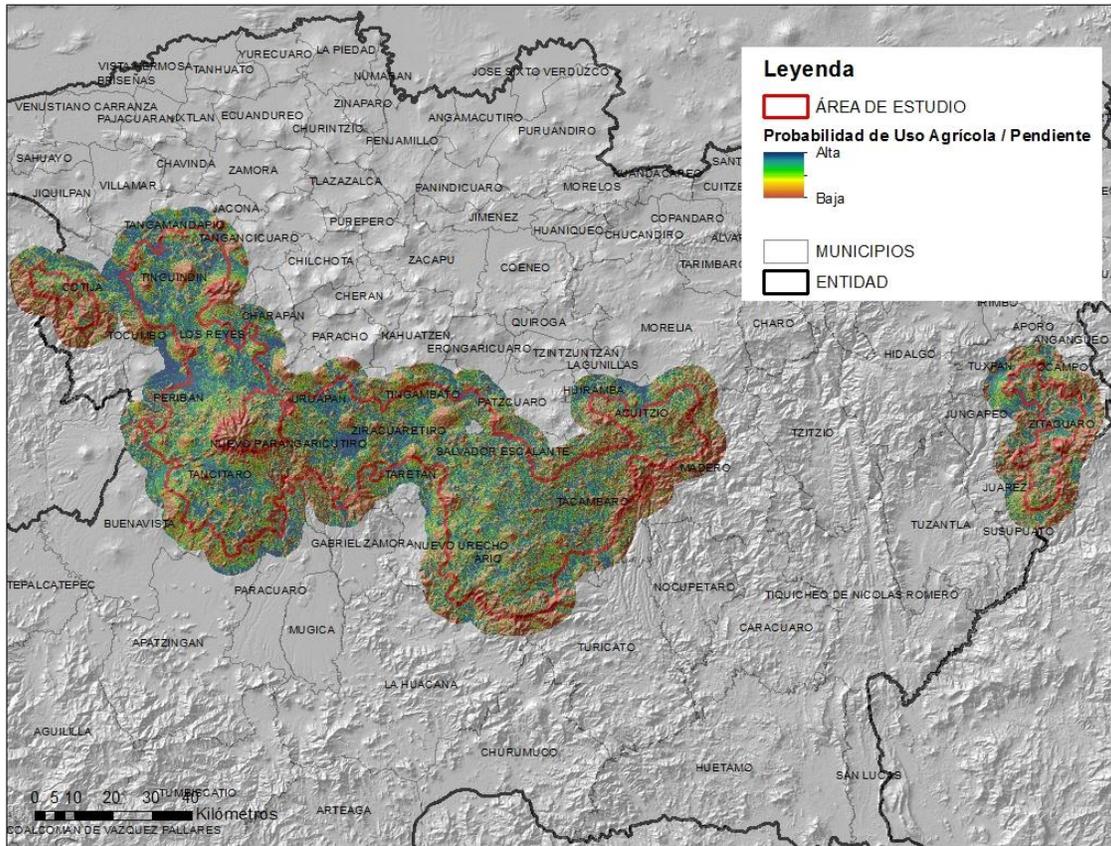


Figura 83. Probabilidad de uso agrícola (otros cultivos) en función de la pendiente del terreno.

La gráfica de la figura 84 muestra la frecuencia en el uso del territorio del área de estudio para otros cultivos según la distancia a caminos. La interpretación de esta gráfica indica que los agricultores prefieren el uso de terrenos relativamente cercanos a los caminos (hasta 500 metros aproximadamente), con algunas áreas en donde las distancias pueden variar entre 500 y 1500 metros. En la figura se muestra con color rojo la forma de la función de probabilidad ajustada a los datos combinados de zonas de uso de otros cultivos y distancia a caminos. La ecuación de esta función es:

$$PU = e^{-0.0047446985 + (-0.0031087595 * Distancia\ a\ Caminos)}$$

y se empleó para calcular los valores de probabilidad del mapa de la figura 85. En la ecuación: PU = probabilidad de uso; Distancia a Caminos = mapa de distancia a caminos en metros.

Probabilidad de Uso Cultivos de Temporal / Distancia a Caminos

Rank 3 Eqn 22 $lny=a+bx$

$r^2=0.99955763$ DF Adj $r^2=0.99948957$ FitStdErr=0.0057227754 Fstat=31633.452

$a=-0.0047446985$

$b=-0.0031087595$

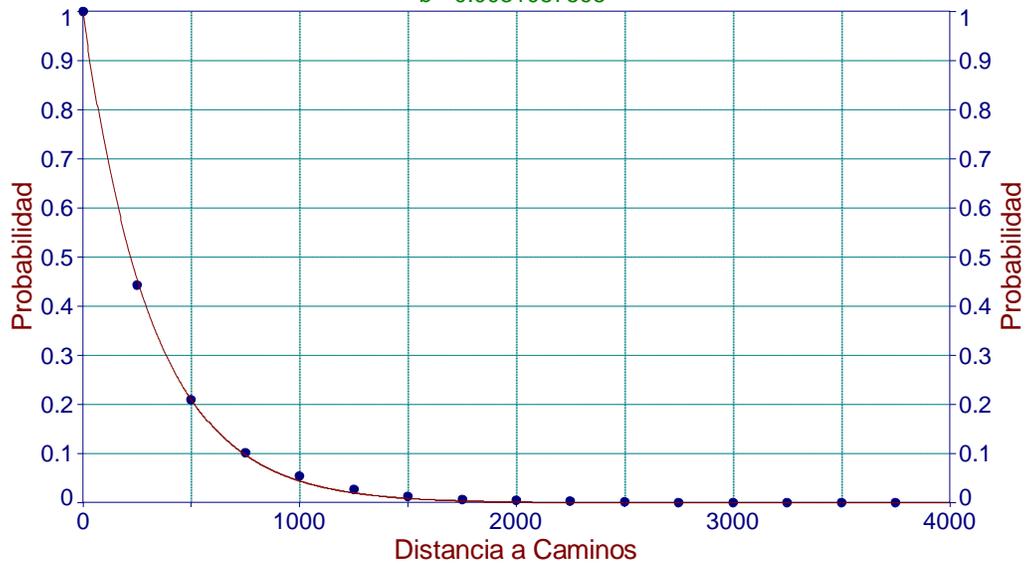


Figura 84. Función de probabilidad del factor A2.

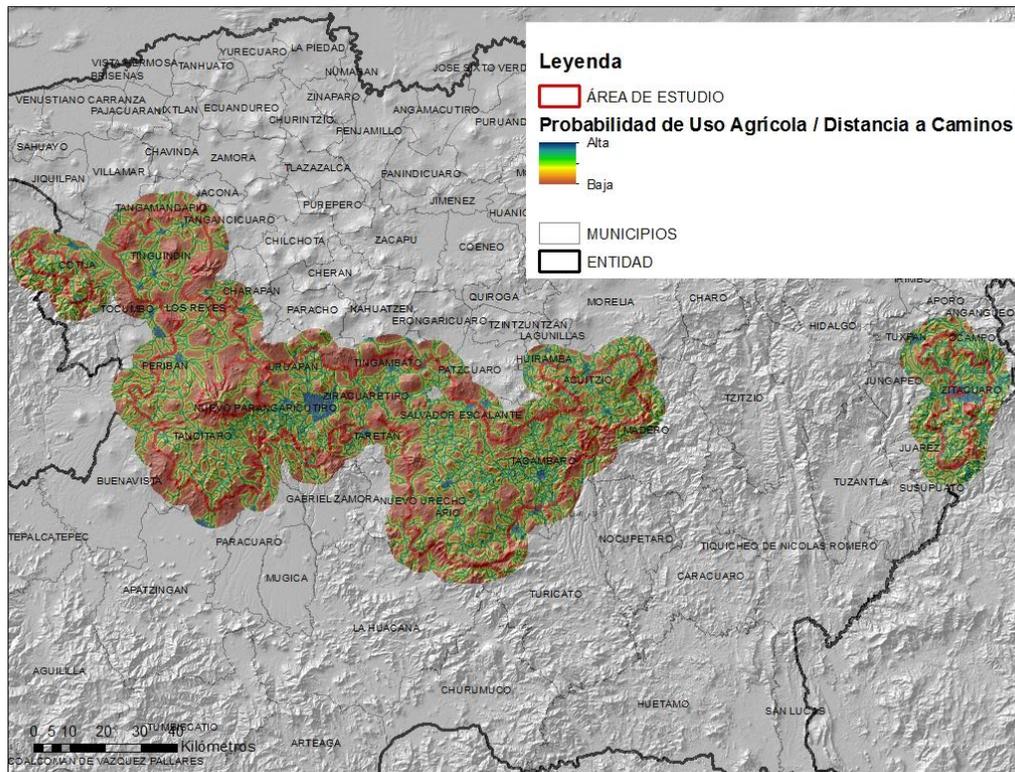


Figura 85. Probabilidad de uso agrícola (otros cultivos) en función de la distancia a caminos.

Secuencia bosque > cultivo de aguacate

La gráfica de la figura 86 muestra la frecuencia en el uso del territorio del área de estudio para el cultivo de aguacate según la pendiente del terreno. La interpretación de esta gráfica indica que este tipo de uso / cubierta ocurre preferentemente en terrenos con pendientes suaves (desde 1 o 2 grados hasta 15 grados aproximadamente), y en menor medida en áreas en donde las pendientes pueden variar entre 15 y 25 grados. Incluso hay áreas de este cultivo que se encuentran por encima de este último valor de inclinación, aunque no son significativas en el contexto global. En la figura se muestra con color rojo la forma de la función de probabilidad ajustada a los datos de cultivo de aguacate y pendiente del terreno. La ecuación de esta función es:

$$PU = e^{-2.5300105+(-0.63606574 * Pendiente)+(2.5275406*Pendiente^{0.5})}$$

y se empleó para calcular los valores de probabilidad del mapa de la figura 87. En la ecuación: PU = probabilidad de uso; Pendiente = mapa de pendientes del terreno en grados.

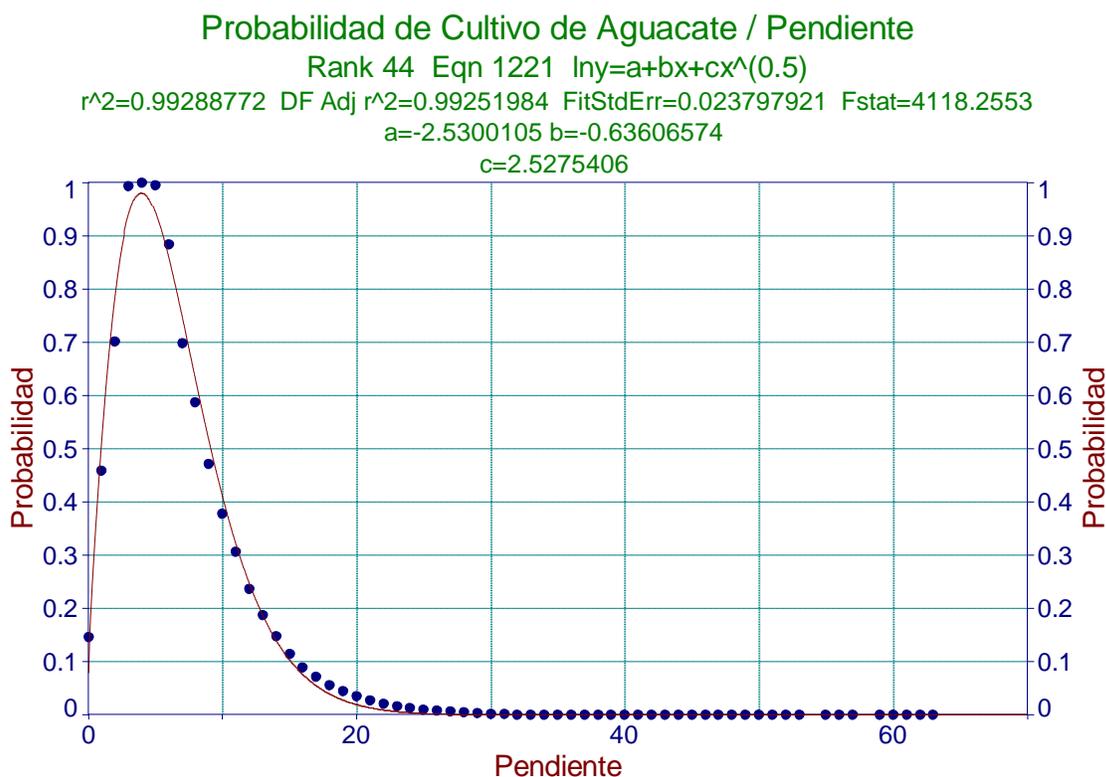


Figura 86. Función de probabilidad del factor B1.

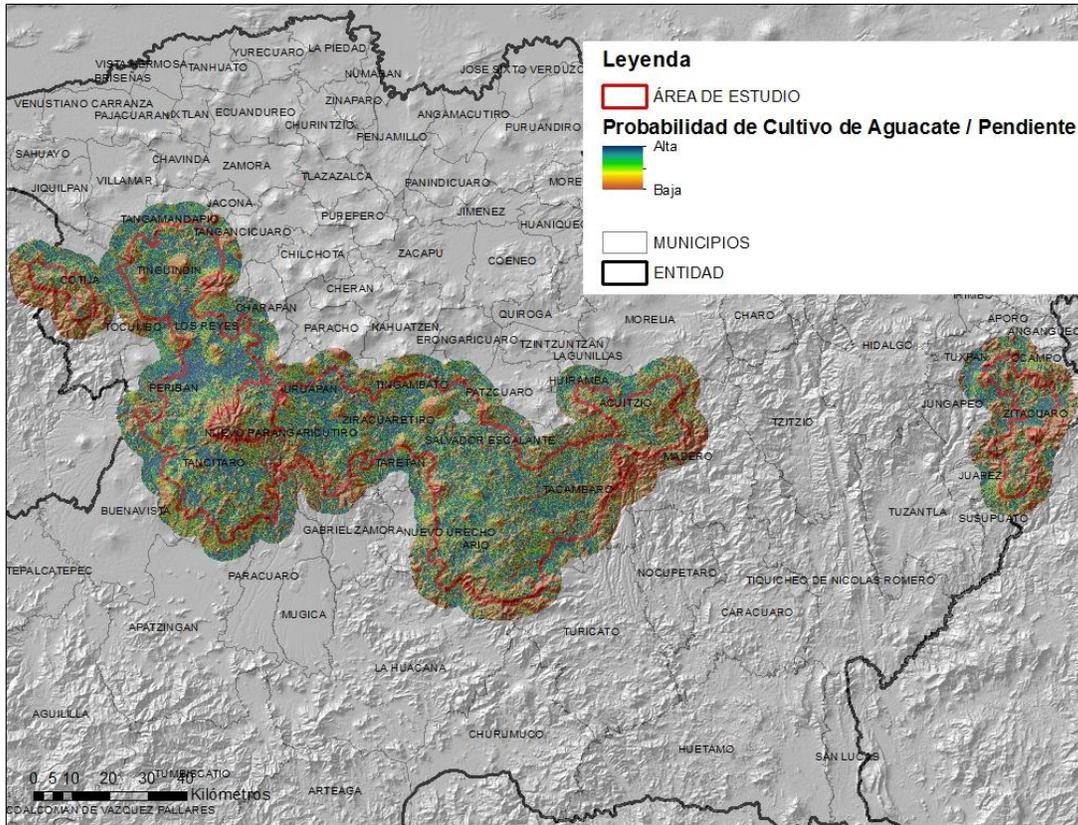


Figura 87. Probabilidad de cultivo de aguacate en función de la pendiente del terreno.

La gráfica de la figura 88 muestra la frecuencia de zonas de cultivo de aguacate según la distancia a caminos. La interpretación de esta gráfica indica que tales zonas ocurren relativamente cercanos a los caminos (hasta los 500 metros aproximadamente), con algunas áreas en donde las distancias pueden variar entre 500 y 2000 metros. En la figura se muestra con color rojo la forma de la función de probabilidad ajustada a los datos combinados de zonas de cultivo de aguacate y distancia a caminos. La ecuación de esta función es:

$$PU = e^{-0.0026569162 + (-0.0026538724 * Distancia a Caminos)}$$

y se empleó para calcular los valores de probabilidad del mapa de la figura 89. En la ecuación: PU = probabilidad de uso; Distancia a Caminos = mapa de distancia a caminos en metros.

Probabilidad de Cultivo de Aguacate / Distancia a Caminos

Rank 3 Eqn 22 $\ln y = a + bx$

$r^2 = 0.99983079$ DF Adj $r^2 = 0.99980259$ FitStdErr = 0.0037220777 Fstat = 76814.975

$a = -0.0026569162$

$b = -0.0026538724$

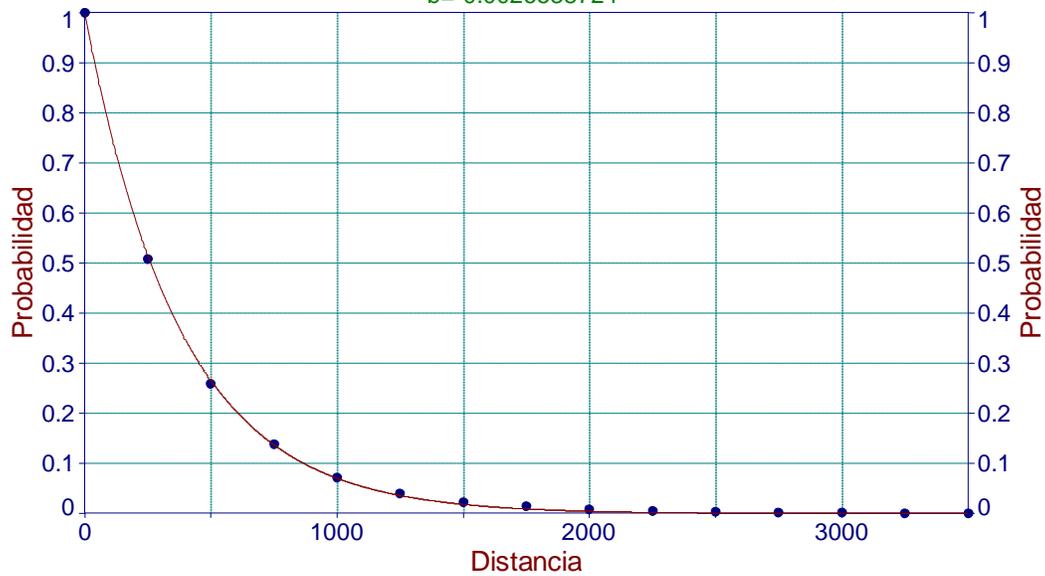


Figura 88. Función de probabilidad del factor B2.

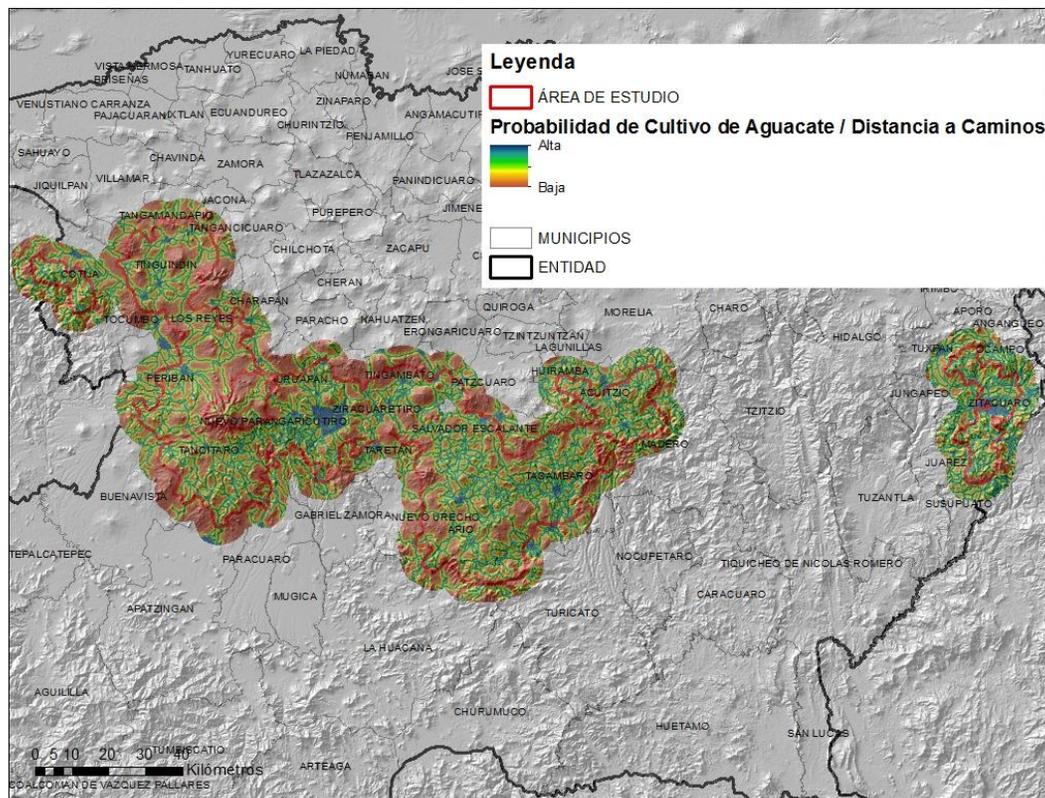


Figura 89. Probabilidad de cultivo de aguacate en función de la distancia a caminos.

Secuencias de cambio probables por pendiente y distancia a caminos

Después de haber calculado los mapas de probabilidad para cada factor, estos se integraron para determinar cual secuencia tenía mayor probabilidad de haber ocurrido dependiendo de cada uno de los dos tipos de factores, pendiente del terreno y proximidad a caminos, produciendo como resultado los mapas de secuencia más probable de cambio correspondientes a cada factor (figuras 90 y 91).

El mapa de la figura 90 indica que las áreas que registraron un cambio aparente de cobertura forestal a cultivo de aguacate en el período 1974 -2011, en su mayoría pueden haber efectivamente experimentado un cambio directo de bosque a aguacate, si se toma únicamente en consideración el factor de la pendiente del terreno en dichas áreas. Específicamente, las superficies de cada secuencia de cambio se dan en la tabla 6.

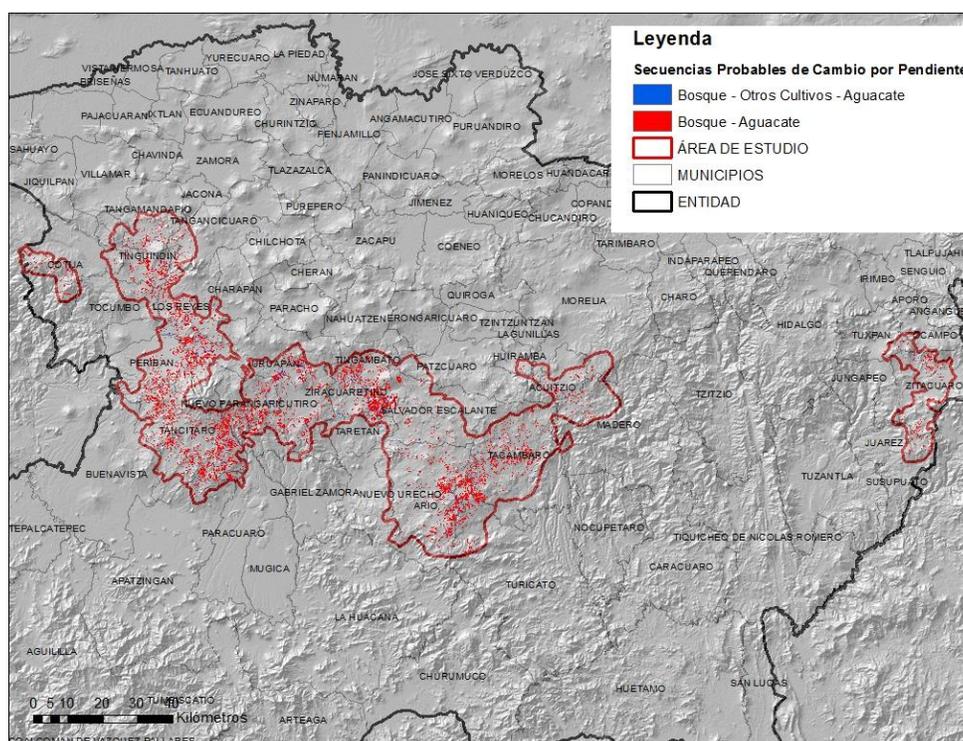


Figura 90. Secuencias de cambio probables para las áreas con bosque en 1974 y aguacate en 2011.

Tabla 6. Superficies correspondientes a las secuencias de cambio de ocurrencia más probable, según el factor pendiente del terreno, para las áreas con cambio aparente de cubierta forestal a aguacate en el período 1974 - 2011.

Secuencia	Hectáreas	Porcentaje
Bosque > Otros Cultivos > Aguacate	3,846	7.84
Bosque > Aguacate	45,191	92.16
TOTAL	49,037	100.00

En este caso, el análisis arrojó que el total de 49,043 hectáreas de áreas con cambio aparente de bosque en 1974 a aguacate en 2011, pudieron haber cambiado directamente entre ambas clases de cubierta / uso. Esto es congruente con el hecho de que las zonas de cultivo de aguacate se pueden ubicar a distancias a caminos pavimentados o de terracería ligeramente mayores que las de otros cultivos debido a que las primeras poseen una red interna de brechas más desarrollada que se conecta con la red principal de caminos, y a que los bosques se encuentran también a distancias relativamente más lejanas de un camino que las zonas de cultivos diferentes al aguacate.

Secuencias de cambio probables para el período 1994 – 2011

Los dos mapas anteriores de secuencias probables por factor se combinaron para producir el mapa final de secuencia más probable de cambio de bosque 1974 a aguacate 2011, figura 92, en donde la secuencia final corresponde a aquella que se presenta en al menos uno de los dos factores.

El análisis muestra evidencia de que la mayor parte, 92%, de las áreas que resultaron con cambio aparente de bosque a aguacate en el período 1974 -2011, muy probablemente experimentaron un cambio directo de cubierta forestal a cultivo de aguacate, mientras que en el resto de dichas áreas, 8%, el cambio de la cubierta forestal pudo haber sido primero a cultivos de temporal o a pastizal. Incluso es probable que la proporción de cambio de bosque a otros cultivos y luego a aguacate, es aun menor que la reportada, si se considera que muchas de estas áreas se encuentran adyacentes a zonas diagnosticadas con cambio directo de bosque a aguacate, por lo cual es probable que hayan sido convertidas a aguacate desde un principio.

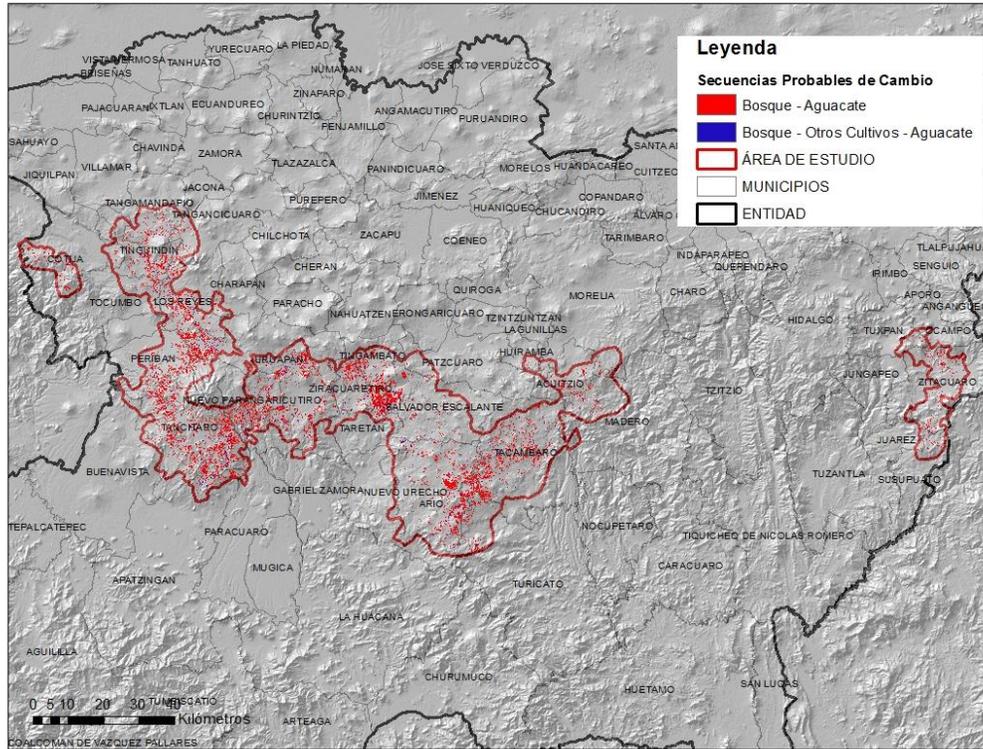


Figura 92. Secuencias probables de cambio de bosque en 1974 a aguacate en 2011.

Para dar un ejemplo de la validez del cambio analizado se proporcionan algunos ejemplos gráficos en las figuras siguientes.

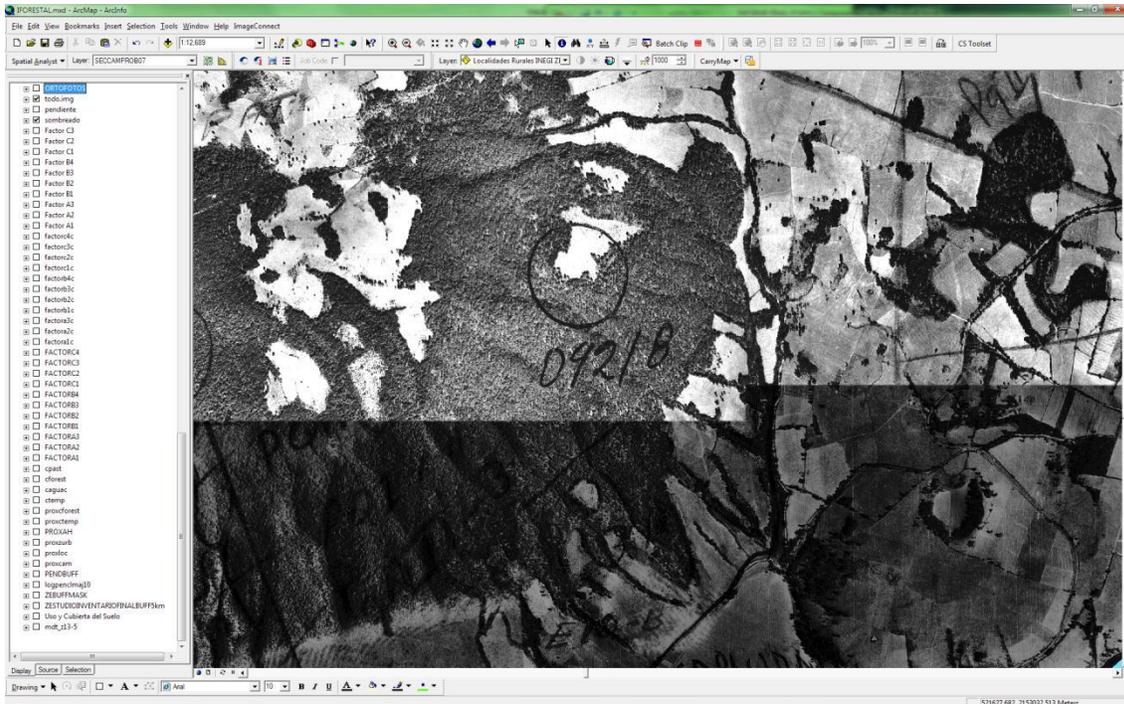


Figura 93. Ejemplo de secuencia de cambio bosque > aguacate. La imagen corresponde a una fotografía aérea de 1974 y muestra la ladera este del Cerro Cumburinos, al NO de Zirahuén, con vegetación de bosque, y zonas de cultivos de temporal y pastizales.

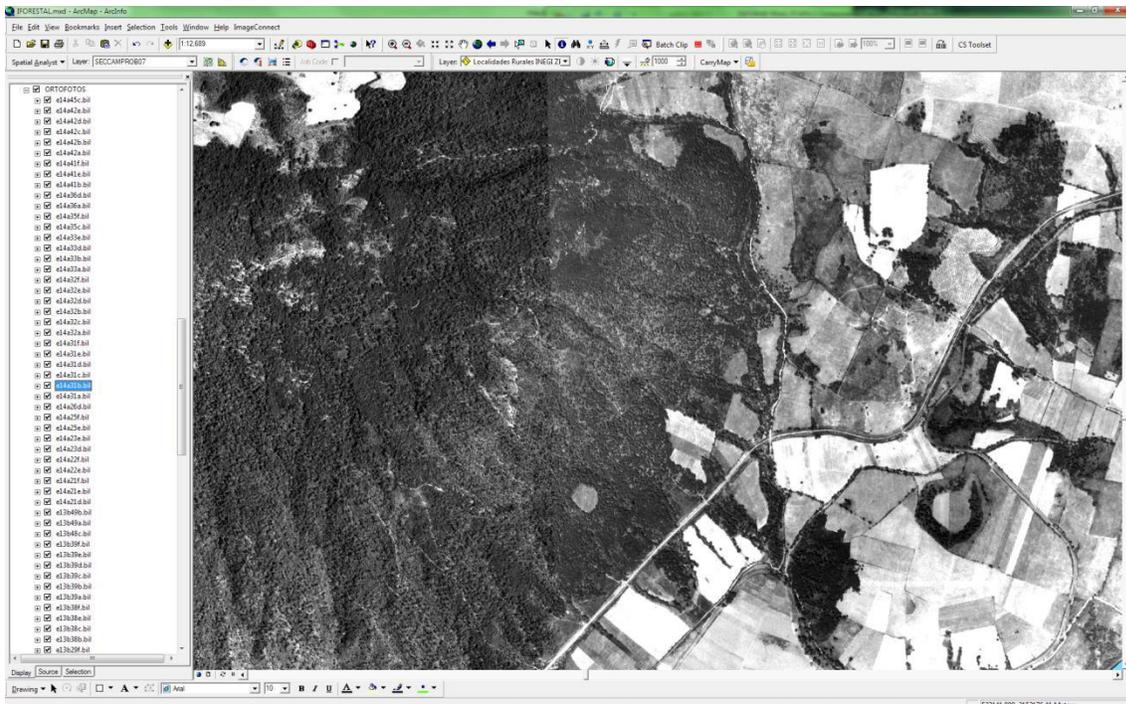


Figura 94. Ejemplo de secuencia de cambio bosque > aguacate. La imagen es del mismo lugar, pero corresponde a una ortofoto de 1995. Se aprecia que tuvo lugar una reforestación o revegetación en aquellas áreas que en 1974 eran de cultivos de temporal o de pastizal.

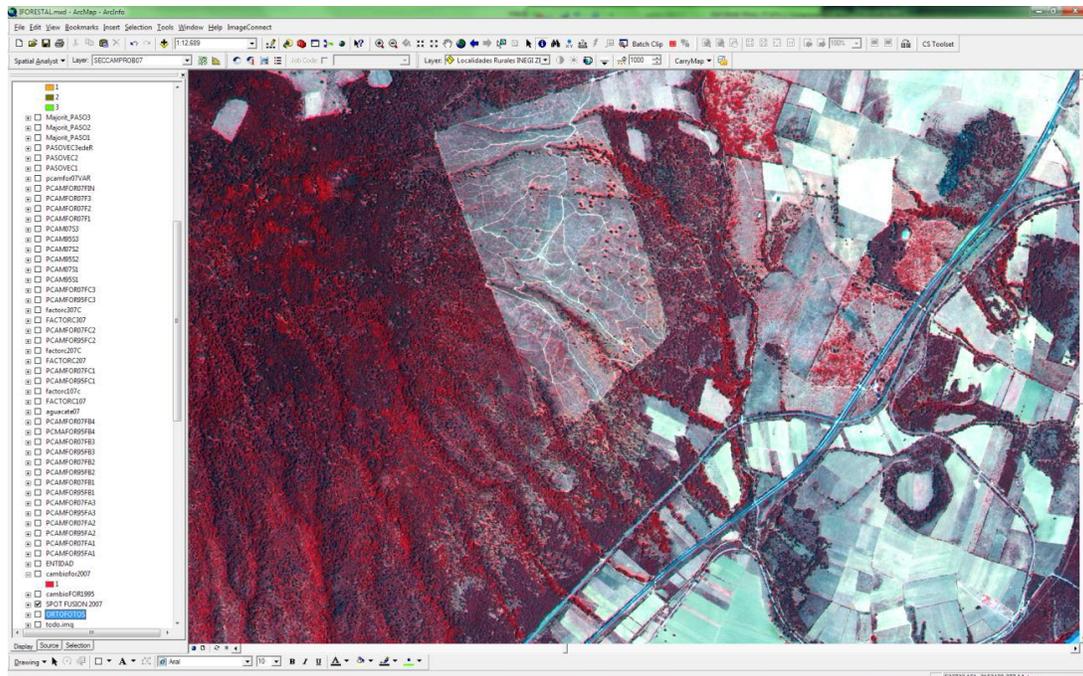


Figura 95. Ejemplo de secuencia de cambio bosque > aguacate. La imagen es del mismo lugar, pero corresponde a una imagen del satélite SPOT 5 del año 2007. Se observa que una superficie significativa del bosque ha sido recién sembrada con aguacate.

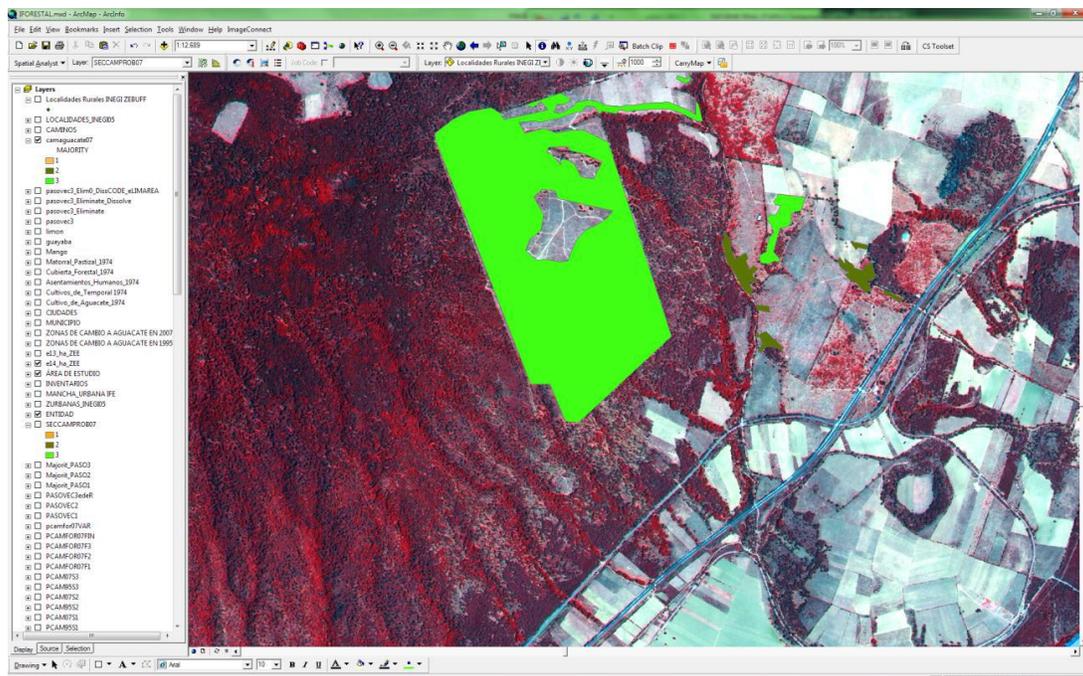


Figura 96. Ejemplo de secuencia de cambio bosque > aguacate. La zona deforestada (verde claro) fue correctamente catalogada como de alta probabilidad de haber experimentado una secuencia de cambio bosque > aguacate, según el análisis de probabilidad descrito en páginas anteriores.

Impacto forestal estimado por municipio

Las cifras a nivel municipal revelan que los impactos en algunos municipios han sido significativos, tanto por el número de hectáreas de bosque remplazadas por el aguacate, como por el porcentaje del total de bosque que existía en 1974 (tabla 7).

Tabla 7. superficies y porcentajes de bosque en 1974 remplazadas por cultivo de aguacate. Datos ordenados por porcentaje de la superficie de bosque del municipio que ha sido remplazada.

MUNICIPIO	HECTÁREAS de BOSQUE	HECTÁREAS de REPLAZO	PORCENTAJE
TANCITARO	29,425.10	9,865.89	33.53
PERIBAN	6,468.57	2,082.33	32.19
TINGAMBATO	5,454.27	1,755.54	32.19
ZIRACUARETIRO	9,908.28	2,876.85	29.03
TURICATO	6,974.46	1,809.54	25.95
NUEVO PARANGARICUTIRO	11,204.60	2,781.90	24.83
TINGUINDIN	6,447.96	1,577.88	24.47
URUAPAN	26,897.00	6,129.00	22.79
SALVADOR ESCALANTE	8,672.67	1,947.42	22.45
TACAMBARO	21,759.30	4,721.40	21.70
LOS REYES	13,246.40	2,645.37	19.97
ARIO	24,436.70	4,731.75	19.36
APATZINGAN	3,833.55	616.23	16.07
PARACUARO	137.79	20.61	14.96
ACUITZIO	3,284.55	490.14	14.92
TANGAMANDAPIO	6,131.79	823.95	13.44
TANGANCICUARO	1,688.04	220.23	13.05
ZITACUARO	10,169.60	1,093.05	10.75
TARETAN	3,566.25	375.84	10.54
JUAREZ	859.95	80.28	9.34
TUXPAN	1,108.26	101.52	9.16
COTIJA	8,943.75	796.32	8.90
TOCUMBO	5,013.72	445.77	8.89
MORELIA	1,572.39	137.61	8.75
CHARAPAN	932.40	80.28	8.61
PATZCUARO	1,278.27	87.03	6.81
SUSUPUATO	3,418.11	191.16	5.59
HUIRAMBA	613.35	33.57	5.47
MADERO	9,531.00	450.09	4.72
GABRIEL ZAMORA	236.43	7.74	3.27
OCAMPO	721.44	18.63	2.58
BUENAVISTA	894.15	22.86	2.56
NUEVO URECHO	1,812.60	13.05	0.72
TOTALES	236,642.70	49,030.83	

