



CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL
U N A M

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN
GEOGRAFÍA AMBIENTAL**

EVALUACIÓN DE TIERRAS PARA EL CULTIVO DEL AGUACATE DE ACUERDO CON EL CONOCIMIENTO LOCAL DEL PAISAJE EN LA REGIÓN DEL PICO DE TANCÍTARO, MICHOACÁN.



TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN GEOGRAFÍA

PRESENTA:

BIOL. LUIS GIOVANNI RAMÍREZ SÁNCHEZ

**ASESOR: M. EN C. LUIS MIGUEL MORALES
MANILLA**

JUNIO DEL 2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEDICATORIA

A Dios

Por brindarme vida, fortaleza y salud para el cabal cumplimiento de este trabajo.

A mis Padres

Alfonso e Imelda, que con su constante apoyo y preocupación, me han enseñado el verdadero significado de la palabra "Sacrificio". Mil gracias y mi más sincero respeto y amor.

A mis Hermanas

Vianney, América, Marcela e Imelda, por aguantarme en mis malos ratos y por brindarme siempre todo su cariño.

A mi cuñado y sobrinos

Jorge, Paola y Mauricio, por recibirme siempre con una enorme sonrisa.

A mi Tía

Roselia (Cheya), por su apoyo brindado en la obtención del equipo de cómputo, que resulto de gran ayuda en la elaboración de la tesis, Mil Gracias.



AGRADECIMIENTOS

Al M. en C. Luis Miguel Morales Manilla por su valiosa y paciente asesoría y por adentrarme aun más en el mundo SIG. Mil Gracias.

A la DGEP por la beca brindada durante la realización de mis estudios de maestría.

Al Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán (CIDEM), por la facilidades y permisos otorgados para la realización de la maestría.

A los sinodales de mi mesa por dedicar parte de su tiempo en la revisión del manuscrito final. M. en C. Rocío Castillo, Dr. Manuel Mendoza, M. en C. José Francisco Sánchez y M. en C. José Antonio Navarrete.

Al casi Doctor José de Jesús Alfonso Fuentes Junco (CHUCHO) por facilitarme gran parte de los insumos que se utilizaron en la realización de la tesis.

A Astrid por entrar en mi vida cuando más lo necesitaba y por brindarme su confianza y cálido amor.

A los “Hay Jalisco no te rajes” (Néstor y Arturo), por brindarme desinteresadamente su valiosa amistad y por sus constantes asesorías.

A mis amigas y compañeras de la Tercera generación de la Maestría con quienes compartí momentos maravillosos, Rocío, Angélica y Silvia.

Al Ingeniero en sistemas, Hugo Zavala por su constante ayuda en la resolución de los problemas de cómputo.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera siempre estuvieron en el momento preciso para brindarme su apoyo, confianza, cariño y amistad: Yameli, Selene, Tania, Fernando (Rojo), Chayo, Violeta, Hergüin, Ricardo, mi padrino Pepe, Robert, Mayra, y a quienes que por falta de memoria del autor no aparecen en esta lista.

*A todos y cada uno de Ustedes mis
más sinceras y profundas GRACIAS!!!*



INDICE GENERAL

<i>RESUMEN</i>	<i>i</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>ii</i>
<i>INDICE GENERAL</i>	<i>iii</i>
<i>INDICE DE CUADROS</i>	<i>vi</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>viii</i>
<i>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</i>	
<i>1.1. INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</i>	<i>2</i>
<i>1.3. ANTECEDENTES</i>	<i>5</i>
<i>1.4. JUSTIFICACIÓN</i>	<i>8</i>
<i>1.5. OBJETIVOS</i>	
<i>1.5.1. General</i>	<i>9</i>
<i>1.5.2. Particulares</i>	<i>9</i>
<i>1.6. HIPÓTESIS DE TRABAJO</i>	<i>9</i>
<i>CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</i>	
<i>2.1. UNIVERSO DE ESTUDIO</i>	<i>11</i>
<i>2.1.1. Geomorfología</i>	<i>13</i>
<i>2.1.2. Hidrología</i>	<i>15</i>
<i>2.1.3. Suelos</i>	<i>15</i>
<i>2.1.4. Clima</i>	<i>18</i>
<i>2.1.5. Vegetación</i>	<i>19</i>
<i>CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO</i>	
<i>3.1. MARCO TEÓRICO</i>	<i>22</i>
<i>3.1.1. Desarrollo Sustentable</i>	<i>22</i>
<i>3.1.2. Sustentabilidad</i>	<i>23</i>
<i>3.1.3. Evaluación de Tierras</i>	<i>23</i>
<i>3.1.4. Región</i>	<i>24</i>





3.1.5. Relaciones Espaciales	25
3.1.6. Modelo	25
3.1.7. Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo	26
3.2. ENFOQUES METODOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN DE TIERRAS	27
3.3. MODELO AGRILocal	29
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS	
4.1. MATERIALES	30
4.2. MÉTODOS	30
4.2.1. Descripción del Modelo AGRILocal	31
4.2.1.1. Paso Uno: Encontrar las relaciones espaciales relevantes entre la tierra de cultivo y otros eventos geográficos involucrados en el cultivo del Aguacate	32
4.2.1.2. Paso Dos: Especificar las funciones de preferencia	35
4.2.1.3. Paso Tres: Establecimiento del Grado de Influencia	36
4.2.1.4. Paso Cuatro: Aplicación del modelo	38
4.2.2. Fotointerpretación	39
4.2.3. Cambio de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo	40
4.2.4. Matrices de Transición	41
4.2.5. Encuesta	43
CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
5.1. CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y DE USO DEL SUELO EN LA RPT (1974 y 1996)	44
5.2. CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y DE USO DEL SUELO EN LA RPT (1996 y 2007)	48
5.3. CAMBIOS DE LA COBERTURA VEGETAL Y DE USO DEL SUELO EN LA RPT (1974 y 2007)	53
5.4. EVALUACIÓN DE TIERRAS: APLICACIÓN DEL MODELO AGRILocal	56



5.4.1. Modelo <i>AGRILOCAL</i> para 1974	56
5.4.2. Modelo <i>AGRILOCAL</i> para 1996	70
5.4.3. Modelo <i>AGRILOCAL</i> para 2007	81
5.5. <i>COMPARACIÓN DE MODELOS</i>	92
5.5.1. Modelo <i>AGRILOCAL</i> para 1974-2007	95
5.5.2. <i>Aptitud del cultivo de aguacate en 1974 y 2007 según el modelo <i>AGRILOCAL</i> 1974-2007</i>	99
5.5.3. <i>Cambio en la cubierta de bosque por cultivo de aguacate 1974-2007</i>	102
5.5.4. <i>Expansión del cultivo de aguacate dentro del polígono del Parque Nacional Pico de Tancítaro</i>	104
5.6. <i>APLICACIÓN DE ENCUESTAS</i>	107
5.6.1. <i>Parámetros relevantes de acuerdo con los productores locales de aguacate</i>	108
5.6.2. <i>Preferencia de los parámetros de acuerdo con los productores locales de aguacate</i>	110
5.6.3. <i>Peso de los parámetros de acuerdo con los productores locales de aguacate</i>	112
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES	
6.1. <i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	115
6.2. <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	123
6.3. <i>ANEXOS</i>	130



ÍNDICE DE CUADROS

<i>CUADRO 1. Geomorfología de la RPT</i>	14
<i>CUADRO 2. Tipos de Clima que se encuentra en la RTP</i>	19
<i>CUADRO 3. Métodos para la Evaluación de Tierras</i>	28
<i>CUADRO 4. Tipos de relaciones Espaciales a emplear como parámetros en un modelo AGRILLOCAL</i>	32
<i>CUADRO 5. Leyenda de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo Utilizada en la Fotointerpretación</i>	40
<i>CUADRO 6. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT (1974-1996)</i>	44
<i>CUADRO 7. Matriz de probabilidad de Cambios (1974-1996) de la RPT</i>	46
<i>CUADRO 8. Tasas de cambio del periodo 1974-1996</i>	48
<i>CUADRO 9. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT (1996-2007)</i>	48
<i>CUADRO 10. Matriz de probabilidad de Cambios 1996-2007 de la RPT</i>	50
<i>CUADRO 11. Tasas de cambio del periodo 1996-2007</i>	52
<i>CUADRO 12. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT (1974-2007)</i>	53
<i>CUADRO 13. Matriz de probabilidad de Cambios 1974-2007 de la RPT</i>	54
<i>CUADRO 14. Tasas de cambio del periodo 1974-2007</i>	56
<i>CUADRO 15. Relaciones espaciales exploradas para el cultivo de Aguacate en la RPT</i>	56
<i>CUADRO 16. Relaciones espaciales relevantes para el año 1974</i>	57
<i>CUADRO 17. Funciones de preferencia para el año 1974</i>	59
<i>CUADRO 18. Rangos de preferencia para 1974</i>	61
<i>CUADRO 19. Pesos de las relaciones espaciales para 1974</i>	65
<i>CUADRO 20. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1974)</i>	69
<i>CUADRO 21. Relaciones espaciales relevantes para el año 1996</i>	70
<i>CUADRO 22. Funciones de preferencia para el año 1996</i>	72
<i>CUADRO 23. Rangos de preferencia para 1996</i>	74
<i>CUADRO 24. Pesos de las relaciones espaciales para 1996</i>	77
<i>CUADRO 25. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1996)</i>	81



CUADRO 26. Relaciones espaciales relevantes para el año 2007	82
CUADRO 27. Funciones de preferencia para el año 2007	83
CUADRO 28. Rangos de preferencia para 2007	85
CUADRO 29. Pesos de las relaciones espaciales para 2007	88
CUADRO 30. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (2007)	92
CUADRO 31. Relaciones espaciales relevantes para las tres fechas de análisis	93
CUADRO 32. Pesos de las relaciones espaciales para las tres fechas de análisis	94
CUADRO 33. Comparación de los modelos construidos para las tres fechas de análisis	94
CUADRO 34. Pesos de las relaciones espaciales para 1974-2007	96
CUADRO 35. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1974-2007)	101
CUADRO 36. Comparación entre los bosques (1974) y la aptitud territorial (1974-2007)	103
CUADRO 37. Comparación entre las áreas de cambio (bosque-Aguacate) y la aptitud territorial (1974-2007)	104
CUADRO 38. Superficie de aptitud territorial considerando el ANP presente en la zona	105
Cuadro 39. Superficie de cobertura de aguacate considerando el ANP presente en la zona	106
CUADRO 40. Relaciones espaciales relevantes para las encuestas y el año 2007	110
CUADRO 41. Preferencia de las clases o rangos de los parámetros para el cultivo de aguacate	111
CUADRO 42. Pesos de las relaciones espaciales para las encuestas y el año 2007	114



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Clúster del Aguacate en el Estado de Michoacán	4
FIGURA 2. Localización de la Región del Pico de Tancitaro (RPT)	11
FIGURA 3. Región Terrestre Prioritaria 114 (Parque Nacional Pico de Tancitaro)	13
FIGURA 4. Distribución Espacial de las Geoformas en la RPT	14
FIGURA 5. Manantiales existentes en la RPT	15
FIGURA 6. Edafología de la RPT	18
FIGURA 7. Cobertura Vegetal de la RPT	21
FIGURA 8. Diagrama de Flujo de la Secuencia Metodológica para la Construcción del Modelo AGRILLOCAL	39
FIGURA 9. Diagrama de Flujo de la Secuencia Metodológica para el Cambio de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo	42
FIGURA 10. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT, 1974	45
FIGURA 11. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT, 1996	46
FIGURA 12. Tendencia de la Cobertura y Uso del Suelo en la RPT (1974-1996)	47
FIGURA 13. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT, 2007	50
FIGURA 14. Tendencias de la Cobertura y Uso del Suelo en la RPT (1996-2007)	52
FIGURA 15. Tendencias de la Cobertura y Uso del Suelo en la RPT (1974-2007)	55
FIGURA 16. Probabilidad de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los valores de los parámetros sin ponderar para el cultivo del aguacate (1974)	63
FIGURA 17. Clases de aptitud territorial sin ponderar para el cultivo del aguacate (1974)	64
FIGURA 18. Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros ponderados para el cultivo del aguacate (1974)	67
FIGURA 19. Clases de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros para el cultivo del aguacate (1974)	67



FIGURA 20. Comparación entre los cultivos anuales y bosque cerrado con la aptitud territorial (1974)	68
FIGURA 21. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1974)	69
FIGURA 22. Probabilidad de Aptitud territorial de acuerdo al grado de los valores de preferencia de los parámetros sin ponderar para el cultivo del aguacate (1996)	75
FIGURA 23. Clases de aptitud territorial sin ponderar para el cultivo del aguacate (1996)	76
FIGURA 24. Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros ponderados para el cultivo del aguacate (1996)	78
FIGURA 25. Clases de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros para el cultivo del aguacate (1996)	79
FIGURA 26. Áreas de cambio entre la cobertura de aguacate de 1996 y las coberturas de 1974	80
FIGURA 27. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1996)	81
FIGURA 28. Probabilidad de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los valores de los parámetros sin ponderar para el cultivo del aguacate (2007)	86
FIGURA 29. Clases de aptitud territorial sin ponderar para el cultivo del aguacate (2007)	87
FIGURA 30. Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros ponderado para el cultivo del aguacate (2007)	89
FIGURA 31. Clases de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros para el cultivo del aguacate (2007)	90
FIGURA 32. Áreas de cambio entre la cobertura de aguacate de 2007 y las coberturas de 1996	91
FIGURA 33. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (2007)	92
FIGURA 34. Aptitud territorial para el cultivo del aguacate de acuerdo con el modelo <i>AGRILLOCAL</i> 74-07	97



FIGURA 35. <i>Imagen Modis con cobertura de aguacate de 2007</i>	98
FIGURA 36. <i>Clases de Aptitud territorial para el cultivo del aguacate según el modelo AGRILLOCAL 74-07</i>	99
Figura 37. <i>Comparación entre la cobertura de aguacate 1974 y la aptitud territorial 1974-2007</i>	100
Figura 38. <i>Comparación entre la cobertura de aguacate 2007 y la aptitud territorial 1974-2007</i>	100
Figura 39. <i>Áreas de cambio entre los bosques de 1974 y la cobertura de aguacate de 2007, caracterizadas por la aptitud territorial según el modelo AGRILLOCAL 74-07</i>	104
Figura 40. <i>Superficie de aptitud territorial considerando el ANP presente en la zona</i>	106
Figura 41. <i>Superficie de cobertura de aguacate considerando el ANP presente en la zona</i>	107
FIGURA 42. <i>Parámetros relevantes de acuerdo con los productores locales de aguacate</i>	109
Figura 43. <i>Comparación entre los rangos de preferencia para el cultivo de aguacate entre los resultados de las encuestas y los estadísticos</i>	112
FIGURA 44. <i>Pesos de los parámetros relevantes de acuerdo con los productores locales de aguacate</i>	113



RESUMEN

La región del Pico de Tancítaro, con 67, 456 Hectáreas, es una de las zonas de mayor producción de Aguacate en el Estado de Michoacán. Donde a principios de los años 70's se inicio a dar un intenso cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, encaminado hacia la invasión-expansión del cultivo de Aguacate.

Durante el desarrollo del presente trabajo se utilizaron diversas técnicas de investigación: análisis de cartografía existente, análisis de la dinámica de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, evaluación de tierras con el modelo AGRILLOCAL, reinterpretación de fotografías aéreas, manejo de sistemas de información geográfica, trabajo de campo y realización de encuestas.

Los resultados obtenidos indican que en la Región del Pico de Tancítaro el cambio de cobertura vegetal y uso del suelo está íntimamente ligado al cultivo de aguacate, restándole superficie a otras categorías de cobertura vegetal y uso del suelo, principalmente a los Cultivos Anuales y a los Bosques Abiertos.

Por otro lado, de acuerdo a la evaluación de tierras con el modelo AGRILLOCAL, se tiene que las zonas de aptitud óptima para el cultivo de aguacate (clases de aptitud Muy Alta y Alta) ya están siendo utilizadas en su mayoría por el mismo (87 y 62% de la superficie, respectivamente). Por lo que las zonas con mayor potencial son ya escasas sobre todo por la competencia del crecimiento de los asentamientos humanos y la expansión de otros cultivos.

Dado los resultados obtenidos de la aplicación del modelo AGRILLOCAL en esta investigación, se estima deseable su aplicación en el resto de las regiones en el estado de Michoacán en donde el cultivo del aguacate es de gran importancia para las economías locales. Ya que permitir la expansión indiscriminada del cultivo puede ocasionar un deterioro ambiental tal que origine la insustentabilidad esta actividad en el Estado.

Palabras Clave: Parque Nacional Pico de Tancítaro, Modelo AGRILLOCAL, cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, cultivo de aguacate, evaluación de tierras, SIG.





ABSTRACT

The region of Tancitaro's Peak, with 67, 456 hectares, is one of the most important zones of avocado cultivation in the Michoacan State. At the early 70's, it was register an intense change in the land cover and land use due to the invation-expansion of the advocado cultivation.

In the present study different research techniques were used like: analysis of the existent cartography, dynamic of change in land cover and land use, evaluation of the land with the AGRILocal model, re-interpretation of aerial photos, use of geographical information systems, field work and surveys.

The results show that in the zone of the Tancitaro's peak the change in land cover and land use is closely link to the avocado cultivation dynamic, limiting the areas of other land cover categories, mainly affecting the annual's cultivation and the open forest.

On the other hand, according to the land evaluation made with the AGRILocal model the zones with an optimum aptitude for the avocado cultivation (aptitude categories very high and high) most of them are being use already (87 y 62% of the area, respectively). There by, the zones with more potential to use in the avocado are limited, this is a consequence of the development of new human settlements and by the expansion of other types of cultivation.

Thanks to the results obtained in the research with the AGRILocal model, we recommend the application of the model in other regions of avocado cultivation in the Michoacan state where the cultivation is of great importance for the local economies. Allowing the indiscriminate expansion of the avocado might cause environmental degradation, one that originates the unsustainability of this cultivation in the State.

Key words: Tancitaro's Peak Region, AGRILocal Model, Land cover and Land use changes, avocado cultivation, land evaluation, GIS.



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Con 86,000 ha cultivadas de aguacate *Persea americana* variedad “Hass”, se considera al estado de Michoacán, como la región productora más grande del mundo (Sánchez, *et. al.*, 2000, Servicios Unidos en Materia Agrícola A.C., 2006 y Caballero, 2007), sin embargo, el ámbito geográfico de la entidad es muy complejo, puesto que se tienen variaciones extremas como resultado de la combinación de los componentes: suelo, clima, topografía, uso de suelo, etc. En muchos casos ha sido ignorado que las características ambientales en que se va a desarrollar un huerto, deben presentar un grado de adecuación suficiente para asegurar la rentabilidad de los insumos tecnológicos recomendados, lo que ha generado una gran variabilidad en la productividad de los huertos (INIFAP, 1993).

La Región del Pico de Tancítaro, no es la excepción, donde el uso inapropiado del terreno conlleva la explotación ineficiente de los recursos naturales, la destrucción del recurso tierra, pobreza y otros problemas sociales. La sociedad debe entender que la tierra es un recurso que tiene que ser usado de acuerdo a su capacidad, con la finalidad de satisfacer las necesidades humanas presentes pero sin descuidar las de las generaciones futuras y manteniendo los ecosistemas terrestres.

Hoy en día se encuentra latente la necesidad de practicar una agricultura más productiva y con un menor nivel de riesgo, la estrategia más clara y precisa es aquella que implica la producción de cultivos en ambientes que provean condiciones que satisfagan los requerimientos agroecológicos de las plantas. Lo anterior implica practicar una zonificación de cultivos que permita identificar áreas y épocas con diferente nivel de aptitud agroecológica, desde las marginales, en donde el cultivo difícilmente satisface sus necesidades ecológicas, hasta las óptimas, donde el cultivo satisface íntegramente tales exigencias (Ruíz, *et. al.* 1999).

Parte de las solución al problema del uso inadecuado de la tierra es la evaluación de tierras, con la finalidad de ayudar a planear el uso racional, apropiado y sustentable de los recursos humanos y naturales, (Rossiter, 1996).



En la presente investigación se realizó una evaluación de tierras para el cultivo del aguacate, basada en el Modelo AGRILocal (Morales-Manilla, 2007). Este modelo asume que el uso óptimo del territorio con fines agrícolas puede conocerse si se investiga el patrón de distribución del cultivo de manera histórica, puesto que la experiencia de los agricultores locales para seleccionar adecuadamente las tierras más aptas para el cultivo se encuentra implícita en dicho patrón. Con esto es posible determinar qué cualidades del territorio, tanto ambientales como socioeconómicas, son tomadas en cuenta por los agricultores locales y qué valores de dichas cualidades son considerados por ellos como aceptables, una vez que las relaciones espaciales de estas cualidades con respecto a la distribución del cultivo son analizadas estadísticamente.

Se supone entonces que el conocimiento local del paisaje por parte de los agricultores se deriva de su experiencia en el uso del territorio, y que este conocimiento puede ser parcialmente extraído si se analizan los patrones históricos de distribución del cultivo de acuerdo con el modelo mencionado.

El trabajo contiene un total de seis capítulos, en el primero se describe la justificación y objetivos de este trabajo, así como los antecedentes y la hipótesis de trabajo; en el segundo se hace mención de las características físicas y geográficas que caracterizan el área de estudio; en el tercero se describe el marco teórico con cada uno de los conceptos más importantes; en el cuarto se describen a detalle cada una de las técnicas y métodos empleados en la investigación y en el quinto se analizan y describen los resultados obtenidos, y en un capítulo final se encuentran las conclusiones y recomendaciones hechas para esta investigación.

1.2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El problema del deterioro ambiental y de los procesos de contaminación ha adquirido a últimas fechas gran importancia, no solo por la conciencia que se ha creado en torno a tal problemática, sino por la imperiosa necesidad de resguardar la vida y el entorno humano. Para el caso de México se tiene que los procesos de contaminación, devastación y depredación de la tierra son realmente alarmantes,



en donde las regulaciones son muy pobres y la conciencia cívica, política y social, al parecer, es inexistente.

El deterioro ambiental por las actividades humanas, no es un fenómeno reciente, prácticamente desde su aparición, el hombre ha modificado el medio natural, (Comisión Nacional de Zonas Áridas/SEDESOL/FAO, 1994). Este deterioro no ha sido solamente a escala local, sino que se ha extendido a escala mundial, por lo que se considera necesario adoptar medidas claras, con el fin de aprovechar y/o conservar los recursos naturales de la mejor manera posible, con todo y los retos que este tipo de acciones representa.

Uno de los grandes desafíos a los que se enfrenta el hombre en los comienzos del siglo XXI, es el de la conservación de la diversidad biológica del planeta, en función de las necesidades de la población. Los ecosistemas que se encuentran en mayor peligro de deterioro, debido a su fragilidad y al impacto ecológico de las actividades humanas, son los que se ubican en las regiones tropicales. Donde México se encuentra incluido dentro del conjunto de las 15 áreas denominadas *hot spots* o bajo amenaza crítica (Durand y Durand, 2004).

Durante los últimos 25 años, la huella antrópica en el ambiente mexicano es notoria en el intenso cambio de uso del suelo y subsecuente deterioro: la deforestación ha sido estimada en 545, 000 ha/año; más del 70% de los suelos presentan algún tipo de degradación; más del 15% de los acuíferos del país se encuentran sobreexplotados y más del 73% de las aguas superficiales tiene algún grado de contaminación (Bocco *et al.*, 2005).

El estado de Michoacán ha sido objeto de una intensa sobreexplotación en donde el crecimiento demográfico, la demanda de alimentos y servicios ha favorecido el crecimiento de la frontera agrícola y la urbanización, utilizando las tierras deforestadas que son abandonadas para la introducción de monocultivos y asentamientos humanos. Asociado a las actividades agropecuarias se generaliza la aplicación de agroquímicos para elevar la productividad y combatir las plagas y enfermedades.

Para el caso concreto del cultivo del aguacate, Michoacán ocupa el primer lugar entre los estados productores en el país. En un lapso de 11 años en el



estado creció tanto la superficie cosechada y la producción en un 39.8 y 56.6% respectivamente; así mismo, en este mismo tiempo ha aportado más del 86% de aguacate cosechado en el país (Steffen y Echánove, 2003), donde los municipios que aportan mayor producción son: Los Reyes, Peribán, Uruapan, Tancítaro, Nuevo San Juan Parangaricutiro, Ario de Rosales, Tacámbaro, y Salvador Escalante (Figura 1).



Figura 1. Clúster del Aguacate en el Estado de Michoacán. (Tomado de Servicios Unidos en Materia Agrícola A.C., 2006)

El caso de la RPT, es representativo de regiones que se especializaron en un solo cultivo y de los problemas medioambientales que se desencadenan: deforestación, pérdida de la biodiversidad, contaminación, cambios climáticos.

Tal es el auge que tiene este fruto, que en los últimos años se han abierto nuevas áreas para su cultivo, en especial en la región del Pico de Tancítaro (RPT), llevándose a cabo sin planeación alguna e incluso estableciéndose en zonas que no son del todo propicias para su buen desarrollo.

Este cultivo inició su expansión a principios de los años 70's, en los municipios de Uruapan y Peribán, en donde en un periodo de 20 años aumentó su superficie en un 500% (Torres y Bocco 1999 y Ramírez-Sánchez, 2005), esto debido a los excelentes dividendos económicos que este cultivo otorga. Pero esta



expansión/invasión tuvo sus consecuencias ecológicas y culturales, en lo que a las primeras se refiere, se talaron grandes superficies de bosque para realizar esta actividad, así mismo el cultivo del maíz pasó a segundo término ya que no pudo competir con el cultivo del aguacate; y las segundas, en la pérdida del valor cultural que representa la siembra del maíz, el cual ha sido desplazado paulatinamente por el cultivo del aguacate.

De igual forma, en la RPT no existe un plan de manejo para el aprovechamiento racional y adecuado de los recursos naturales, la explotación se lleva a cabo de manera irracional en los últimos años y gran parte de la RPT es afectada por la expansión de otros frutales, tales como el aguacate, durazno, pera y guinda. Además, tanto las instituciones de gobierno, como las educativas, no le han dado la importancia necesaria a esta zona, lo cual se refleja en los pocos estudios que se tienen, por lo que se desconoce gran parte de su riqueza ecológica.

Con este trabajo se pretende analizar algunos de los factores ambientales y socioeconómicos que favorecen el desarrollo del cultivo del aguacate en la región, para estimar las zonas o áreas que aún son propicias para establecer este cultivo, y cuáles de las usadas actualmente son de carácter marginal, considerando el conocimiento que los agricultores locales aplican en la decisión de emplear ciertas zonas del territorio para este cultivo específico, según se asume en el modelo AGRILOCAL.

Finalmente se espera que este trabajo pueda contribuir a la regulación racional de la expansión del cultivo del aguacate y así disminuir en alguna medida el constante deterioro ambiental en la Región del Pico de Tancítaro, con la finalidad de conservar y proteger los recursos naturales presentes en dicha zona, y promover la sustentabilidad del cultivo.

1.3 ANTECEDENTES

En este apartado, se hace mención de algunos trabajos desarrollados en la RPT, pero con diferentes temáticas. Asimismo, se exponen brevemente varios



trabajos que aportan algunos elementos que se relacionan con el tema de la presente investigación.

Torres y Bocco (1999), realizaron un análisis del cambio de uso del suelo por el cultivo de aguacate en la Meseta Tarasca, para los años 1970 y 1990/92, en la región circundante al Pico de Tancítaro, encontrando que la expansión de este cultivo tuvo lugar en más del 500% en tan sólo 20 años. Lo que representa un gran peligro para la destrucción de los bosques de la región y para la biodiversidad en el Tancítaro.

Fuentes^a (2000) en su trabajo que realizó sobre cuencas y manejo integrado de recursos naturales en el Pico de Tancítaro, delimitó 14 cuencas hidrográficas, en las cuales llevó a cabo una serie de mediciones en cuanto a la producción de agua se refiere, en donde encontró que el manejo del agua en el Pico de Tancítaro posee un carácter complejo el cual puede ser abordado mediante un esquema de análisis integrado, orientado a establecer la vulnerabilidad del agua, y que debido a la relevancia y prevalecencia de los problemas relacionados con el agua que rigen las relaciones ambientales de la región, un enfoque de este tipo puede favorecer más la protección de la biodiversidad que uno que parta de la importancia biológica del Pico de Tancítaro.

Fuentes^b (2000) realizó una evaluación sobre el deterioro en áreas naturales protegidas en el Parque Nacional, desde un punto de vista geomorfológico, en donde observó que el paisaje es más complejo en sus laderas orientales, debido al desarrollo de vulcanismo reciente. Como conclusión general, menciona que el modelo de degradación del Parque Nacional Pico de Tancítaro, indica una dinámica centrípeta (de afuera del parque hacia adentro) de manera dominante. Además menciona que más del 90% del territorio del mismo, es utilizado de manera inadecuada, lo que contribuye a que exista una degradación mayor.

Sánchez (2000) concluyó para Nuevo San Juan Parangaricutiro, que más del 60% de la superficie evaluada, presenta una aptitud de muy apta a moderada, para la utilización de la tierra con pastizales inducidos y actividad forestal, además



de proponer que la superficie comunal sea manejada bajo los siguientes esquemas:

1. 21% como silvopastoril,
2. 9% como agrosilvopastoril,
3. 8% como agropastoril,
4. 7% como silvopastoril.

García *et al.* (2002), Realizaron un trabajo acerca de la flora del Parque Nacional Pico de Tancítaro, en donde encontraron una especie de *Chusquea* leñosa, la cual probablemente sea nueva para la ciencia o al menos un registro nuevo para el Estado de Michoacán; asimismo, encontraron una nueva especie que corresponde a *Sedum neovolcanicum*, además de localizar fuera de los límites del parque otra nueva especie del género *Echeveria*.

Alvarado *et al.* (2004) descubrieron una nueva especie de víbora de cascabel de montaña (*Crotalus tancitarensis*) en la cota de 3,200 msnm en el Pico de Tancítaro (Lado Sur), esto pone de manifiesto el desconocimiento que se tiene acerca de la biodiversidad en esta área.

Ramírez-Sánchez (2005) realizó el análisis de los modelos de manejo de los recursos naturales de una cuenca perteneciente al Pico de Tancítaro, donde encontró tres sitios: a) Comunidad indígena de Santa Ana Zirosto (CISAZ), b) Ejido La Majada (EM) y c) Terrenos de los Pequeños Propietarios (PP), en los que la CISAZ destina mayor tiempo y esfuerzo en la conservación de sus recursos, siguiendo en importancia decreciente el EM y por último los PP, donde prácticamente no se tiene interés alguno en la conservación de los recursos forestales.

Ruiz y Medina (1993), desarrollaron una caracterización fenológica del guayabo basada en la caracterización de las temperaturas base y requerimientos térmicos de cuatro etapas de desarrollo, a partir de la cual fue generado un modelo con el que es posible pronosticar la fecha de inicio de brotación, botonamiento floral, floración e inicio de cosecha.

Tapia, *et al.* (1995), realizaron un estudio para determinar el potencial productivo en la región de Tepalcatepec, estado de Michoacán, con la finalidad de



obtener un manejo adecuado del recurso agua-suelo-cultivo, se determinó la superficie óptima para la explotación de tres cultivos de cucurbitáceas, de acuerdo a sus requerimientos edafo-climáticos y su ubicación geográfica

Rossiter *et al.* (1995) desarrollaron un sistema automatizado para la evaluación de tierras denominado “ALES”, el cual es un programa de computación que permite a los evaluadores de tierras, construir sus propios sistemas de evaluación; a diferencia de otros sistemas, éste es aplicable a cualquier área y con cualquier tipo de datos.

Rosette (1998) desarrolló un diseño de base de datos para su aplicación en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, con el propósito de utilizarla en unidades cartográficas definidas, en función de características homogéneas del relieve, rocas y suelos. Los resultados de la evaluación de tierras mostraron una óptima aptitud para el manejo silvopastoril, como una posibilidad real de diversificación productiva.

Morales-Manilla (2007), elaboró un modelo genérico de disponibilidad de tierras llamado AGRILocal, el cual estima la viabilidad que tienen las tierras de ser aprovechadas en la agricultura desde el punto de vista de los agricultores locales a partir de las distribuciones históricas de los cultivos, y concluye que el modelo tiene un enorme potencial en la investigación y desarrollo en la práctica y planeación local de la agricultura.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La justificación de este estudio radica en la necesidad urgente del conocimiento del potencial de expansión del cultivo de aguacate, basado en los factores socioeconómicos y ambientales que ayudan o limitan el desarrollo del cultivo, el cual va en aumento año con año, estableciéndose cada vez más en áreas poco propicias para su producción. Con este trabajo se pretende conocer los factores socioeconómicos y ambientales que definen las tierras más adecuadas para el desarrollo del cultivo, desde la perspectiva de los agricultores locales, y adicionalmente evitar la continua degradación ambiental que éste ocasiona cuando se establece en tierras de aptitud marginal.



1.5 OBJETIVOS

1.5.1 GENERAL

Evaluar la aptitud territorial para el cultivo del aguacate a partir del conocimiento local del paisaje en la Región del Pico de Tancítaro, según el método AGRILocal.

1.5.2 PARTICULARES

- 1.- Determinar algunos de los factores ambientales y socioeconómicos que favorecen o limitan el cultivo del aguacate en la RPT, con fines de ordenamiento del uso del territorio.
- 2.- Estimar la superficie potencial más apropiada para la expansión del cultivo del aguacate, de acuerdo a las prácticas de uso del territorio consideradas como preferibles o aceptables por los agricultores locales.
- 3.- Cuantificar las superficies actualmente bajo cultivo de aguacate que tienen un carácter marginal desde el punto de vista local, y que presentan mayor susceptibilidad al deterioro ambiental y subsiguiente pérdida de la productividad de aguacate.
- 4.- Cuantificar y evaluar los cambios en la cobertura vegetal y uso del suelo que se han suscitado al interior de la RPT, para tres fechas diferentes (1974, 1996 y 2007).

1.6 HIPÓTESIS DE TRABAJO

1) Algunos de los factores socioeconómicos y ambientales que los agricultores de la región toman en cuenta para determinar que zonas son más adecuadas para el cultivo de aguacate, se encuentran contenidos en los patrones espaciales actuales e históricos de la distribución de este cultivo.

2) Aunque el conocimiento del paisaje local y de los requerimientos del aguacate, por parte de los agricultores, hacen que las prácticas de cultivo tiendan a ser óptimas en lo general, agentes económicos han fomentado en los últimos años que dichas prácticas se realicen en terrenos inadecuados, ocasionando un



deterioro ambiental creciente y por ello una amenaza a la sustentabilidad del mismo cultivo.

3) La expansión del cultivo del aguacate ha propiciado un continuo deterioro de los recursos naturales en la región, dando como resultado entre otras cosas la disminución de la superficie forestal.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1 Universo de Estudio

La Región del Pico de Tancítaro (RPT) se ubica en el centro-occidente del Estado de Michoacán, entre las siguientes coordenadas geográficas extremas: 19°17'31" y 19°32'38" de latitud norte y 102°09'04" y 102°26'46" de longitud oeste: Geopolíticamente se localiza en parte de los municipios de Tancítaro, Nuevo Parangaricutiro, Peribán, Uruapan y Los Reyes, cubre una superficie aproximada de 67, 456.75 hectáreas, con una altitud mínima de 1000 msnm y una máxima de 3840 msnm. (Figura 2).

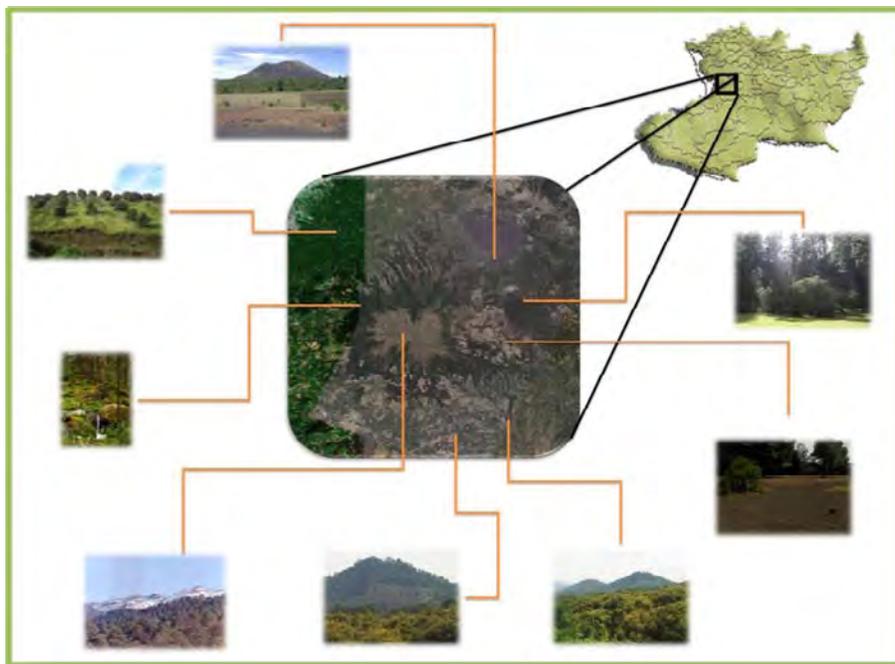


Figura 2. Localización de la Región del Pico de Tancítaro (RPT).

En esta región se encuentra la montaña más alta de Michoacán, conocida como el Pico de Tancítaro, con una elevación de 3,880 msnm, misma que forma parte de la cadena montañosa del Eje Neovolcánico Transversal. Ahí mismo se localiza el ANP, más grande en Michoacán, con una superficie de 23,000 hectáreas (Garibay y Bocco, 2000).

La RPT y sus alrededores se encuentran circunscritos al Cinturón Volcánico Mexicano (CTV), según Garduño (1999) es parte del margen activo generado por la subducción constante del piso del Océano Pacífico (Placas de Kula, Farallón y



Cocos). En la RPT son muy abundantes los derrames y productos pirolásticos de composición andesítica (roca ígnea extrusiva básica). Existen además manifestaciones locales aisladas de vulcanismo reciente como las que se encuentran en el Volcán Parícutín. Desde el punto de vista químico se ha considerado como una provincia caracterizada por su abundancia de andesitas.

Desde el punto de vista biológico, se considera una región prioritaria para la conservación, ya que incluye especies endémicas como por ejemplo *Zygozomys trichopus trichopus*, una tuza muy poco conocida aún. Así mismo la fauna está compuesta por venado cola blanca, armadillo, cacomixtle o cacomisel, zorra gris, aves canoras y de presa, así como por diversos reptiles. En las partes altas existen bosques de *Pinus hartwegii*, oyameles (*Abies religiosa*), encinos, pinos de diversas especies (*Pinus teocote*, *P. leiophylla* y *P. montezumae*, entre otras especies), así como, pastizales y agricultura de temporal en las zonas bajas. En esta región existen especies vegetales y animales ya desaparecidas en otros lugares del estado de Michoacán, de ahí es que resulta muy importante su conservación y cuidado. Dentro del área del Tancítaro se encuentra la Región Terrestre Prioritaria 114, que es el Parque Nacional Pico de Tancítaro (Arriaga *et al.*, 2000), la cual fue decretada como tal por el entonces Presidente de la República el Ing. Lázaro Cárdenas del Río el 27 de julio de 1940, donde tal y como se describe en el decreto del Parque:

“Considerando que este volcán relativamente antiguo que se encuentra en estado de avanzada destrucción, cuya base anchísima está oculta en todo su contorno por un diluvio de malpaís, del que sobresale en formas agudas y caprichosas un viejo armazón rocalloso ataviado de abundante vegetación, que imprime a dicho volcán un aspecto majestuoso y bello, es sin duda un gran atractivo para el turismo en general, he tenido a bien expedir el siguiente DECRETO... Se declara Parque nacional, destinado a la conservación perpetua de la flora y fauna comarcanas, con el nombre de **Pico de Tancítaro...**” (Diario Oficial de la Federación, 1940), (Figura 3).



Figura 3. Región Terrestre Prioritaria 114 (Parque Nacional Pico de Tancítaro). (Tomado de Ramírez-Sánchez, 2005).

La RPT tiene una edad comprendida entre 0.06 y 0.55 millones de años, (Scattolin, 1996) y es una de las montañas cuyo borde norte forma una de las grandes mesetas de México. En su extensa base existe la acumulación de fragmentos de lava, lanzados durante las diferentes etapas de erupción, sobresaliendo formas agudas de rocas, producto del intemperismo y rodeadas de la actual vegetación (García-Ruíz, 2002).

2.1.1 GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo con el mapa geomorfológico realizado por Fuentes (2000), en la RPT, podemos encontrar geoformas tales como laderas, piedemonte, valles, superficies cumbrales y planicies, con una superficie de 42, 29, 11, 10 y 7% de la zona de estudio respectivamente. Así mismo dentro de estas geoformas se encuentran diferentes tipos de acuerdo a su génesis, los cuales se enlistan en el Cuadro 1 y la distribución espacial se puede observar en la Figura 4.



Cuadro 1. Geomorfología de la RPT					
Geoforma	Superficie (ha)	%	Tipo (de acuerdo a su génesis)	Superficie (ha)	%
Laderas	28934	42.89	Laderas de derrames lávicos	12364	18.32
			Laderas de domos lávicos	699	1.03
			Laderas de mesa lávica	1634.5	2.42
			Laderas disectadas de derrames lávicos	4650.75	6.89
			Laderas estructurales de conos volcánicos	5519	8.18
			Laderas externas	4066.75	6.02
Piedemontes	19612.5	29.07	Piedemonte inferior	12295.5	18.22
			Piedemonte superior	7317	10.84
Planicies	4850.25	7.19	Planicie aluvial	967.25	1.43
			Planicie aluvial interlávica	219.5	0.32
			Planicie con cenizas	2692.25	3.99
			Planicie interlávica	971.25	1.43
Superficies Cumbrales	6538.5	9.69	Superficie cumbrial de derrames lávicos	264.25	0.39
			Superficie cumbrial de mesa lávica	2276.5	3.37
			Superficie cumbrial del Tancitaro	275.75	0.40
			Superficie cumbrial en laderas disectadas de derrames volcánicos	1070.25	1.58
			Superficie irregular de derrames lávicos recientes	2651.75	3.93
Valles	7521.5	11.15	Valles amplios	2141.25	3.17
			Valles angostos	4687	6.94
			Valles erosivos de laderas escarpadas	693.25	1.02
TOTAL	67456.75	100		67456.75	100

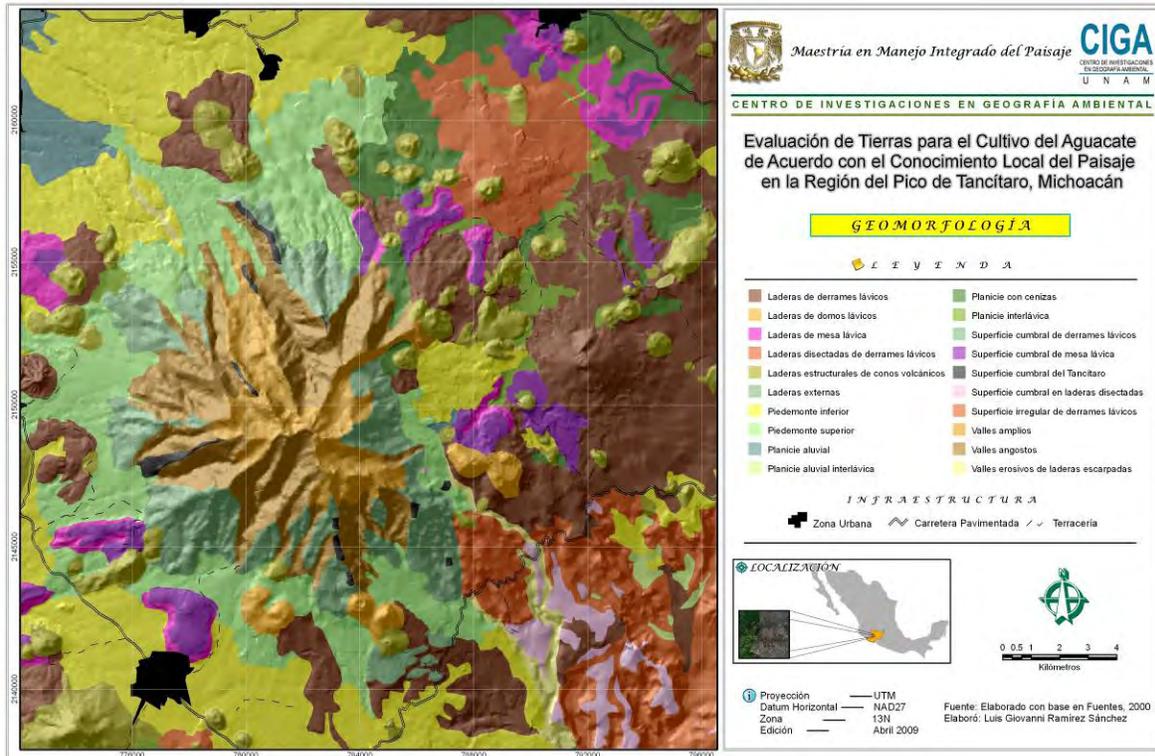


Figura 4. Distribución espacial de las geoformas en la RPT.

2.1.2 HIDROLOGÍA

La RPT se encuentra localizada en una de las cuencas de mayor relevancia a nivel nacional y estatal, tanto como por su extensión y así como por su significado socio-económico y ambiental, como lo es la cuenca del Balsas, a través de las subcuencas del río Tapalcatepec y Cupatitzio.

Por las características de los suelos y de la vegetación, es una zona de mucha importancia en la recarga de acuíferos; lo que se puede constatar al poniente del Pico en altitudes más bajas, donde se pueden encontrar grandes manantiales (García-Ruíz, *op cit.* y Fuentes^b, 2000).

En la Figura 5 se muestran la distribución de los manantiales que existen en la RPT, convirtiéndola como se menciono anteriormente en una zona de mucha importancia para la recarga de los mantos freáticos.

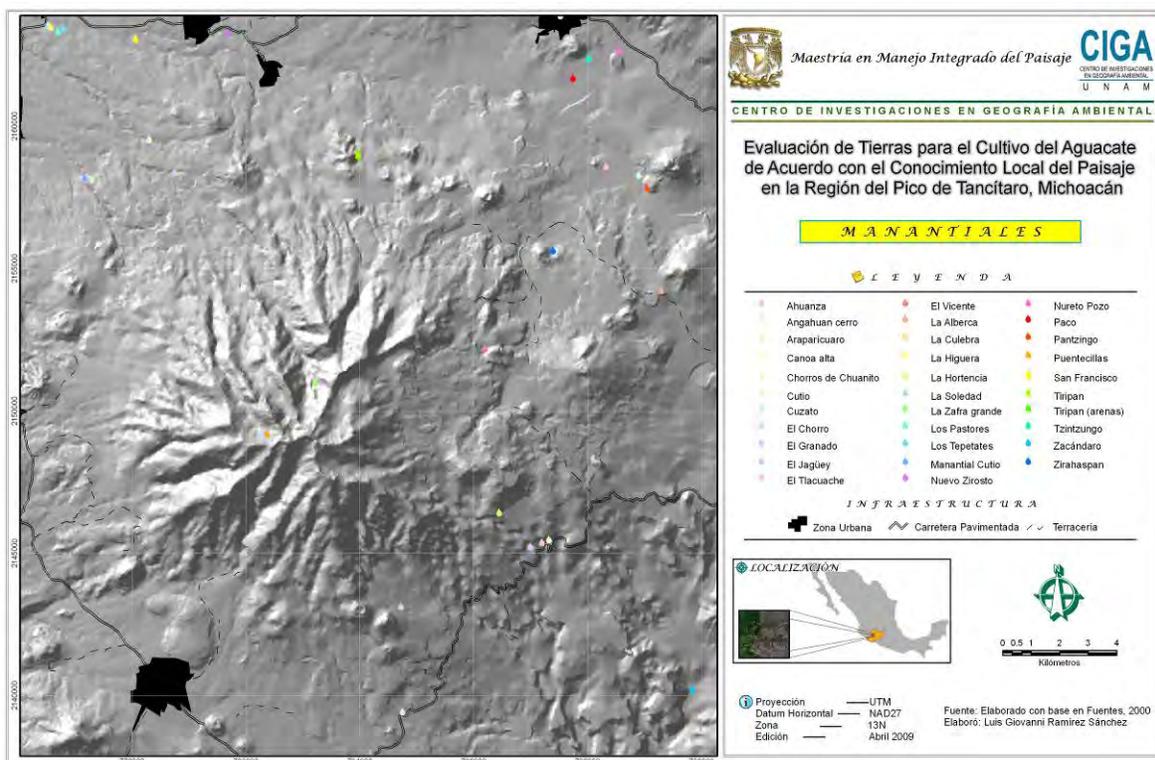


Figura 5. Manantiales existentes en la RPT.

2.1.3 SUELOS

De acuerdo a la clasificación FAO/UNESCO en la RPT predominan los suelos de tipo Andosol.



Son suelos de áreas donde ha habido actividad volcánica reciente, puesto que se originan a partir de cenizas volcánicas. En condiciones naturales tienen vegetación de bosque de pino, abeto, encino, etc. Se caracterizan por tener una capa superficial de color negro o muy oscuro (aunque a veces es clara) y por ser de textura esponjosa o muy suelto. En México se usa en agricultura con rendimientos bajos, pues retienen mucho el fósforo, y éste no puede ser absorbido por las plantas. También se usan con pastos naturales o inducidos, principalmente pastos amacollados y con ganado ovino; el uso en el que menos se destruyen como recurso natural es el forestal, mediante la explotación del bosque. Son muy susceptibles a la erosión y su símbolo es (T). De igual forma este tipo de suelo presenta las siguientes subunidades: **Andosol Húmico** y **Andosol Ocrico**.

Otro tipo de suelo que podemos encontrar es el Regosol (del griego rēgos: manto, cobija. Denominación connotativa de la capa de material suelto que cubre la roca). Se caracterizan por no presentar capas distintas, en general son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace cuando no son profundos. Se encuentran en las laderas de todas las sierras mexicanas, muchas veces acompañadas de litosoles y de afloramientos de roca o Tepetate.

Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su uso agrícola está principalmente condicionado a su profundidad y al hecho de que no presenten pedregosidad. Son de susceptibilidad variable a la erosión, su símbolo es (R) y presenta la siguiente subunidad: **Regosol Eutríco**.

Dentro de la RPT también se encuentra el tipo de suelo denominado Cambisol (del latín cambiare: cambiar, literalmente, suelo que cambia).

Estos suelos por ser jóvenes y poco desarrollados, se presentan en cualquier clima, menos en las zonas áridas. Puede tener cualquier tipo de vegetación, ya que esta se encuentra condicionada al clima y no por el tipo del suelo. Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa que parece más suelo de roca, ya que en ella se forman terrones; además pueden presentar acumulación de algunos materiales como arcilla, carbonato de calcio, fierro, manganeso, etc., pero sin que esta acumulación sea abundante. Presentando la siguiente subunidad: **Cambisol Húmico**.



Finalmente cabe hacer mención de la presencia evidente de la asociación de todos los suelos citados con Litosol (del griego lithos: piedra literalmente, suelo de piedra).

Son suelos que se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación, se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 cm hasta la roca. Se localizan en todas las sierras de México, en mayor o menor proporción, en laderas, barrancas y Malpais, así como en lomeríos y en algunos terrenos planos.

El uso de estos suelos depende principalmente de la vegetación que los cubre. En bosques su utilización es forestal; cuando presentan pastizales se puede llevar a cabo algún pastoreo más o menos limitado, y en algunos casos se usan con rendimientos variables para la agricultura, sobre todo en frutales. Este empleo agrícola se halla acondicionado a la presencia de suficiente agua y se ve limitado por el peligro de la erosión que siempre existe. Su símbolo es (L).

La distribución espacial de los diferentes tipos de suelos con sus subunidades correspondientes se muestra en la Figura 6.

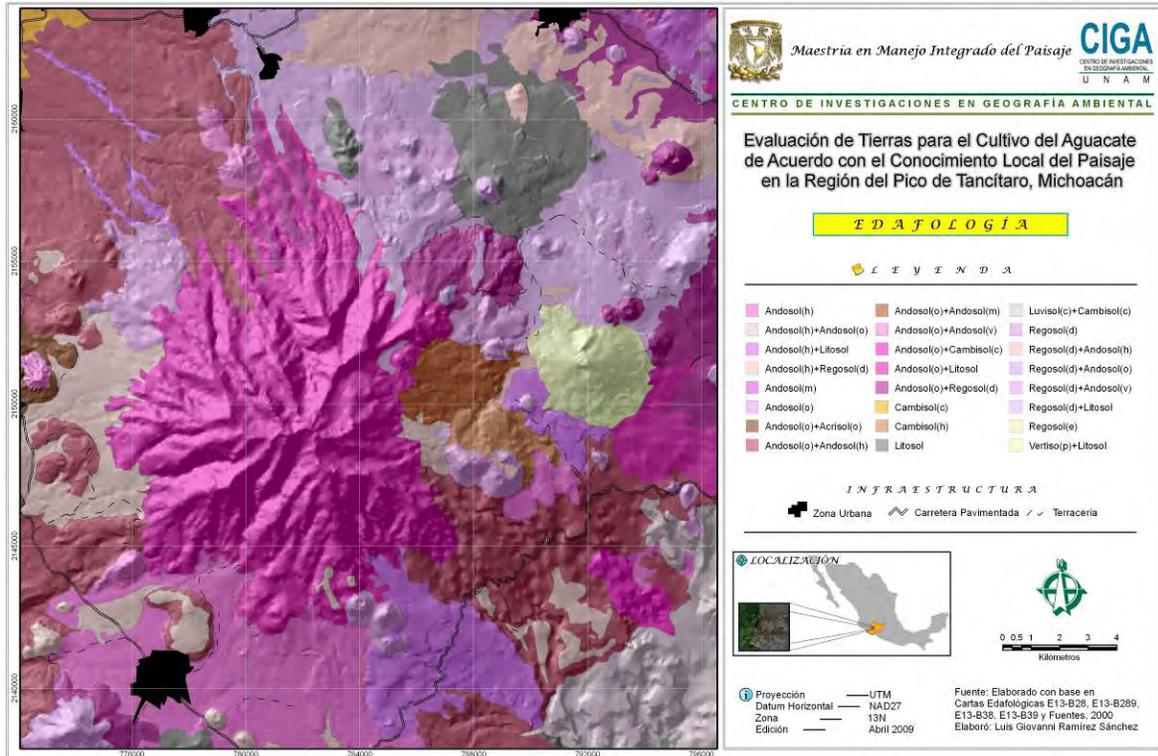


Figura 6. Edafología de la RPT.

2.1.4 CLIMA

En la RPT, en general los climas siguen un patrón altitudinal, influenciados en su humedad por la Depresión del Balsas hacia las laderas Este, Oeste y Sur del Tancítaro y por el fenómeno de continentalidad en la ladera norte (Fuentes^b, 2000), en donde de acuerdo con la clasificación de Köppen modificado por García (1981), se encuentran los siguientes tipos de clima (Cuadro 2).



Cuadro 2. Tipos de clima que se encuentran en la RPT			
CLIMA	ALTITUD (msnm)	PRECIPITACIÓN (mm por año)	CARACTERÍSTICAS
BS ₁	<1000	<800	Climas semisecos con lluvias en verano. Con poca oscilación térmica. Predomina la vegetación característica de la selva baja caducifolia.
Aw ₀	1000	800	Climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano. Con variación de la temperatura poco significativa. Con una vegetación de selva baja y mediana subcaducifolia.
(A)C(w ₁)	1600-2000	1500	Climas semicálidos subhúmedos, con lluvias en verano. Escasa oscilación térmica durante el día.
C(w ₂)	2000-3000	1500	Climas templados subhúmedos, con lluvias en verano. Los rangos de temperaturas son entre 12° C y 18° C. Las comunidades vegetales más conspicuas son los bosques mixtos, (pino-encino principalmente), los de coníferas (<i>Abies</i> y <i>Pinus</i>) y bosque mesófilo de montaña.
C(w)	3000-3800	2000	Climas semifríos subhúmedos, las temperaturas anuales promedio varían desde 12° C hasta menos 8° C. en la cima de la RPT. Predominan las coníferas, pero también se presentan de manera localizada bosques de <i>Abies</i> .

2.1.5 VEGETACIÓN

De acuerdo con García *et al.* (2002), los principales tipos de vegetación que se presentan dentro de la RPT son los siguientes:

Bosque de coníferas. El conjunto de bosques de coníferas ocupa cerca del 15% del territorio del país y la gran mayoría de esta superficie corresponde a los bosques de *Pinus* o de *Pinus* y *Quercus*. Les siguen en importancia, en cuanto a extensión, los bosques de *Juniperus* y los de *Abies*, siendo los restantes de distribución restringida y localizada.

Bosque de Pinus. La gran mayoría de los pinos mexicanos posee una distribución geográfica restringida al territorio de este país, constituyendo elementos dominantes o codominantes en la vegetación actual siendo frecuente la asociación con *Quercus* muchas ocasiones. En el área de estudio, estas especies se presentan en áreas abiertas y sobre todo en laderas con fuerte pendiente, donde se tiene inaccesibilidad. Es común observar grandes áreas que ocupaban estos bosques los que han cambiado la vocación de uso del suelo por la de agrícola y frutícola. De las especies observadas están *P. pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. devoniana*, *P. teocote*, menos comunes son *P. douglasiana*, *P. maximinoi*. Dentro del Parque es común observar varias especies desde la cota de los 2100 m hasta la parte alta 3880 m, en que abunda *P. hartwegii* desde los 3450 m, siendo la especie arbórea prácticamente única.



Bosque de Abies. Constituye el otro componente principal del bosque de coníferas para nuestra área, presentándose en lugares húmedos de cañadas y áreas abiertas, por arriba de los 2450 m de altitud donde comparte su hábitat con otras especies de *Pinus* y *Quercus*, observándose hasta los 3400, en que empieza a ser común la presencia de *Pinus hartwegii* y en áreas abiertas es común el "zacatal". La especie que representa esta formación es *Abies religiosa* llamada localmente "Pinabete", la cual es apreciada por su madera. Estos bosques constituyen un bello paisaje de las alturas, dignos representantes por conservar.

Bosque mesófilo de montaña. Esta comunidad vegetal corresponde en México al clima húmedo de altura, y dentro del conjunto de las asociaciones que viven en las zonas montañosas ocupa sitios más húmedos que los típicos de los bosques de *Quercus* y de *Pinus*, generalmente más cálidos que las propias del Bosque de Abies, pero más frescos que los que condicionan la existencia de los bosques tropicales.

El bosque mesófilo de montaña se desarrolla en regiones de relieve accidentado y las laderas de pendiente pronunciada constituyen su hábitat más frecuente. En muchas áreas se halla restringido a cañadas protegidas del viento y de la fuerte insolación (Rzedowski *Op cit*). En nuestra área de estudio se desarrolla entre los 2000 y 2600 m de altitud.

Bosque de Quercus. Es una de las comunidades vegetales más características de las zonas montañosas de México en áreas con clima templado y subhúmedo (Rzedowski, 1978). Los encinos guardan relaciones complejas con los pinos, con los que comparten afinidades ecológicas generales, siendo los bosques mixtos de *Quercus* y *Pinus* muy frecuentes en el país. También se relacionan con los bosques de *Abies* y con el bosque mesófilo de montaña. Se reconocen como buenos hospederos de epífitas, las temperaturas bajas favorecen el desarrollo de orquídeas y bromeliáceas, (Rzedowski, *Op cit*). Algunos elementos arbóreos que se han observado en el área de la RPT son *Alnus acuminata*, *Arbutus glandulosa*, *Berberis moranensis*, *Eupatorium mairitianum*, *Lippia umbellata*, *Quercus crassipes*, *Q. laurina*, *Q. rugosa*. Se observó entre los 2100 y los 2800 m.



Pastizal. Solo las montañas altas del Eje Neovolcánico incluyendo al Tancítaro tienen manchones de este tipo de vegetación. Las gramíneas más bien altas (hasta de 1 m) que crecen en amplias macollas son las que imparten una fisonomía particular a esta comunidad vegetal, por lo que se le ha denominado "zacatal" o "páramo de altura". Son frecuentes acompañantes de *Muhlebergia*, *Calamagrostis*, y *Festuca* y otras plantas como *Arenaria*, *Carex*, *Cerastium*, *Cirsium*, *Draba*, *Eryngium*, *Gnaphalium*, *Juniperus*, *Luzula*, *Phacelia*, *Plantago*, *Potentilla*, *Ranunculus*, *Senecio* y *Trisetum*.

En la Figura 7 se pueden apreciar la distribución espacial de la cobertura vegetal en la RPT, la cual se tomó de la descripción realizada por Fuentes 2007, a partir de imágenes de satélite de alta resolución obtenidas a partir del programa Google Earth. Donde las categorías de Bosques cerrados y Bosques Abiertos representan a las diferentes comunidades de bosques que hay en la RPT (Bosque de Abies, Bosque de Pino, Bosque de Encino y Bosque mesófilo de montaña), de igual forma se encuentra la categoría de Pastizales.

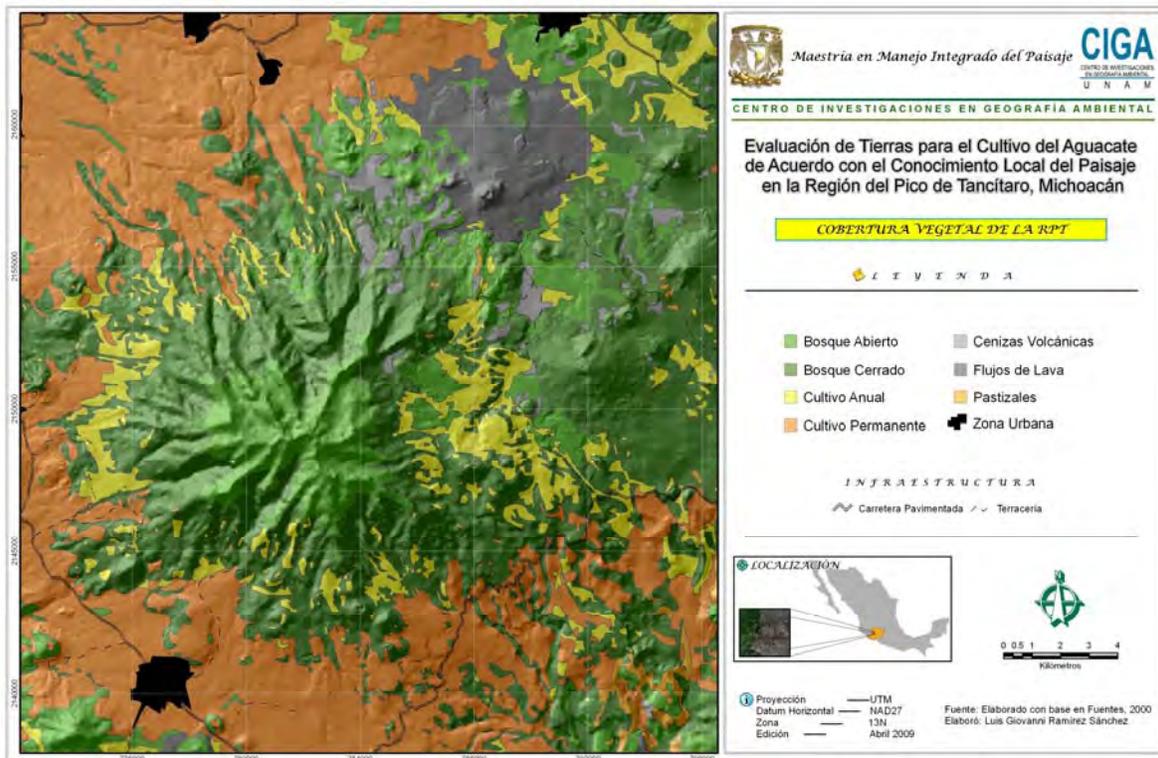


Figura 7. Cobertura vegetal de la RPT.



CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

3.1 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describen diversos conceptos y definiciones que se utilizaron durante la investigación, con el objeto de clarificar su uso dentro del trabajo de tesis.

3.1.1 Desarrollo Sustentable

El enfoque de desarrollo sustentable, en su aproximación más general, coloca en un mismo nivel de prioridades la superación de la pobreza y la preservación del ambiente. Propone que la calidad ambiental del desarrollo, sea parte de su calidad social (Comisión Nacional de Zonas Áridas, SEDESOL y FAO, 1994).

De acuerdo con Artaraz (2002), para alcanzar el desarrollo sustentable es necesario que las políticas y acciones para lograr el crecimiento económico respeten el ambiente y además sean socialmente equitativas. Los principios de la gestión ambiental y del desarrollo sustentable deben avanzar hacia la construcción de un nuevo concepto de producción sustentable, que rompa la oposición entre conservación y crecimiento (Leff, 1993).

Esto se debe tener en cuenta, cuando se tenga el propósito de implementar o hacer uso de estrategias de conservación, para no caer en dificultades como suele suceder en muchos países europeos, en donde la conservación en la práctica suele centrarse en impedir o limitar el desarrollo o asentamiento y usos urbanos e industriales, la limitación u ordenación de las actividades agropecuarias intensivas modernas, el disminuir su intensidad y el sostenimiento de las tradicionales, muchas de ellas de reconocido valor conservacionista (Alonso *et al.*, 2002).

De esta manera el desarrollo sustentable, debe ser encaminado a satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, pero sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras (Henry *et al.*, 1996), en donde no sólo trata de preservar espacios de conservación de recursos y microeconomías, o de incorporar procesos productivos descontaminantes y programas de recuperación ecológica. Se trata de generar espacios de producción sostenida, fundados en los



principios de la gestión participativa y en la capacidad ecológica de sustentación de la base de los recursos de cada región y de cada localidad.

3.1.2 Sustentabilidad

El concepto de sustentabilidad se funda en el reconocimiento de los límites y de las potencialidades de la naturaleza, así como en la complejidad ambiental, inspirando una nueva comprensión del mundo para enfrentar los desafíos de la humanidad en el tercer milenio. Además el concepto promueve una nueva alianza naturaleza-cultura fundando una nueva economía, reorientando los potenciales de la ciencia y de la tecnología, y construyendo una nueva cultura política fundada en una ética de la sustentabilidad -en valores, en creencias, en sentimientos y en saberes- que renueva los sentidos existenciales, los mundos de vida y las formas de habitar el planeta Tierra.

Como puede verse, con el paso del tiempo la sustentabilidad ha llegado a constituir un concepto que evoca una multiplicidad de procesos que la componen. Sin embargo, hay que decir que se trata de algo más que un término, la sustentabilidad es una nueva forma de pensar para la cual los seres humanos, la cultura y la naturaleza son inseparables.

La sustentabilidad ambiental se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos naturales, de manera tal que sea posible mejorar el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras.

3.1.3 Evaluación de tierras

De acuerdo con la FAO (1976) la Evaluación de Tierras es el proceso de determinación y predicción del comportamiento de una porción de tierra usada para fines específicos, considerando aspectos físicos, económicos y sociales. Esta evaluación considera los aspectos económicos del uso propuesto, sus consecuencias sociales para la gente del área y del país en general y las repercusiones, benéficas o adversas para el medio ambiente.

De igual manera Zárate (1995) citado por Sánchez (2000), menciona que la evaluación de tierras se entiende como el proceso de estimación del rendimiento de la tierra cuando se utiliza para fines específicos que suponen la ejecución e



interpretación de reconocimientos y estudios de relieve, suelos, clima y otros aspectos de la tierra, con el objeto de identificar y proceder a una comparación de las clases más prometedoras de uso de la tierra en términos aplicables a los objetivos de la evaluación.

Así mismo es importante resaltar que la evaluación de tierras debe verse como un componente del proceso de planeación. Los resultados que se obtengan dependen en gran medida de la forma como se hayan dado las etapas anteriores, donde planificar es un ejercicio de toma de decisiones, basado en un proceso que parte del conocimiento profundo del fenómeno a planificar; de la determinación de propósitos de transformación de dicho fenómeno; del diseño de los caminos y acciones que conjuntamente seguirán los actores sociales involucrados para alcanzar dicha transformación y; de la creación o incorporación al proceso de los mecanismos e instrumentos de orden económico, jurídico, social o administrativo, que facilitan la aplicación de las decisiones acordadas. Todo ello, ordenado bajo un método específico, se asienta en documentos que no son otros que los planes y programas (Sánchez, 2000).

3.1.4 Región

De acuerdo con Palacios (1983), una región comparte dos significados fundamentales: el primero, hace referencia a la noción abstracta de un ámbito en cuyo interior se cumplen ciertos requisitos de semejanza u homogeneidad, ya sea que éste se conciba en el mundo material que conocemos, o hasta en cualquier lugar del universo; El segundo significado se inscribe en un nivel más reducido de generalidad, para denotar ámbitos concretos de la realidad física y sus elementos.

Así mismo Ortega (2003) define a la región como un área o espacio terrestre que presenta una unidad determinada por factores topográficos, climáticos, económicos, culturales o históricos, definidos tanto por características físicas y humanas, como por sus interacciones. Este concepto es usado por muchas ramas de la geografía, donde cada una de estas describe las áreas objeto de estudio en términos regionales. Por ejemplo, ecoregión es un término usado en la geografía ambiental, bioregión en biogeografía, región periurbana en geografía urbana, etc. Asimismo, la región es un término vinculado con la noción de



territorio. La geografía elabora esta noción para denotar que existe una apropiación del paisaje dentro de la región geográfica. Ésta viene a identificar un fragmento de la superficie terrestre delimitado y diferenciado de los inmediatos.

En general el término de región es muy amplio y puede ser usado de acuerdo al fin, los métodos específicos acordes al fenómeno o temática que se estudia y de acuerdo a la disciplina del pensamiento que lo aborda.

Concretamente, aquí el término se utiliza para identificar porciones determinadas de la superficie terrestre, definidas a partir de criterios específicos y objetivos preconcebidos, los cuales pueden provenir de las ciencias naturales o de las ciencias sociales.

3.1.5 Relaciones Espaciales

Estas se pueden definir como las interacciones entre eventos espaciales que permiten identificar, describir, explicar, predecir y diseñar patrones de ocupación natural o el uso del territorio (Morales, 2007). En el contexto del trabajo que se propone, las relaciones espaciales definen interacciones entre las zonas de cultivo de aguacate en la región y algunos elementos naturales, sociales y económicos que determinan el uso adecuado e inadecuado del territorio para este cultivo. Las relaciones espaciales a explorar pueden ser de alguno de los siguientes tipos: Proximidad, Orientación, Exposición, Adyacencia, Inclusión, Coincidencia y Conectividad (Morales, 2007)

3.1.6 Modelo

El concepto de modelo es muy amplio. Se puede decir que un modelo busca proporcionar una representación simplificada que retenga la esencia de una realidad. De esto se deduce que un modelo descarta detalles considerados de importancia secundaria. Asimismo, su estructura es diferente de la que se supone existe en el conjunto de fenómenos de la naturaleza. El modelo concebido en esta forma, impulsa la inteligibilidad y ayuda a la comprensión de los fenómenos, ya que proporciona los canales de interconexión entre hechos que sin la existencia de los lazos inferenciales, podrían permanecer aislados e independientes unos de otros (Hanson, 1958).



De igual forma Igartua y Humanes (2004), definen a un modelo como: “una representación teórica y simplificada del mundo real. (...), donde estos sirven de ayuda a la hora de formular teorías”, por lo que no debe confundirse modelo con teoría.

De esta manera se puede definir al modelo como una representación de la realidad por medio de abstracciones, la cual representa una teoría o hipótesis de cómo dicho fenómeno funciona. Así mismo los modelos normalmente describen, explican y predicen el comportamiento de un fenómeno natural o componentes del mismo.

3.1.8 Cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo

Una de las principales fuerzas que favorecen la transformación de los ecosistemas terrestres, es la conversión de la cobertura del suelo. Realizar un estudio de la cobertura vegetal y uso del suelo supone analizar y clasificar los diferentes tipos de cobertura y usos asociados, que el hombre practica en una zona o región determinada (López, 1999).

La cobertura del terreno indica el estado físico de la tierra; por ejemplo, la cantidad y el tipo de superficie de vegetación y agua. Los cambios de la cobertura pueden ser de dos tipos ideales: conversión y modificación. El primero es un cambio de una clase de cobertura a otra, mientras que la modificación es un cambio de condición dentro de una categoría de cobertura (Turner II y Meyer, 1994). El término uso del suelo hace mención al uso de la tierra por parte de los humanos (asentamientos humanos, cultivos, pastizales cultivados o inducidos, recreación, entre otros); el cambio de uso del suelo puede incluir el cambio a otros usos o una intensificación del existente.

La mayor parte de los cambios que ocurren en los ecosistemas forestales se deben a 1) conversión en la cobertura del terreno, 2) degradación de la tierra, 3) intensificación en el uso de la tierra (Lambin, 1994). Estos procesos, usualmente englobados en lo que se conoce como deforestación o degradación forestal, se asocian con impactos ecológicos importantes a prácticamente todas las escalas (Bocco *et al.*, 2001).



3.2 ENFOQUES METODOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN DE TIERRAS

Alrededor del mundo se han realizado y propuesto diversos métodos para la evaluación de tierras, con diferentes enfoques pero con un objetivo en común: que es el de encontrar la perfecta armonía entre la tierra y el uso que se le da, esto mediante la evaluación de los requerimientos y limitaciones de cada clase de uso del suelo, así como la comparación de las características y propiedades que presentan los diferentes tipos de terrenos. La demanda creciente y competitiva por tierra, ambos por producción agrícola y para otros propósitos requieren que se hagan decisiones en el uso más beneficioso de los recursos como es la tierra y al mismo tiempo la conservación de estos para un futuro.

A principios de los 70's la Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en Inglés), respaldo a grupos de trabajo para desarrollar un marco para la evaluación de tierras (Framework For Land Evaluation), publicado en 1976, el cual marca las pautas y estrategias para llevar a cabo la evaluación de tierras, con la intención de lograr una uniformidad de todos los sistemas de evaluación que habían surgido anteriormente. Y de igual forma, con el transcurso de los años la FAO y sus grupos de trabajo han publicado las estrategias a seguir para la evaluación de tierras; como son, para la agricultura en seco (1983), para silvicultura (1984), para la agricultura de riego (1985), para usos forestales (1990) y pastoreo extensivo (1991).

Simultáneamente alrededor del mundo se han venido desarrollando nuevos métodos para la evaluación de tierras, los cuales pueden ser muy generales hasta muy específicos, pero en general todos presentan o tienden al mismo objetivo que es de generar acciones de conservación y planificación para el proceso de distribución de tierras. En general los diferentes enfoques de la evaluación de tierras se clasifican de la siguiente manera:

- 1.- Métodos cualitativos
- 2.- Métodos paramétricos y
- 3.- Métodos de evaluación cuantitativa



De igual forma, dentro de estos métodos se encuentran incluidos cada uno de los métodos, metodologías y programas desarrollados para cada uno de los enfoques, los cuales se pueden ver en el cuadro 3.

Cuadro 3. Métodos para la Evaluación de Tierras.		
Métodos	Nombre	Características
C U A L I T A T I V O S	Clasificación de las tierras por su capacidad de uso (Land Capability).	Es uno de los sistemas más difundidos en todo el mundo, pero exige adaptación a las condiciones locales. Este sistema consiste en agrupar unidades de tierra, basados en unidades cartográficas de suelo. Este agrupamiento se realiza principalmente para fines agrícolas.
	Esquema de evaluación de tierras de la FAO (FAO, 1976).	El esquema FAO no constituye por sí mismo un sistema de evaluación, sino que es más una guía de principios y conceptos que se pueden desarrollar y aplicar, de acuerdo a las condiciones particulares de la región donde se requiera implementar
	Clasificación de tierra para usos con riego (USBR, 1953)	Es otro sistema de clasificación muy difundido para selección de tierras en regadío y la evaluación de áreas de proyecto. En la selección de áreas para regadío se analizan en forma integrada los factores físicos, sociales y económicos.
	Sistemas de tierras de Australia (Christian and Stewart, 1968)	Es la identificación y evaluación de áreas que sean similares en cuanto a patrones de vegetación, suelos, uso, geología, hidrología y topografía, visibles en fotografías aéreas.
	Ponderación potencial de suelos (Soil Potential Rating, USDA 1983)	Evalúa las tierras comparando su productividad con la de un suelo de referencia. Se considera: 1).- rendimiento; 2).- costos relativos de tecnología para minimizar los efectos de las limitaciones; y 3).- los efectos negativos en valores sociales, económicos y medioambientales.
	Sistema de la Clasificación de Suelos para la capacidad de fertilidad (FCC) (Sánchez <i>et al.</i> , 1982).	Está desarrollado para formar un puente entre las subdisciplinas de clasificación y fertilidad de suelos. El sistema agrupa los suelos según el tipo de problemas encontrados en las características físicas y químicas que influyen en su manejo.
	LESA (LE: Land evaluation, y SA: Site Assessment) (USDA, 1983).	El objetivo principal es proporcionar a los tomadores de decisión locales un sistema objetivo y numérico para determinar si la tierra es viable para un desarrollo y como puede ser protegida.
	MICROLEIS (De la Rosa <i>et al</i> 2004)	Surge como un conjunto de métodos cualitativos de evaluación de tierras, sin embargo, en la actualidad y con el avance de la informática y el internet, se han desarrollado diversos modelos con mayor complejidad, hasta llegar a ser un sistema de apoyo a la decisión que incluye diversos softwares.
PARAMÉTRICOS	Índice Storie o Índice de Tierra (Storie <i>et al.</i> , 1976).	Es un índice multiplicativo desarrollado en EEUU, con el objetivo de expresar una ponderación para una zonificación de suelos o para una tasación.
	Índice de productividad de Riquier <i>et al</i> (1970)	Es un método paramétrico multiplicativo que evalúa la productividad del suelo (kg/ha y año), que supone depende de las características del suelo bajo un determinado manejo.
EVALUACIÓN CUANTITATIVA	Automated Land Evaluation System (ALES) (Rossiter <i>et al</i> , 1995)	Es un programa de computación que permite a los evaluadores de tierras construir "sistema expertos" para sus evaluaciones.
	Modelos de crecimiento de cultivos (WOFOS).	Está basado en la fisiología de las plantas (fotosíntesis y respiración), para predecir rendimientos bajo diferentes niveles de producción (los niveles corresponden a diferentes tipos de uso de la tierra).
	Modelos de crecimiento de cultivos (CROPSYST) (Bindi, 2003).	Es un modelo desarrollado para estudiar el efecto de los sistemas de manejo de los cultivos en la productividad y el ambiente.
	Modelos de crecimiento de cultivos (CERES).	CERES-maíz es un modelo predictivo, determinístico, diseñado para simular el crecimiento del maíz de acuerdo a la dinámica del agua, de la temperatura y del nitrógeno, a escala de campo, para una estación de crecimiento.



3.3 MODELO AGRILocal.

Como se puede notar, hay una infinidad de enfoques, métodos, y sistemas para llevar a cabo la evaluación de tierras, y ante esta situación, surge la pregunta ¿Porqué utilizar este modelo genérico de evaluación de tierras, habiendo tantos ya desarrollados y probados a nivel mundial? La respuesta es, por que la mayoría de estos no consideran adecuadamente los factores determinantes que los agricultores toman en cuenta para el establecimiento de un cultivo en cierta zona, esto es, no consideran el conocimiento local del paisaje. Además de que muchos modelos fueron desarrollados para un cultivo y zona en específico, y por ello puede ser inválido o poco práctico adecuarlos a otros cultivos o zonas.

Por el contrario, el modelo AGRILocal toma muy en cuenta las prácticas agrícolas locales, dado que para evaluar las tierras, el modelo maneja como parámetros las relaciones espaciales existentes entre la distribución del cultivo y diversos aspectos del territorio, las cuales reflejan las prácticas agrícolas locales. El modelo evalúa las condiciones adecuadas para los cultivos, con base en una combinación de medidas de relevancia-preferencia-influencia, que las relaciones espaciales presentan en el sistema agrícola. A diferencia de los resultados de otros modelos, los resultados obtenidos con el modelo AGRILocal, no deben y no pueden ser usados como indicadores de los rendimientos o las ganancias del cultivo, en cambio, representan el grado de éxito que puede tener el uso de nueva superficie para propósitos agrícolas de acuerdo con el contexto local,

De esta manera, en este trabajo se toma de manera central la hipótesis con la que trabaja el modelo AGRILocal, la cual asume que el conocimiento experto de los agricultores está contenido en el patrón espacial de la agricultura, donde este conocimiento es usado para realizar de la mejor manera la actividad agrícola, definiendo así una serie de factores locales, tanto limitantes como favorables. En este sentido, se argumenta también que de algún modo las prácticas de los agricultores locales llevan implícita cierta medida de sustentabilidad agrícola.

Más adelante se explica en detalle la manera en que se construirá el modelo AGRILocal a emplear en la presente investigación.



CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 MATERIALES

Para la determinación de uso histórico del suelo se tomó como base la interpretación que realizaron Fuentes (2000) y Sánchez (2000), para las fechas 1974 y 1996, donde se interpretaron un total 139 fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro: 40 a escala aproximada 1:50,000 de INEGI, para el año 1974 y 99 a escala 1:25,000 de GEOAIR Internacional, S.A. de C.V. para el año 1996. Para el 2007 se elaboró un mosaico a partir de imágenes de satélite de alta resolución, las cuales se obtuvieron de la plataforma Google Earth (2009). Para cada fecha analizada se fotointerpretó una subescena que cubre una superficie aproximada de 67, 456.75 hectáreas a la cual se le nombro como “Región del Pico de Tancítaro” (RPT).

De igual forma durante el trabajo de gabinete, se estuvo consultando la cartografía para la zona de estudio de INEGI a escala 1:50,000. Las cartas utilizadas fueron: Los Reyes E13-B28, Paracho E13-B29, Tancítaro E13-B38 y Uruapan E13-B39.

4.2 MÉTODOS

Para la prueba de la hipótesis 1: se realizó una búsqueda y análisis de literatura sobre como los agricultores emplean su conocimiento del medio y de sus condiciones económicas para optimizar el uso agrícola del territorio de una manera sostenible.

Para la prueba de la hipótesis 2: a) se empleó el modelo AGRILocal con tres fechas de uso del suelo a fin de conocer las áreas de expansión del cultivo e inferir las condiciones ambientales y socioeconómicas que determinaron dicha expansión; b) se realizó trabajo de campo aplicando encuestas a agricultores sobre los factores que motivan sus decisiones de ampliar la frontera agrícola del aguacate.

Para la prueba de la hipótesis 3: Se empleó el modelo AGRILocal para determinar áreas ambientalmente inadecuadas bajo el supuesto de que estas corresponden a tierras de calidad marginal para el cultivo.



Las actividades de prueba de hipótesis están enfocadas a cumplir cada uno de los objetivos particulares y como resultado de ellas, se estará en posibilidad de lograr el objetivo general de este trabajo. Por su importancia metodológica para este estudio, a continuación se describe en mayor detalle el modelo AGRILocal.

4.2.1 Descripción del Modelo AGRILocal.

La base metodológica de este trabajo consiste en el empleo de un modelo genérico de evaluación de tierras para cultivo denominado AGRILocal (Morales-Manilla, 2007), el cual se basa en dos supuestos: a) las prácticas de los agricultores locales tienden a ser óptimas dentro de las condiciones ambientales y socioeconómicas locales que favorecen o restringen el uso del territorio; b) los valores de esas prácticas están contenidos en los patrones espaciales actuales e históricos de uso del suelo agrícola. De la evaluación de tierras mediante este modelo se realiza en función de los conceptos de la relevancia, preferencia, e importancia locales, teniendo por ello una mayor oportunidad de ser aceptados e implementados por los agricultores locales que los resultados de los otros modelos, como los de capacidad de tierras y agroecológicos.

Según este modelo, no es posible aplicar un solo modelo AGRILocal para todos los sitios, sino que tiene que existir uno para cada sitio, en este caso, el modelo a elaborar es específico para el cultivo del aguacate en la RPT. Para construir un modelo apropiado se utiliza cierto número de relaciones espaciales relevantes específicas a la zona de interés, se investiga la forma particular de las funciones matemáticas que describen el grado de preferencia de los valores de cada relación, y se determina el grado de influencia o peso de cada relación en la determinación de la disponibilidad de la tierra. Los umbrales de los valores preferidos por las prácticas locales de la agricultura son obtenidos midiendo las relaciones espaciales (Cuadro 4) entre los eventos geográficos que intervienen en un sistema agrícola, los parámetros del modelo, y los patrones espaciales actuales y/o históricos de estas relaciones. Las medidas de los parámetros del modelo son derivados de una distribución estadística particular de cada relación espacial,



aunque también pueden derivarse complementariamente con la participación de los agricultores locales.

Cuadro 4. Tipos de relaciones espaciales a emplear como parámetros en un modelo AGRILocal	
Tipo	Descripción
Proximidad	Cuando la distancia entre eventos determina la magnitud-intensidad de una interacción.
Orientación	Si la dirección tiene influencia en la existencia de interacciones entre los eventos.
Exposición	Si la concentración de materia y energía actúan como barrera en el espacio geográfico y determinan la interacción entre los eventos.
Adyacencia	Cuando los contactos entre eventos define posibilidades de interacción
Contenido	Cuando el contenido de eventos por otros eventos define cierto orden o desorden en la interacción entre ellos.
Coincidencia	Cuando la coexistencia de eventos en la misma porción de un n-dimensión del espacio establece posibilidades de interacción.
Conectividad	Cuando las interacciones entre eventos toma lugar a través de conexiones y flujos.

A continuación se describen los pasos que se siguen para la construcción del modelo AGRILocal para el cultivo del aguacate.

4.2.1.1 Paso Uno: Encontrar las relaciones espaciales relevantes entre la tierra de cultivo y otros eventos geográficos involucrados en el cultivo del Aguacate.

El concepto de relevancia implica una medición cualitativa de la importancia de cierta relación espacial en la decisión de usar cierto terreno para el cultivo del aguacate. El grado de relevancia se puede obtener por medio de entrevistas aplicadas a los agricultores locales (en este caso a los productores de aguacate de la zona de estudio), de igual forma se puede obtener indirectamente determinando que tanto difiere el patrón de la relación entre la distribución del aguacate y algún parámetro ambiental o socioeconómico respecto a un patrón aleatorio de la misma relación en la misma zona. Si una relación espacial no es relevante su distribución estadística se aproximará a la del patrón aleatorio.

Para encontrar las relaciones espaciales que resultan relevantes se siguieron las siguientes técnicas:

A).- Preparación de una lista de las posibles relaciones espaciales relevantes.

Esta lista se estructura a partir de los eventos geográficos o parámetros a considerar en la zona de estudio, en los términos de una posible relación espacial



que estos pueden tener para determinar la localización y extensión del cultivo de aguacate. Se elabora una lista inicial de posibles relaciones espaciales, cuya relevancia se prueba estadísticamente, misma que puede corroborarse por medio de entrevistas aplicadas a los productores de aguacate.

B).- Preparación de mapas donde se muestra la relación actual de cada parámetro con respecto al cultivo de aguacate.

Para cada parámetro que se utiliza en el estudio se preparó un mapa, adecuándolo al polígono del área de estudio, teniendo cuidado que todos los mapas estuvieran en la misma escala, proyección geográfica, que la información que contengan estos sea lo más cercano posible en cuanto a fechas se refiere, así como que deben de tener la misma extensión de terreno. Enseguida cada uno de estos mapas se sobrepone con el mapa de cobertura del cultivo del aguacate de la cada fecha para las que existe información sobre la distribución del cultivo, para conocer los valores del parámetro en cuestión dentro de las zonas de cultivo de aguacate. Para esto se aplicó la siguiente fórmula:

$$REC = RE * CC$$

Donde:

REC = Mapa resultado de la sobreposición de la relación espacial y la cobertura del cultivo

RE = Mapa de la relación espacial en cuestión

CC = Mapa de la cobertura del cultivo en cuestión (para este caso cobertura del cultivo del aguacate)

C).- Preparación de mapas donde se muestra un patrón aleatorio para cada relación.

Para determinar la relevancia de una relación se comparó la concentración-dispersión de los valores de la distribución actual de la relación contra una distribución aleatoria de la misma relación. Esta distribución aleatoria se derivó a partir de un mapa aleatorio del cultivo sobrepuesto al mapa del parámetro en cuestión. Para preparar el mapa aleatorio se selecciona aleatoriamente (con una distribución uniforme) un cierto número de unidades espaciales (celdas raster) dentro de de la zona de estudio, donde la suma de la superficie de estas unidades es igual a la superficie del área de cultivo en el mapa de cobertura del aguacate. Este mapa se sobrepuso con el mapa de la relación espacial en cuestión, para



asignar el valor de la relación en el mapa aleatorio, para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{RAMC} = \text{RE} * \text{RAM}$$

Donde:

RERAM = Mapa resultado de la sobreposición de la relación espacial y el mapa aleatorio

RE = Mapa de la relación espacial en cuestión

RAM = Mapa aleatorio de la relación espacial en cuestión

D).- Eliminación del efecto tamaño.

El efecto tamaño se refiere a que las altas frecuencias observadas en una distribución de una relación pueden deberse al hecho de que hay más unidades de territorio en el área de estudio que caen dentro de una clase de valores, que dentro de otras clases y viceversa. Para remover el efecto tamaño se realiza una normalización para cada frecuencia de las clases en la distribución actual y en la aleatoria de cada relación. Para esto se realizó una división entre el número de celdas en cada clase del mapa de la relación espacial en cuestión, entre el total del territorio (en número de celdas) que caen dentro de cada intervalo de clases y finalmente este resultado se multiplica por el número de celdas en cada clase de la relación. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$\text{SNFi} = \text{NCIEi} \left(\frac{\text{NCIEi}}{\text{NCIOEi}} \right)$$

Donde:

SNFi = Frecuencia de la clase normalizada i

NCIEi = Número de celdas de la clase i dentro de la relación en cuestión

NCIOEi = Número de celdas de la clase i dentro y fuera de la relación en cuestión

E).- Para cada relación, se compara la frecuencia de la distribución de los valores en el mapa actual y en el aleatorio para determinar si la relación es relevante o no.

Cuando se ejecuta la comparación entre la distribución actual y la aleatoria, se analiza si la distribución de los datos es **Normal**, si es así se utilizan pruebas estadísticas paramétricas, como la t (Student) y F (Fisher), esto para establecer la significancia de la similitud de ambas distribuciones tanto para su tendencia central como para su variación; sin embargo cuando las distribuciones son



consideradas como **No-Normales**, se utilizan pruebas no paramétricas, como W (Wilcoxon) y D (Kolmogorov-Smirnov). Para saber si las distribuciones resultan normales o no, es importante someter las distribuciones a una prueba de normalidad y seleccionar correctamente los estadísticos t o W para tendencia central y F o D para la evaluación de la dispersión. Si la distribución actual y la aleatoria resultan igualmente normales o no-normales pero significativamente diferentes con $\alpha = 95\%$ o $p < 0.05$, se puede afirmar que la relación es **RELEVANTE**. Para el caso en donde una de las distribuciones es normal y la otra no-normal entre la cobertura actual y la aleatoria de la relación, ya no se aplica ningún tipo de prueba estadística puesto que debido a esta diferencia en la forma de las distribuciones, la relación se considera como **RELEVANTE**. De igual manera, aun cuando solo uno de los tipos de pruebas estadísticas, tendencia central o de dispersión, arroja diferencias estadísticamente significativas, la relación se toma como **RELEVANTE**. Estos tres casos nos indican que el patrón de la relación está fuertemente determinado por la preferencia de los agricultores, y no sigue un comportamiento aleatorio.

Los procedimientos anteriormente mencionados se aplicaron a cada una de las relaciones espaciales que se consideran para este estudio, para cada una de las distribuciones del cultivo con las que se trabajó (1974, 1996 y 2007).

4.2.1.2 Paso Dos: Especificar las funciones de preferencia.

Para establecer el grado de preferencia en el uso del territorio para cada parámetro, se buscan las clases con la mayor frecuencia de valores en la distribución, los cuales son los valores o rangos de valores más preferibles para la práctica del cultivo de aguacate. En la práctica no solo se obtienen los valores considerados como preferibles, sino que, por complemento, aquellos que se consideran como aceptables y marginales. El procedimiento para determinar la preferencia de cada relación se describe a continuación:

A).- Se convierten los valores de frecuencia absoluta en probabilidades de cada clase.



Para convertir los valores de frecuencia absoluta en valores de probabilidad de uso del terreno para el cultivo del aguacate de acuerdo con un parámetro, se asignó el valor más alto de probabilidad (1.0) al valor más alto de frecuencia y se divide con el resto de los valores para obtener así una probabilidad en una escala entre 0 y 1.

B).- Se ajusta una función que describa la relación entre los valores de probabilidad y el valor intermedio de los intervalos de clases.

Se ajustó la mejor función para predecir los valores de preferencia que se dan a los valores de una relación en específico. Evidentemente la mejor función es aquella que ofrece la correlación más alta entre las clases de la relación y sus valores respectivos de probabilidad. Dependiendo de la forma de la relación se pueden obtener varias funciones que la describan, pero se puede optar por escoger la forma más simple con el coeficiente de determinación (R^2) ajustado por grados de libertad más alto posible.

C).- Se calculan los valores para establecer tres clases de aptitud del territorio para el cultivo de aguacate.

Mediante el algoritmo de agrupamiento estadístico **K-medias**, se calculan los rangos correspondientes para establecer tres clases (óptima, media y marginal) de aptitud del territorio para el cultivo de aguacate, donde el método identifica los puntos de corte entre clases tratando de obtener la máxima homogeneización (mínima dispersión) dentro de cada intervalo y la máxima dispersión entre intervalos.

4.2.1.3 Paso Tres: Establecimiento del grado de influencia.

Para establecer el grado de influencia que tiene cada relación en la toma de decisiones para la ampliación del cultivo de aguacate se generan pesos a partir de los patrones espaciales de la cobertura de aguacate actual. Los pesos se necesitan en el modelo porque todas las relaciones espaciales tienen diferentes grados de influencia en la decisión de ampliar o no la cobertura de aguacate. Los pesos se asignan a cada una de las relaciones espaciales antes de combinarlas en el modelo.



Para encontrar el valor de estos pesos se parte del supuesto de que entre mayor es la diferencia entre los valores de la distribución actual y los valores de la distribución aleatoria, mayor es la influencia de la relación. Para medir esta diferencia se utilizó la prueba estadística **D Kolmogorov-Smirnov**, la cual mide la máxima diferencia entre dos distribuciones acumulativas, lo cual se toma como el máximo peso para cada relación. La manera en que se realizó este procedimiento fue la siguiente:

A).- Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones actuales y las aleatorias de las relaciones para encontrar el valor de D.

Se procedió a realizar la comparación de las distribuciones (actual y aleatoria) y se calculó el valor de D para cada relación, para cada fecha.

B).- Se transforma el valor de D en pesos normalizados.

Para obtener los pesos de las relaciones se transforma cada valor de D de la siguiente manera:

$$WR_i = D_i / \sum_{j=1}^n D_j \quad , i = 1 \dots n$$

Donde:

WR_i = Peso de la relación i

D_i = Máxima diferencia (Kolmogorov-Smirnov) entre la distribución acumulativa actual y la aleatoria de cada relación i

n = Número de relaciones en el modelo

Aplicando esta fórmula la suma de los pesos debe ser igual a 1. Cada peso indica el grado de importancia que tiene cada relación para el cultivo de aguacate.

Así mismo se procedió a generar el modelo ponderado final para cada fecha, el cual tiene la forma general siguiente:

$$LA = WR_i (f PR_i) + WR_{i+1} (f PR_{i+1}) + \dots + WR_{n-1} (f PR_{n-1}) + WR_n (f PR_n), i = 1 \dots n$$

Donde:

LA = Aptitud de tierras de acuerdo al modelo AGRILOCAL

WR_i = Peso de la relación i

PR_i = Relación espacial en cuestión

n = Número de relaciones en el modelo AGRILOCAL



Adicionalmente, se pueden aplicar encuestas a los agricultores locales para derivar los pesos o verificar los obtenidos estadísticamente de los patrones de distribución del cultivo, sin embargo es muy posible que los pesos derivados estadísticamente tengan mayor validez, principalmente porque el número de encuestas que pueden aplicarse es usualmente reducido, o porque la subjetividad en las respuestas de los agricultores es difícil de medir y cuantificar.

4.2.1.4 Paso Cuatro: aplicación del modelo.

Una vez que un modelo AGRILocal específico se ha construido, se tiene que aplicar con el auxilio de un SIG. Así mismo la metodología, basada en la aplicación del modelo AGRILocal, se complementa con consulta de literatura sobre prácticas agrícolas, estadísticas sobre el cultivo en la región y encuestas a agricultores locales.

En la Figura 8 se muestra la secuencia de pasos metodológicos para la construcción del modelo AGRILocal.

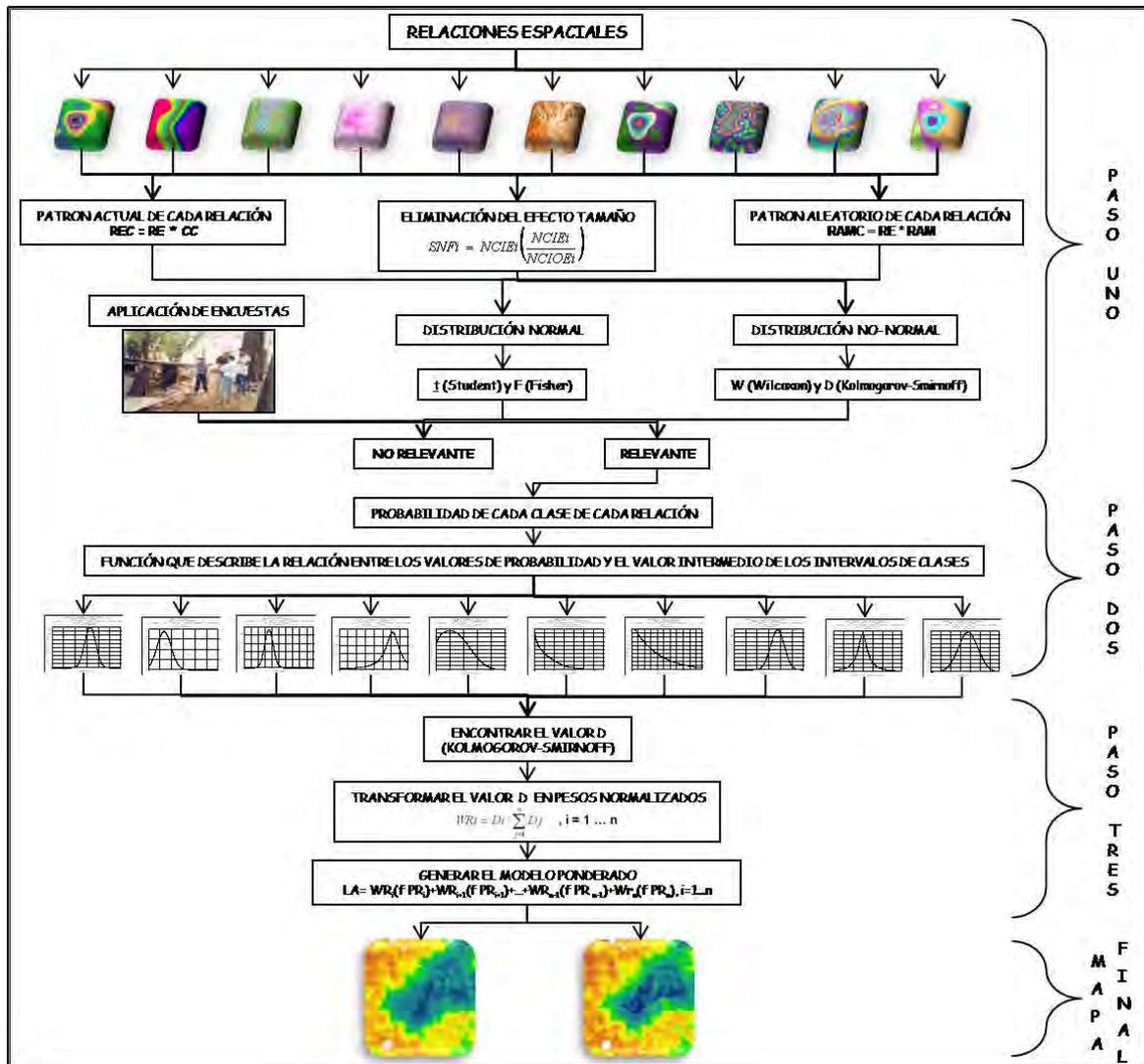


Figura 8. Diagrama de flujo de la secuencia metodológica para la construcción del modelo AGRIOLOCAL.

4.2.2 Fotointerpretación del uso del suelo.

Dado que es imprescindible conocer la distribución histórica y actual del cultivo de aguacate en la RPT, el presente trabajo tendrá como base los trabajos realizados por Fuentes^a (2000), Sánchez (2000) y Ramírez-Sánchez (2005) referentes al cambio de cobertura vegetal y uso del suelo en la región del Tancitaro. Las clases de la leyenda con las cuales se trabajó en esta investigación se muestran en el Cuadro 5.



Cuadro 5. Leyenda de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo Utilizada en la Fotointerpretación.

No.	Tipo de cobertura	Clave de Interpretación
1	Arbustos	A
2	Bosque Abierto	BA
3	Bosque Cerrado	BC
4	Cultivo Anual	CA
5	Cultivo Permanente	CP
6	Cenizas Volcánicas	CV
7	Erosión	E
8	Flujos de lava	FL
9	Pastizales	P
10	Zona Urbana	ZU

4.2.3 Cambio de cobertura vegetal y uso del suelo

Con la finalidad de comprender el impacto que ocasiona el cambio de uso y cobertura del terreno, es necesario estudiar factores ambientales y socioeconómicos que de manera directa o indirecta promueven el cambio. Sin embargo, no existen análisis cuantitativos de la importancia relativa de estos elementos con el cambio de la cobertura y uso del suelo, ya que las interpretaciones de cómo estos factores interactúan para estimular el cambio varían ampliamente de una región a otra (Skole *et al.*, 1994; Kummer y Turner II, 1994).

El cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo, es una herramienta esencial en el análisis del paisaje, puesto que representa el indicador más evidente de los procesos de deterioro, del arreglo espacial en el que se está desarrollando el paisaje natural y antrópico y los procesos de conversión y cambio entre dichos paisajes (Fuentes^b, 2000).

La manera más común de evaluar los cambios en el uso de suelo, es a partir de la medición de los cambios en la cobertura vegetal y no vegetal del mismo, con la ayuda de documentos generados mediante la percepción remota (fotografías aéreas o imágenes de satélite), o cartografía temática de cobertura (Bocco *et al.*, 2001).

Asimismo, el análisis es crucial para entender los procesos dinámicos de la cobertura del suelo, la pérdida de la productividad y biodiversidad, vulnerabilidad a la erosión, deforestación, fragmentación, pérdida del valor de opción de bienes y servicios ambientales. En este trabajo se evaluaron los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo, específicamente para el cultivo de aguacate (cultivos



permanentes), que han ocurrido en la RPT, para tres fechas diferentes. Con esto se pretende obtener algún conocimiento sobre la forma en que los agricultores locales usan diferentes clases de cobertura y deciden cambiar aquellas que consideran como más adecuadas para el cultivo del aguacate.

4.2.4 Matrices de Transición

Para poder observar la dinámica de los cambios de cobertura vegetal y uso del suelo, se elaboraron las matrices de transición correspondientes a los periodos 1974-1996 y 1996-2007, que son los años en que fueron tomadas las imágenes utilizadas para esta investigación. Se elaboraron matrices de transición, que corresponden a cuadros con arreglos simétricos, que contienen en uno de los ejes los tipos de vegetación y uso del suelo en el primer tiempo y en el otro eje, estos mismos tipos de vegetación en el segundo tiempo. De esta forma, cada una de las celdas de la diagonal inversa de la matriz, representa la superficie (en ha) de cada categoría de uso del suelo que permaneció en la misma categoría en el periodo de tiempo considerado; en el resto de las celdas, se estiman la superficie de una determinada cobertura o tipo de uso del suelo que se transformara a otra categoría (Dirzo y Maserá, 1996), lo cual permitió entender la dinámica de cambio en la cobertura y uso del suelo a nivel local.

En esta investigación, se construyeron matrices de probabilidad de transición, con base en las superficies obtenidas de los mapas de cobertura vegetal y uso del suelo con una resolución de 50X50 metros por pixel. Se partió del supuesto que la probabilidad de transición (P_{ij}) de cada clase de la matriz, es proporcional a la superficie remanente de la misma clase, entre los tiempos considerados.

Su expresión matemática es la siguiente:

$$P_{ij} = S_{ij} \text{ (primer tiempo)} / S_j \text{ (segundo tiempo)}$$

En donde:

S_{ij} = Superficie del elemento "ij" de la matriz de transición de cobertura/uso del suelo en el primer tiempo.

S_j = Superficie de la clase de cobertura/uso del suelo "j" en el segundo tiempo.



De esta manera, para cada categoría de uso del suelo es “j”.

$P_{ij} = 1$.

En la Figura 9 se muestra la secuencia metodológica a seguir para llevar a cabo el cambio de cobertura vegetal y uso del suelo.

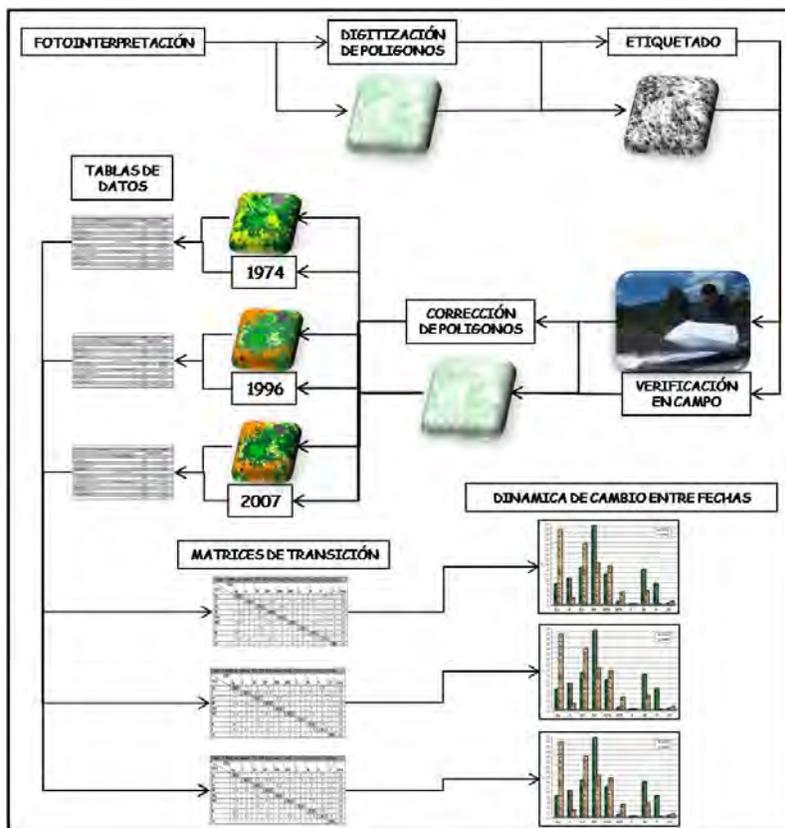


Figura 9. Diagrama de flujo de la secuencia metodológica para el cambio de cobertura vegetal y uso del suelo.

4.2.5 Encuesta

Según afirma Avila-Baray (2006), la encuesta se utiliza para estudiar poblaciones mediante el análisis de muestras representativas a fin de explicar las variables de estudio y su frecuencia.

De igual forma el mismo autor menciona que existen diferentes clases de encuestas basadas de acuerdo a la obtención de la información:

- 1.- Entrevistas.
- 2.- Cuestionarios por Correo.
- 3.- Entrevistas por Teléfono.



4.- Cuestionario.

Las etapas generales para la planeación y desarrollo de un estudio por encuesta, se mencionan a continuación:

- A.- Definición del problema,
- B.- Planteamiento de objetivos,
- C.- Población Objetivo,
- D.- Definición del marco muestral,
- E.- Diseño de la muestra,
- F.- Medición,
- G.- Entrenamiento de encuestadores,
- H.- Colección, procesamiento, análisis e interpretación de datos y
- I.- Informa de resultados.

Tomando en cuenta lo anterior y realizando algunos ajustes, la encuesta a utilizar para el presente trabajo reúne las siguientes características: 1) es de tipo analítica; 2) es una entrevista semiestructurada (Robson, 1993), que se refiere a la aplicación de un cuestionario previamente establecido, el cual se desarrollo con cierta libertad; 3) fue una encuesta con preguntas cerradas, donde el encuestado se limitó a elegir una o varias de las opciones previamente establecidas; 4) fue una encuesta por muestreo, donde se aplicaron a informantes clave, tales como autoridades de los diferentes organizaciones de aguacateros, así como a los agricultores de aguacate en la RPT.



CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Cambios de la cobertura vegetal y de uso del suelo en la RPT (1974 y 1996).

El análisis de la información consistió en cuantificar y evaluar los cambios ocurridos en cuanto a la cobertura vegetal y del uso del suelo en la RPT, para las fechas 1974 y 1996 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT (1974-1996).		
Leyenda	1974	1996
	Superficie (Ha)	
Cobertura Vegetal		
Arbustos	5125	1842
Bosque Abierto	9631	7514
Bosque Cerrado	25515	27311.5
Pastizales	2874.25	729.25
Uso del Suelo		
Cultivo Anual	15765.75	4598.25
Cultivo Permanente	2193	20798.25
Otras Coberturas		
Cenizas Volcánicas	3289	1874.75
Erosión	116.75	0
Flujos de Lava	2664.5	2434.75
Zona Urbana	282.5	354
Total	67,456.75	67,456.75

Dentro de la RPT se tiene que para 1974, las coberturas predominantes fueron, los Bosques Cerrados y Abiertos cubrían un 51% de la superficie total, en tanto los Arbustos y Pastizales ocupaban el 7 y 4% de la zona.

En cuanto al uso del suelo, los cultivos anuales, representados principalmente por el cultivo del maíz, ocupaban un cuarto de la superficie total de la RGP, lo que refleja que para esta fecha el cultivo del maíz era una de las principales actividades agrícolas en la zona, y para el caso de los cultivos permanentes estos tan solo cubrían el 3% de la superficie, representados principalmente por el cultivo del aguacate, que en ese entonces se alistaba para que en años posteriores se diera el gran boom de este cultivo en la RPT.

De igual forma se presentaban otras coberturas, destacando las cenizas volcánicas, las cuales cubrían un área del 5% y los flujos de lava con un 4%, estas coberturas originadas principalmente por el Volcán Parícutin, que hizo su aparición en la zona en 1943. De igual forma, la erosión y la zona urbana tan solo cubrían el 1% del área de estudio (Figura 10).

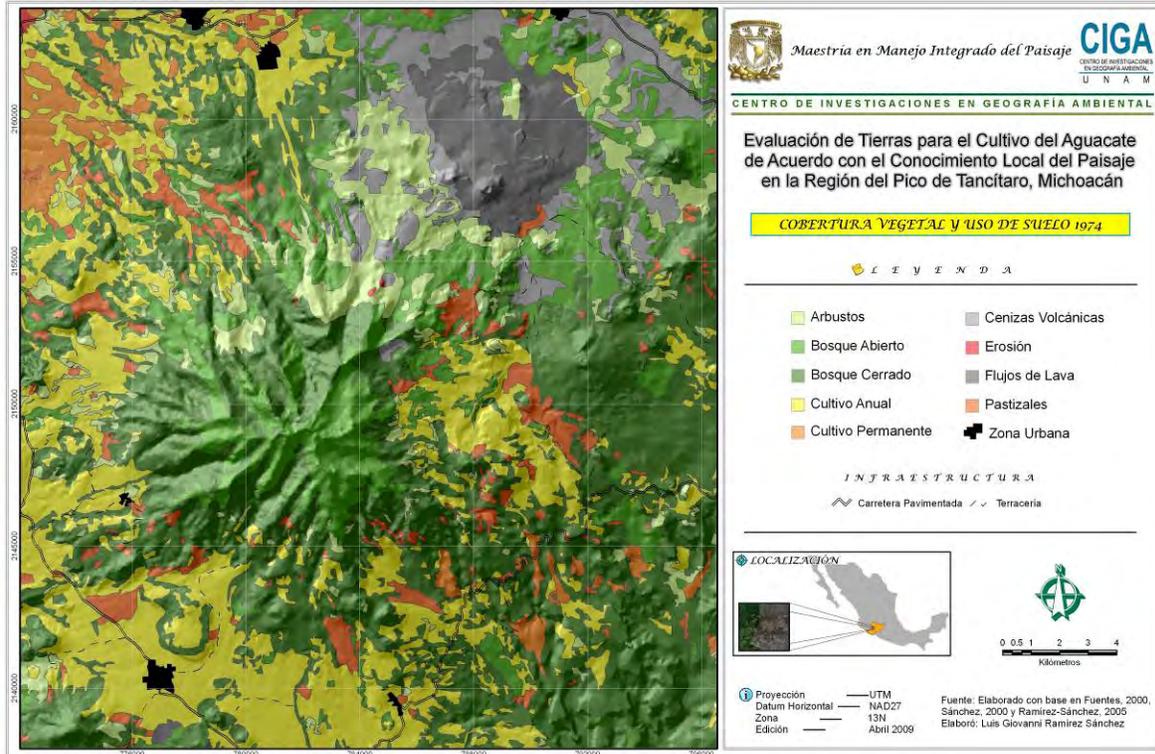


Figura 10. Cobertura vegetal y uso del suelo de la RPT, 1974

Después de 22 años (1996) en la RPT se observan algunos cambios muy significativos en cuanto a la cobertura vegetal y uso del suelo se refiere.

Para el caso de la cobertura vegetal, los Bosques cerrados aumentaron su superficie en un 3%, cubriendo para esta fecha un 40% de zona, en tanto los bosques abiertos presentaron una disminución en su área del 3%, cubriendo solo el 11% de la superficie. Las áreas de arbustos y pastizales redujeron su superficie en un 5 y 3% respectivamente.

El uso de suelo presentó un cambio por demás drástico, ya que los cultivos anuales en la zona se vieron fuertemente afectados por los cultivos permanentes, representados por el cultivo del aguacate principalmente, donde los primeros vieron reducida su superficie en un 17%, cubriendo tan solo el 6% del área, mientras los segundos presentaron un aumento en su superficie del 27%, abarcando un tercio del total de la zona de la RPT.

Por último las otras coberturas, representadas por la erosión, las cenizas volcánicas y los flujos de lava, presentaron una disminución en su superficie,



mientras la zona urbana presentó un aumento, cubriendo para esta fecha el 0.5% del área de estudio (Figura 11).

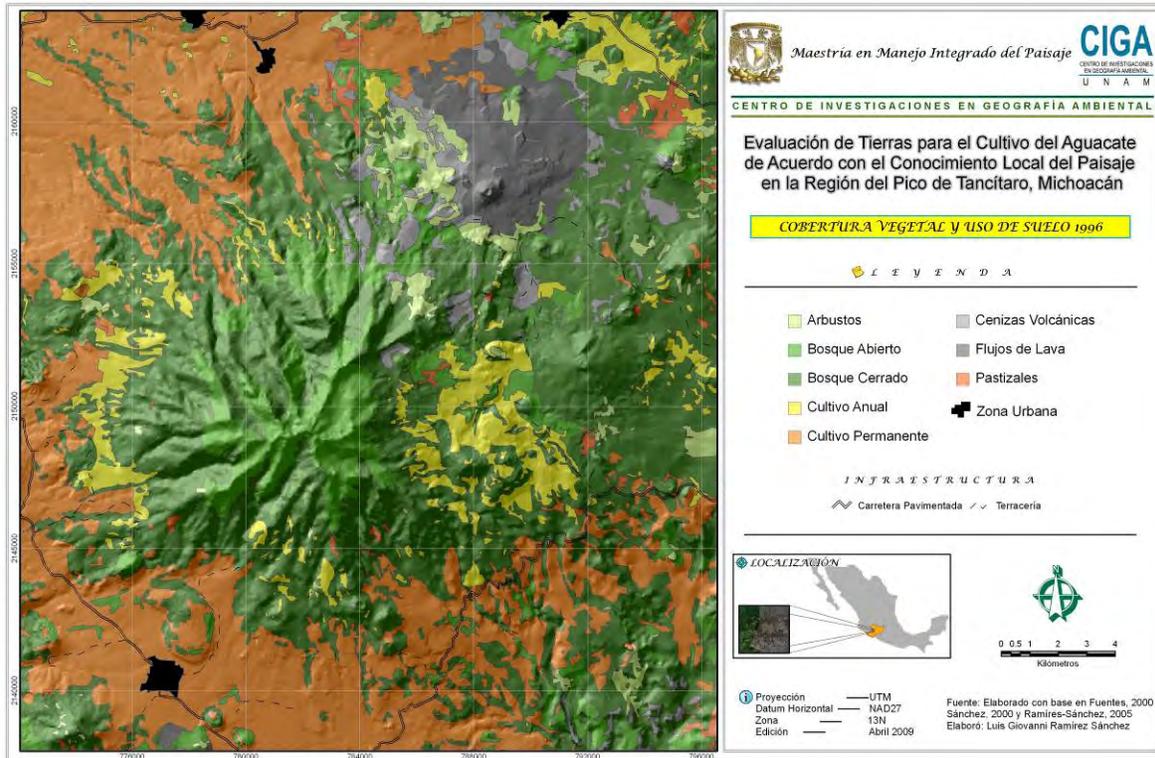


Figura 11. Cobertura vegetal y uso del suelo de la RPT, 1996

Para ser más explícitos en cuanto a los cambios y tendencias ocurridos en la cobertura vegetal y uso del suelo (1974-1996) se utiliza una matriz de transición, el resultado se encuentra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Matriz de Probabilidad de Cambios 1974-1996 de la RPT. (Matriz Normalizada)

1996 \ 1974	A	BA	BC	CA	CP	CV	E	FL	P	ZU
A	0.13	0.18	0.44	0.05	0.15	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00
BA	0.03	0.35	0.43	0.03	0.12	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00
BC	0.02	0.09	0.66	0.03	0.18	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00
CA	0.00	0.02	0.15	0.15	0.66	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
CP	0.00	0.02	0.05	0.01	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CV	0.06	0.04	0.16	0.18	0.19	0.30	0.00	0.02	0.05	0.01
E	0.00	0.01	0.11	0.51	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FL	0.05	0.01	0.01	0.00	0.01	0.05	0.00	0.88	0.00	0.00
P	0.03	0.12	0.33	0.10	0.37	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00
ZU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

De acuerdo con la matriz de cambio, las categorías que presentaron una mayor probabilidad de permanecer como tal de un tiempo a otro son: zona urbana, cultivo permanente, flujos de lava y bosque cerrado, con un 100, 91, 88 y 66%



respectivamente, donde la zona urbana y los cultivos permanentes obtienen mayor superficie de los cultivos anuales, principalmente. Así mismo como lo menciona Lambin (1997), cualquier tipo de cobertura y uso del suelo que se convierta a la clase de zona urbana, queda permanentemente en esta clase, sin probabilidad de transformarse en otro tipo de cobertura.

De igual forma las categorías que presentan una probabilidad de media a baja de permanecer como tal en la zona son los bosques abiertos con un 35% y las cenizas volcánicas con un 30% de probabilidad, donde los primeros ceden un 43% de su superficie a los bosques cerrados y ganan un 12% de los arbustos, y los segundos, ganan un 5% de los flujos de lava y ceden un 19% de su superficie a los cultivos permanentes.

Por último las clases que presentan mayor cambio son: erosión con 0%, pastizales con 2%, arbustos con 13% y cultivos anuales con 15% de probabilidad de permanecer como tales.

Para este periodo de tiempo la tendencia de la cobertura vegetal es hacia el incremento de la superficie del bosque cerrado, en tanto al uso del suelo se refiere, la tendencia va hacia la apertura y expansión de nuevas superficies para los cultivos permanentes, más concretamente para la siembra de aguacate (Figura 12).

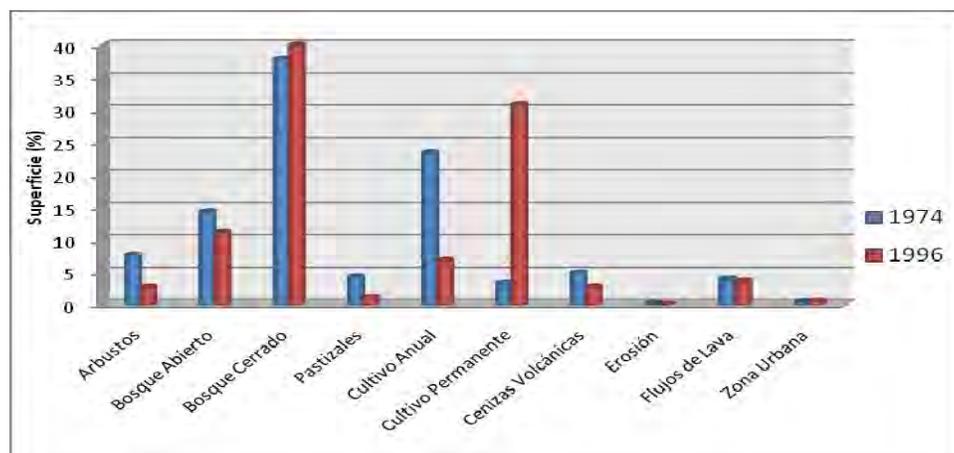


Figura 12. Tendencia de la cobertura vegetal y uso del suelo en la RPT (1974-1996).

Por último se obtuvieron las tasas de cambio de cada una de las categorías para este periodo, donde las clases Arbustos, bosque abierto, pastizales, cultivo anual, cenizas volcánicas, erosión y flujos de lava, presentaron una tasa de



cambio negativa (perdida de superficie), siendo de estas el cultivo anual la más afectada con una tasa de cambio de 507.61 Ha/año, en tanto las categorías tales como el bosque cerrado, el cultivo permanente y la zona urbana presentaron tasas de cambio positivas (ganancia de superficie), en donde el cultivo permanente fue la clase que ganó más área a un ritmo de una tasa de 845.69 Ha/año (Cuadro 8).

Cuadro 8. Tasas de cambio del periodo 1974-1996.	
Leyenda	PERIODO
	1974-1996
	Tasas de cambio (Superficie Ha/año)
Cobertura Vegetal	
Arbustos	149.22
Bosque Abierto	96.22
Bosque Cerrado	81.65
Pastizales	97.5
Uso del Suelo	
Cultivo Anual	507.61
Cultivo Permanente	845.69
Otras Coberturas	
Cenizas Volcánicas	64.28
Erosión	0
Flujos de Lava	10.44
Zona Urbana	3.25
PERDIDAS	925.30
GANANCIAS	930.60

5.2 Cambios de la cobertura vegetal y de uso del suelo en la RPT (1996 y 2007).

Se analizó un segundo periodo de 11 años (1996-2007), donde los resultados se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT (1996-2007).		
Leyenda	1996	2007
	Superficie (Ha)	
Cobertura Vegetal		
Arbustos	1842	0
Bosque Abierto	7514	8990.25
Bosque Cerrado	27311.5	24900.5
Pastizales	729.25	633
Uso del Suelo		
Cultivo Anual	4598.25	6521.75
Cultivo Permanente	20798.25	21927.5
Otras Coberturas		
Cenizas Volcánicas	1874.75	1587
Flujos de Lava	2434.75	2398
Zona Urbana	354	498.75
Total	67456.75	67456.75

Para 1996 la cobertura vegetal está representada principalmente por los bosques cerrados con un 40% de la superficie total, siguiéndole los bosques



abiertos con un 11% del área, de igual forma se tiene que los arbustos y pastizales de manera conjunta cubrían un 4% de la zona.

La categoría que mayor superficie cubre, en cuanto al uso del suelo se refiere son los cultivos permanentes, cubriendo casi un tercio de la RPT, haciendo a un lado la práctica del cultivo del maíz representada por la categoría de cultivo anual, la cual cubre tan solo un 7% de la superficie total.

De igual forma para las otras coberturas se tiene que los flujos de lava y las cenizas volcánicas, en conjunto cubrían un 6% de la superficie total, mientras tanto la zona urbana tan solo cubría un 0.5% de la zona.

Once años después (2007) la cobertura vegetal presentó un aumento de superficie en la categoría de bosques abiertos en un 2% aproximadamente, cubriendo para esta fecha un 13% de la superficie total, mientras tanto los bosques cerrados presentaron una disminución de área de un 4%, estando ahora en tan solo en un 36% de la RPT. Así mismo tanto los pastizales y los arbustos disminuyeron su superficie, donde los primeros se encuentran en menos del 1% de la superficie y los arbustos desaparecieron de la zona de estudio, esto se debe a que las zonas que eran cubiertas por esta categoría, ahora son utilizadas para el cultivo del aguacate, esto se podrá constatar más adelante cuando se haga la descripción de la matriz de transición.

Para el caso del uso del suelo se tiene que ambas categorías presentan un aumento en su superficie, donde los cultivos anuales aumentaron en un 3%, cubriendo ahora un área del 10%, caso contrario de lo que sucedió para el periodo de 1974-1996 donde la principal tendencia fue hacia su disminución, mientras los cultivos permanentes presentaron un aumento del 3%, abarcando un 33% de la superficie total.



En tanto las otras coberturas, los flujos de lava se mantienen prácticamente con la misma superficie, mientras las cenizas volcánicas presentaron una disminución de su superficie pasando de un 2.7% para 1996 a tan solo 1.7% en el 2007, y por último la zona urbana mantiene un constante aumento de su superficie pasando de un 0.5% para 1996 a un 0.8% de la zona para el 2007 (Figura 13).

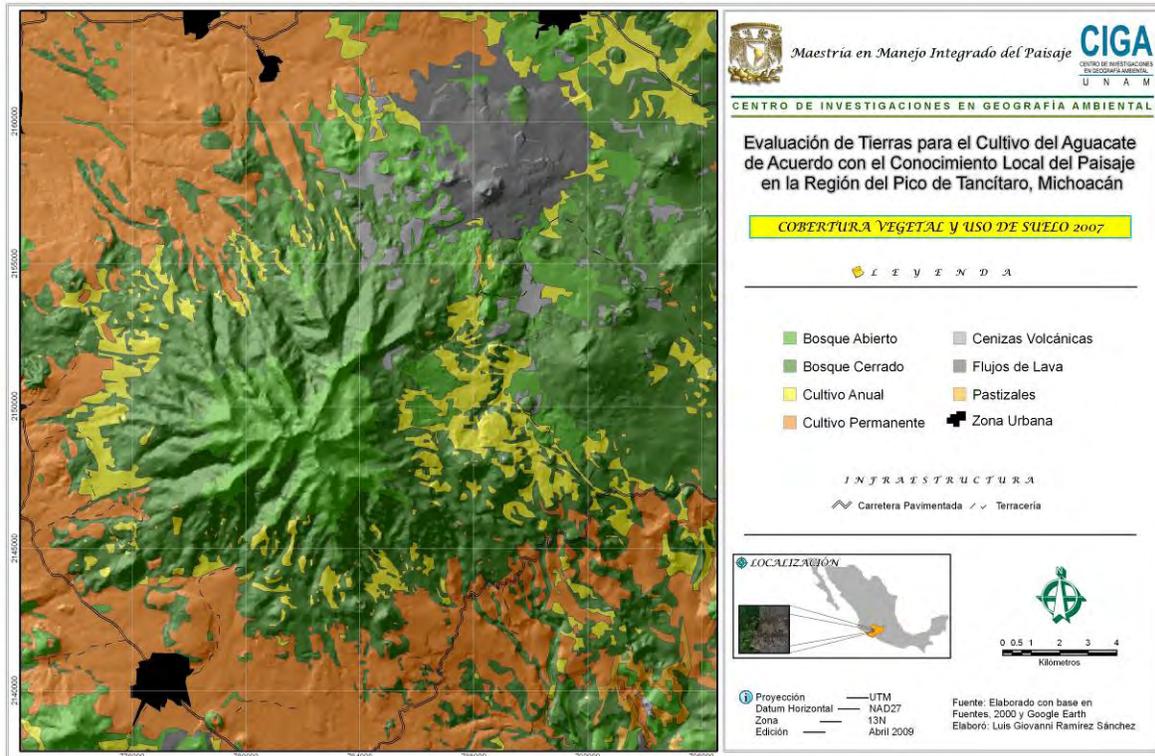


Figura 13. Cobertura vegetal y uso del suelo de la RPT, 2007

De igual manera, para este periodo de análisis se construyó una matriz de transición, para conocer las probabilidades de permanencia de cada categoría, así como saber a qué categorías cedieron y tomaron más superficie Cuadro 10.

Cuadro 10. Matriz de Probabilidad de Cambios 1996-2007 de la RPT. (Matriz Normalizada)

		2007								
1996		A	BA	BC	CA	CP	CV	FL	P	ZU
A	0.00	0.32	0.35	0.10	0.07	0.06	0.08	0.03	0.00	
BA	0.00	0.50	0.32	0.05	0.10	0.02	0.01	0.01	0.00	
BC	0.00	0.14	0.68	0.07	0.08	0.01	0.00	0.01	0.00	
CA	0.00	0.05	0.29	0.57	0.07	0.02	0.00	0.00	0.01	
CP	0.00	0.02	0.08	0.04	0.86	0.00	0.00	0.00	0.00	
CV	0.00	0.17	0.16	0.17	0.03	0.31	0.14	0.03	0.00	
FL	0.00	0.02	0.01	0.03	0.00	0.00	0.93	0.00	0.00	
P	0.00	0.17	0.34	0.43	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	
ZU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	



Para este periodo las categorías que tuvieron mayor probabilidad de permanencia son: la zona urbana, los flujos de lava, los cultivos permanentes y los bosques cerrados, con un 100, 93, 86 y 68% de probabilidad respectivamente de permanecer como tales de una fecha a otra. En este lapso de tiempo, la categoría de cultivos permanentes presentan una disminución en su probabilidad de permanencia, con respecto a 1996, esto es debido a que en la zona existen huertas de aguacate muy maduras, donde la producción ha decrecido, y las cuales paulatinamente se han estado podando y renovando con nuevos árboles, y esto hace que por un periodo de tiempo los terrenos donde estos se encontraban permanezcan prácticamente desnudos. Pero sólo la probabilidad de permanencia disminuyó ya que la superficie si presentó aumento.

De igual forma, las categorías que presentaron una probabilidad media de permanencia como tales son: cultivos anuales y los bosques abiertos, con un 57 y 50% de probabilidad respectivamente.

Finalmente las clases de arbustos y pastizales presentan una probabilidad de permanencia de 0%, cediendo gran parte de su superficie al bosque cerrado. De igual forma las cenizas volcánicas presentan una probabilidad de permanencia del 31% cediendo parte de su superficie a cultivos anuales y ganando superficie de la categoría de arbustos principalmente.

Para este lapso de tiempo la tendencia de la cobertura vegetal es hacia el incremento de la superficie de bosques abiertos, continua la preferencia hacia la apertura y expansión de nuevas superficies para el cultivo del aguacate, y se hace presente la tendencia hacia el aumento y permanencia de los cultivos anuales, de igual forma continua el aumento de la zona urbana, debido a la creciente demanda de espacios para el establecimiento de zonas habitacionales (Figura 14).

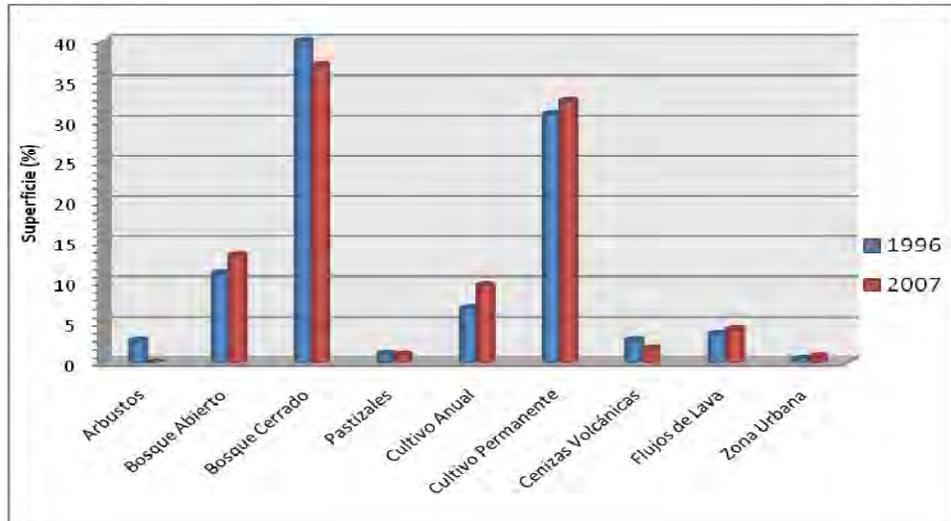


Figura 14. Tendencia de la cobertura y uso del suelo en la RPT (1996-2007).

Finalmente se obtuvieron las tasas de cambio de cada una de las categorías para este periodo, donde las clases Arbustos, bosque cerrado, pastizales, cenizas volcánicas y erosión, presentaron una tasa de cambio negativa (perdida de superficie), siendo de estas el bosque cerrado la más afectada con una tasa de cambio de 219.18 Ha/año, en tanto las categorías tales como el bosque abierto, el cultivo permanente, el cultivo anual, los flujos de lava y la zona urbana presentaron tasas de cambio positivas (ganancia de superficie), en donde el cultivo anual fue la clase que ganó más superficie a un ritmo de una tasa de 174.86 Ha/año (Cuadro 11).

Cuadro 11. Tasas de cambio del periodo 1996-2007.	
Leyenda	PERIODO
	1996-2007
Tasas de cambio (Superficie Ha/año)	
Cobertura Vegetal	
Arbustos	0
Bosque Abierto	134.20
Bosque Cerrado	219.18
Pastizales	8.75
Uso del Suelo	
Cultivo Anual	174.86
Cultivo Permanente	102.65
Otras Coberturas	
Cenizas Volcánicas	62.52
Erosión	0
Flujos de Lava	33.02
Zona Urbana	13.15
PERDIDAS	605.08
GANANCIAS	608.61



5.3 Cambios de la cobertura vegetal y de uso del suelo en la RPT (1974 y 2007).

Finalmente se analizó un tercer periodo entre los años de 1974 y 2007 (33 años), siendo los principales resultados los que se muestran en el cuadro 12.

Cuadro 12. Cobertura Vegetal y Uso del Suelo de la RPT (1974-2007).		
Leyenda	1974	2007
	Superficie (Ha)	
Cobertura Vegetal		
Arbustos	5125	0
Bosque Abierto	9631	8990.25
Bosque Cerrado	25515	24900.5
Pastizales	2874.25	633
Uso del Suelo		
Cultivo Anual	15765.75	6521.75
Cultivo Permanente	2193	21927.5
Otras Coberturas		
Cenizas Volcánicas	3289	1587
Erosión	116.75	0
Flujos de Lava	2664.5	2398
Zona Urbana	282.5	498.75
Total	67,456.75	67,456.75

Para 1974 se tiene que la cobertura vegetal estaba compuesta principalmente por los Bosques cerrados y Abiertos, donde en su conjunto cubrían un 51% de la superficie total, mientras los arbustos y pastizales ocupaban el 7 y 4% de la zona, respectivamente.

En este año el uso del suelo estaba representado por los cultivos anuales, maíz principalmente, cubriendo un cuarto del total de la superficie del área de estudio.

Por otro lado se tiene que las categorías denominadas como otras coberturas eran representadas por las cenizas volcánicas, los flujos de lava, la erosión y la zona urbana, con un 5, 4, 1 y 1% de la RPT, respectivamente.

Después de 33 años (2007) en la RPT se observan algunos cambios muy significativos en cuanto a la cobertura vegetal y uso del suelo se refiere.

Para el caso de la cobertura vegetal, los Bosques cerrados y los bosques abiertos disminuyeron su superficie en un 1%, cubriendo para esta fecha un 36% 13% de la superficie, respectivamente. Mientras tanto los pastizales redujeron su superficie en un 3% y las zonas con arbustos desaparecieron.



El uso de suelo presentó un cambio por demás drástico, ya que los cultivos anuales en la zona se vieron fuertemente afectados por los cultivos permanentes, representados por el cultivo del aguacate principalmente, donde los primeros vieron reducida su superficie en un 12%, cubriendo tan solo el 9% del área, mientras los segundos presentaron un aumento en su superficie del 29%, abarcando más de un tercio del total de la zona de la RPT.

Por último las otras coberturas, representadas por la erosión, las cenizas volcánicas y los flujos de lava, presentaron una disminución en su superficie, mientras la zona urbana presentó un aumento, cubriendo para esta fecha el 0.7% del área de estudio.

Para ser más explícitos en cuanto a los cambios y tendencias ocurridos en la cobertura vegetal y uso del suelo (1974-2007) se utilizó una matriz de transición, el resultado se encuentra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Matriz de Probabilidad de Cambios 1974-2007 de la RPT. (Matriz Normalizada)

2007 1974	A	BA	BC	CA	CP	E	P	CV	FL	ZU
A	0.00	0.22	0.48	0.08	0.16	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00
BA	0.00	0.36	0.44	0.06	0.12	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
BC	0.00	0.13	0.59	0.06	0.19	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00
CA	0.00	0.02	0.13	0.17	0.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
CP	0.00	0.01	0.04	0.01	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
E	0.00	0.00	0.09	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	0.00	0.14	0.29	0.18	0.37	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
CV	0.00	0.14	0.14	0.27	0.17	0.00	0.00	0.19	0.09	0.01
FL	0.00	0.05	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.91	0.00
ZU	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00

De acuerdo con la matriz de cambio, las categorías que presentaron una mayor probabilidad de permanecer como tal de un tiempo a otro son: zona urbana, cultivo permanente, flujos de lava y bosque cerrado, con un 100, 94, 91 y 59% respectivamente, donde la zona urbana y los cultivos permanentes obtienen mayor superficie de los cultivos anuales, principalmente

De igual forma las categorías que presentan una probabilidad de media a baja de permanecer como tal en la zona son los bosques abiertos con un 36% y las cenizas volcánicas con un 19% de probabilidad, donde los primeros ceden un 48% de su superficie a los bosques cerrados y los segundos, ceden un 17% de su superficie a los cultivos permanentes.



Por último las clases que presentan mayor cambio son: erosión, arbustos con y pastizales 0% y cultivos anuales con 17% de probabilidad de permanecer como tales (Figura 15).

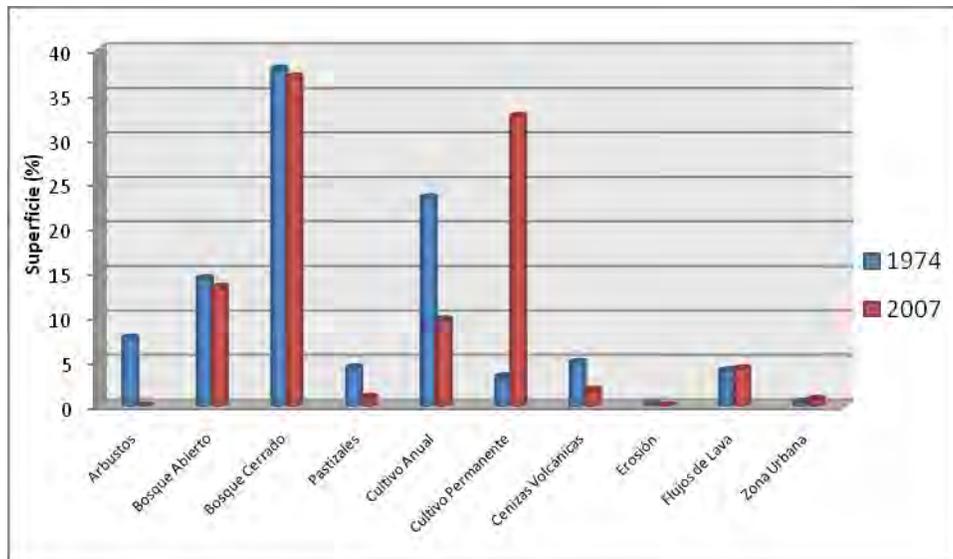


Figura 15. Tendencia de la cobertura vegetal y uso del suelo en la RPT (1974-2007).

Por último se obtuvieron las tasas de cambio de cada una de las categorías para este periodo, donde las clases Arbustos, bosque abierto, bosque cerrado, pastizales, el cultivo anual, cenizas volcánicas y erosión, presentaron una tasa de cambio negativa (pérdida de superficie), siendo de estas el cultivo anual la más afectada con una tasa de cambio de 280.12 Ha/año, en tanto las categorías tales el cultivo permanente, los flujos de lava y la zona urbana presentaron tasas de cambio positivas (ganancia de superficie), en donde el cultivo permanente fue la clase que ganó más superficie a un ritmo de una tasa de 598.01 Ha/año (Cuadro 14).

Finalmente cabe hacer mención que tanto para 1996 y 2007, hay categorías que ya no se encuentran para estas fechas, ya sea que pasaron a formar parte de otra categoría como las zonas cubiertas por Arbustos, las cuales fueron sustituidas por los bosques cerrados principalmente, y otras categorías como la Erosión, desaparecen debido a que estas zonas fueron cubiertas por cultivos permanentes.



Cuadro 14. Tasas de cambio del periodo 1974-2007.

Leyenda	PERIODO
	1974-2007
Tasas de cambio (Superficie Ha/año)	
Cobertura Vegetal	
Arbustos	0
Bosque Abierto	19.41
Bosque Cerrado	18.62
Pastizales	67.91
Uso del Suelo	
Cultivo Anual	280.12
Cultivo Permanente	598.01
Otras Coberturas	
Cenizas Volcánicas	63.69
Erosión	0
Flujos de Lava	4.04
Zona Urbana	6.55
PERDIDAS	290.45
GANANCIAS	449.77

5.4 EVALUACIÓN DE TIERRAS: APLICACIÓN DEL MODELO AGRILocal.

Siguiendo la metodología para la construcción del modelo AGRILocal se procedió a generar los modelos para cada una de las fechas (1974, 1996 y 2007), donde para cada uno de ellos se tomaron en cuenta un total de 17 relaciones espaciales (Cuadro 15).

Cuadro 15. Relaciones espaciales exploradas para el cultivo de Aguacate en la RPT

Relación espacial	Tipo
FISIOGRÁFICAS	
Altitud	Coincidencia
Pendiente	Coincidencia
Índice Topográfico de Humedad	Coincidencia
Orientación de Laderas	Orientación
Suelo	Coincidencia
CLIMA	
Precipitación	Coincidencia
Temperatura Mínima de Enero	Coincidencia
Temperatura Mínima de Febrero	Coincidencia
Temperatura Mínima de Diciembre	Coincidencia
Temperatura Máxima de Abril	Coincidencia
Temperatura Máxima de Mayo	Coincidencia
Temperatura Máxima de Junio	Coincidencia
Temperatura Máxima de Julio	Coincidencia
COBERTURAS	
Cultivo Anual	Proximidad
Pastizales	Proximidad
ECONÓMICAS	
Poblaciones	Proximidad
Camino	Proximidad



5.4.1 MODELO AGRILocal PARA 1974

Paso Uno: Encontrar las relaciones espaciales relevantes entre las áreas de cultivo de aguacate y otros eventos geográficos involucrados en su cultivo.

Para 1974 se evaluaron un total de 15 relaciones espaciales de las cuales todas resultaron ser relevantes (Cuadro 16).

Los resultados obtenidos en este apartado nos muestran claramente que todas las relaciones espaciales que se analizaron para este año, resultaron ser relevantes ($\alpha = 95\%$ o $p < 0.05$) en la distribución del cultivo de aguacate para esta fecha, donde en total se obtuvieron ocho relaciones que presentaron una distribución Normal tanto en la distribución del cultivo de aguacate como en la aleatoria, seis relaciones presentaron una distribución No-Normal para ambas distribuciones, y solo una relación presentó distribuciones Normales y No-Normales, lo que hace que automáticamente sea Relevante.

Cuadro 16. Relaciones espaciales relevantes para el año 1974.		
Relación espacial	Distribución	Relevancia
FISIOGRÁFICAS		Cultivo / Aleatoria
		$\alpha = 95\%$
Altitud	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Pendiente	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Índice Topográfico de Humedad	Normal/Normal	RELEVANTE
Orientación de Laderas	Normal/Normal	RELEVANTE
Suelo	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
CLIMA		
Precipitación	No-Normal/No-normal	RELEVANTE
Temperatura Mínima de Enero	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Temperatura Mínima de Febrero	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Mínima de Diciembre	Normal-No-normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Abril	Normal-No-normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Mayo	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Junio	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Julio	Normal/Normal	RELEVANTE
ECONÓMICAS		
Poblaciones	Normal/Normal	RELEVANTE
Camino	Normal/Normal	RELEVANTE

Un aspecto importante en la construcción de un modelo AGRILocal es llevar a cabo el análisis de las relaciones que mantiene el cultivo en estudio con otras coberturas vegetales, así como con zonas con este cultivo previas al año en análisis, pero debido a que no se tiene una fecha anterior a 1974 no se realizó el análisis de estas relaciones para esta fecha, pero si para años posteriores (1996 y 2007).

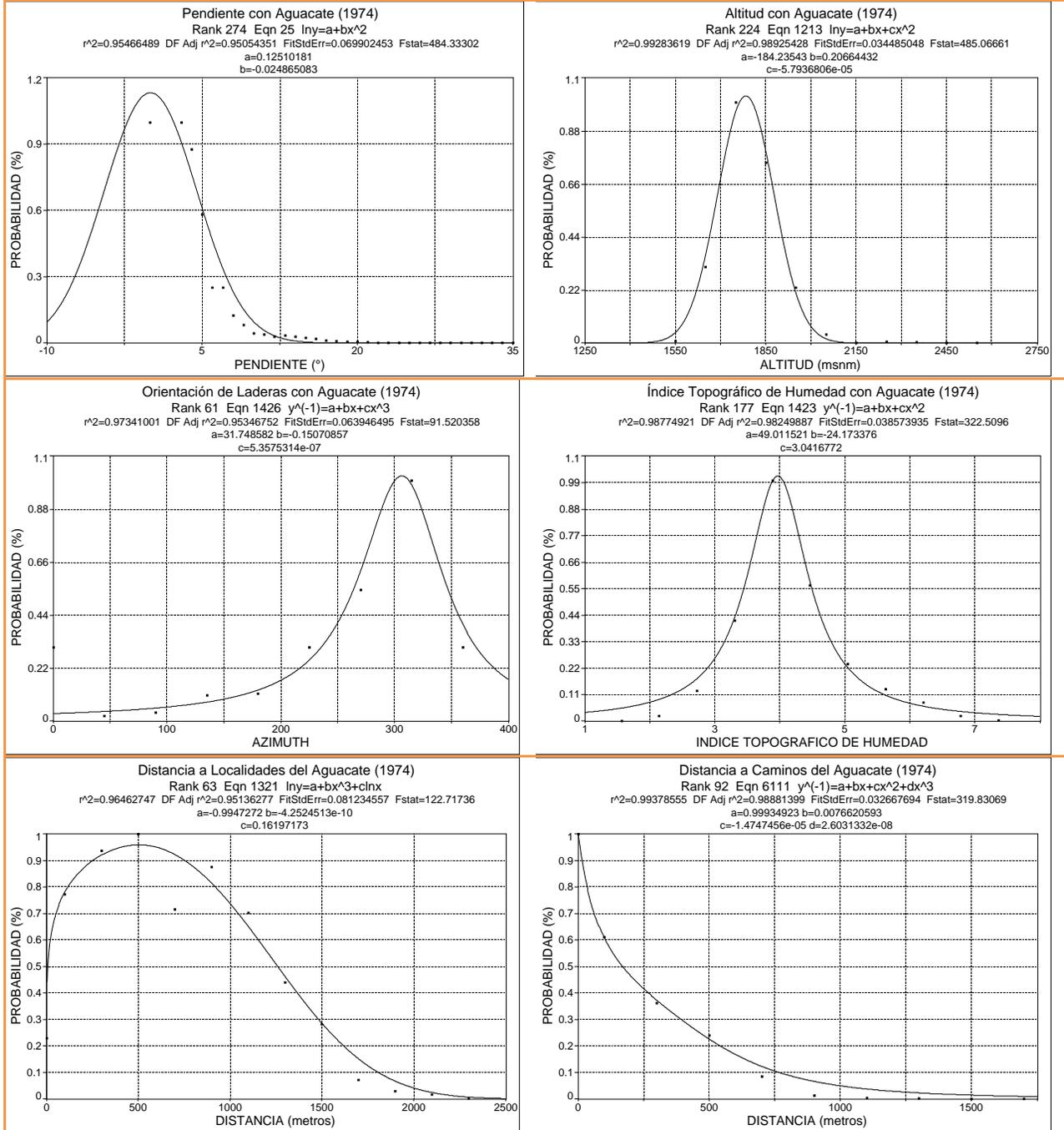


Paso Dos: Especificar las funciones de preferencia para el uso del territorio con fines de cultivo de aguacate

Para determinar el grado de preferencia que los valores de una relación tienen para establecer áreas de cultivo de aguacate, se convirtieron los valores de frecuencia (número de celdas de 50m) de cada clase a probabilidades de cada clase. Con estos valores de probabilidad se procedió a obtener la función matemática que mejor define la relación entre los valores de probabilidad y el punto medio de los intervalos de cada clase y los resultados se pueden ver en el Cuadro 17.

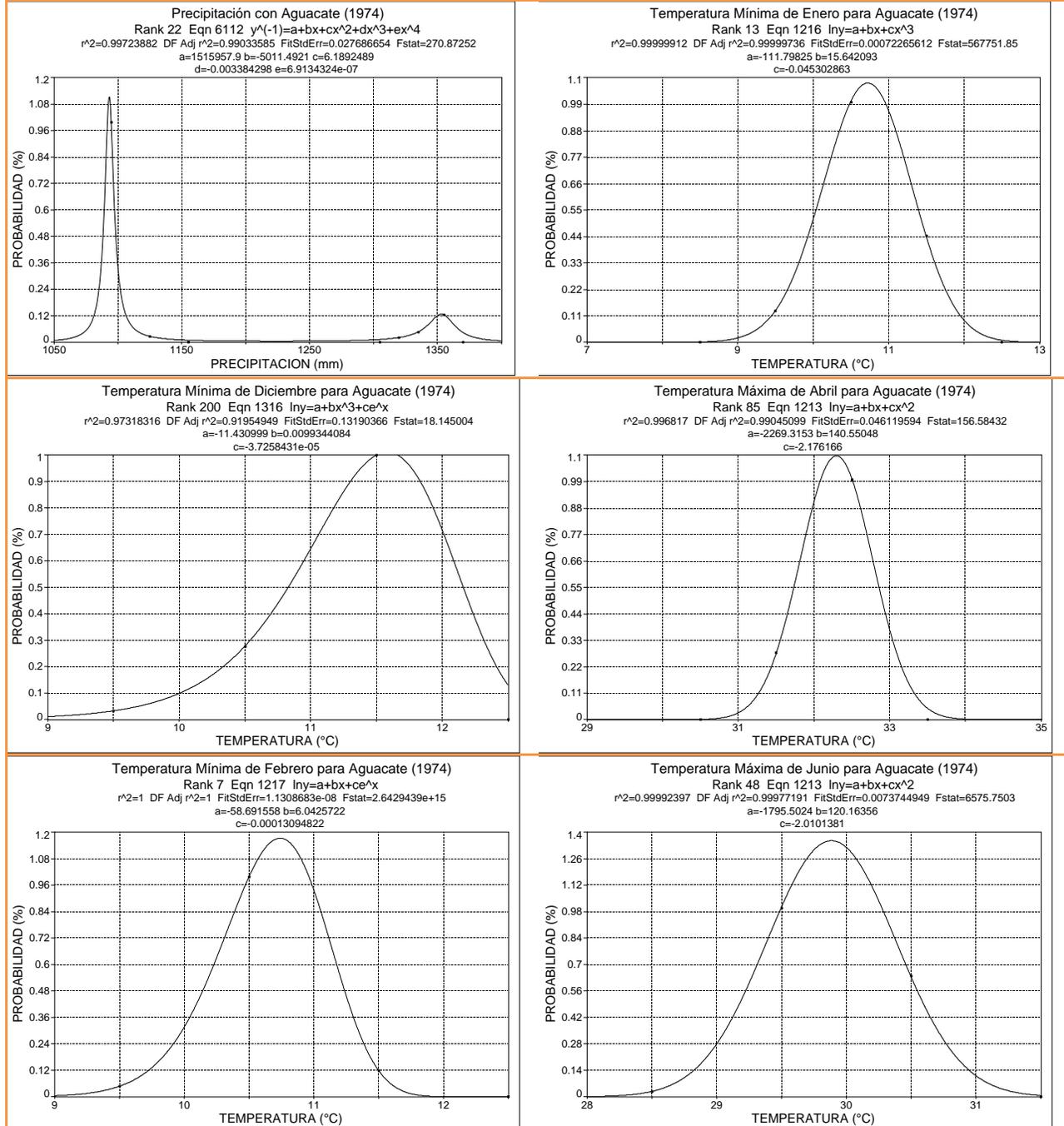


Cuadro 17. Funciones de preferencia para el año 1974.



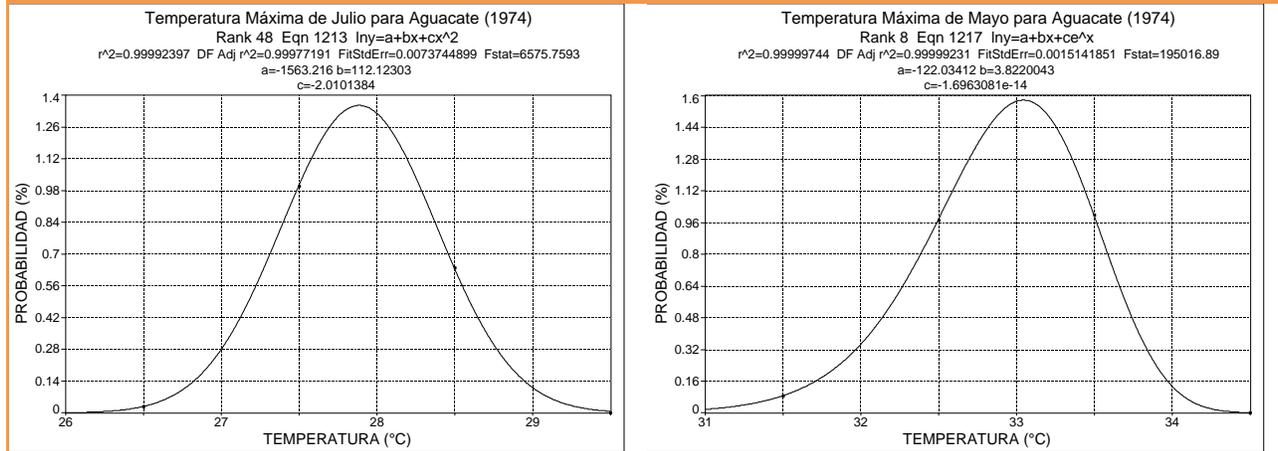


Cuadro 17. Continuación





Cuadro 17. Continuación.



Al obtener las funciones se procedió a aplicarlas a cada mapa de la relación correspondiente, con valores de 0 a 1, donde el valor de preferencia más alto corresponde a uno y el más bajo a cero. De igual forma se procedió a generar los rangos para las clases de aptitud territorial (Cuadro 18), con el procedimiento de K-medias, y se generaron los mapas correspondientes para esta fecha.

Cuadro 18. Rangos de Preferencia para 1974.

Relación espacial	Aptitud Territorial (Rangos)		
	Aptitud Marginal	Aptitud Media	Aptitud Optima
FISIOGRÁFICAS			
Altitud	0-0.0086	0.0086-0.2855	0.2855-1
Pendiente	0-0.0207	0.0207-0.6847	0.6847-1
Índice Topográfico de Humedad	0-0.0595	0.0595-0.2751	0.2751-1
Orientación de Laderas	0-0.0666	0.0666-0.3276	0.3276-1
Suelo	0-0.0061	0.0061-0.095	0.095-1
CLIMA			
Precipitación	0-0.0147	0.0147-0.1259	0.1259-1
Temperatura Mínima de Enero	0-0.0466	0.0466-0.4430	0.4430-1
Temperatura Mínima de Febrero	0-0.0001	0.0001-0.0835	0.0835-1
Temperatura Mínima de Diciembre	0-0.0824	0.0824-0.277	0.277-1
Temperatura Máxima de Abril	0-0.0235	0.0235-0.2791	0.2791-1
Temperatura Máxima de Mayo	0-0.0437	0.0437-0.973	0.973-1
Temperatura Máxima de Junio	0-0.0176	0.0176-0.641	0.641-1
Temperatura Máxima de Julio	0-0.0176	0.0176-0.641	0.641-1
ECONÓMICAS			
Poblaciones	0-0.0901	0.0901-0.5584	0.5584-1
Caminos	0-0.0639	0.0639-0.4911	0.4911-1

Para el caso del parámetro suelo no se obtuvo una función debido a que no se contaban con categorías de tipo numéricas, sino con categorías nominales, entonces para obtener el mapa de preferencia se utilizaron los datos de la columna de frecuencia normalizada para cada clase de suelo que se generó en el primer paso.



Con todos los mapas se generaron dos modelos iniciales de preferencia de la tierra para el cultivo del aguacate, el primero (probabilidad de preferencia) se genera a partir de los valores de probabilidad con una escala de 0 a 1, y el segundo (clase de preferencia) se genera a partir de los mapas de preferencia con tres clases de aptitud territorial (1 a 3), asimismo, en ambos mapas todas las variables tienen el mismo peso. Estos mapas se elaboran solo para propósitos exploratorios del componente de preferencia en el modelo AGRILocal, y se obtienen con la siguiente fórmula:

$$LA = \Sigma RE / NTR$$

Donde:

LA = Probabilidad o clase de preferencia de las Tierras

ΣRE = sumatoria de los mapas de las funciones de probabilidad de preferencia o clase de preferencia de cada relación espacial

NTR = Número total de relaciones espaciales

Para la probabilidad de preferencia se usó el siguiente modelo específico:

$$\text{modelo74p} = ([\text{caminorm}] + [\text{tminsin}] + [\text{tmaxsin}] + [\text{orientenorm}] + [\text{penorm}] + [\text{twicnorm74}] + [\text{lluvnorm74}] + [\text{prefloc}] + [\text{suelnorm}]) / 9$$

En donde: **caminorm**= distancia a caminos, **tminsin**= temperatura mínima, **tmaxsin**= temperatura máxima, **orientenorm**= orientación de laderas, **penorm**= pendiente, **twicnorm74**= índice topográfico de humedad, **lluvnorm74**= precipitación, **prefloc**= distancia a localidades y **suelnorm**= tipo de suelo

Con esta fórmula se obtuvo un modelo de preferencia con una escala entre 1 y 0, donde 1 corresponde al valor más alto de aptitud territorial y el 0 al valor más bajo. Como todas las relaciones espaciales tienen el mismo peso el patrón no es de aptitud propiamente, pero si se puede observar que los terrenos más preferibles para el cultivo, de acuerdo con los parámetros evaluados para este período (1974), se encuentran hacia el NO y SO principalmente (Figura 16).

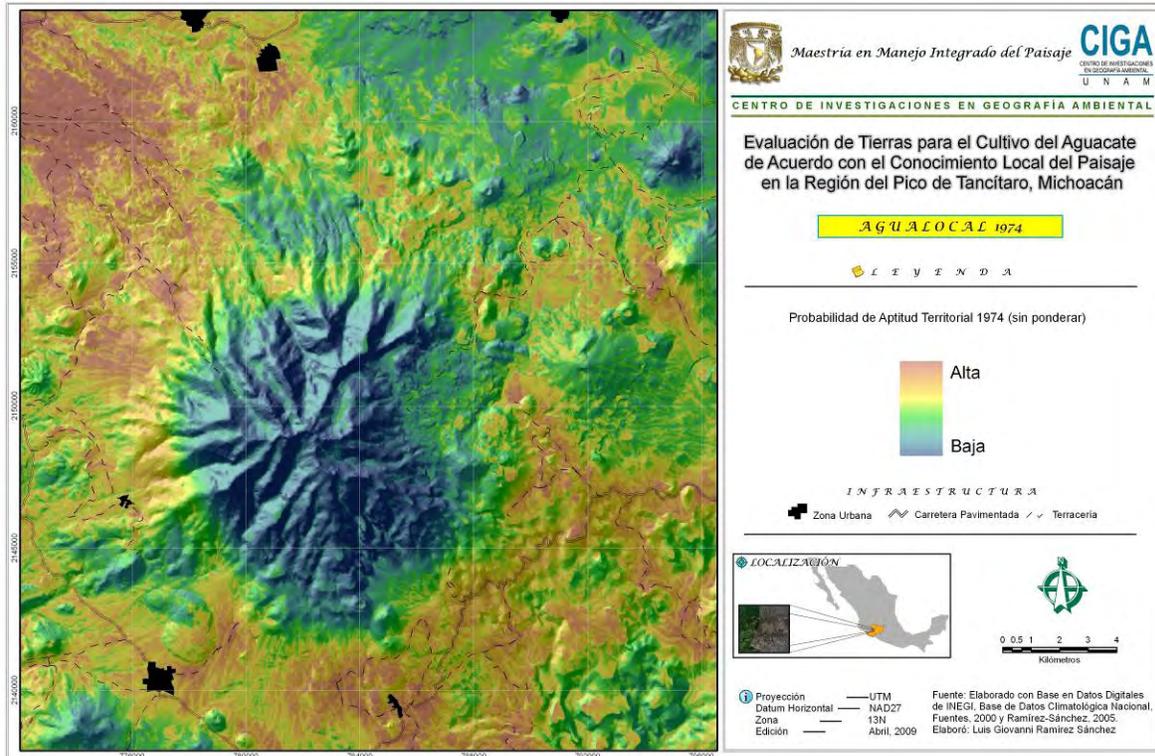


Figura 16. Probabilidad de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los valores de los parámetros sin ponderar para el cultivo del aguacate (1974).

Para la clase de preferencia se usó el siguiente modelo específico:

$$\text{modelo74c} = ([\text{tmaxsinc}] + [\text{campref74}] + [\text{tminsinc}] + [\text{indiprefe74}] + [\text{lluviapref74}] + [\text{locpref74}] + [\text{orienpref74}] + [\text{penpref74}] + [\text{suelprefe74}]) / 9$$

En donde: campref74= distancia a caminos clasificado, tminsinc= temperatura mínima clasificado, tmaxsinc= temperatura máxima clasificado, orienpref74= orientación de laderas clasificado, penpref74= pendiente clasificado, indiprefe74= índice topográfico de humedad clasificado, lluvpref4= precipitación clasificado, locpref74= distancia a localidades clasificado y suelprefe74= tipo de suelo clasificado.

Con esta fórmula se obtuvo un modelo de preferencia con tres clases, 1= preferencia marginal, 2 = preferencia aceptable y 3= preferencia óptima. Donde, al igual que el modelo de probabilidad de preferencia, las tierras más preferibles para este cultivo, de acuerdo con los parámetros evaluados para este período (1974), se encuentran hacia el NO y SO principalmente (Figura 17).

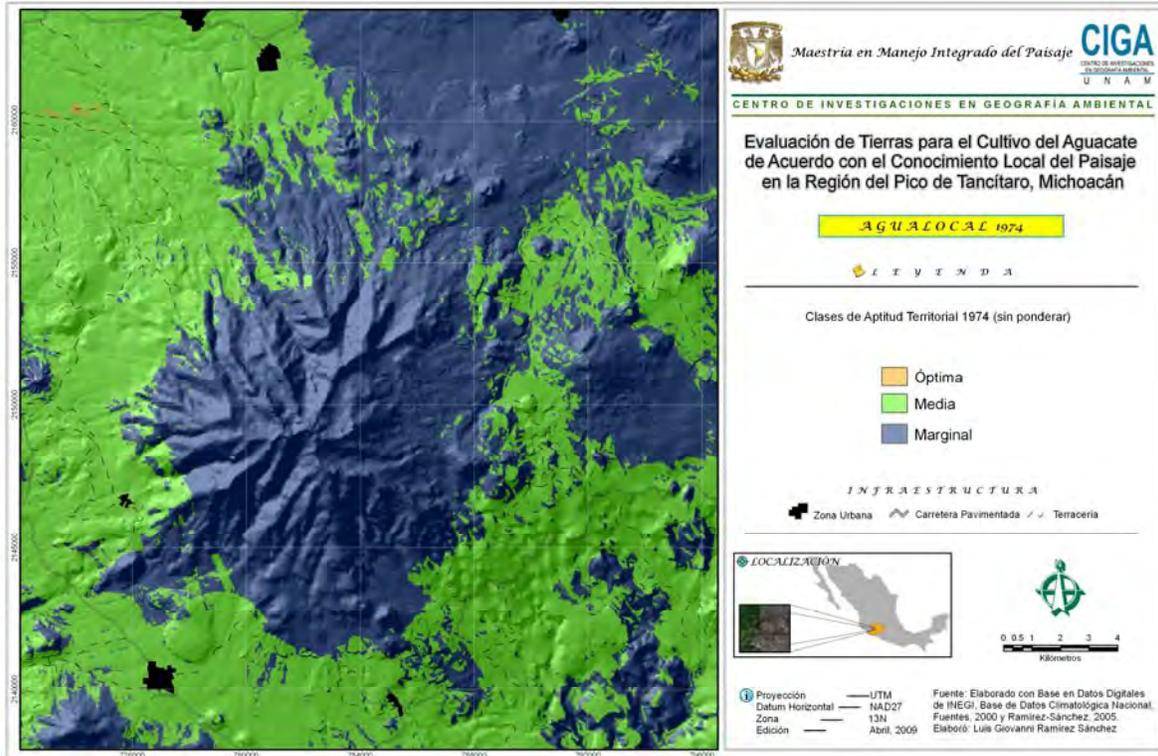


Figura 17. Clases de Aptitud territorial sin ponderar para el cultivo del aguacate (1974).

En la elaboración de los mapas anteriores, tanto la temperaturas mínima como las máximas mensuales se sumaron y se dividieron entre el número de meses que se tomaron en consideración, esto se realizó de esta forma ya que ambas temperaturas forman parte del clima, y si realizaran por separado se le estaría restando importancia al resto de las relaciones espaciales, de igual forma se excluyo el parámetro ALTITUD, porque este está íntimamente ligado a la temperatura y de tomarlo en cuenta en el modelo se estaría introduciendo redundancia.

Paso Tres: establecimiento del grado de influencia.

Para establecer el grado de influencia de cada una de las relaciones espaciales relevantes para esta fecha, se analizó el valor "D" de la prueba estadística de **Kolmogorov-Smirnov**, obtenido de la comparación entre la distribución del cultivo de aguacate para esta fecha y la distribución hipotética aleatoria. Así mismo se transformaron los valores de "D" en pesos normalizados, obteniendo como resultado que la relación más importante para esta fecha resultó



ser la proximidad a Caminos con un peso de 0.1564, siguiéndole la precipitación con 0.1274 de peso, así mismo la relación que presento el menor peso de las nueve analizadas fue el suelo con 0.0478 (Cuadro 19). Esto nos indica que los productores de aguacate para esta fecha, preferían los terrenos más próximos a los caminos, lo que les beneficiaba en no tener que trasladarse grandes distancias para sembrar aguacate, de igual forma el traslado del producto se les facilitaba si los terrenos estaban cercanos a los caminos. Por otro lado, la baja influencia del parámetro suelo para establecer una nueva área para cultivar aguacate, puede ser debida a que en esta zona en particular, en el 90% de la superficie se encuentran suelos de tipo Andosol, que presentan características muy apropiadas para este cultivo.

Cuadro 19. Pesos de las relaciones espaciales para 1974			
Relación espacial	D	Valor de P para D	Peso
FISIOGRÁFICAS			
Pendiente	0.557692	1.89301E-7	0.10663193
Índice Topográfico de Humedad	0.25	0.847488	0.04780055
Orientación de Laderas	0.5	0.271006	0.09560109
Suelo	0.652174	0.000112849	0.12469709
CLIMA			
Precipitación	0.666667	0.0096559	0.12746819
Temperatura Mínima	0.727273	0.00594601	0.11463858
Temperatura Máxima	0.714286	0.0562319	0.12376928
ECONÓMICAS			
Poblaciones	0.538462	0.0461399	0.10295511
Caminos	0.818182	0.00126778	0.15643818

Una vez obtenidos los pesos de las relaciones se procedió a aplicar la formula general del modelo para construir el mapa de aptitud ponderada para 1974.

Mapa de Aptitud Ponderada

Como se mencionó anteriormente las temperaturas (mínima y máxima) se sumaron y dividieron entre el número de meses correspondientes para cada una, y asignándoles el peso correspondiente, quedando las ecuaciones de la siguiente manera:

$$t_{min} = ([dicnorm]+[enenorm]+[febnorm]) / 3 * 0.114638582$$

Donde: dicnorm= temperatura minima de diciembre, enenorm= temperatura minima de enero y febnorm= temperatura minima de febrero

$$t_{max} = ([abrinorm]+ ([maynorm]+ [junorm]+ [julnorm]) / 4 * 0.123769283$$



Donde: abrinorm= temperatura máxima de abril, maynorm= temperatura máxima de mayo, junorm= temperatura máxima de junio y julnorm= temperatura máxima de julio.

Una vez obtenidos estos mapas se procedió a generar el mapa ponderado de preferencia y se obtuvo de la siguiente manera:

$$\text{Aptitud} = ([[\text{penorm}] * 0.106631927] + ([\text{orientenorm}] * 0.095601091) + ([\text{twicnorm74}] * 0.047800546) + ([\text{caminorm}] * 0.156438184) + ([\text{lluvnorm74}] * 0.127468185) + ([\text{prefloc}] * 0.102955109)) + [\text{suelpeso}] + [\text{tmax}] + [\text{tmin}]$$

En donde: caminorm= distancia a caminos, tmin= temperatura mínima, tmax= temperatura máxima, orientenorm= orientación de laderas, penorm= pendiente, twicnorm74= índice topográfico de humedad, lluvnorm74= precipitación, prefloc= distancia a localidades y suelpeso= tipo de suelo

Obteniendo como resultado el mapa final de aptitud territorial con todos los parámetros ponderados, en cual se puede observar que las zonas más aptas para el cultivo del aguacate se encuentran hacia el NO y SE de la zona de estudio, siguiendo la distribución de los caminos que para ese entonces había en el área. Cabe mencionar que para esta fecha el parámetro que más peso obtuvo fue precisamente la proximidad a caminos, es por eso que gran parte de las zonas más aptas para el cultivo se encuentran relativamente cercanas a éstos (Figura 18). Los valores de este mapa se encuentran entre 0 y 1, en donde 0 representa la aptitud más baja y 1 la aptitud más alta.

Para facilitar su interpretación, este resultado se reclasificó en cinco clases de aptitud del territorio, siendo la clase de Moderada aptitud la que presenta mayor superficie en la zona, siguiéndole las clases Baja, Alta, Muy Baja y Muy Alta, con un 28%, 26%, 20%, 17% y 7% del área de estudio respectivamente (Figura 19), donde los valores límite de probabilidad empleados en la definición de las clases son los siguientes:

Clase de Aptitud	Valores límite de probabilidad
Muy Alta	0.8 - 1.0
Alta	0.6 - 0.8
Moderada	0.4 - 0.6
Baja	0.2 - 0.4
Muy Baja	0.0- 0.2

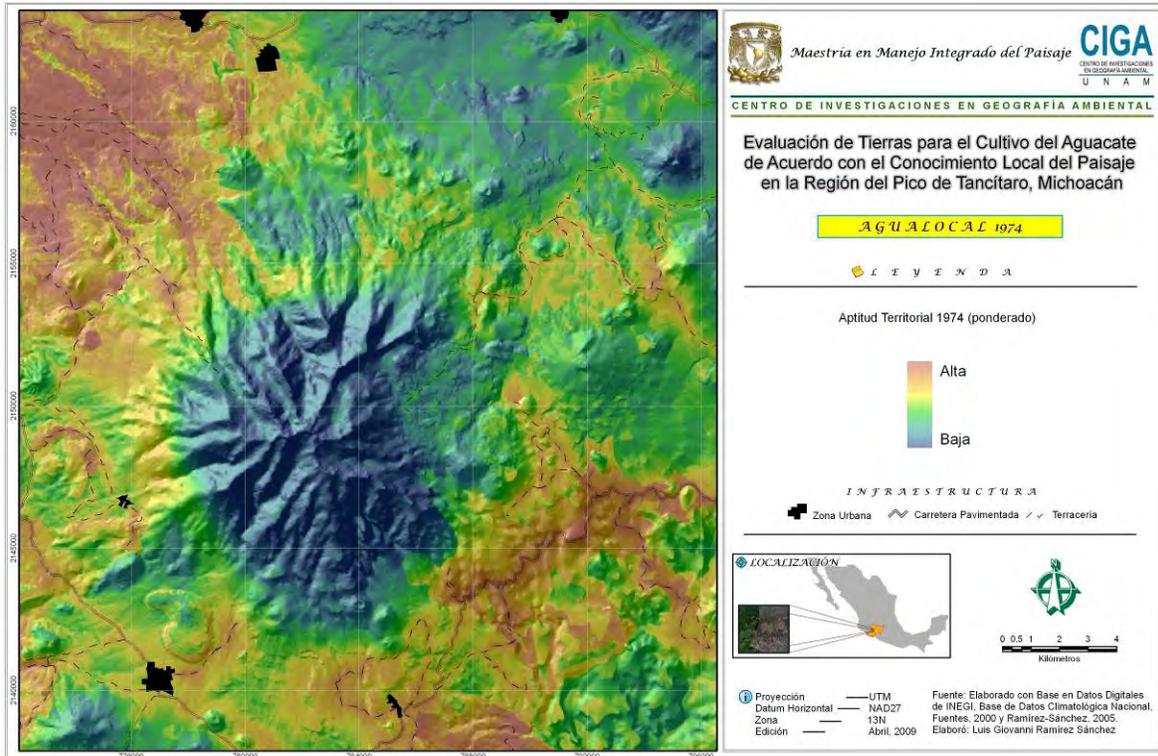


Figura 18. Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros ponderados para el cultivo del aguacate (1974).

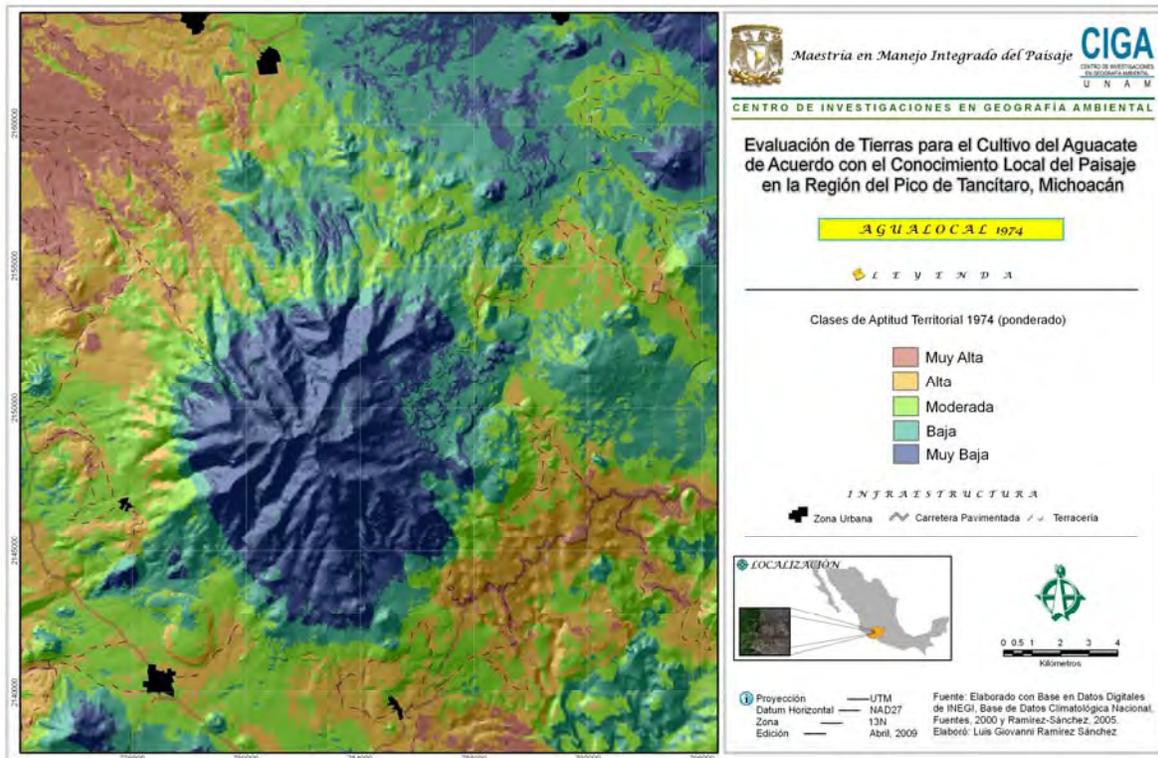


Figura 19. Clases de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros para el cultivo del aguacate (1974).



Si se sobrepone la distribución del cultivo de aguacate para esta fecha sobre los mapas de las figuras 18 y 19 se observa que, en general, las zonas de cultivo se encontraban en coincidencia con áreas en donde la aptitud es moderada (Sureste) a Alta y Muy Alta (Noroeste), lo que de cierta manera sirve para validar la utilidad del modelo, asumiendo que en esta fecha los niveles de preferencia e influencia de los parámetros relevantes representan el conocimiento de varios años de agricultura de aguacate, y que por esto se pueden considerar como los valores óptimos.

Como en esta fecha no se tenían las clases de uso o cubierta anteriores, no se pudo conocer cuales clases fueron desplazadas para sembrar aguacate, pero con la ayuda del análisis previo que se realizó sobre el cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, se logro hacer la comparación entre las diferentes zonas de aptitud indicadas en el mapa de la figura 18 y las coberturas en las que se encuentran estas clases. Siendo las coberturas de Cultivos Anuales y Bosques (Cerrado) donde se localizan las clases de aptitud Muy Alta, Alta y Moderada, principalmente (Figura 20).

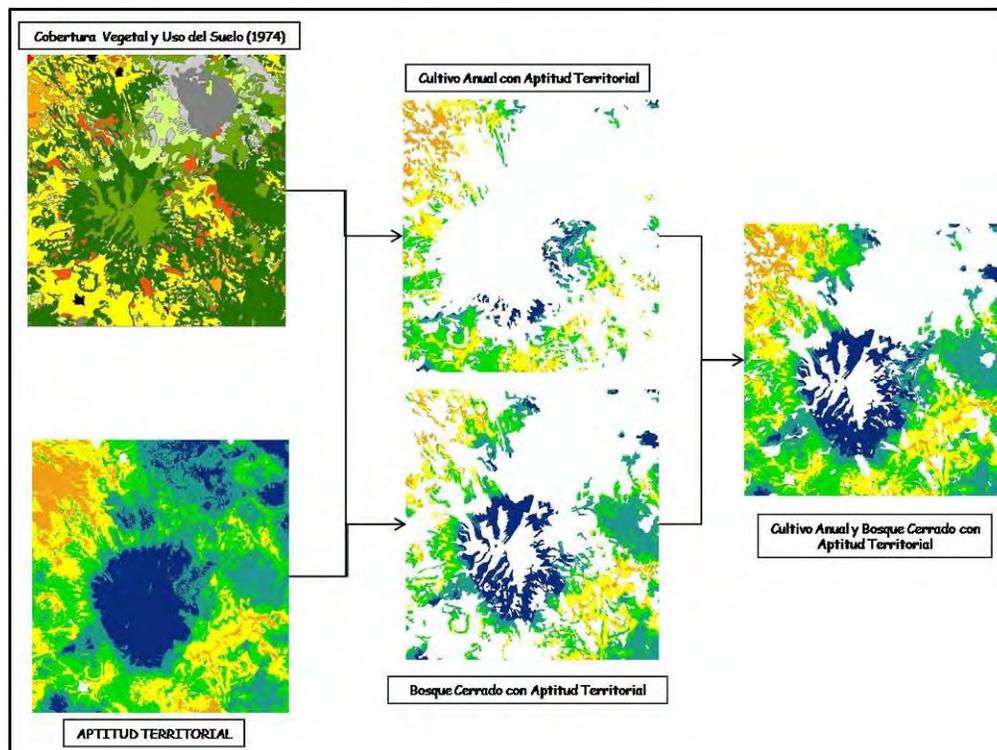


Figura 20. Comparación entre los cultivos anuales y bosque cerrado con la aptitud territorial (1974).

Por otro lado se realizó la comparación entre la cobertura de aguacate de 1974 con la Aptitud territorial, donde un 54% de la superficie de aguacate para esta fecha se encuentra en la clase de aptitud muy alta, un 30% de esta cobertura se distribuye dentro de la categoría de aptitud alta, un 12% dentro de la clase moderada, lo que nos refleja que esta actividad al menos para esta fecha se desarrollo dentro de las condiciones favorables para el cultivo de aguacate (Figura 21 y Cuadro 20).

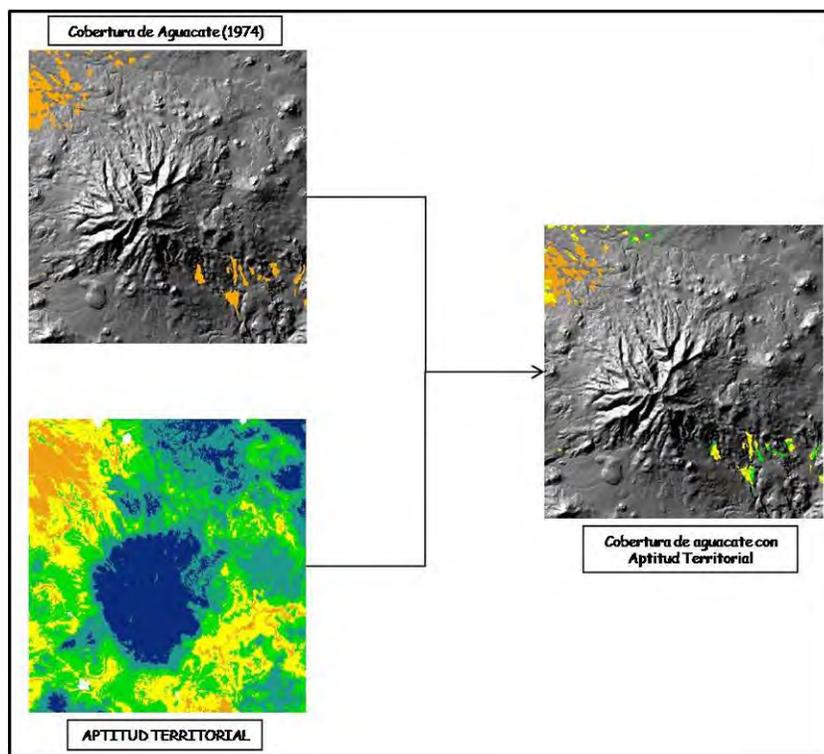


Figura 21. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1974).

Cuadro 20. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1974).					
Clase de Aptitud	Valores límite de probabilidad	Superficie en el área de estudio (has.)	Superficie de cultivo de aguacate (has.)	% de cultivo de aguacate con respecto a la superficie de la clase	% de cultivo de aguacate respecto al total de la superficie del cultivo
Muy Alta	0.8 - 1.0	4621.73	1107.96	23.97	54.91
Alta	0.6 - 0.8	13995.48	616.77	4.40	30.57
Moderada	0.4 - 0.6	19102.14	257.59	1.34	12.76
Baja	0.2 - 0.4	17957.02	34.96	0.194	1.73
Muy Baja	0.0 - 0.2	11780.35	0.253	0.002	0.012
TOTALES		67456.75	2017.55		100



5.4.2 MODELO AGRILocal PARA 1996

Paso Uno: Encontrar las relaciones espaciales relevantes entre las áreas de cultivo de aguacate y otros eventos geográficos involucrados en su cultivo.

Para esta fecha se evaluaron un total de 17 relaciones espaciales de las cuales tres resultaron no relevantes (temperatura mínima de enero, febrero y diciembre) y el resto resultaron relevantes (Cuadro 21).

Cuadro 21. Relaciones espaciales relevantes para el año 1996.		
Relación espacial	Distribución	Relevancia
FISIOGRÁFICAS	Cultivo / Aleatoria	$\alpha = 95\%$
Altitud	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Pendiente	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Índice Topográfico de Humedad	Normal/Normal	RELEVANTE
Orientación de Laderas	Normal/Normal	RELEVANTE
Suelo	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
CLIMA		
Precipitación	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Mínima de Enero	Normal/Normal	NO RELEVANTE
Temperatura Mínima de Febrero	Normal/Normal	NO RELEVANTE
Temperatura Mínima de Diciembre	Normal/Normal	NO RELEVANTE
Temperatura Máxima de Abril	Normal-No-normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Mayo	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Junio	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Julio	Normal/Normal	RELEVANTE
COBERTURAS		
Cultivo Anual	Normal/No-Normal	RELEVANTE
Pastizales	Normal/Normal	RELEVANTE
ECONÓMICAS		
Poblaciones	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Caminos	Normal/No-Normal	RELEVANTE

En total se obtuvieron 10 relaciones con distribución Normal, seis presentaron distribuciones no normales y solo una presentó distribución normal y no normal, de igual forma dentro de las relaciones que presentaron distribuciones normales se encontró que tres de ellas resultaron como No Relevantes para esta fecha, ya que al aplicar las pruebas, los resultados no fueron estadísticamente significativos.

La no relevancia de las temperaturas mínimas en este año se debe a que la expansión del cultivo se hizo en zonas con temperaturas mínimas no apropiadas para ello aunque sin llegar a ser extremas (sujetas a heladas frecuentes o intensas ocasionalmente), y aún cuando los rendimientos puedan haber disminuido, otros factores importantes como la accesibilidad desde caminos o poblados y algunos factores fisiográficos (pendiente, orientación de laderas) son



muy favorables en dichas áreas, con lo que se compensa de alguna manera la baja aptitud de las zonas frías.

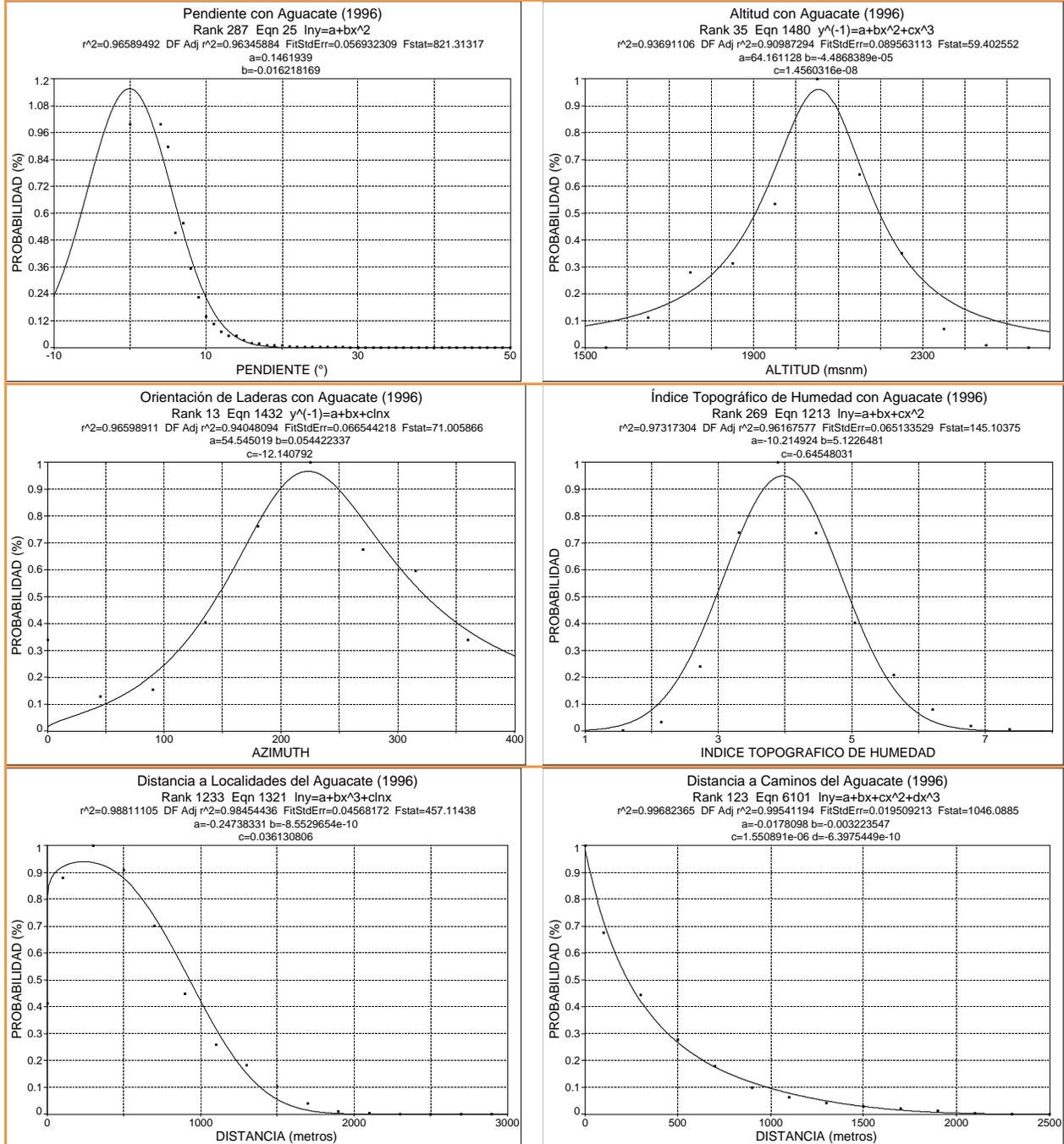
Para este año si se realizo el análisis para cubiertas del suelo previas debido a que se contaba con los datos de estas de 1974, donde tales cubiertas resultaron ser; Cultivo Anual, Bosque Abierto y Cerrado y Pastizales.

Paso Dos: Especificar las funciones de preferencia para el uso del territorio con fines de cultivo de aguacate.

Para este año solo se obtuvieron las funciones de las relaciones que resultaron ser relevantes, ya que las no relevantes no se usaron en la elaboración del modelo para este año (Cuadro 22).

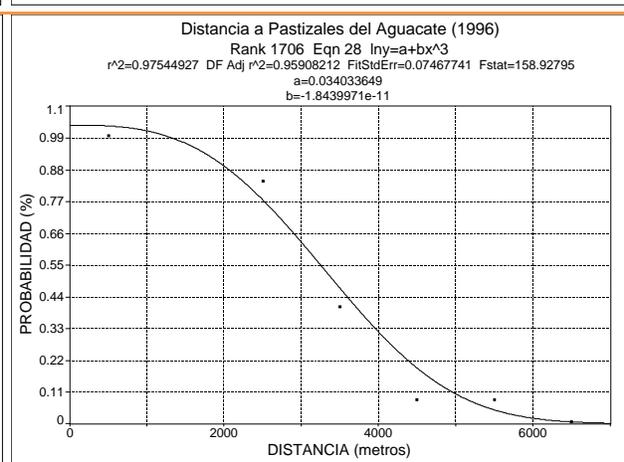
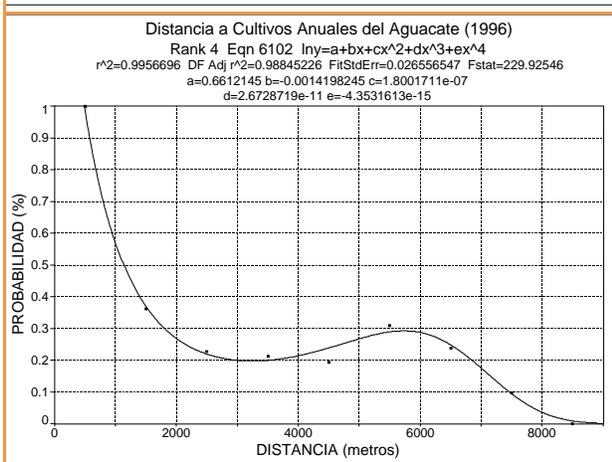
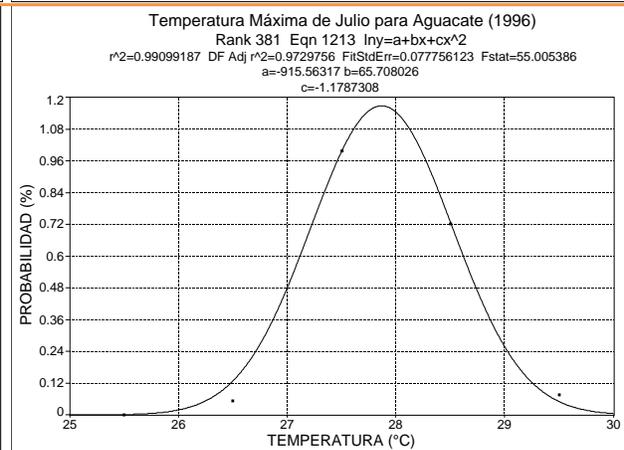
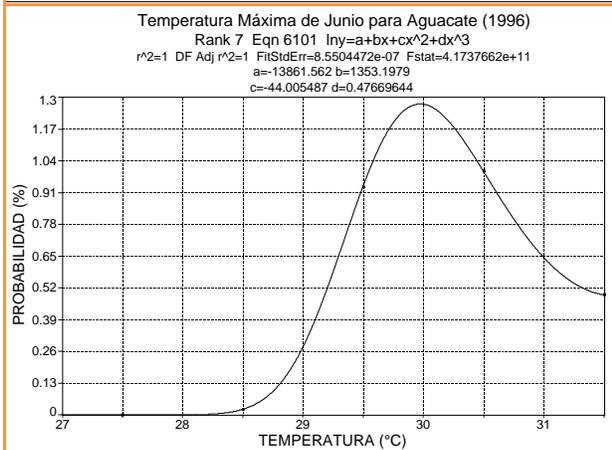
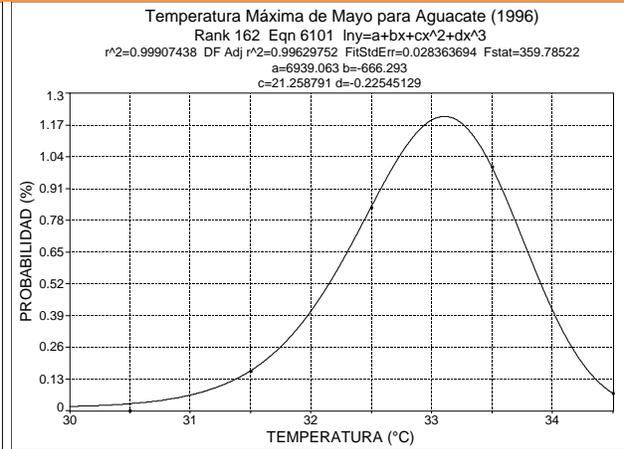
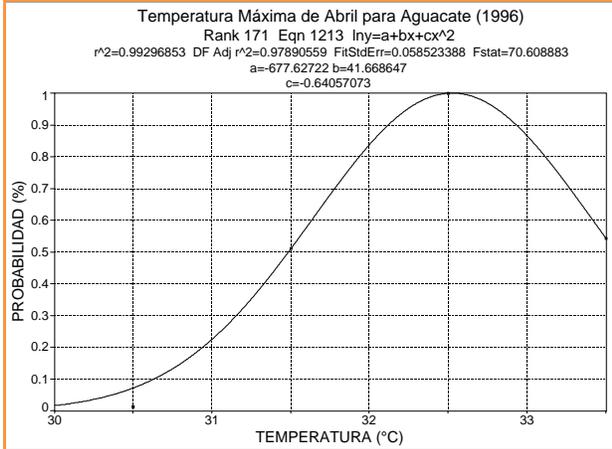


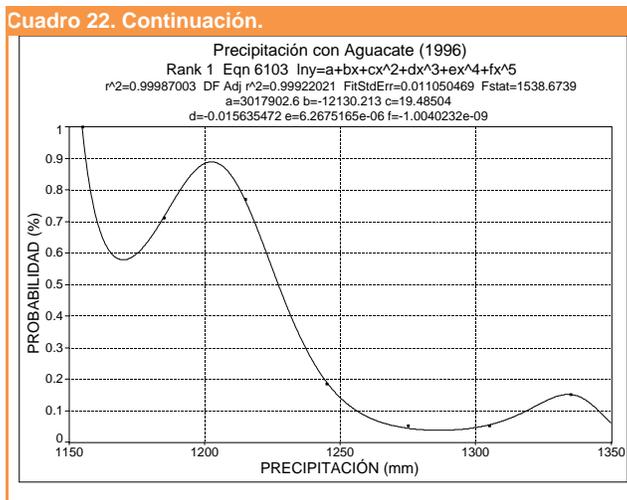
Cuadro 22. Funciones de preferencia para el año 1996.





Cuadro 22. Continuación.





Al igual que en el año 1974 para la relación espacial suelo no se obtuvo una función debido a que no se contaban con categorías de tipo numéricas, sino con categorías nominales, entonces para obtener el mapa de preferencia se utilizaron los datos de la columna de preferencia normalizada para cada clase de suelo que se generó en el primer paso. Así mismo se obtuvieron los rangos para las clases de aptitud territorial (Cuadro 23) con el procedimiento de K-medias.

Cuadro 23. Rangos de Preferencia para 1996.

Relación espacial	Aptitud Territorial (Rangos)		
	Aptitud Marginal	Aptitud Media	Aptitud Optima
FISIOGRÁFICAS			
Altitud	0-0.0686	0.0686-0.2759	0.2759-1
Pendiente	0-0.0173	0.0173-0.6485	0.6485-1
Índice Topográfico de Humedad	0-0.0491	0.0491-0.4004	0.4004-1
Orientación de Laderas	0-0.1002	0.1002-0.4476	0.4476-1
Suelo	0-0.0318	0.0318-0.642	0.642-1
CLIMA			
Precipitación	0-0.1114	0.1114-0.7416	0.7416-1
Temperatura Máxima de Abril	0-0.0028	0.0028-0.0724	0.0724-1
Temperatura Máxima de Mayo	0-0.0512	0.0512-0.1639	0.1639-1
Temperatura Máxima de Junio	0-8.55e-7	8.55e-7-0.023	0.023-1
Temperatura Máxima de Julio	0-0.0265	0.0265-0.1269	0.1269-1
COBERTURAS			
Cultivo Anual	0-0.1683	0.1683-0.3296	0.3296-1
Pastizales	0-0.0619	0.0619-0.6224	0.6224-1
ECONÓMICAS			
Poblaciones	0-0.0250	0.0250-0.6365	0.6365-1
Caminos	0-0.0467	0.0467-0.5721	0.5721-1

Una vez que se aplicaron las funciones a las relaciones correspondientes se generaron tanto los mapas de preferencia no ponderados mediante las siguientes formulas.

Para el modelo de probabilidad de preferencia:



$$\text{Modelo96p} = ([\text{canorm96}] + [\text{pasnorm96}] + [\text{penorm96}] + [\text{prefcam96}] + [\text{preforiente}] + [\text{preftwic96}] + [\text{prefeloca96}] + [\text{tmaxsin}] + [\text{lluv30norm}] + [\text{suelnorm}]) / 10$$

En donde: prefcam96= distancia a caminos, canorm96= distancia a cultivos anuales, pasnorm96= distancia a pastizales, tmaxsin= temperatura máxima, preforiente= orientación de laderas, penorm96= pendiente, preftwic96= índice topográfico de humedad, lluv30norm= precipitación, prefeloca= distancia a localidades y suelnorm= tipo de suelo

Este mapa (Figura 22) muestra las preferencias que se tienen hacia cierta relaciones con el cultivo de aguacate en 1996. Los cambios respecto al mismo mapa en 1974 son importantes si se considera que en este modelo hubo relaciones espaciales que no resultaron relevantes, (temperatura mínima), y esto ya nos muestra una diferencia con el modelo de 1974; así mismo otra diferencia significativa es la extensión del cultivo de aguacate, siendo mayor para esta fecha en un 500% (Torres y Bocco 1999 y Ramírez-Sánchez, 2005); finalmente, para este año si se evaluaron las relaciones entre el cultivo y las cubiertas del suelo previas, las cuales se incorporaron en la construcción del modelo.

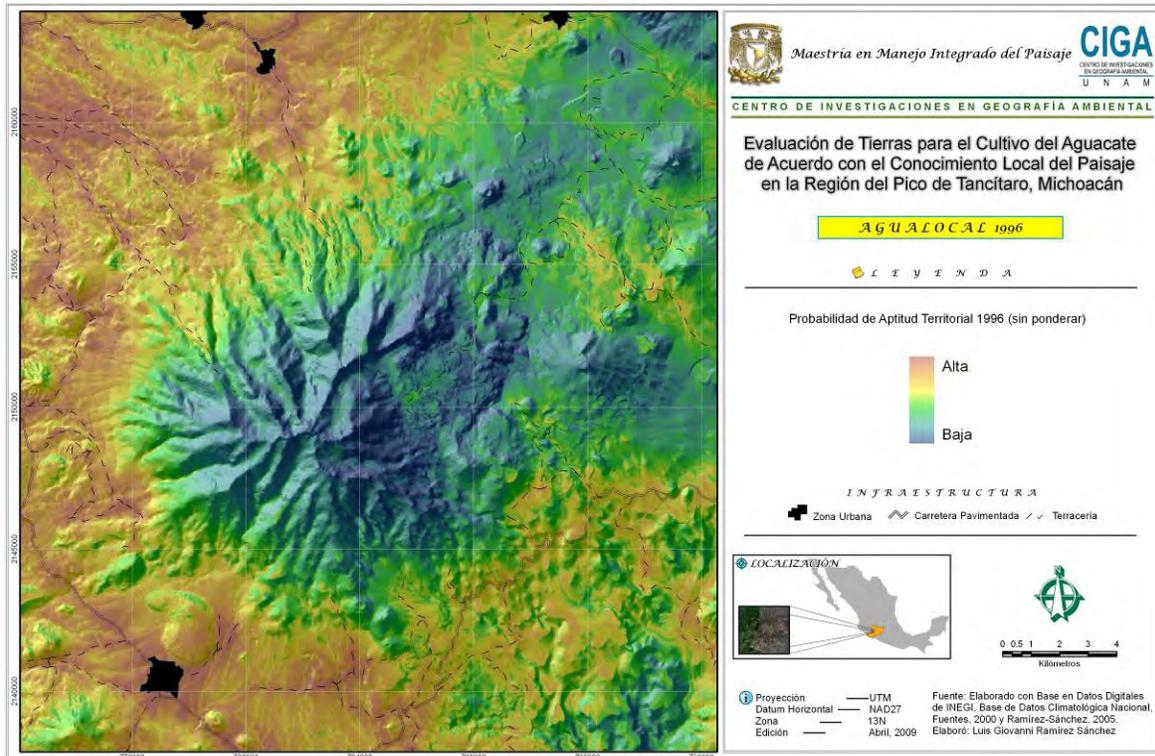


Figura 22. Probabilidad de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los valores de los parámetros sin ponderar para el cultivo del aguacate (1996).

Para la clase de preferencia se usó el siguiente modelo específico:

$$\text{Modelo96c} = ([\text{caprefe96}] + [\text{pasrefe96}] + [\text{penrefe96}] + [\text{camprefe96}] + [\text{orienrefe96}] + [\text{indiprefe96}] + [\text{locaprefe96}] + [\text{suelprefe96}] + [\text{tmaxsinc}] + [\text{lluv30pref}]) / 10$$

En donde: camprefe96= distancia a caminos clasificado, caprefe96= distancia a cultivos anuales clasificado, pasrefe96= distancia a pastizales clasificado, tmaxsinc= temperatura máxima clasificado, orienrefe96= orientación de laderas clasificado, penrefe96= pendiente clasificado, indiprefe96= índice topográfico de humedad clasificado, lluv30pref= precipitación clasificado, locaprefe96= distancia a localidades clasificado y suelprefe96= tipo de suelo clasificado.

En este modelo nos podemos dar cuenta de que las zonas de aptitud óptima crecieron en cuanto a su extensión, mientras tanto las clases Media y marginal disminuyeron su superficie, respecto a la fecha anterior (Figura 23).

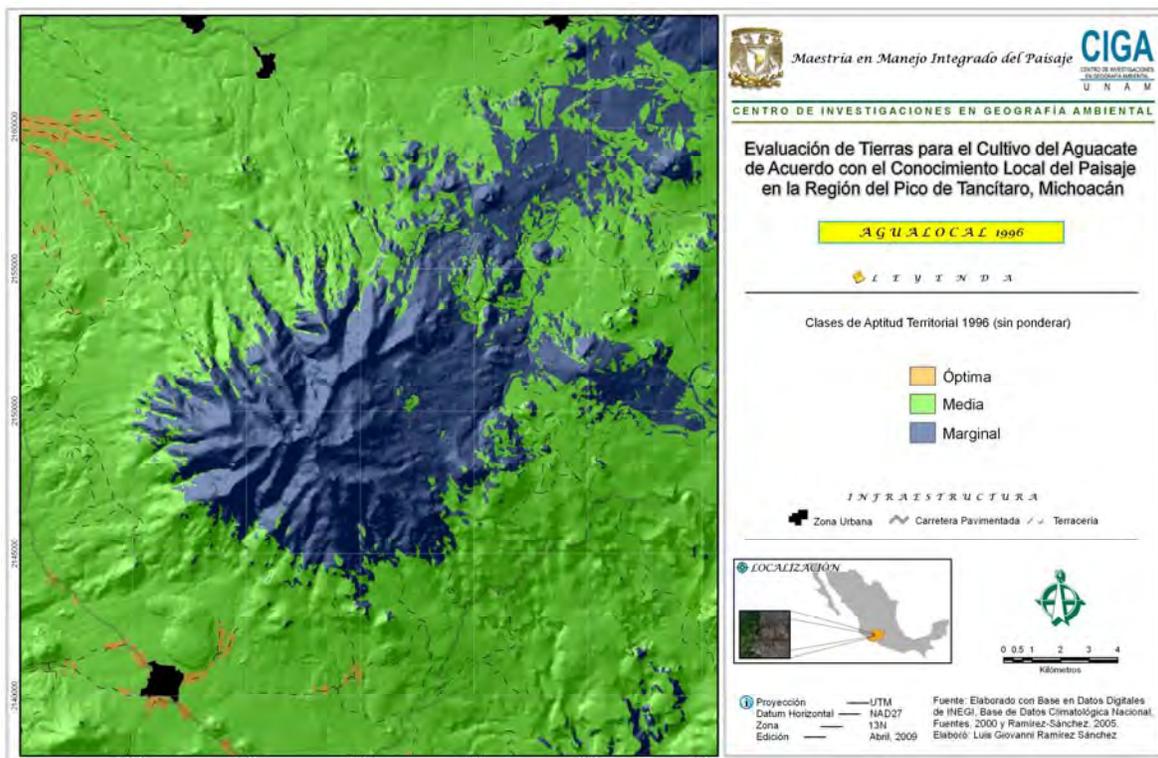


Figura 23. Clases de Aptitud territorial sin ponderar para el cultivo del aguacate (1996).

Como se indicó anteriormente las relaciones que resultaron ser No Relevante ya no se incluyen en este y en los pasos subsiguientes, debido a que ya no tiene relevancia alguna incluirlos en el modelo, en lo que respecta a la



temperatura máxima se trató de la misma manera que en 1974 y también se excluyó la relación ALTITUD, por razones anteriormente mencionadas.

Paso Tres: establecimiento del grado de influencia.

Para esta fecha se obtuvo que la relación que tiene más peso es la distancia a poblaciones 0.1254, ya que esto les reditúa en hacer menor cantidad de gastos y esfuerzo para llevar el producto a los centros de almacenaje, empaquetado y embalaje (Cuadro 24). De igual forma la relación espacial suelo no resulta ser tan relevante para el cultivo de aguacate (0.096), al menos en la zona de estudio y esto se pudo corroborar con las encuestas realizadas, como se había mencionado anteriormente.

Cuadro 24. Pesos de las relaciones espaciales para 1996			
Relación espacial	D	Valor de P para D	Peso
FISIOGRÁFICAS			
Pendiente	0.333333	0.000670925	0.07753482
Índice Topográfico de Humedad	0.230769	0.879324	0.05367795
Orientación de Laderas	0.5	0.271006	0.11630235
Suelo	0.416667	0.0310078	0.0969187
CLIMA			
Precipitación	0.428571	0.558738	0.09968763
Temperatura Máxima	0.44642825	0.271006	0.10384131
COBERTURAS			
Cultivo Anual	0.533333	0.028057	0.12405576
Pastizales	0.461538	0.125436	0.10735591
ECONÓMICAS			
Poblaciones	0.539409	0.000502098	0.12546907
Caminos	0.409091	0.0503547	0.09515649

Una vez que se contaban con los pesos de cada relación se procedió a generar los mapas de preferencia y actitud ponderados para 1996 y se realizó de la siguiente manera:

Mapa de Preferencia Ponderado

Para el mapa de preferencia ponderado se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$tmax = ([abrinorm96] + ([julnorm96] + ([junorm96] + [maynorm]) / 4 * 0.1034131$$

Donde: abrinorm96= temperatura máxima de abril, maynorm96= temperatura máxima de mayo, junorm96= temperatura máxima de junio y julnorm96= temperatura máxima de julio.

$$modeponde = (([canorm96] * 0.12405576) + ([pasnorm96] * 0.10735591) + ([penorm96] * 0.07753482) + ([prefcam96] * 0.09515649) + ([preforiente] * 0.11630235) + ([preftwic96] * 0.05367795) + ([prefeloca96] * 0.12546907)) + [tmax30] + [suelpeso30]$$



En donde: prefcam96= distancia a caminos, canorm96= distancia a cultivos anuales, pasnorm96= distancia a pastizales, tmax30= temperatura máxima, prefeoriente= orientación de laderas, penorm96= pendiente, preftwic96= índice topográfico de humedad, lluv30norm= precipitación, prefeloca= distancia a localidades y suelpeso30= tipo de suelo

De esta manera se obtuvo el modelo de probabilidad de aptitud ponderado, donde las zonas más aptas para el cultivo se encuentran rodeando al Pico de Tancitaro, de igual manera las zonas menos aptas se encuentran en el centro y hacia el NE de la zona de estudio. Para esta fecha los pesos de la relaciones cambiaron con respecto al año anterior, ahora la relación que obtuvo el mayor peso fueron las poblaciones (Figura 24).

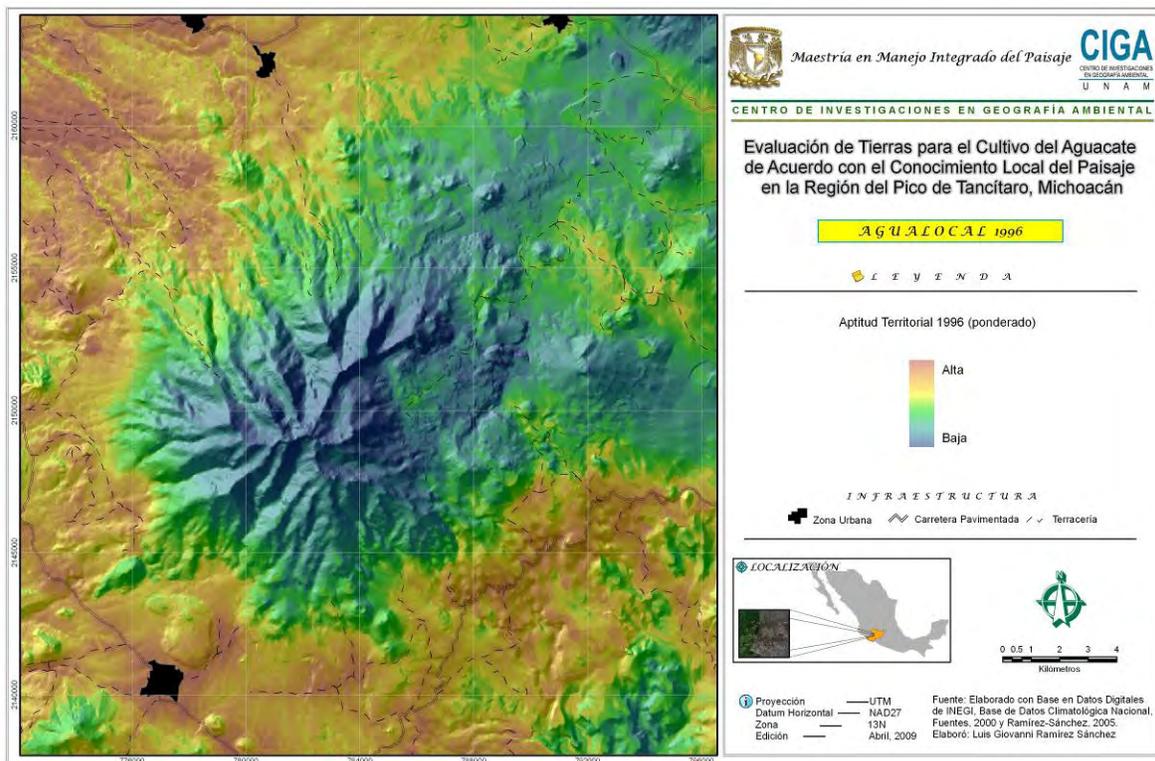


Figura 24. Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros ponderados para el cultivo del aguacate (1996).

Así mismo este modelo se reclasificó en cinco clases de aptitud del territorio, siendo la clase de Alta aptitud la que presenta mayor superficie en la zona, siguiéndole las clases Baja, Moderada, Muy Alta y Muy Baja, con un 24, 21, 20, 17 y 15% del área de estudio respectivamente, que comparado con el modelo



de 1974 se tiene que ahora la clase predominante es la de Alta aptitud, mientras las clases Baja y Muy Baja aptitud disminuyeron en su superficie (Figura 25).

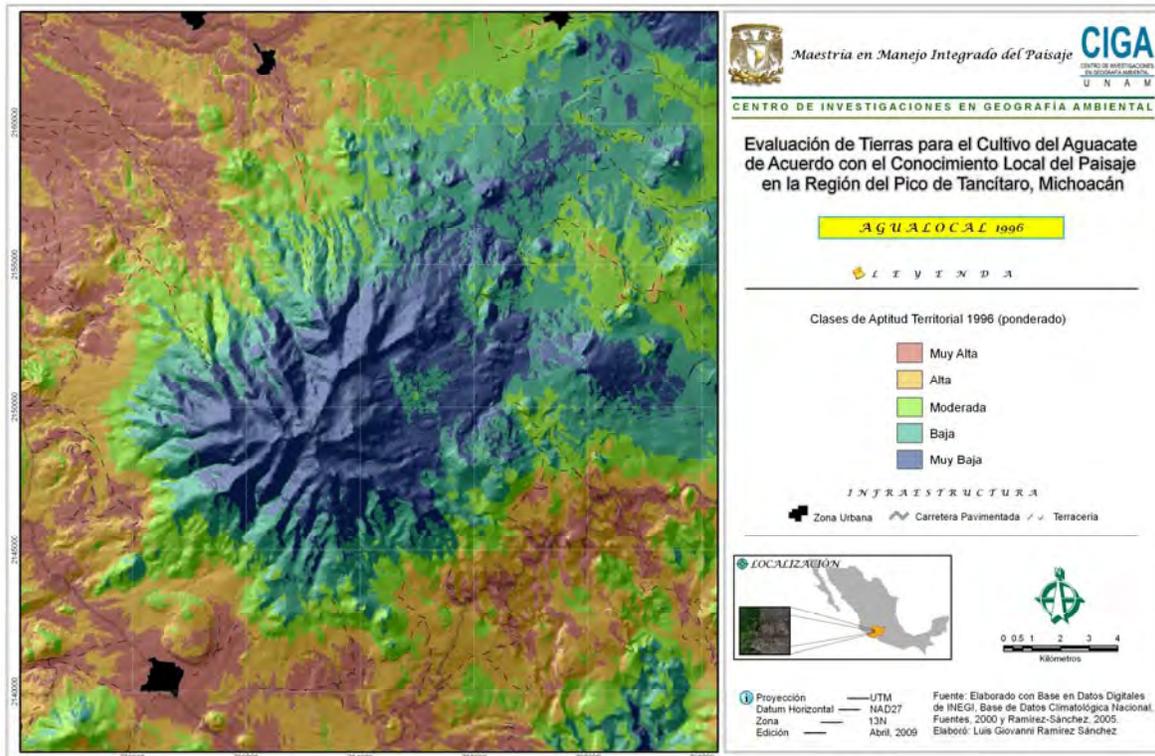


Figura 25. Clases de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros para el cultivo del aguacate (1996).

Con la ayuda del análisis de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, realizado previamente, se tiene que la cobertura de aguacate de 1996 avanzó sobre los cultivos anuales y bosque cerrado principalmente, debido a que las zonas en que estos se encontraban fueron marcadas como tierras de aptitud moderada y optima para el cultivo de aguacate por el modelo construido para 1974, denotando así que el subsecuente crecimiento de la frontera de este cultivo se llevó a cabo en zonas que tienen un valor medio a óptimo para sembrar aguacate (Figura 26).

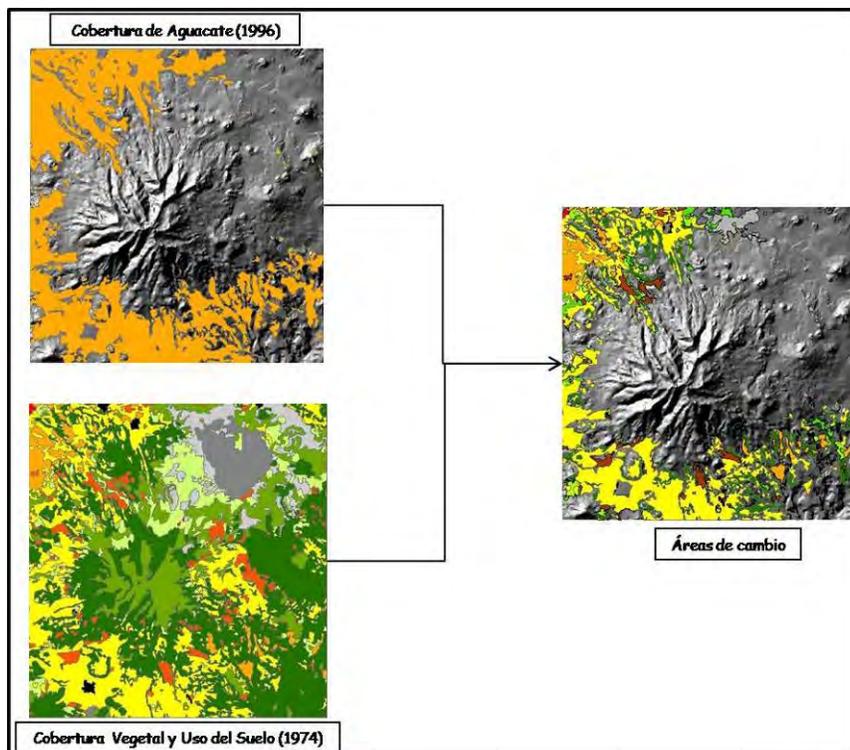


Figura 26. Áreas de cambio entre la cobertura de aguacate de 1996 y las coberturas de 1974.

Por otro lado se realizó la comparación entre la cobertura de aguacate de 1996 con la Aptitud territorial, donde un 45% de la superficie de aguacate para esta fecha se encuentra en la clase de aptitud Alta, un 44% de esta cobertura se distribuye dentro de la categoría de aptitud Muy Alta. Lo que refleja que, de acuerdo a las relaciones espaciales que se analizaron para esta fecha, el cultivo del aguacate se desarrolla en condiciones óptimas para su producción (Figura 27 y Cuadro 25).

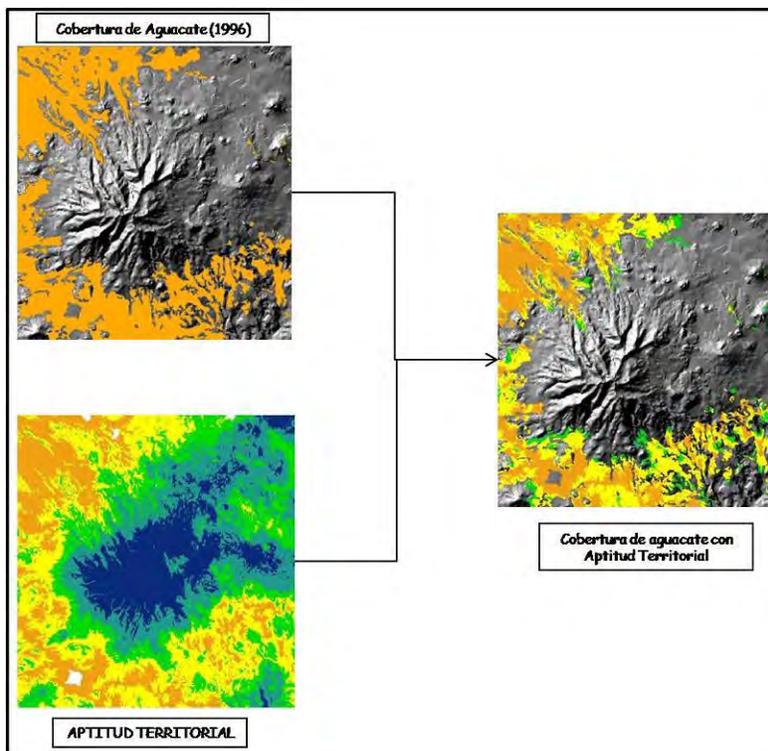


Figura 27. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1996).

Cuadro 25. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1996).

Clase de Aptitud	Valores límite de probabilidad	Superficie en el área de estudio (has.)	Superficie de cultivo de aguacate (has.)	% de cultivo de aguacate con respecto a la superficie de la clase	% de cultivo de aguacate respecto al total de la superficie del cultivo
Muy Alta	0.8 - 1.0	11802.03	9170.45	77.7	44.86
Alta	0.6 - 0.8	16568.79	9284.21	56.03	45.42
Moderada	0.4 - 0.6	13942.41	1885.32	13.52	9.22
Baja	0.2 - 0.4	14683.08	97.92	0.666	0.479
Muy Baja	1.0 - 0.2	10460.42	0	0	0
TOTALES		67456.75	20437.92		100

5.4.3 MODELO AGRILocal PARA 2007

Paso Uno: Encontrar las relaciones espaciales relevantes entre la tierra de cultivo y otros eventos geográficos involucrados en el cultivo del Aguacate.

Para esta fecha se analizaron un total de 17 relaciones espaciales de las cuales tres resultaron no relevantes (temperatura mínima de enero, febrero y diciembre) y el resto resultaron relevantes (Cuadro 26).



Cuadro 26. Relaciones espaciales relevantes para el año 2007.		
Relación espacial	Distribución	Relevancia
GEOGRAFICAS		
Altitud	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Pendiente	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Índice Topográfico de Humedad	Normal/Normal	RELEVANTE
Orientación de Laderas	Normal/Normal	RELEVANTE
Suelo	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
CLIMA		
Precipitación	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Mínima de Enero	Normal/Normal	NO RELEVANTE
Temperatura Mínima de Febrero	Normal/Normal	NO RELEVANTE
Temperatura Mínima de Diciembre	Normal/Normal	NO RELEVANTE
Temperatura Máxima de Abril	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Mayo	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Junio	Normal/Normal	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Julio	Normal/No-Normal	RELEVANTE
COBERTURAS		
Cultivo Anual	Normal/No-Normal	RELEVANTE
Pastizales	Normal/Normal	RELEVANTE
ANTROPICAS		
Poblaciones	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE
Caminos	No-Normal/No-Normal	RELEVANTE

En total se obtuvieron 10 relaciones con distribución Normal, 7 presentaron distribuciones no normales y solo una presentó distribución normal y no normal, de igual forma dentro de las relaciones que presentaron distribuciones normales se encontró que tres de ellas resultaron como No Relevantes para esta fecha, ya que al aplicar las pruebas estadísticas no fueron estadísticamente significativas, lo que se traduce a que la cobertura de aguacate para esta fecha está ampliamente distribuida en las diferentes categorías de cada parámetro.

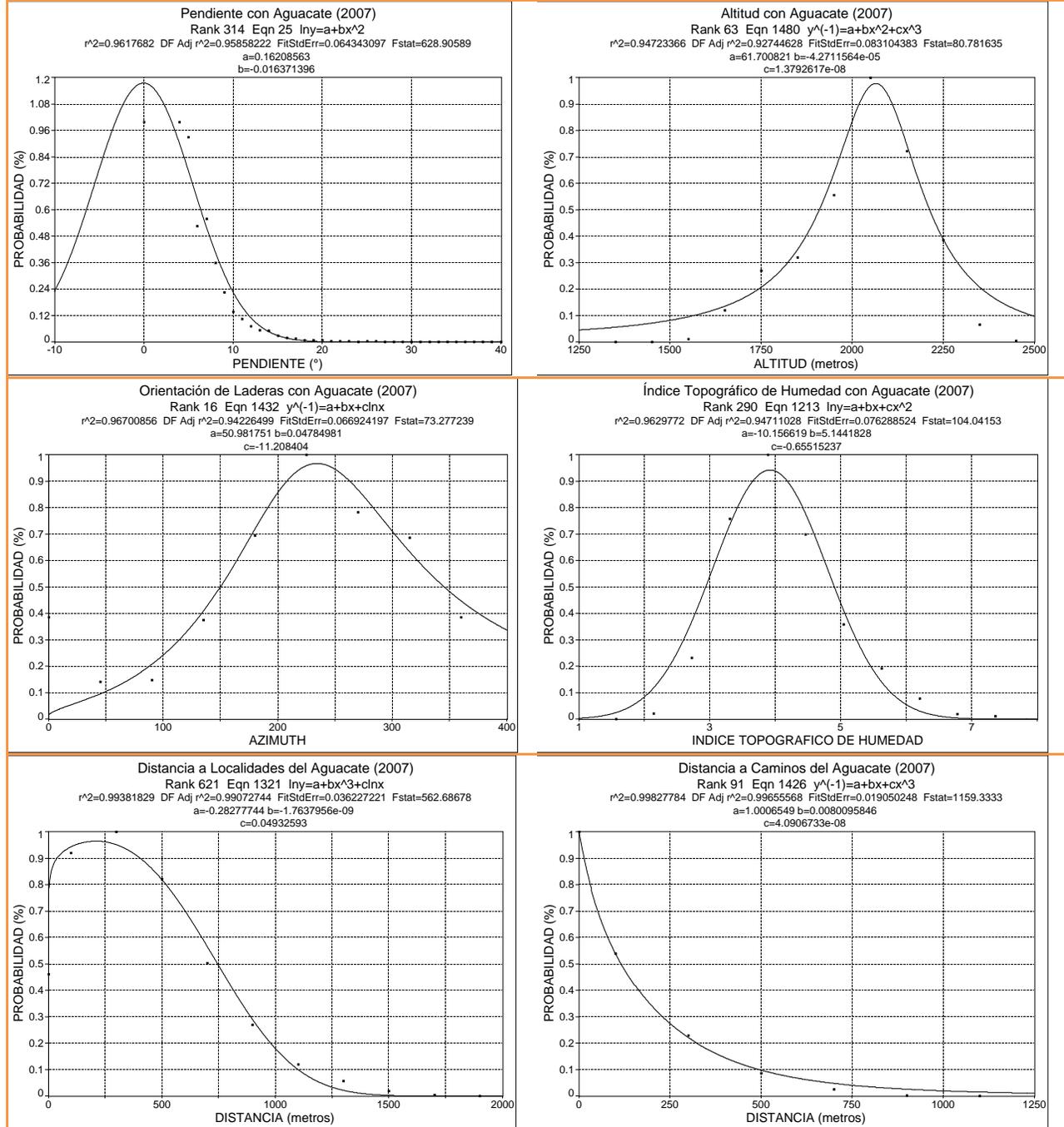
Al igual que para 1996, se llevó a cabo el análisis de las coberturas previas de cultivo de aguacate y otras coberturas vegetales, debido a que se contaban con datos previos, y se tomaron en cuenta las mismas coberturas que para el modelo de 1996.

Paso Dos: Especificar las funciones de preferencia.

Al igual que para 1996, para este año solo se obtuvieron las funciones de las relaciones que resultaron ser relevantes, ya que las no relevantes no se usaron en la elaboración del modelo para este año (Cuadro 27).

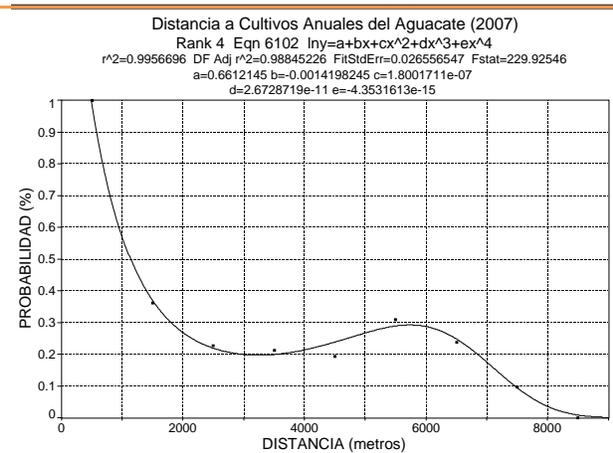
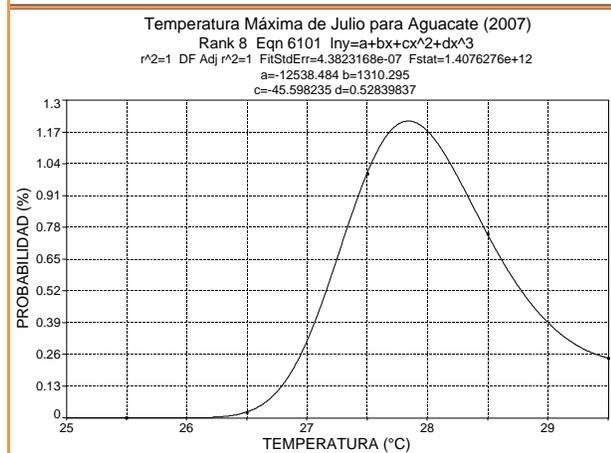
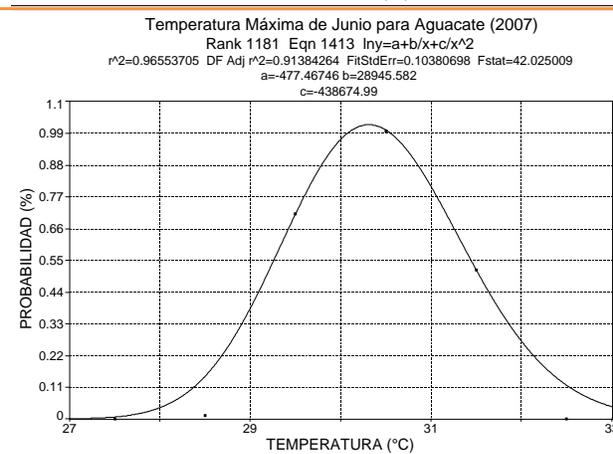
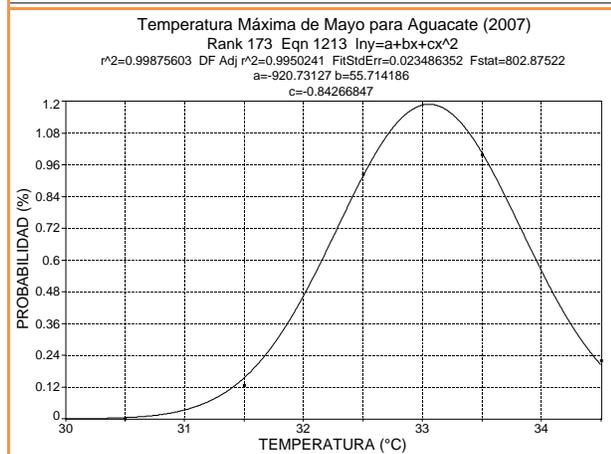
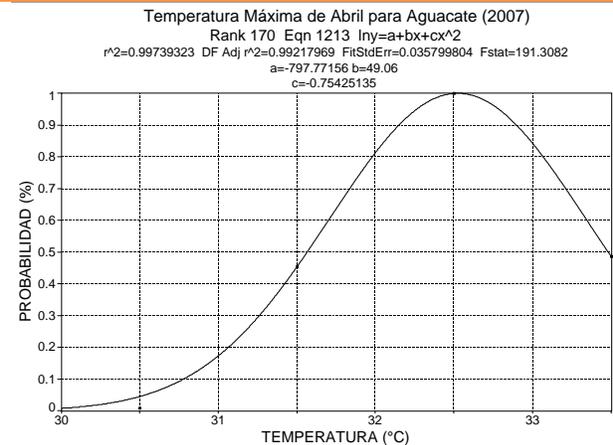
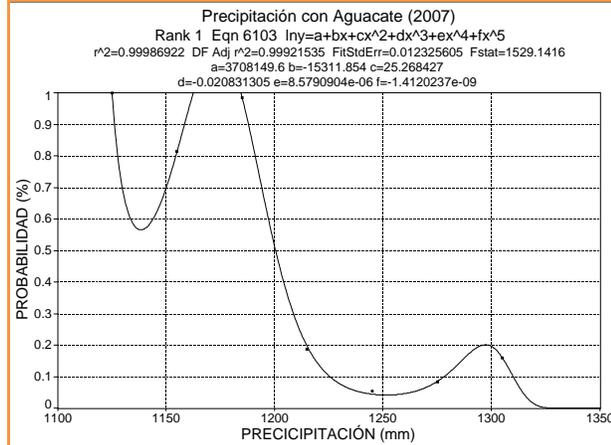


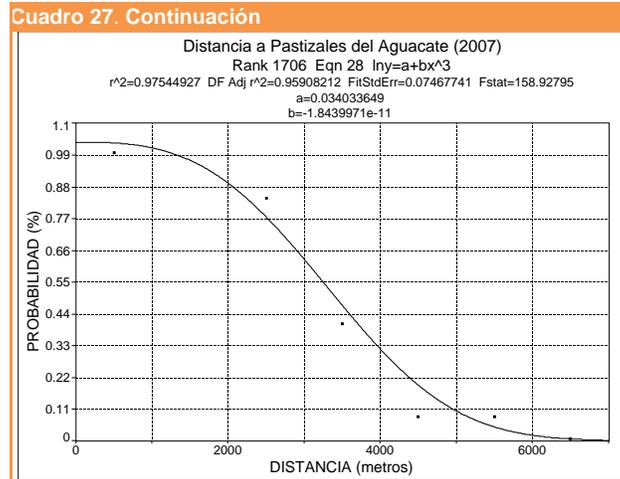
Cuadro 27. Funciones de preferencia para el año 2007.





Cuadro 27. Continuación





Al igual que para los años de 1974 y 1996 para la relación espacial suelo no se obtuvo una función debido a que no se contaban con categorías de tipo numéricas, sino con categorías nominales, entonces para obtener el mapa de preferencia se utilizaron los datos de la columna de preferencia que se generó en el primer paso y este mismo se usó para generar tanto el mapa de actitud y de peso. Así mismo se obtuvieron los rangos para las clases de aptitud territorial (Cuadro 28), con el procedimiento de K-medias.

Cuadro 28. Rangos de Preferencia para 2007.

Relación espacial	Aptitud Territorial (Rangos)		
	Aptitud Marginal	Aptitud Media	Aptitud Optima
FISIOGRÁFICAS			
Altitud	0-0.0477	0.0477-0.2883	0.2883-1
Pendiente	0-0.0214	0.0214-0.6555	0.6555-1
Índice Topográfico de Humedad	0-0.0465	0.0465-0.8181	0.8181-1
Orientación de Laderas	0-0.0477	0.0477-0.3533	0.3533-1
Suelo	0-0.0337	0.0337-0.575	0.575-1
CLIMA			
Precipitación	0-0.1218	0.1218-0.8159	0.8159-1
Temperatura Máxima de Abril	0-0.0010	0.0010-0.0457	0.0457-1
Temperatura Máxima de Mayo	0-0.0047	0.0047-0.1800	0.1800-1
Temperatura Máxima de Junio	0-0.0069	0.0069-0.1326	0.1326-1
Temperatura Máxima de Julio	0-0.0120	0.0120-0.246	0.246-1
COBERTURAS			
Cultivo Anual	0-0.1683	0.1683-0.3296	0.3296-1
Pastizales	0-0.0619	0.0619-0.6224	0.6224-1
ECONÓMICAS			
Poblaciones	0-0.0380	0.0380-0.6950	0.6950-1
Caminos	0-0.0483	0.0483-0.5427	0.5427-1

Una vez que se aplicaron las funciones a las relaciones correspondientes se generaron tanto los mapas de preferencia y aptitud no ponderada mediante las siguientes formulas:



$$\text{Modelo07} = ([\text{canorm07}] + [\text{lluv30norm07}] + [\text{penorm07}] + [\text{prefcam07}] + [\text{prefepobla07}] + [\text{preforiente07}] + [\text{preftwic07}] + [\text{pasnorm07}] + [\text{tmaxsin}] + [\text{suelnorm07}]) / 10$$

En donde: *prefcam07*= distancia a caminos, *canorm07*= distancia a cultivos anuales, *pasnorm07*= distancia a pastizales, *tmaxsin*= temperatura máxima, *preforiente07*= orientación de laderas, *penorm07*= pendiente, *preftwic07*= índice topográfico de humedad, *lluv30norm07*= precipitación, *prefepobla07*= distancia a localidades y *suelnorm07*= tipo de suelo

Este modelo muestra las preferencias que se tienen hacia ciertas relaciones para el cultivo de aguacate en 2007, de entrada se tiene que la temperatura mínima se mantiene como no relevante y el resto de las relaciones mantienen su estatus, de igual manera para este modelo también se utilizaron las coberturas previas para su construcción (Figura 28).

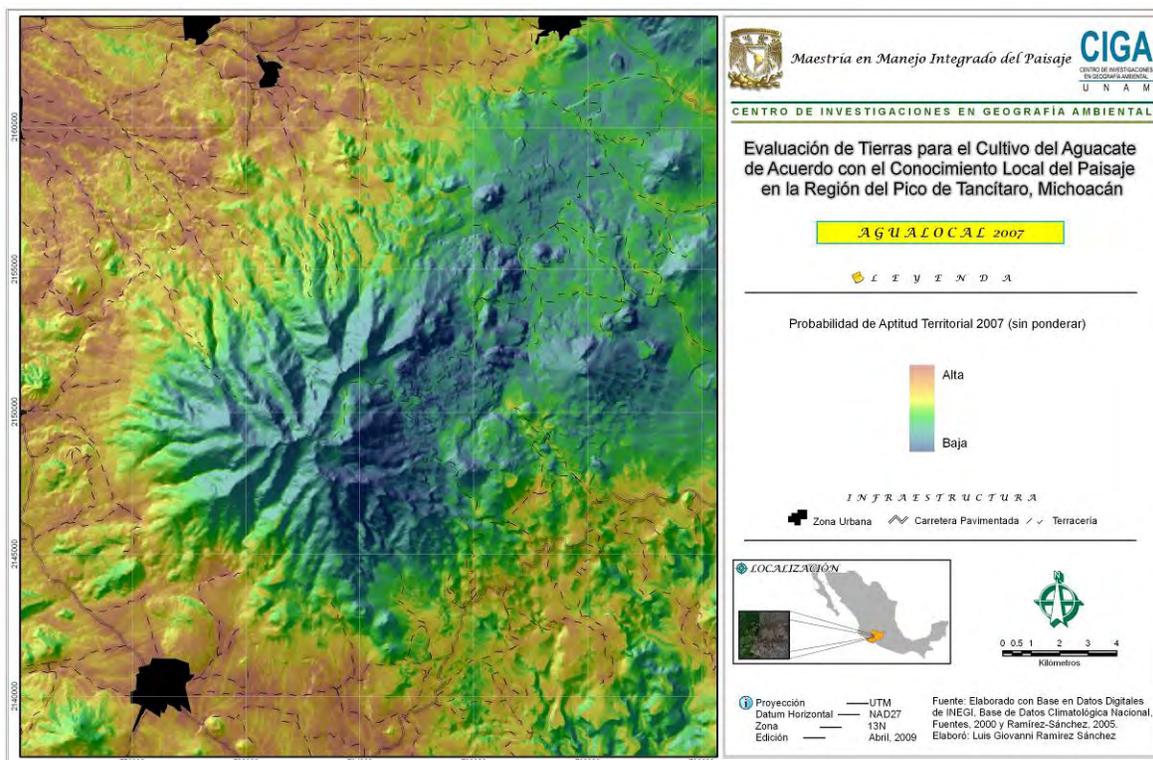


Figura 28. Probabilidad de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los valores de los parámetros sin ponderar para el cultivo del aguacate (2007).

$$\text{Modelo07c} = ([\text{caprefe07}] + [\text{pasrefe07}] + [\text{penrefe07}] + [\text{camprefe07}] + [\text{orienrefe07}] + [\text{twicprefe07}] + [\text{llocprefe07}] + [\text{suelprefe07}] + [\text{tmaxsinc}] + [\text{lluv30pref}]) / 10$$



En donde: camprefe07= distancia a caminos clasificado, caprefe07= distancia a cultivos anuales clasificado, pasprefe07= distancia a pastizales clasificado, tmaxsinc= temperatura máxima clasificado, orienprefe07= orientación de laderas clasificado, penprefe07= pendiente clasificado, twicprefe07= índice topográfico de humedad clasificado, lluv30pref= precipitación clasificado, llocprefe07= distancia a localidades clasificado y suelpref07= tipo de suelo clasificado.

En este modelo muestra que las clases marginales y moderadas de aptitud territorial presentaron un ligero aumento en su superficie y por el contrario la clase óptima presento disminución en su extensión (Figura 29).

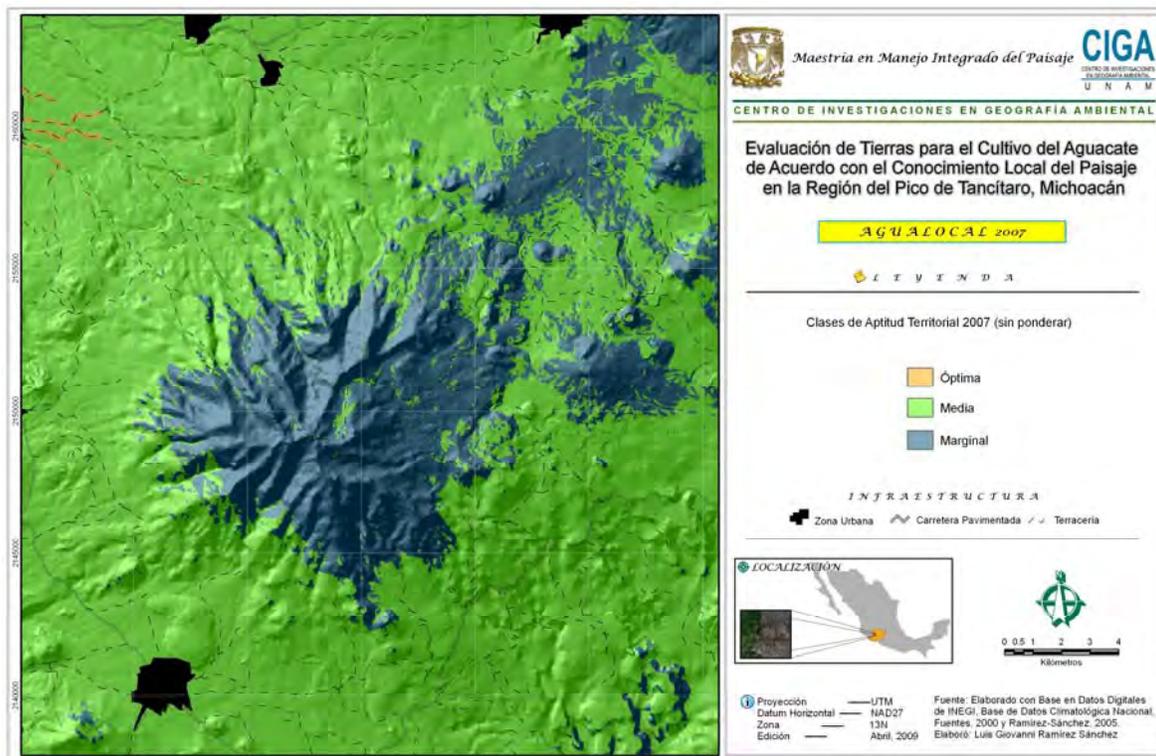


Figura 29. Clases de Aptitud territorial clasificado sin ponderar para el cultivo del aguacate (2007).

Para esta fecha también se excluyó la relación ALTITUD, y en lo que respecta a la temperatura máxima se trató de la misma manera que en 1974 y 1996.

Paso Tres: establecimiento del grado de influencia.

Al igual que para 1996, para esta fecha se obtuvo que la relación que tiene más peso es la distancia a poblaciones 0.1244, siguiéndole en grado de importancia o peso la distancia a caminos 0.1213, ya que al tener el cultivo de



aguacate cercanos a estas dos relaciones les reditúa en hacer menor cantidad de gastos y esfuerzo para llevar el producto a los centros de almacenaje, empaquetado y embalaje, al igual que para 1996 (Cuadro 29).

Cuadro 29. Pesos de las relaciones espaciales para 2007			
Relación espacial	D	Valor de P para D	Peso
FISIOGRÁFICAS			
Pendiente	0.4	0.0000273484	0.08627792
Índice Topográfico de Humedad	0.230769	0.879324	0.04977567
Orientación de Laderas	0.5	0.271006	0.1078474
Suelo	0.478261	0.0103816	0.10315841
CLIMA			
Precipitación	0.428571	0.558738	0.09244053
Temperatura Máxima	0.4642855	0.558738	0.10014397
COBERTURAS			
Cultivo Anual	0.533333	0.028057	0.11503715
Pastizales	0.461538	0.125436	0.09955134
ECONÓMICAS			
Poblaciones	0.576923	0.000348909	0.12443929
Caminos	0.5625	0.0126594	0.12132832

Una vez que se contaban con los pesos de cada relación se procedió a generar los mapas de preferencia y actitud ponderados para 2007 y se realizó de la siguiente manera:

Mapa de Preferencia Ponderado

Para el mapa de preferencia ponderado se aplicaron las siguientes ecuaciones:

$$Tmax30 = ([abrinorm07] + [julnorm07] + [junorm07] + [maynorm07]) / 4 * 0.10014397$$

Donde: abrinorm07= temperatura máxima de abril, maynorm07= temperatura máxima de mayo, junorm07= temperatura máxima de junio y julnorm07= temperatura máxima de julio.

$$modeponde = (([canorm07] * 0.11503715) + ([lluv30norm] * 0.09244053) + ([penorm07] * 0.08627792) + ([prefcam07] * 0.12132832) + ([prefepobla07] * 0.12443929) + ([preforiente07] * 0.1078474) + ([preftwic07] * 0.04977567) + ([pasnorm07] * 0.09955134)) + [tmax30] + [suelpeso30]$$

En donde: prefcam07= distancia a caminos, canorm07= distancia a cultivos anuales, pasnorm07= distancia a pastizales, tmax30= temperatura máxima, prefeoriente07= orientación de laderas, penorm07= pendiente, preftwic07= índice topográfico de humedad, lluv30norm07= precipitación, prefepobla07= distancia a localidades y suelpeso30= tipo de suelo



La distribución de las zonas de aptitud territorial sigue un patrón similar a la del modelo de 1996, donde las zonas más aptas para el cultivo se encuentran rodeando al Pico de Tancítaro, de igual manera las zonas menos aptas se encuentran en el centro y hacia el NE de la zona de estudio. Así mismo la relación que tiene el mayor peso es la distancia a poblaciones (Figura 30).

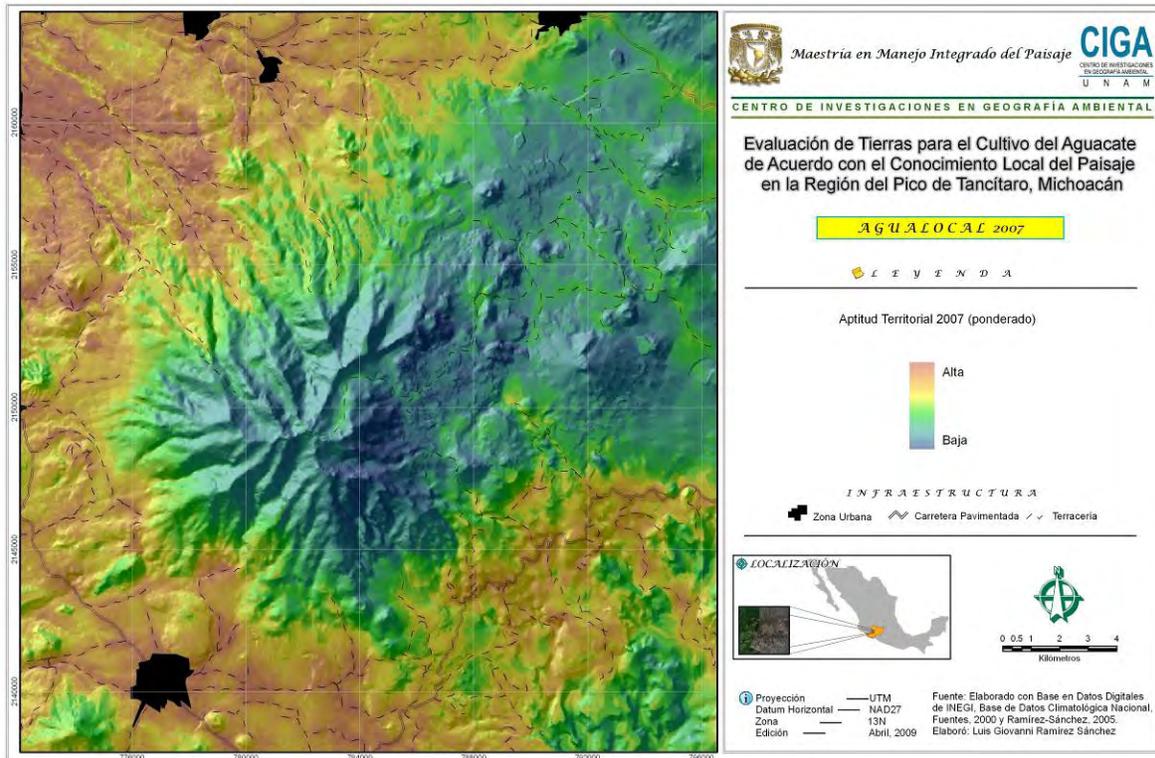


Figura 30. Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros, ponderado para el cultivo del aguacate (2007).

Así mismo este modelo se reclasificó en cinco clases de aptitud del territorio, siendo la clase de Alta aptitud la que presenta mayor superficie en la zona, siguiéndole las clases Baja, Moderada, Muy Baja, y Muy Alta, con un 23, 21, 20, 19 y 15 % del área de estudio respectivamente, que comparado con el modelo de 1996 se tiene que la clase predominante se mantiene (Alta aptitud), mientras la clase Muy Baja aptitud aumento su superficie (Figura 31).

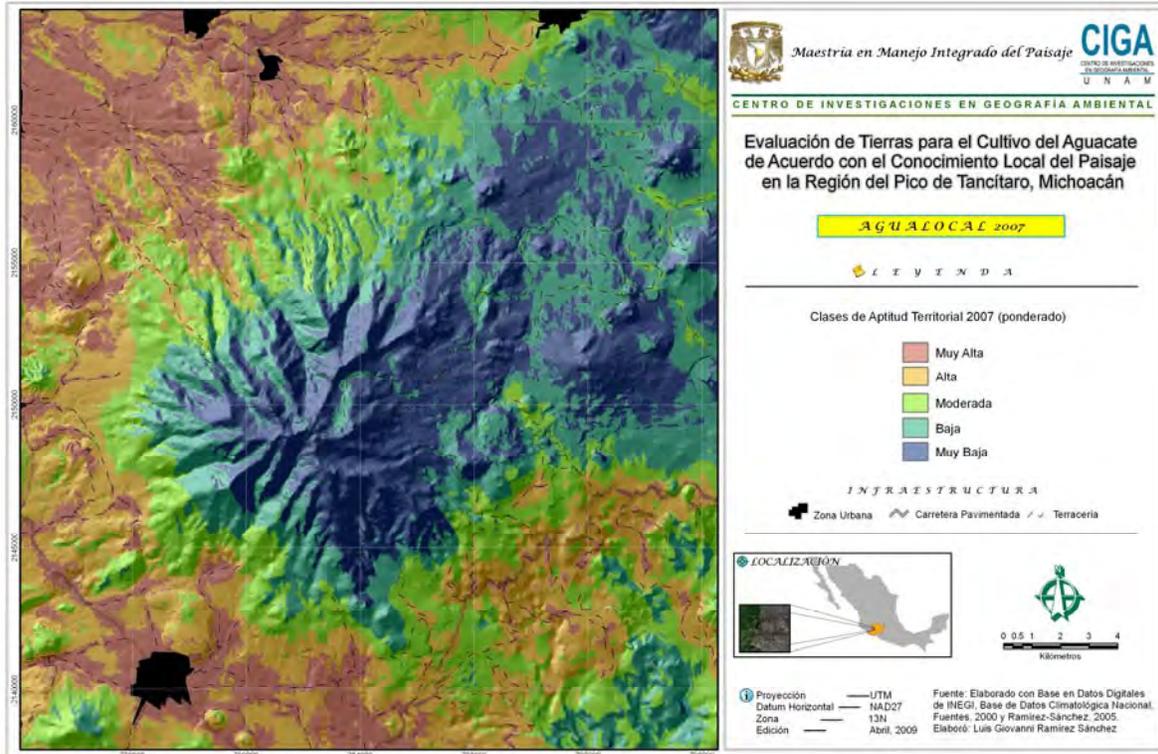


Figura 31. Clases de Aptitud territorial de acuerdo al grado de preferencia de los parámetros para el cultivo del aguacate (2007).

De igual manera que para 1996 se apoyó en el análisis de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo, para conocer sobre cuales coberturas avanzó el cultivo de aguacate en la zona, que para esta fecha esta actividad presentó una ligera disminución en su superficie, esto debido a como se mencionó anteriormente, en la zona de estudio existen plantaciones de aguacate que ya poseen más de 30 años de vida y esto se ve reflejado en su productividad, por lo que paulatinamente han sido renovadas por arboles nuevos, así mismo dentro de las coberturas en las que este cultivo avanzo se tiene al bosque abierto principalmente (Figura 32).

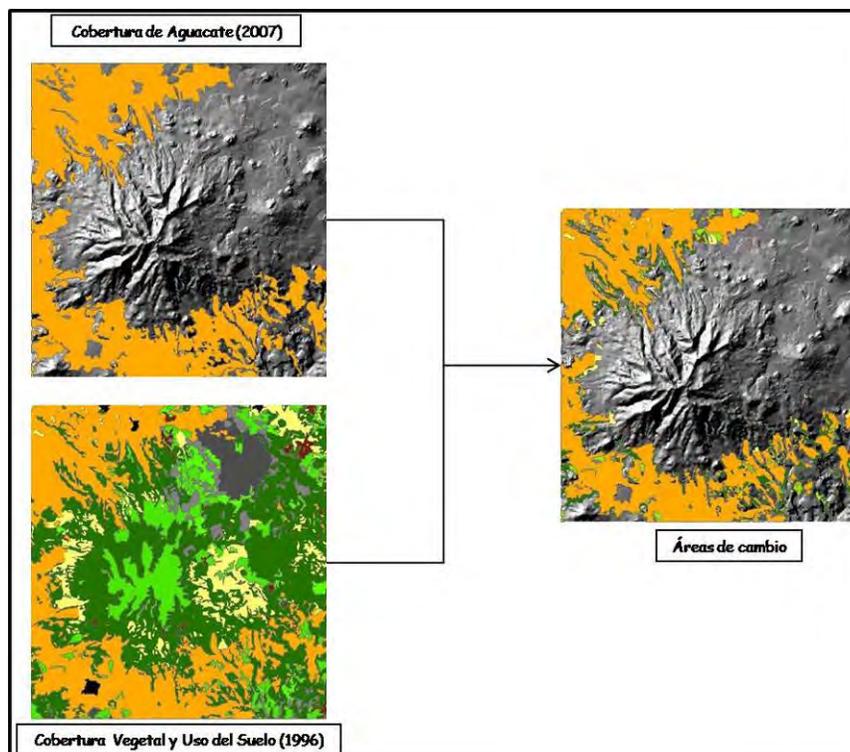


Figura 32. Áreas de cambio entre la cobertura de aguacate de 2007 y las coberturas de 1996.

Por otro lado se realizó la comparación entre la cobertura de aguacate de 2007 con la Aptitud territorial, donde un 44% de la superficie de aguacate para esta fecha se encuentra en la clase de aptitud Alta, un 41% de esta cobertura se distribuye dentro de la categoría de aptitud Muy Alta. Lo que refleja que, de acuerdo a las relaciones espaciales que se analizaron para esta fecha, el cultivo del aguacate se encuentra en condiciones optimas para su desarrollo (Figura 33 y Cuadro 30).

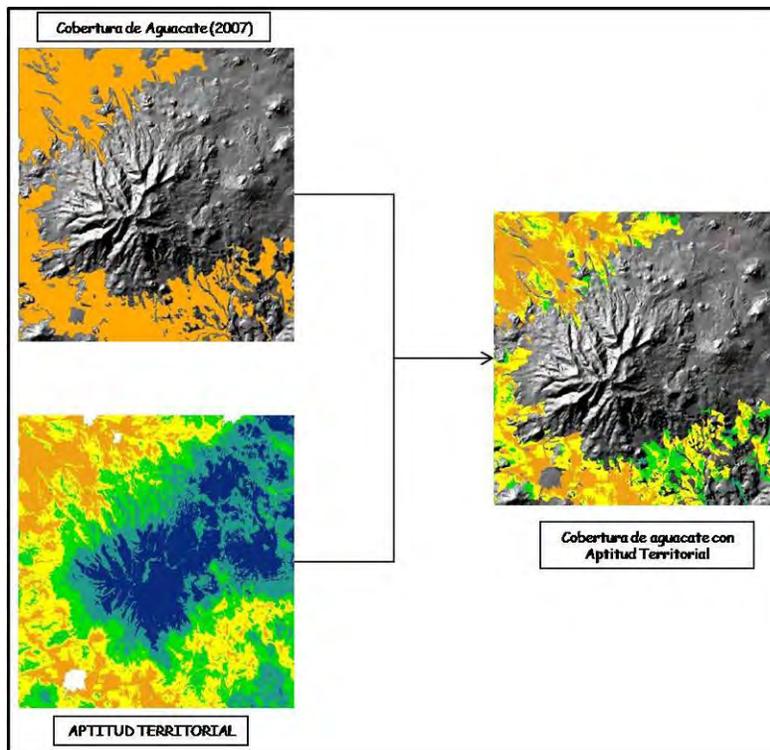


Figura 33. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (2007).

Cuadro 30. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (2007).

Clase de Aptitud	Valores límite de probabilidad	Superficie en el área de estudio (has.)	Superficie de cultivo de aguacate (has.)	% de cultivo de aguacate con respecto a la superficie de la clase	% de cultivo de aguacate respecto al total de la superficie del cultivo
Muy Alta	0.8 - 1.0	10296.12	8934.11	86.77	41.64
Alta	0.6 - 0.8	15686.58	9587.43	61.11	44.68
Moderada	0.4 - 0.6	13606.14	2752.73	20.23	12.82
Baja	0.2 - 0.4	14634.87	181.23	1.238	0.844
Muy Baja	2.0 0.2	13233.02	0	0	0
TOTALES		67456.75	21455.52		100

5.5 COMPARACIÓN DE MODELOS

Si se compara la relevancia de las 17 relaciones espaciales que se analizaron para cada una de las fechas de análisis, existen diferencias entre las fechas. En 1974 todas las relaciones resultaron ser relevantes (excepto aquellas que se referían a las coberturas previas, debido a que no se tomaron en cuenta para la construcción del modelo para este año, porque no se contaba con información sobre ellas). En 1996 solo 14 fueron relevantes al igual que en el 2007 (Cuadro 31).



Cuadro 31. Relaciones espaciales relevantes para las tres fechas de análisis			
Relación espacial	1974	1996	2007
FISIOGRÁFICAS			
Altitud	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Pendiente	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Índice Topográfico de Humedad	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Orientación de Laderas	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Suelo	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
CLIMA			
Precipitación	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Temperatura Mínima de Enero	RELEVANTE	NO RELEVANTE	NO RELEVANTE
Temperatura Mínima de Febrero	RELEVANTE	NO RELEVANTE	NO RELEVANTE
Temperatura Mínima de Diciembre	RELEVANTE	NO RELEVANTE	NO RELEVANTE
Temperatura Máxima de Abril	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Mayo	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Junio	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Julio	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
COBERTURAS			
Cultivo Anual	-----	RELEVANTE	RELEVANTE
Pastizales	-----	RELEVANTE	RELEVANTE
ECONÓMICAS			
Poblaciones	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE
Caminos	RELEVANTE	RELEVANTE	RELEVANTE

Otra comparación que resulta apropiada realizar es la de los pesos de cada relación para cada fecha, donde para 1974 se tiene que la relación que obtuvo el mayor peso fue la distancia a caminos, mientras tanto para 1996 y 2007 la variable con más peso fue la distancia a poblaciones, esto se debe que a partir de que la red de caminos se hizo más extensa en la zona, la accesibilidad ya no representaba un impedimento para establecer una nueva área de cultivo, en cambio para estas dos fechas lo que resulta primordial para abrir nuevas zonas para el aguacate, es la cercanía a poblaciones, esto se debe principalmente a que son en estas donde se encuentran los centros de acopio, manejo, embalaje y distribución del aguacate, que mientras más cercana este una población de los terrenos donde hay aguacate, menor será la inversión de distancia, tiempo y dinero para transportar el fruto, lo que reditúa en mayores ganancias para los productores locales (Cuadro 32).



Cuadro 32. Pesos de las relaciones espaciales para las tres fechas de análisis			
Relación espacial	1974	1996	2007
FISIOGRÁFICAS			
Pendiente	0.10663193	0.07753482	0.08627792
Índice Topográfico de Humedad	0.04780055	0.05367795	0.04977567
Orientación de Laderas	0.09560109	0.11630235	0.1078474
Suelo	0.12469709	0.0969187	0.10315841
CLIMA			
Precipitación	0.12746819	0.09968763	0.09244053
Temperatura Mínima	0.11463858	-----	-----
Temperatura Máxima	0.12376928	0.10384131	0.10014397
COBERTURAS			
Cultivo Anual	-----	0.12405576	0.11503715
Pastizales	-----	0.10735591	0.09955134
ECONÓMICAS			
Poblaciones	0.10295511	0.12546907	0.12443929
Caminos	0.15643818	0.09515649	0.12132832

Comparando la probabilidad de aptitud territorial en las tres fechas, se observa que la clase de aptitud que tiene mayor extensión en la zona para 1974 es la clase de aptitud Moderada (28%), mientras para 1996 fue la de aptitud Alta (24%), al igual que para 2007 con un 23% de la superficie (Cuadro 33).

Cuadro 33. Comparación de los modelos construidos para las tres fechas de análisis			
CLASES	1974	1996	2007
	Superficie %		
Muy Alta	6.85	17.49	15.26
Alta	20.74	24.56	23.25
Moderada	28.31	20.66	20.17
Baja	26.62	21.76	21.69
Muy Baja	17.46	15.50	19.61

Es obvio que la zona de estudio presentó un cambio importante en cuanto a la clasificación del territorio respecto a su aptitud territorial, que fue aparentemente favorable al cultivo de aguacate, la explicación de esto es que para 1974 no se consideraron las relaciones de proximidad para las clases de cubierta/uso del suelo correspondientes a cultivos anuales y pastizales, y por ello no se conocía hacia dónde o sobre cuáles cubiertas del suelo podría extenderse este cultivo, mientras que para 1996 y 2007 sí se tomaron en cuenta, ocasionando con esto que las condiciones aparentemente favorables para cultivar este fruto en la zona se extendieran, sobre todo en las zonas de cubiertas de cultivos anuales y bosques abiertos, tal y como lo marca la dinámica de cambio de cobertura vegetal y uso del suelo que se presenta en la zona de estudio. También debe tomarse en cuenta que este crecimiento aparente de las zonas con aptitud muy alta en 1996 y 2007 se debe parcialmente al hecho de que la demanda de este producto en el



país e internacionalmente creció substancialmente, por lo que los agricultores locales vieron una oportunidad económica en su cultivo y expandieron la frontera agrícola del aguacate hacia áreas que en realidad no tienen una clase de aptitud tan alta, y en donde el cultivo no tiene las mejores condiciones para su desarrollo pero, aun sí resulta rentable, aunque no ecológicamente sostenible, como se verá más adelante.

5.5.1 MODELO AGRILocal 1974-2007

Si se considera que las condiciones en que los agricultores locales cultivaban el aguacate en 1974 son las condiciones más adecuadas desde el punto de vista biofísico (pendiente, humedad del suelo, orientación de laderas, tipos de suelo, precipitación y temperaturas máximas y mínimas) y socioeconómico (distancia poblaciones y distancia a caminos), entonces el modelo AGRILocal derivado con información de 1974 indica las condiciones de aptitud que deberían tenerse en cuenta para cultivarlo.

Esta consideración también obedece al hecho de que las condiciones de aptitud territorial dadas por los modelos AGRILocal de 1996 y 2007 indican niveles de aptitud erróneos, especialmente por lo que respecta a la clase de aptitud muy alta, debido a que la expansión del área de esta clase de aptitud, y del cultivo en general, en estas dos fechas está determinada por un criterio de mercado, puramente económico, de obtención de mayores ganancias, sin que esto necesariamente indique que el cultivo en dichas áreas es sostenible, ambiental y económicamente, a largo plazo.

Por ello, para modelar correctamente la aptitud territorial se procedió a generar un nuevo modelo en el cual se toman los pesos de los parámetros calculados para el año de 1974, y estos se aplican a las relaciones espaciales que guarda el cultivo del aguacate en año 2007 (Cuadro 34).



Cuadro 34. Pesos de las relaciones espaciales para 1974-2007.	
Relación espacial (2007)	Peso (1974)
FISIOGRÁFICAS	
Pendiente	0.10663193
Índice Topográfico de Humedad	0.04780055
Orientación de Laderas	0.09560109
Suelo	0.12469709
CLIMA	
Precipitación	0.12746819
Temperatura Mínima	0.11463858
Temperatura Máxima	0.12376928
ECONÓMICAS	
Poblaciones	0.10295511
Caminos	0.15643818

El modelo final (AGRILOCAL 74-07) para definir la aptitud territorial del cultivo del aguacate en la RPT es entonces:

$$\text{Aptitud7407} = ([\text{penorm07}] * 0.106631927) + ([\text{preforiente07}] * 0.095601091) + ([\text{preftwic07}] * 0.047800546) + ([\text{prefcam07}] * 0.156438184) + ([\text{lluv30norm}] * 0.127468185) + ([\text{prefepobla07}] * 0.102955109) + [\text{suelpeso30}] + [\text{tmax7407}] + [\text{tmin7407}]$$

En donde: prefcam07 = distancia a caminos, tmax7407 = temperatura máxima, tmin7407 = temperatura mínima, preforiente07 = orientación de laderas, penorm07 = pendiente, preftwic07 = índice topográfico de humedad, lluv30norm07 = precipitación, prefepobla07 = distancia a localidades, y suelpeso30 = tipo de suelo, con

$$\text{Tmin7407} = ([\text{dicnorm07}] + [\text{enorm07}] + [\text{febnorm07}]) / 3 * 0.114638582$$

Donde: dicnorm07 = temperatura mínima de diciembre, enorm07 = temperatura mínima de enero y febnorm07 = temperatura mínima de febrero, y

$$\text{Tmax7407} = ([\text{abrinorm07}] + [\text{maynorm07}] + [\text{juniorm07}] + [\text{julnorm07}]) / 4 * 0.123769283$$

Donde: abrinorm07 = temperatura máxima de abril, maynorm07 = temperatura máxima de mayo, juniorm07 = temperatura máxima de junio y julnorm07 = temperatura máxima de julio.

El resultado de este modelo se observa en la figura 34.

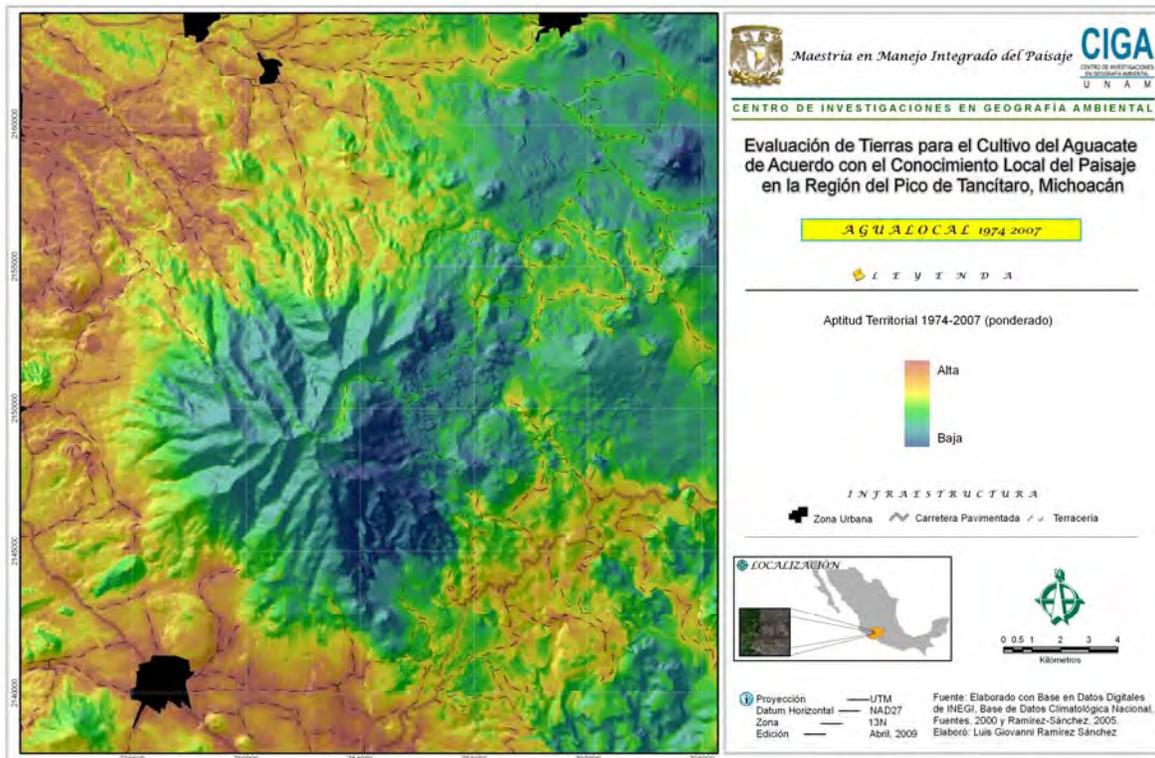


Figura 34. Aptitud territorial para el cultivo del aguacate de acuerdo con el modelo AGRILOCAL 74-07.

La distribución de los diferentes niveles de aptitud territorial está claramente influenciada por aquellos parámetros que tienen mayor peso. En particular, es observable el efecto de los parámetros de la proximidad a caminos y poblaciones, y el de las temperaturas mínimas y máximas. Los primeros determinan que las zonas de mayor aptitud se encuentren cercanas a caminos y poblaciones, mientras que los segundos determinan que las áreas de menor aptitud sean las zonas de mayor elevación correspondientes al Pico de Tancitaro y su extensión hacia la Meseta Purépecha, por ser zonas con temperaturas mínimas demasiado frías para el cultivo. Asimismo, se observa una zona de baja y muy baja aptitud en el ángulo SE de la zona de estudio; esta corresponde a áreas con temperaturas máximas demasiado cálidas para el aguacate.

La influencia de las temperaturas mínimas y máximas se puede validar con imágenes del satélite MODIS. Si se observa la Figura 35, es posible observar como las zonas de temperaturas muy frías y muy calientes en la imagen



corresponden de manera general con las zonas de aptitudes Muy Baja y Baja, y que hay zonas de cultivo de aguacate en tales áreas.

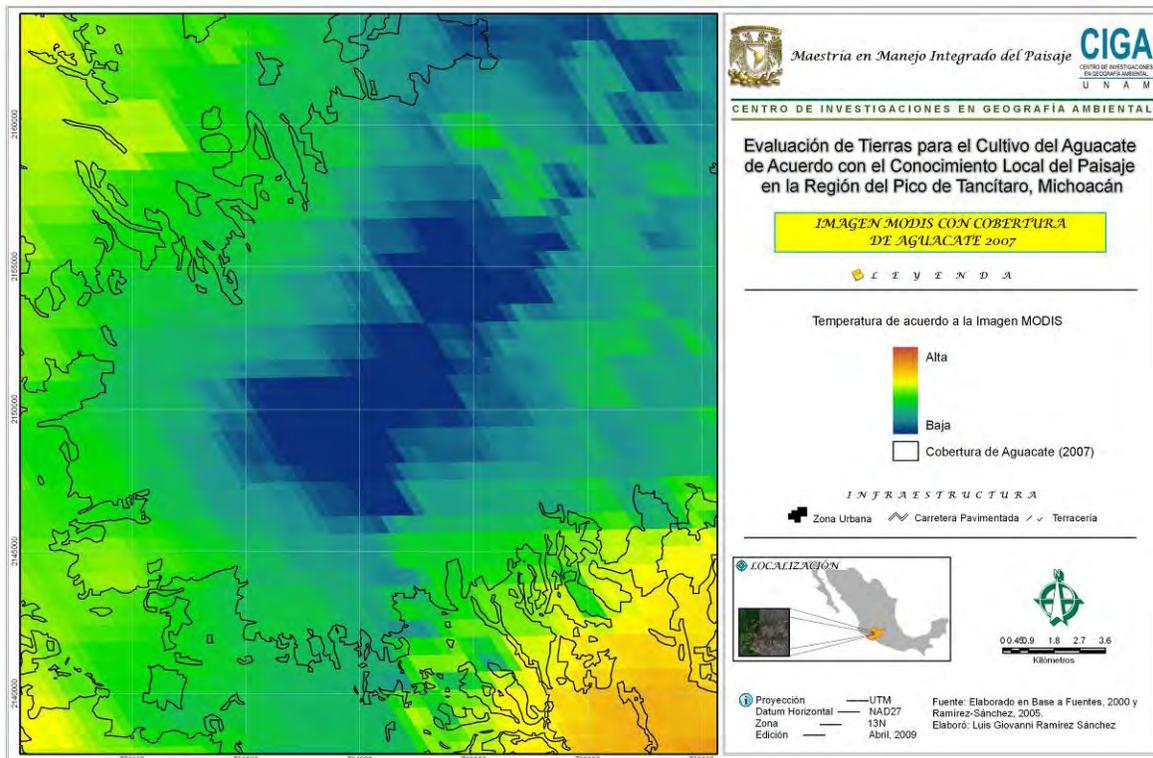


Figura 35. Imagen Modis con cobertura de aguacate de 2007.

Así mismo este modelo se reclasificó en cinco clases de aptitud del territorio, siendo la clase de aptitud Moderada la que presenta mayor superficie en la zona, siguiéndole las clases Baja, Alta, Muy Baja, y Muy Alta, con un 24, 23, 20, 19 y 12 % del área de estudio, respectivamente. (Figura 36).

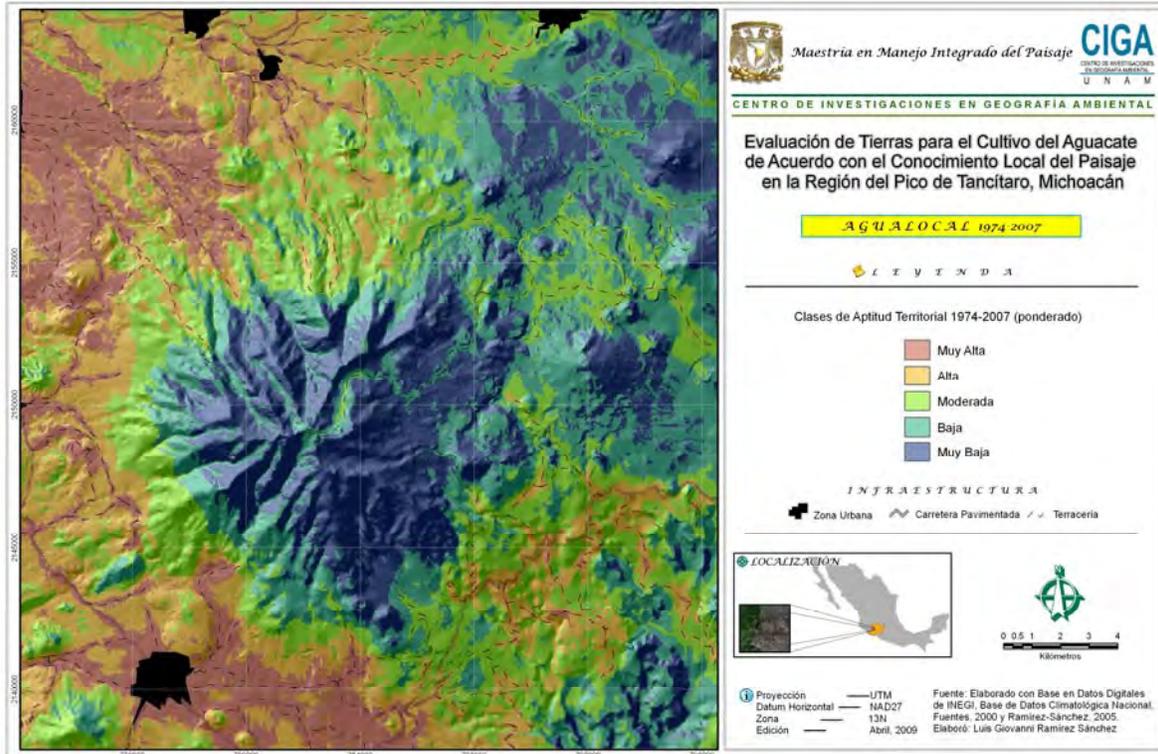


Figura 36. Clases de Aptitud territorial para el cultivo del aguacate según el modelo AGRIOLOCAL 74-07.

5.5.2 APTITUD DEL CULTIVO DE AGUACATE EN 1974 Y 2007 SEGÚN EL MODELO AGRIOLOCAL 1974-2007

Empleando el mapa de clases de aptitud territorial determinado por el modelo AGRIOLOCAL 74-07 (Figura 36), se realizó la comparación entre las coberturas de aguacate de 1974 y 2007 con la aptitud territorial (Figuras 37 y 38).

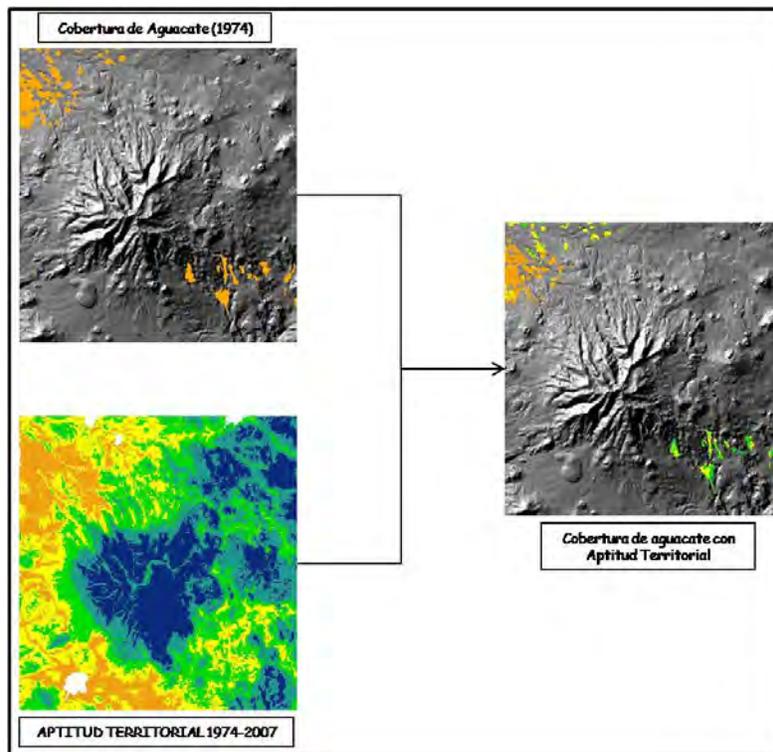


Figura 37. Comparación entre la cobertura de aguacate 1974 y la aptitud territorial 1974-2007.

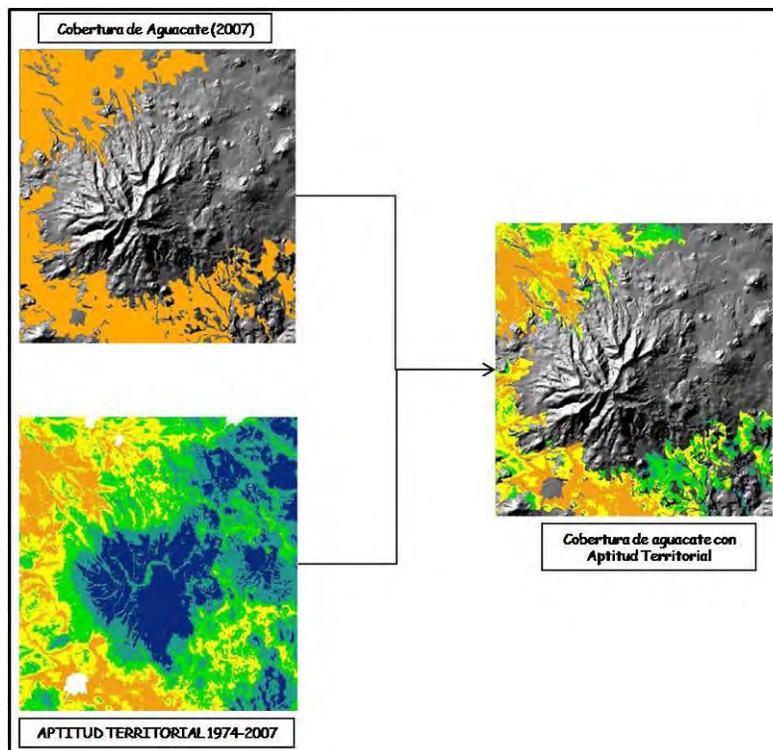


Figura 38. Comparación entre la cobertura de aguacate 2007 y la aptitud territorial 1974-2007.



Los resultados de estas comparaciones para cada clase de aptitud territorial del modelo AGRILocal 74-07 pueden verse en el Cuadro 30.

En ese cuadro 35 se observa que, en 1974, más de la mitad (55%) de la superficie cultivada con aguacate se encontraba en la clase de Aptitud Muy Alta, y hasta 85% se ubicaba en zonas cuya aptitud se considera óptima (Muy Alta y Alta aptitud), mientras que solamente 15% del cultivo se realizaba en zonas con aptitud subóptima (clases de aptitud Moderada, Baja y Muy Baja). De igual manera, se observa que de la superficie total de las clases de aptitud Muy Alta y Alta, solamente el 24% y 4%, respectivamente, era empleada en el cultivo del aguacate, estando el resto del territorio de estas clases ocupada mayoritariamente por cultivos anuales y bosques, mientras que el uso del territorio con clases de aptitud inadecuadas era insignificante (Menor al 2%).

Cuadro 35. Comparación entre la cobertura de aguacate y la aptitud territorial (1974-2007).

Clase de Aptitud	Superficie de cultivo de aguacate 1974 (has.)	% de cultivo de aguacate con respecto a la superficie de la clase (1974)	% de cultivo de aguacate respecto al total de la superficie del cultivo (1974)	Superficie de cultivo de aguacate 2007 (has.)	% de cultivo de aguacate con respecto a la superficie de la clase (2007)	% de cultivo de aguacate respecto al total de la superficie del cultivo (2007)
Muy Alta	1107.96	23.97	54.91	7486.39	86.53	34.89
Alta	616.77	4.40	30.57	8592.58	62.08	40.04
Moderada	257.59	1.34	12.76	4483.76	27.58	20.89
Baja	34.96	0.194	1.73	831.18	5.331	3.87
Muy Baja	0.253	0.002	0.012	61.58	0.469	0.287
TOTALES	2017.55		100	21455.52		100

Para el 2007, el área cultivada con aguacate en la clase de Muy Alta aptitud solamente es de 35%, aun cuando la superficie de cultivo en hectáreas aumentó substancialmente. En cambio, la superficie de cultivo de aguacate en la clase de Alta aptitud se incrementó hasta el 40%, por lo que puede decirse que el 75% del cultivo se encuentra ahora localizado en condiciones óptimas, mientras que el 25% restante lo hace en condiciones subóptimas. Esto representa una disminución de 10% en la ubicación óptima del cultivo respecto a 1974, y un incremento de la misma magnitud en el uso de zonas con aptitud inadecuada.

Evidentemente, la enorme expansión del cultivo del aguacate en la RPT es responsable de estos cambios. Sin embargo, la futura expansión del cultivo en áreas de aptitud Muy Alta y Alta presenta un panorama restringido, ya que solamente 23% del territorio de Muy Alta aptitud y 38% del de Alta aptitud quedan



para ser ocupados en esta región, pero en la interpretación de estas cifras hay que tener en cuenta que otros usos con requerimientos territoriales similares al del cultivo del aguacate están en competencia continua con éste, como por ejemplo el crecimiento de los asentamientos humanos, el cual normalmente se lleva a cabo en terrenos cercanos a las áreas urbanas existentes, cerca de caminos y con pendiente relativamente suave, así como la ampliación del territorio cultivado con frutales de clima templado.

Además, el crecimiento del cultivo en áreas con aptitud inadecuada (hasta un 25% del cultivo se localiza en estas zonas) es particularmente preocupante, no solo por el hecho de que los rendimientos o la viabilidad del cultivo pueden estar en situación crítica, sino sobre todo porque este crecimiento se ha realizado a expensas de áreas de bosque, con lo que se han perdido los servicios ambientales que presta este tipo de cubierta vegetal, sin que se pueda siquiera decir que esto es “justificable” en alguna medida, como en el caso del avance del cultivo del aguacate sobre zonas de Muy Alta y Alta aptitud pero ocupadas previamente con bosque.

5.5.3 CAMBIO EN LA CUBIERTA DE BOSQUE POR CULTIVO DE AGUACATE 1974-2007

Precisamente, para tener un panorama más objetivo sobre el significado del análisis de aptitud del territorio para el cultivo del aguacate en la RPT, es necesario hacerlo en el contexto de las desventajas que la expansión del cultivo presenta, aún cuando esta se realice sobre áreas de Muy Alta y Alta aptitud para el cultivo, es decir en donde la viabilidad y los rendimientos del cultivo garantizan el sustento de una economía regional sólida basada en este frutal.

La principal desventaja de la expansión del cultivo del aguacate es de orden ambiental: el cultivo se ha expandido a costa de la pérdida de la cubierta vegetal original en la RPT, y con ello la desaparición o degradación de la calidad de los servicios ambientales que esta ofrece. Además, esta expansión está aparejada con el uso intensivo de agroquímicos (fertilizantes, pesticidas y herbicidas), con el consecuente potencial de daño a la salud humana y de otras especies.



Puesto que la pérdida de la cubierta vegetal, específicamente de la forestal, es el daño más aparente, y quizá el más severo, y para el cual se tiene más información, se procedió a realizar un análisis de este fenómeno.

Comparando la superficie de bosque (35439 ha) que había en 1974 con la aptitud territorial de 1974-2007, se tiene que un 27% del área de bosque se encontraba en la clase Baja, siguiéndole la clase Muy Baja con 25% al igual que la clase Moderada (Cuadro 36), así mismo, otro análisis que se realizó fue el de conocer las áreas que cambiaron de bosque a cultivo de aguacate, de 1974 al 2007, donde los bosques cedieron un total de 6, 911 hectáreas para el cultivo del aguacate, que representan el 20% del total de superficie de bosque que había en 1974 (35439 Ha), así mismo estas áreas de cambio se compararon con las clases de aptitud territorial del modelo 1974-2007, donde se tiene que un 41% del área de cambio se encuentra en la clase de aptitud Alta, un 31% está en la clase Moderada y un 19% queda en la clase Muy Alta, lo que se traduce a que los bosques se encontraban en zonas muy propicias para el cultivo del aguacate lo que las hizo más propensas a ser reemplazados por esta actividad (Cuadro 37 y Figura 39).

Cuadro 36. Comparación entre los bosques (1974) y la aptitud territorial (1974-2007).

Clase de Aptitud del Terreno	Superficie de la clase en el área de estudio (has.)	Superficie de bosque (has.) (1974)	% de bosque con respecto a la superficie de la clase	% de bosque respecto al total de la superficie del bosque
Muy Alta	8651.06	1813.86	20.96	5.11
Alta	13840.84	5602.85	40.48	15.80
Moderada	16252.12	9076.32	55.84	25.61
Baja	15589.40	9773.77	62.69	27.57
Muy Baja	13123.3	9172.34	69.89	25.88
TOTALES	67456.75	35439.16		100

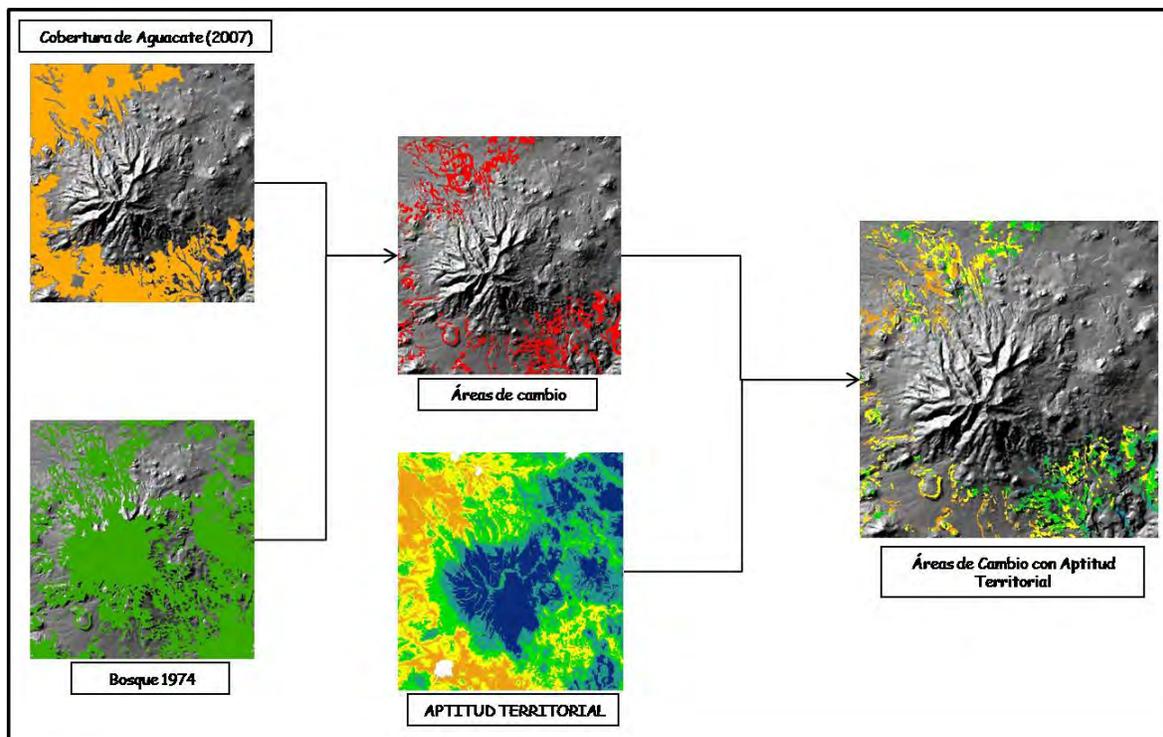


Figura 39. Áreas de cambio entre los bosques de 1974 y la cobertura de aguacate de 2007, caracterizadas por la aptitud territorial según el modelo AGRILocal 74-07.

Cuadro 37. Comparación entre las áreas de cambio (bosque-Aguacate) y la aptitud territorial (1974-2007).

Clase de Aptitud del Terreno	Superficie de la clase en el área de estudio (has.)	Superficie de áreas de cambio (has.)	% de área de cambio con respecto a la superficie de la clase	% de área de cambio con respecto al total de la superficie del área de cambio
Muy Alta	8651.06	1346.12	15.56	19.47
Alta	13840.84	2857.27	20.64	41.33
Moderada	16252.12	2162.67	13.30	31.28
Baja	15589.40	498.04	3.19	7.205
Muy Baja	13123.3	47.79	0.36	0.691
TOTALES	67456.75	6911.90		100

5.5.4 EXPANSIÓN DEL CULTIVO DE AGUACATE DENTRO DEL POLÍGONO DEL PARQUE NACIONAL PICO DE TANCÍTARO.

Finalmente, otro factor a considerar en la expansión del cultivo y en la determinación de la aptitud territorial de este cultivo, es que en la zona de estudio se encuentra una Área Natural Protegida conocida como el Parque Nacional Pico de Tancítaro, la cual tiene una superficie de 23, 786 ha, que corresponde al 35% del total del área de la región de estudio, donde de acuerdo con la definición de Parque Nacional de la CONANP, no se debería de permitir ningún tipo de cambio de uso del suelo, dentro de los límites de la ANP, lo que en general no se lleva a la



práctica y mucho menos para esta zona, donde el principal cambio de uso del suelo se da en razón del cultivo de aguacate. Esto fue debido a que esta ANP está prácticamente en el abandono por parte de las organizaciones encargadas (CONANP) de administrar este tipo de zonas, a pesar de que el Parque Nacional Pico de Tancítaro fue decretado como tal a principios de los años 40's. Actualmente, el Parque Nacional se encuentra en un proceso de recategorización, de Parque Nacional a Zona de protección de flora y fauna, que es una clase de ANP que permite el aprovechamiento y manejo de los recursos naturales hacia el interior de sus límites.

Si se considerara el polígono del ANP como otra relación espacial, una en la que la coincidencia del territorio con este polígono determinaría zonas de aptitud nula, se tendría que para los modelos AGRILocal de las tres fechas se reduciría de manera muy significativa la superficie de las clases de aptitud Muy Baja, Baja y Moderada, mientras que la clase de aptitud Alta, presentan una disminución significativa en su superficie, siendo esta reducción poco significativa para la clase de aptitud Muy Alta, esto último debido a que la mayor parte de su área se encuentra fuera de los límites del polígono del Parque Nacional. Este patrón ocurre de manera similar para las tres fechas de trabajo. (Cuadro 38 y Figura 40).

Cuadro 38. Superficie de aptitud territorial considerando el ANP presente en la zona						
Clases de Aptitud	1974		1996		2007	
	Superficie %					
	Sin ANP	Con ANP	Sin ANP	Con ANP	Sin ANP	Con ANP
Muy Alta	6.85	6.29	17.49	14.88	15.26	12.84
Alta	20.74	15.99	24.56	19.26	23.25	17.71
Moderada	28.31	19.24	20.66	13.44	20.17	12.07
Baja	26.62	16.91	21.76	12.14	21.69	12.58
Muy Baja	17.46	4.30	15.50	3.03	19.61	7.44

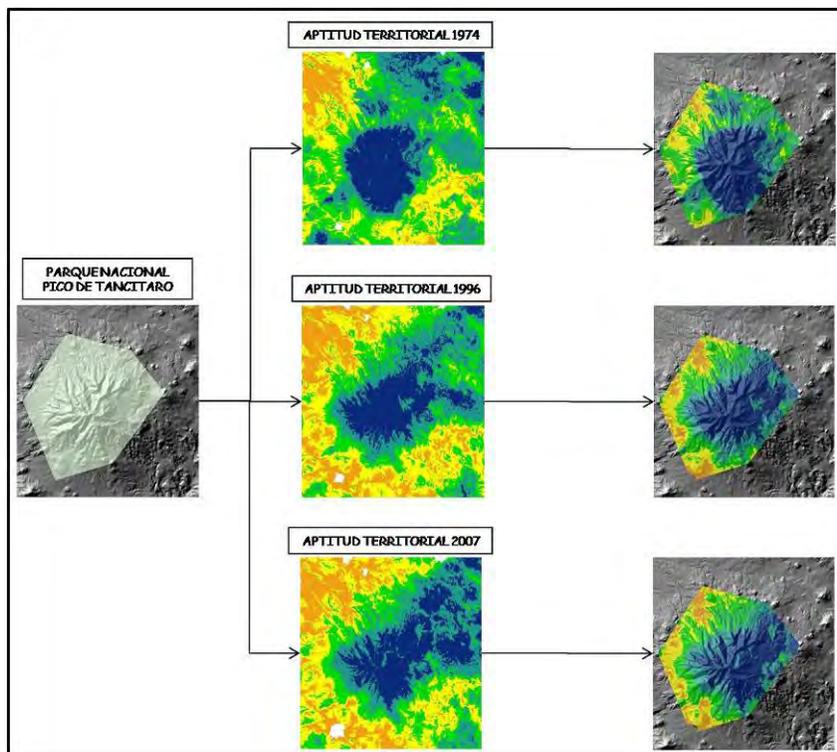


Figura 40. Superficie de aptitud territorial considerando el ANP presente en la zona.

Por otro lado, se realizó el análisis de la cantidad de superficie de aguacate que se encuentra dentro de los límites del polígono del ANP, para cada fecha de estudio, destacando que la cobertura de aguacate para 1974 no se presentaba dentro del Parque, mientras que para 1996 y 2007 el 15 y 14% del total de superficie de cultivo de aguacate correspondiente para cada fecha, se encuentra dentro del polígono del ANP (Cuadro 39 y Figura 41).

Años	Superficie (Ha)		
	Superficie de aguacate presente en el área de estudio	Superficie de aguacate dentro del ANP	%
1974	2018	0	0
1996	20438	3130	15
2007	21456	3170	14

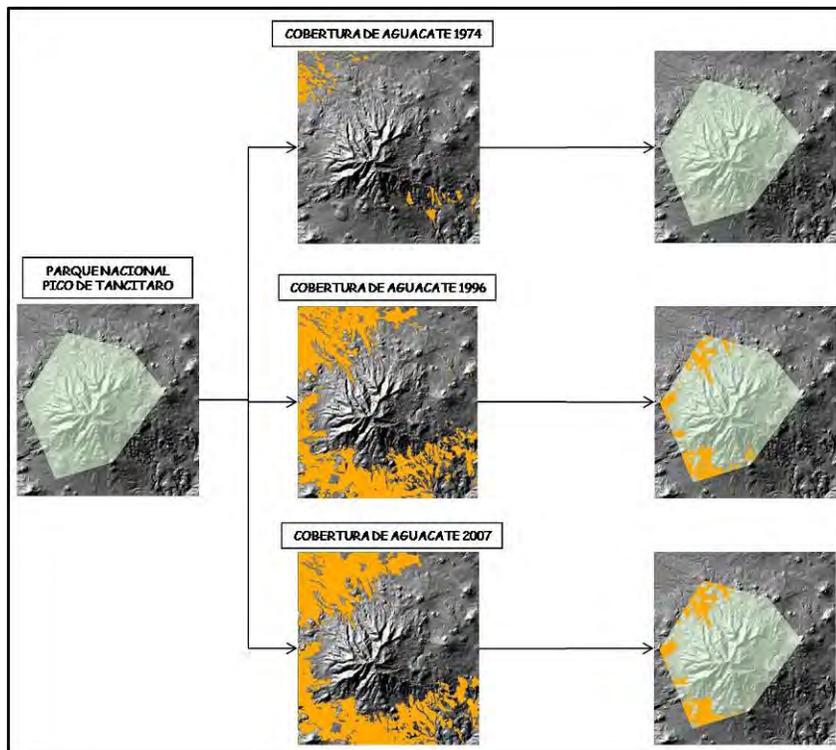


Figura 41. Superficie de cobertura de aguacate considerando el ANP presente en la zona.

5.6 APLICACIÓN DE ENCUESTAS

La aplicación de encuestas se hizo con el objetivo de validar parcialmente los resultados de relevancia, preferencia y pesos obtenidos estadísticamente de las distribuciones del cultivo en las tres fechas., Esta validación no es del todo completa porque el número de encuestas aplicadas fue reducido, y porque en muchos casos los resultados contienen un grado de subjetividad y ambigüedad difíciles de controlar o incluso de conocer. Así que los resultados arrojados por ellas deben tomarse con reserva y como algo experimental.

Las encuestas aplicadas a los productores locales de aguacate, constaron de tres partes (ver ANEXOS):

1.- la primera fue estructurada para conocer cuales parámetros resultan relevantes para los productores de aguacate, donde el entrevistado se limitó a contestar con un SI o un NO.

2.- la segunda estuvo estructurada para conocer el grado de preferencia de cada uno de los parámetros, esto en relación a que cada parámetro presenta



rangos en los que un mayor número de respuestas indica más preferencia para establecer una nueva área de siembra de este cultivo.

3.- esta parte se estructuró para conocer cuál de los parámetros que mencionó el encuestado resultaba el más importante a considerar al momento de sembrar aguacate, es decir, en la que el encuestado le otorgó pesos a cada una de las variables.

5.6.1 PARÁMETROS RELEVANTES DE ACUERDO CON LOS PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE.

Se aplicaron un total de 34 encuestas a los productores locales de aguacate, así mismo dentro de los entrevistados se encuentran algunos Ingenieros agrónomos, quienes vertieron su punto de vista y experiencia en cuanto al cultivo del aguacate en la zona y esto ayudó a contar con cuatro puntos de vista diferentes, 1) la parte técnica externa (modelo AGRILocal), 2) la parte técnica local (Ing. Agrónomos de la zona), 3) productores locales de aguacate, y 4) literatura especializada en el tema del cultivo de aguacate. Estos puntos de vista, al momento de realizar la comparación, resultaron ser, sino idénticos, muy similares entre sí, lo que refleja que existe concordancia entre los cuatro puntos de análisis y que de alguna manera valida los resultados del modelo AGRILocal.

De entrada se encontró que, según los agricultores locales, todos los parámetros son relevantes para el cultivo de aguacate, esto es debido a que las encuestas fueron aplicadas a diferentes personalidades que, de acuerdo a su experiencia y percepción muy particular del paisaje, mencionaban uno u otro parámetro, más sin embargo al procesar las respuestas otorgadas para esta parte de la encuesta se tiene que los parámetros más relevantes para los agricultores de aguacate, fueron los siguientes; la altitud, la humedad y tipo del suelo y la cantidad de lluvia, los cuales se mencionaron en un 100, 85, 79 y 79 % del total de las encuestas aplicadas respectivamente (Figura 42). La gran relevancia del parámetro de altitud debe entenderse en el contexto de la temperatura mínima. Es decir, esta variable resulta muy relevante para los agricultores no por el valor de altitud mismo, sino porque a mayor altitud las temperaturas mínimas son más frías, y esto tiene como consecuencia el que los cultivos no se desarrollen bien por



la presencia de heladas frecuentes y/o intensas. De igual manera, a menor altitud, las temperaturas máximas son cada vez más cálidas, lo cual también es un inconveniente para el cultivo.

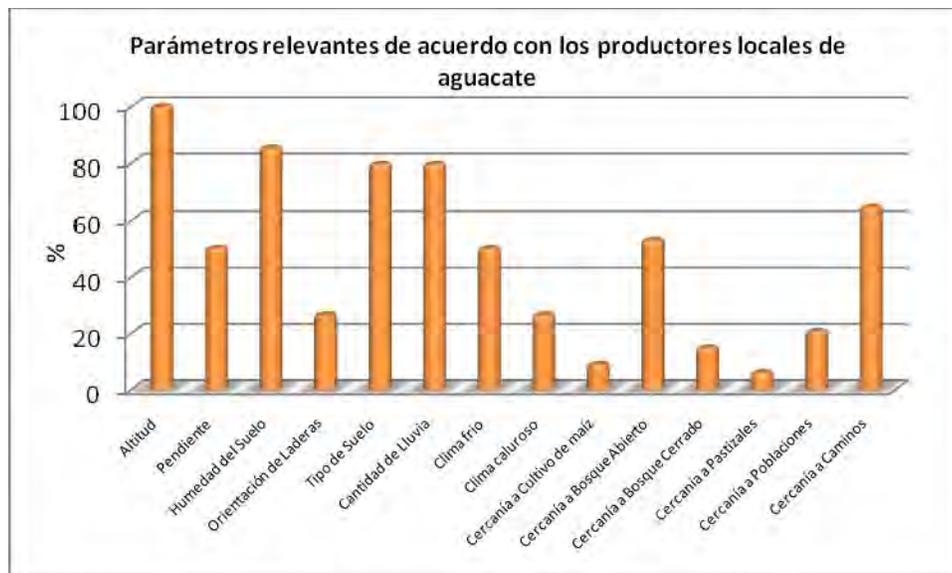


Figura 42. Parámetros relevantes de acuerdo con los productores locales de aguacate.

Estos resultados de las encuestas concuerdan (no en su totalidad, pero sí en su mayoría) con los obtenidos con el modelo AGRILocal, en cuanto a los parámetros que resultaron relevantes para el cultivo de aguacate (Cuadro 40). Cabe mencionar que la comparación de los resultados de las encuestas y el modelo se realizó con base en los resultados obtenidos para el año de 2007, debido a que esta es la fecha más cercana a la fecha de levantamiento de las encuestas (enero de 2009), y la percepción de la relevancia de los parámetros para los agricultores locales puede cambiar substancialmente para algunos parámetros si se toman fechas más alejadas como consecuencia de mejoras tecnológicas y económicas.



Cuadro 40. Relaciones espaciales relevantes para las encuestas y el año 2007.		
Relación espacial	ENCUESTAS	AGRILOCAL 2007
FISIOGRÁFICAS		
Altitud	RELEVANTE	RELEVANTE
Pendiente	RELEVANTE	RELEVANTE
Índice Topográfico de Humedad	RELEVANTE	RELEVANTE
Orientación de Laderas	RELEVANTE	RELEVANTE
Suelo	RELEVANTE	RELEVANTE
CLIMA		
Precipitación	RELEVANTE	RELEVANTE
Temperatura Mínima de Enero	RELEVANTE	NO RELEVANTE
Temperatura Mínima de Febrero	RELEVANTE	NO RELEVANTE
Temperatura Mínima de Diciembre	RELEVANTE	NO RELEVANTE
Temperatura Máxima de Abril	RELEVANTE	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Mayo	RELEVANTE	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Junio	RELEVANTE	RELEVANTE
Temperatura Máxima de Julio	RELEVANTE	RELEVANTE
COBERTURAS		
Cultivo Anual	RELEVANTE	RELEVANTE
Pastizales	RELEVANTE	RELEVANTE
ECONÓMICAS		
Poblaciones	RELEVANTE	RELEVANTE
Caminos	RELEVANTE	RELEVANTE

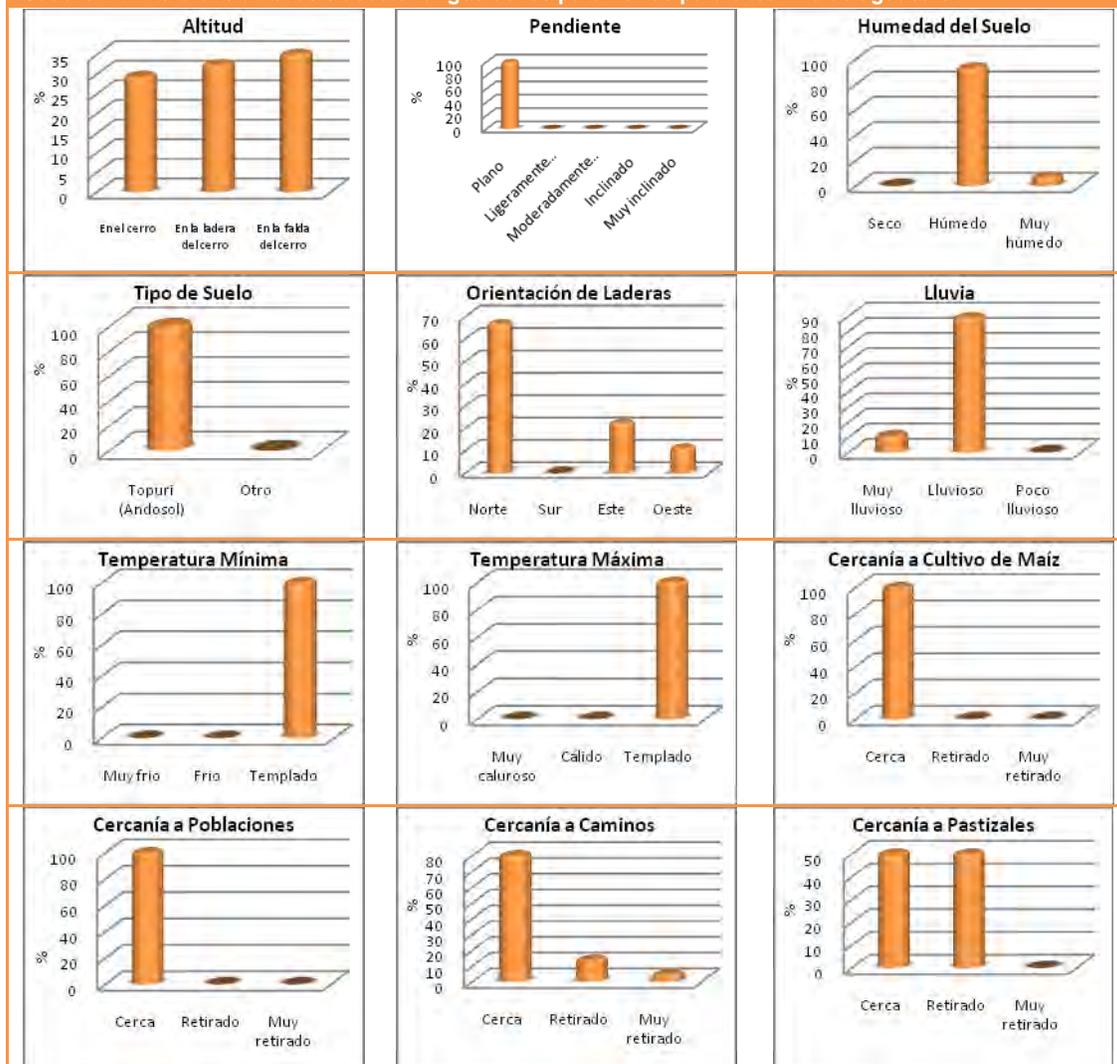
En el cuadro, la no relevancia de las temperaturas mínimas de acuerdo con el modelo AGRILocal de 2007 es solo aparente, y debida a que la expansión del cultivo se ha hecho sobre zonas de aptitud subóptima por razones de mercado y no a una razón de aptitud territorial adecuada.

5.6.2 PREFERENCIA DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE ACUERDO CON LOS PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE.

Esta segunda parte de la encuesta se aplicó para conocer el grado de preferencia, en donde para cada parámetro se presentó una serie de rangos de valores o clases, de los cuales los productores de aguacate, consideran algunos como más preferibles para la práctica de este cultivo. Los resultados obtenidos para esta parte de la encuesta se muestran en el Cuadro 41. Se puede observar que en cada uno de los parámetros, con excepción del de la cercanía a pastizales, hay un rango o clase que resalta de entre los demás, lo que nos indica que esta clase es la que presenta una mayor preferencia por parte de los productores para sembrar aguacate. Como por ejemplo, se tiene que la clase ‘Húmedo’ del parámetro Humedad de suelo, es la más preferible para los productores para este cultivo.



Cuadro 41. Preferencia de las clases o rangos de los parámetros para el cultivo de aguacate.



En general los rangos de preferencia que los encuestados mencionan como los más adecuados para el cultivo del aguacate concuerdan con los que se obtuvieron estadísticamente, como lo muestra la Figura 43, donde se presenta, como ejemplo, por un lado la gráfica resultante de los rangos dados por los agricultores de aguacate y por el otro los resultados obtenidos estadísticamente según el modelo AGRILocal, que al momento de sobreponerlos se refleja claramente que ambos resultados coincidieron en que mientras más cercano esté un terreno de un camino es más preferible para sembrar aguacate.

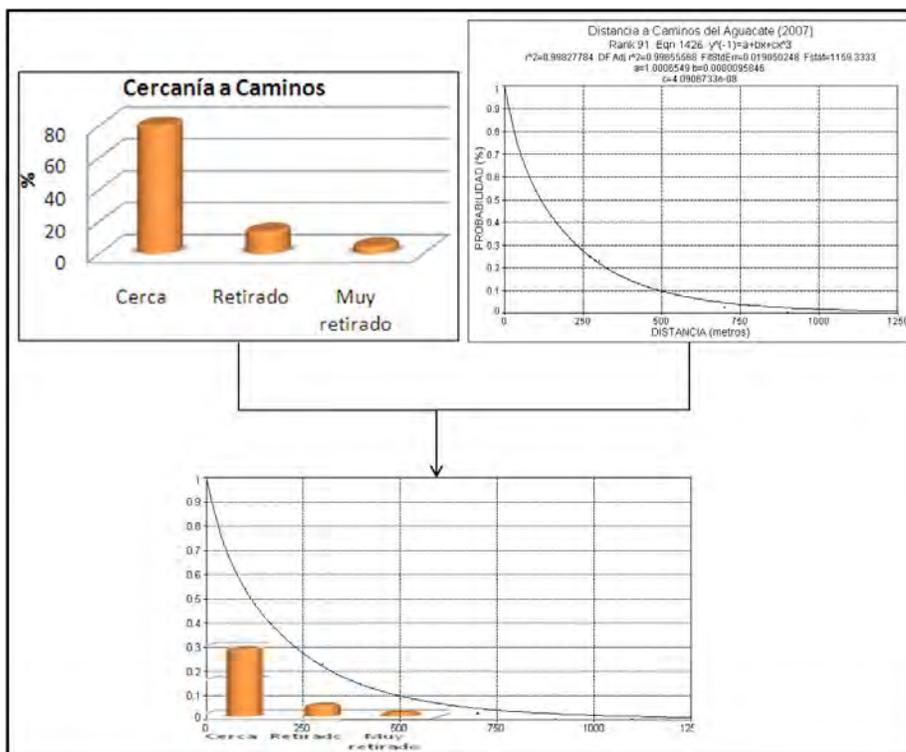


Figura 43. Comparación entre los rangos de preferencia para el cultivo de aguacate entre los resultados de las encuestas y los estadísticos.

5.6.3 PESO DE LOS PARÁMETROS DE ACUERDO CON LOS PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE.

La parte final de la encuesta consistió en asignarles “peso” a cada uno de los parámetros que resultaron ser relevantes por parte de los encuestados, donde cabe mencionar que la variable que resultó con el mayor peso fue la Altitud, siguiéndole el tipo y humedad del suelo, y la temperatura mínima, con pesos de 9.4, 9.1, 8, y 7.9, respectivamente. Cabe mencionar que la escala que se utilizó para asignarles peso a cada variable fue entre 0 y 10, siendo 10 el valor más alto de importancia y 0 el de menor importancia (Figura 44).

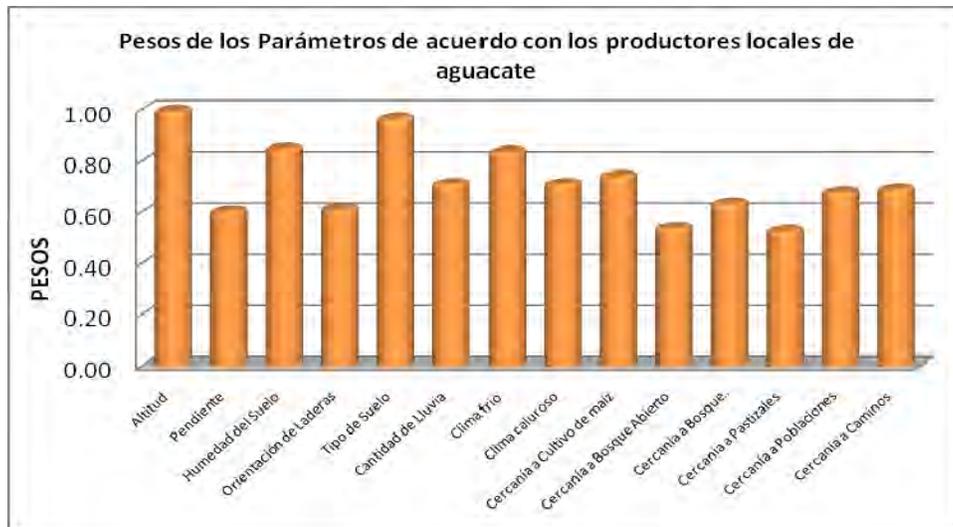


Figura 44. Pesos de los parámetros relevantes de acuerdo con los productores locales de aguacate.

Por otro lado se encontró que en la comparación entre los pesos de las encuestas y el modelo AGRILocal de 2007, la relación que resultó con mayor peso para la primera fue la altitud y para la segunda fue la distancia a poblaciones, pero es necesario recordar que el parámetro de altitud es usado por los agricultores como indicador de las temperaturas, y que en el modelo AGRILocal, se emplearon los datos de las temperaturas y no los de altitud para evitar redundancia en el modelo, siendo los pesos de los parámetros de temperatura de bastante importancia en el modelo final de aptitud usado en este estudio (AGRILocal7407)

Para el caso de las encuestas se observó que la relación Suelo es la segunda en cuanto a peso se refiere, pero es de importancia mencionar que a pesar de que los productores indicaron que el tipo de suelo es importante en el establecimiento de una nueva zona para el cultivo del aguacate, pero que para la zona de estudio esto no presenta ningún problema ya que en ella hay un tipo de suelo que localmente llaman “Topuri” (Andosol), de distribución extensa en la RPT, el cual es muy favorable para este cultivo (Cuadro 42).



Cuadro 42. Pesos de las relaciones espaciales para las encuestas y el año 2007.

Relación espacial	ENCUESTAS	2007
FISIOGRÁFICAS		
Altitud	0.10	-----
Pendiente	0.06	0.086
Índice Topográfico de Humedad	0.08	0.049
Orientación de Laderas	0.06	0.107
Suelo	0.09	0.103
CLIMA		
Precipitación	0.07	0.092
Temperatura Mínima	0.08	-----
Temperatura Máxima	0.07	0.100
CUBIERTAS DEL SUELO		
Cultivo Anual	0.07	0.115
Pastizales	0.05	0.099
ECONÓMICAS		
Poblaciones	0.07	0.124
Caminos	0.07	0.121



CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En cuanto al análisis del cambio de uso de suelo y cobertura vegetal se concluye que:

- La Región del Pico de Tancítaro experimentó una dinámica de cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo que va en dirección hacia el aumento de la superficie del cultivo del aguacate. Donde, en un periodo de 35 años, este muestra un crecimiento del 600%, ocupando en un 75% áreas de aptitud óptima, pero también expandiéndose en un 25% a áreas poco propicias para su buen desarrollo y rentabilidad.
- De manera general, los cultivos permanentes (cultivos de aguacate) se expandieron de manera inmediata principalmente en áreas que anteriormente eran utilizadas para el cultivo del maíz, tomando de estos más del 65% de su superficie, de igual forma, los Pastizales y las zonas erosionadas también han sido empleados para el establecimiento de este cultivo.
- Por otro lado, esta expansión se ha dado también en zonas forestales de manera importante. En este sentido, es necesario señalar que más del 70% de los bosques que se encuentran por debajo de los 2100 msnm y por encima de los 1600 msnm, tienen una probabilidad muy alta de cambiar de categoría, de acuerdo a los resultados de este trabajo, debido a que desde las perspectiva de los agricultores locales (establecida por el modelo AGRILocal7407), dichas áreas son de Muy Alta y Alta aptitud. Esto debe de servir como una alerta a las autoridades competentes para que se tomen medidas adecuadas para frenar, regular y ordenar la continua deforestación a causa del cultivo de aguacate.
- Ante el ritmo al que avanza el cultivo de aguacate en la RPT, es urgente concertar esfuerzos para establecer un buen plan de ordenamiento del territorio, con la finalidad de orientar la toma de decisiones hacia la sustentabilidad de esta actividad.



**En cuanto al análisis de la evaluación de tierras se concluye que:
Modelo AGRILocal para el año 1974.**

- Para este año se obtuvo que todas las relaciones espaciales que analizaron resultaron ser relevantes, excepto aquellas que tuvieron que ver con coberturas previas a esta fecha, ya que no se contaba con ellas.
- La relación que obtuvo el mayor peso en este año fue la cercanía a caminos, donde las zonas más aptas para el cultivo de aguacate se encuentran muy cercanas a estos. Lo cual debe entenderse en el contexto socioeconómico de los productores, como un criterio para minimizar los costos de producción y traslado del producto, dado que las características ambientales existentes en la zona eran en su mayor parte favorables ya al cultivo
- De acuerdo a la probabilidad de aptitud territorial se tiene que la clase que presentó una mayor superficie fue la aptitud Moderada, siguiéndole la clase Baja y Alta, esto es , en la RPT dominan en general las zonas en donde el aguacate solo podría cultivarse de manera subóptima (aptitud moderada, Baja y Muy Baja)
- Las cubiertas del terreno que se encuentran dentro de las categorías de aptitud Muy Alta, Alta y Moderada, son los cultivos anuales y el bosque abierto, lo que las coloca como las clases de uso /cubierta más propensas a ceder superficie a este cultivo.
- La cobertura de aguacate que se tiene para esta fecha se encuentra en un 54% de su superficie dentro de la clase Muy Alta, lo que refleja que para esta fecha la actividad se estaba desplegando en terrenos muy favorables para su desarrollo.

Modelo AGRILocal para el año 1996.

- Para esta fecha ya se incorporaron las coberturas previas a esta fecha, así mismo se obtuvieron un total de 14 relaciones relevantes, solo la temperatura mínima resultó no relevante. Esto solo en apariencia, ya que su no relevancia obedece al hecho de que el cultivo se expandió de manera importante en áreas con temperaturas mínimas subóptimas de acuerdo con



el modelo del 1974, por razones de mercado, por lo que parecería entonces que este parámetro no fuese relevante ya.

- La relación que presentó el mayor peso fue la distancia a poblaciones, siguiéndole la distancia a cultivos anuales, lo que se explica en el primer caso, porque es en las poblaciones que se encuentran los centros de acopio, manejo, embalaje y distribución del aguacate, que mientras más cercana esté una población de los terrenos donde hay aguacate, menor será la inversión de distancia, tiempo y dinero para transportar el fruto, lo que reditúa en mayores ganancias para los productores locales. En el segundo caso, la explicación se concreta a que es más sencillo convertir una porción de territorio ya sujeta a agricultura de cultivos anuales en una de cultivos permanentes, que convertir cualquier otra clase de cubierta / uso del suelo.
- De acuerdo a la probabilidad de aptitud territorial en la zona se presentó un cambio en cuanto a la clase con mayor superficie, que para esta fecha la categoría con mayor superficie fue la Alta aptitud (45% de la superficie de cultivo), siguiéndole la Baja y Moderada. Esto es también aparente para la clase Alta, y se debe a que la enorme expansión del cultivo, incluyendo áreas de aptitud subóptima según el modelo de 1974, ocupa rangos amplios de valores de varios parámetros, lo parece validar el hecho de que ciertos valores no son tan importantes para restringir el cultivo del aguacate, lo que resulta una falacia, ya que es necesario recordar que dicha expansión no obedece a la aptitud del territorio sino a razones de mercado.

Modelo AGRILocal para el año 2007.

- Al igual que para 1996 se incorporaron al análisis las coberturas previas a esta fecha, donde 14 relaciones resultaron relevantes, y tan solo la temperatura mínima fue no relevante. La explicación de esto último es la misma que para el modelo de 1996.
- Al igual que para 1996 la relación que presentó mayor peso fue la distancia a poblaciones, por las razones ya descritas



- De acuerdo a la probabilidad de aptitud territorial en la zona la clase que presento mayor superficie, fue la Alta aptitud, siguiéndole la Baja y Moderada. La explicación es similar a la del modelo de 1996 para esta situación.

Modelo AGRILocal para 1974-2007.

- Se considera que las condiciones de aptitud dadas por el modelo de 1974 son las que corresponden mejor a la aptitud real del territorio porque no se encuentran tan distorsionadas por criterios de mercado como en el caso de los modelos de 1996 y 2007
- Comparado con la situación de 1974 se tiene que la clase de Muy Alta aptitud en el 2007 presenta una disminución en su superficie (de 54% a 34%), mientras las demás categorías presentan un aumento en su extensión.
- El cambio de cobertura de bosque a cultivo de aguacate de 1974 al 2007 se realizó en las clases de aptitud Alta, Moderada y Muy Alta, principalmente, debido a que las condiciones naturales y socioeconómicas que se encuentran en el territorio ocupado por muchas de las áreas de bosque son también las que los agricultores locales consideran como óptimas para el cultivo.

En cuanto a las recomendaciones se refiere se hacen a partir de dos aspectos:

ASPECTO TÉCNICO

- El modelo puede ser sensible a la cantidad de relaciones espaciales que se utilicen en el análisis, ya que una cantidad menor o mayor de estas puede dar como resultado una distribución espacial diferente de la aptitud territorial. Sin embargo, se cree que las relaciones empleadas son las más importantes en el caso del cultivo del aguacate, según se deriva de las pláticas con los agricultores locales cuando se realizaron las encuestas. Sería interesante experimentar en qué medida se modifican los resultados



si se usan submodelos, tomando grupos de parámetros solamente (fisiográficos, climáticos y socioeconómicos) de manera aislada.

- El modelo no muestra zonas donde el cultivo en cuestión tenga más rendimiento, solo muestra aquellas zonas que ofrecen las mejores condiciones para el óptimo desarrollo del cultivo. Sería muy conveniente comparar los rendimientos de los cultivos con las clases de aptitud determinadas por el modelo AGRILocal y así dar mayor certeza a los resultados del modelo o indicar el origen de las posibles discrepancias.
- El cambio en la escala, la extensión del área de estudio, pueden hacer que los resultados obtenidos con el modelo resulten ser diferentes, aunque se cuidó de eliminar el efecto límite tomando para los análisis una zona ligeramente más extensa que la que se presenta en los mapas resultado
- La calidad de los datos también afecta los resultados obtenidos, es por eso que se recomienda trabajar siempre con datos de buena calidad, aunque esto también depende de la disponibilidad de los mismos. En este sentido aunque se contó con información suficiente, esta no tenía la calidad que se hubiera deseado, como por ejemplo, los mapas de uso del suelo se obtuvieron por medio de fotografías aéreas, la ortorectificación no es exactamente la misma en todas ellas por lo que hay discrepancias que se deben a errores de posición y no propiamente a cambios reales, lo que introduce un factor de error mínimo en los resultados del estudio. Asimismo, la información de caminos no es completa ni corresponde exactamente a las fechas empleadas en el análisis, especialmente para el modelo de 1996, por lo que esto también puede ser fuente de errores en los resultados. La recomendación es que en la medida de lo posible se empleen datos de los parámetros de fechas cercanas o similares, excepto quizá aquellos cuya tasa de cambio es mínima (e.g. pendiente del terreno)

ASPECTO DE LA APTITUD TERRITORIAL

- Como se logró observar en el modelo AGRILocal 74-07, las zonas de aptitud óptimas para el cultivo (clases de aptitud Muy Alta y Alta) ya están



siendo utilizadas en su mayoría por este, en un 87 y 62% de la superficie respectivamente, por lo que las zonas con mayor potencial son ya escasas sobre todo por la competencia del crecimiento de los asentamientos humanos y la expansión de otros frutales por las mismas áreas, en el área de estudio. Ante esta situación sería muy prudente el tratar de implementar estrategias más efectivas de producción tales como las que propone Sánchez (2007) y Sánchez (2008), quienes manejan actividades tales como establecer otros cultivos que sean compatibles con el aguacate con miras a combatir el monocultivo, así como el manejo o establecimiento de huertos orgánicos.

- La continua degradación de los recursos naturales de la zona, especialmente los forestales, hacen que las condiciones óptimas para el desarrollo del aguacate, se estén degradando paulatinamente (Ramírez-Sánchez, 2005), donde de no tomar medidas adecuadas para mitigar esta situación, se puede llegar a un colapso del cultivo, ocasionado por la falta de un entorno adecuado. Muestra de este deterioro es el que marca Fuentes (2000), donde a consecuencia de la tala inmoderada de bosques para instalar huertos de aguacate, han ocasionado que los cauces de los ríos permanezcan secos la mayor parte del año y aunado a esto se tiene que la demanda de agua por parte de los árboles de aguacate es muy grande (536, 570 litros por hectárea al año, AALPAU, 2004).
- Es necesario hacer un esfuerzo por establecer una legislación ambiental con una normativa razonada y coherente, que establezca los principios para llevar a cabo el cultivo de aguacate de una manera sustentable y que a la vez permita la conservación, protección y restauración de los recursos aun existentes en la zona de estudio.
- De igual forma una vez que entre en vigor la nueva categoría de la ANP sería muy conveniente que cualquier intento de ordenación del territorio, se tome en cuenta todos y cada uno de los criterios y lineamientos de regulación ecológica que se formulen para el área, esto con la finalidad de



evitar problemas con los usuarios locales de los recursos naturales y las autoridades competentes.

La conclusión general del presente trabajo es que si bien el modelo AGRILocal es muy útil para determinar adecuadamente la aptitud del territorio para un cultivo desde la perspectiva de los agricultores locales, esta perspectiva no necesariamente es la más correcta desde otros puntos de vista. Aunque es cierto que de acuerdo con el modelo investigado, las zonas de cultivo de aguacate se encuentran en un 75 % dentro de zonas con aptitud territorial óptima, también es cierto que mucha de esta localización óptima ha sido a costa de la pérdida de zonas forestales, por lo que el modelo tendría que incluir consideraciones de protección al medio ambiente que actúen como reductores de la aptitud del territorio. Claro que esta modificación debería incorporarse ya no como parte de lo que el modelo AGRILocal intenta expresar, la perspectiva de los agricultores, sino como consideraciones locales externas a dicha perspectiva.

De cualquier manera, el modelo fue muy útil para determinar que dado que muchas áreas de cubierta forestal se encuentran en zonas que los agricultores de aguacate consideran con características de Muy Alta y Alta aptitud para este cultivo, es muy probable que la expansión del cultivo continúe sobre dichas áreas con el subsecuente incremento en la pérdida de cubierta forestal, por lo que esta información es muy útil como argumento para determinar políticas y acciones de desarrollo sostenible del cultivo que no impliquen esta pérdida. También la información proporcionada por el modelo AGRILocal sugiere que la expansión del cultivo se está dando, aunque en menor medida, sobre áreas cuya aptitud territorial es subóptima, lo que es más grave que en el caso anterior, y por razones puramente de mercado, por lo que esta información debiera servir para definir en donde definitivamente no se debe permitir la expansión del cultivo.

Dado los buenos resultados obtenidos de la aplicación del modelo AGRILocal en esta investigación, se estima deseable su aplicación en el resto de las regiones en el estado de Michoacán en donde el cultivo del aguacate es de



gran importancia para las economías locales, puesto que de seguir expandiéndose indiscriminadamente puede ocasionar un deterioro ambiental tal que origine la insustentabilidad de esta actividad en el Estado.



6.3. ANEXOS

ENCUESTA.

OBJETIVO: “CONOCER LAS VARIABLES MÁS IMPORTANTES PARA LA EXPANSIÓN DEL CULTIVO DE AGUACATE, DE ACUERDO A LAS PRÁCTICAS SUSTENTABLES DE MANEJO DEL PAISAJE CONSIDERADAS COMO PREFERIBLES O ACEPTABLES POR LOS PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE, EN LA REGIÓN DEL PICO DE TANCÍTARO, MICHOACÁN, MÉXICO”

Nombre _____ Localidad _____
Fecha _____

1.- Parámetros relevantes para la expansión del cultivo del aguacate

A.- De los siguientes factores ¿Cuales considera que son importantes para sembrar aguacate?

1.- Altitud	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
2.- Pendiente	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
3.- Humedad del Suelo	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
4.- Orientación de Laderas	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
5.- Tipo de Suelo	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
6.- Lluvia	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
7.- Clima frío	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
8.- Clima caluroso	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
9.- Cercanía a Cultivo de maíz	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
10.- Cercanía a Bosque Abierto	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
11.- Cercanía a Bosque Cerrado	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
12.- Cercanía a Pastizales	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
13.- Cercanía a Poblaciones	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
14.- Cercanía a Caminos	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>

OBSERVACIONES

2.- Características de los parámetros que se Prefieren para la expansión del cultivo del aguacate

A.- De los parámetros que menciono como importantes podría mencionar ¿Qué características de estos prefiere para sembrar aguacate?

1.- Altitud	En el cerro	<input type="text"/>
	En la ladera del cerro	<input type="text"/>
	En la falda del cerro	<input type="text"/>
2.- Pendiente	Plano	<input type="text"/>
	Ligeramente inclinado	<input type="text"/>
	Moderadamente inclinado	<input type="text"/>
	Inclinado	<input type="text"/>
	Muy inclinado	<input type="text"/>
3.- Humedad del Suelo	Seco	<input type="text"/>
	Húmedo	<input type="text"/>



	Muy húmedo	<input type="text"/>
4.- Orientación de Laderas	Norte	<input type="text"/>
	Sur	<input type="text"/>
	Este	<input type="text"/>
	Oeste	<input type="text"/>
5.- Tipo de Suelo	Topuri (Andosol)	<input type="text"/>
	Otro	<input type="text"/>
6.- Lluvia	Muy lluvioso	<input type="text"/>
	Lluvioso	<input type="text"/>
	Poco lluvioso	<input type="text"/>
7.- Temperatura Mínima	Muy frío	<input type="text"/>
	Frío	<input type="text"/>
	Templado	<input type="text"/>
8.- Temperatura Máxima	Muy caluroso	<input type="text"/>
	Cálido	<input type="text"/>
	Templado	<input type="text"/>
9.- Cercanía a Cultivo de Maíz	Retirado	<input type="text"/>
	Cerca	<input type="text"/>
	Muy retirado	<input type="text"/>
10.- Cercanía a Bosque Abierto	Retirado	<input type="text"/>
	Cerca	<input type="text"/>
	Muy retirado	<input type="text"/>
11.- Cercanía a Bosque Cerrado	Retirado	<input type="text"/>
	Cerca	<input type="text"/>
	Muy retirado	<input type="text"/>
12.- Cercanía a Pastizales	Retirado	<input type="text"/>
	Cerca	<input type="text"/>
	Muy retirado	<input type="text"/>
13.- Cercanía a Poblaciones	Cerca	<input type="text"/>
	Retirado	<input type="text"/>
	Muy retirado	<input type="text"/>
12.- Cercanía a Caminos	Cerca	<input type="text"/>
	Retirado	<input type="text"/>
	Muy retirado	<input type="text"/>

OBSERVACIONES

3.- Grado de importancia de cada Parámetro.

A.- De los parámetros que menciono como importantes podría mencionar ¿Cuáles son los más importantes para sembrar aguacate en una escala de 0 a 1? Donde 1 es el valor más alto de importancia y 0 el de menor importancia.



Parámetro	Grado de Importancia
1.- Altitud	<input type="text"/>
2.- Pendiente	<input type="text"/>
3.- Humedad del Suelo	<input type="text"/>
4.- Orientación de Laderas	<input type="text"/>
5.- Tipo de Suelo	<input type="text"/>
6.- Lluvia	<input type="text"/>
7.- Clima frío	<input type="text"/>
8.- Clima caluroso	<input type="text"/>
9.- Cercanía a Cultivo de maíz	<input type="text"/>
10.- Cercanía a Bosque Abierto	<input type="text"/>
11.- Cercanía a Bosque Cerrado	<input type="text"/>
12.- Cercanía a Pastizales	<input type="text"/>
13.- Cercanía a Poblaciones	<input type="text"/>
14.- Cercanía a Caminos	<input type="text"/>

OBSERVACIONES



6.2. Bibliografía

- Alonso, G., C. L. de Pablo y P. Martín de Agar. 2002.** Evaluación de los Planes de Gestión de Espacios Naturales Protegidos. Ecosistemas. 2002/3 URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/023/investigación1.htm>
- Alvarado-Díaz, J. y J. A. Campbell. 2004.** A New Montane rattlesnake (Viperidae) from Michoacán, México. Herpetologica 60(2):281-286.
- Arriaga, L., J. M. Espinoza, C. Aguilar, E. Martínez, L. Gómez y E. Loa (Coordinadores). 2000.** Regiones Terrestres Prioritarias de México. Escala de trabajo 1:1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
URL: <http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tcentro.html>
- Artaraz, M. 2002.** Teoría de las Tres Dimensiones de Desarrollo Sostenible. Ecosistemas. 2002/2 URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/022/informe1.htm>
- Asociación Agrícola Local de Productores de Aguacate de Uruapan (AALPAU). 2004.** URL: <http://aproam.com/culti9.htm#3>
- Ávila-Baray, H. L. 2006.** Introducción a la metodología de la investigación. Edición electrónica. Texto completo en www.eumed.net/libros/2006c/203/
- Bindi, M. 2003.** Modelo CROPSYST. Dip. Di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agroforestales-Università degli Studi di Firenze.
- Bocco, G. y H. Riemann. 1997.** "Quality assessment of polygon labeling". Photogrammetric Eng. Remote Sensing 63 (4): 393–395.
- Bocco G., M. Mendoza y O. Maserà. 2001.** La Dinámica del Cambio de Uso del Suelo en Michoacán. Una Propuesta Metodológica para el Estudio de los Procesos de Deforestación. Investigaciones Geográficas. 44:18-38.
- Bocco, G., A. Priego y H. Cotler. 2005.** La geografía física y el ordenamiento ecológico del territorio. Experiencias en México. Gaceta Ecológica. INE. 76:23-34.
- Caballero, A., J., R. 2007.** La producción de aguacate en Michoacán. Desarrollo Rural Sustentable del Estado de Michoacán, Volumen 1. Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán. Morelia, Mich. 51 pp.



Comisión Nacional de Zonas Áridas/SEDESOL/FAO. 1994. Conceptos y criterios Ecológicos. Plan de Acción para Combatir la Desertificación en México. PACDMÉXICO. México, D. F. 160 pp.

Christian, C.S. & G. A. Stewart. 1968. Methodology of integrated surveys. Pp. 233-280. In: P. Rey (ed) Aerial surveys and integrated studies. Proc. Toulouse Conf. 1964: UNESCO, Paris.

Deagostini Routin, D.1984. Introducción a la Fotogrametría. Centro Interamericano de Fotointerpretación. Bogotá Colombia. 267 pp.

De la Rosa D., Mayol F., Díaz-Pereira E., Fernández M., D. de la Rosa Jr. 2004. A land evaluation decision support system (MicroLEIS DSS) for agricultural soil protection with special referente to the Mediterranean region. Environmental Modelling and Software 19: 929-942.

Dirzo, R. y O. Maser. 1996. Clasificación y Dinámica de la Vegetación en México. Centro de Ecología-UNAM. (draft).

Durand P., V. y L. Durand. 2004. Valores y actitudes sobre la contaminación ambiental en México. Reflexiones en torno al posmaterialismo. Revista Mexicana de Sociología. 66(3):511-535.

FAO. 1976. A framework for land evaluation. Soils Bulletin 32. FAO, Roma.

Fuentes^a, J., J. J. A. 2000. Cuencas y Áreas Naturales Protegidas: El Manejo Integrado de los Recursos Naturales en el Pico de Tancítaro, Michoacán. Gaceta Ecológica, INE-SEMARNAP. México D. F. 64:33-46.

Fuentes^b, J., J. J. A. 2000. Evaluación del Deterioro en Áreas Naturales Protegidas. Un Enfoque Geomorfológico. El caso del Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. Tesis de Maestría en Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México, México DF. 98 pp.

García, R. I., V. J. Nava, R. R. E. Flores, B. M. Cházaro, N. J. A. Machuca y N. E. del Río. 2002. Flora del Parque Nacional Pico de Tancítaro, Michoacán. Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente/Gobierno del Estado de Michoacán/Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (IPN)/CONABIO. Edicolor Digital, S. A. de C. V. Primera Edición. Morelia, Michoacán. México. 135 pp.



- García, E. 1981.** Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Tercera Edición. Offset Larios, S. A. México, D. F. 252 pp.
- Garibay, O. G. y G. Bocco. 2000.** Legislación Ambiental, Áreas Protegidas y Manejo de Recursos en Zonas Indígenas Forestales. El caso de la Microregión del Pico de Tancítaro, Michoacán. Informe Técnico Final. PROFEPA-SEMARNAP. México 247 pp.
- Hanson, R. H. 1958.** Observation and Explanation: A Guide to Philosophy of Science. Patterns of Discovery. And Inquiry into the Conceptual Foundation of Science. Cambridge: University Press.
- Henry, G., J. y G. W. Heinke. 1996.** Ingeniería Ambiental. Segunda Edición. Editorial Prentice Hall. México, D. F. 761 pp.
- Igartua, J.J. y M.L., Humanes. 2004. El método científico aplicado a la investigación en comunicación social. Aula Abierta. Lecciones Básicas. <http://www.portalcomunicación.com>
- INIFAP. 1993.** Determinación del potencial productivo de especies vegetales en México. El estado de Michoacán. Memorias. VI Reunión Científica y Técnica. Forestal y Agropecuaria. p. XIX- XXIV.
- Kummer, D.M. y B.L. Turner II, 1994.** The human causes of deforestation in Southeast Asia. BioScience 44(5): 323-328.
- Palacios L., J. J. 1983.** El concepto de región: la dimensión espacial de los procesos sociales. Revista Interamericana de Planificación. 17(66):11-23.
- Lambin, E. F. 1994.** Modeling Deforestation Processes. A Review. Tropical Ecosystem Environment Observations by Satellites (TREES). Trees Series: Research Report No. 1. Publicado por la Comisión Europea, Luxemburgo. 113 pp.
- **1997.** Modeling and Monitoring Land-Cover Change Processes in Tropical Regions. Progress in Physical Geography. Washington, D. C. 21(3):375 – 393 pp.
- Leff, E. 1993.** La Dimensión Cultural del Manejo Integrado, Sustentable y Sostenido de los Recursos Naturales. In: Leff, E. y J. Carabias. 1993. Cultura y Manejo Sustentable de los Recursos Naturales. Vol. 1. Centro de Investigaciones



Interdisciplinarias en Humanidades-UNAM. Grupo Editorial Miguel Ángel Porrúa. México D. F. 278 pp.

López-Granados, E. M. 1999. Cambio de Uso del Suelo y Crecimiento Urbano en la Ciudad de Morelia. Tesis de Maestría en Conservación y Manejo de los Recursos Naturales. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 134 pp.

Madrigal Sánchez, X. 1997. Ubicación Fisiográfica de la Vegetación en Michoacán, México. Rev. Ciencia Nicolaita. Morelia, Michoacán. México.15:65-75.

Morales, L.M. 2007. The definition of a minimum set of spatial relationships. Tesis de Doctorado (no publicada). Facultad de Filosofía y Letras, UNAM.

Morales-Manilla, L. M. 2007. Using spatial relationships to estimate the availability of farmland according to local practices: the AGRILLOCAL model. Agricultural Systems. Unpublished Paper.

Ortega, J. 2003. Los Horizontes de la Geografía. Teoría de la Geografía. Editorial Ariel S. A. Barcelona, España.

Ramírez-Sánchez, L. G. 2005. Modelos de manejo de los recursos naturales en la cuenca Chondo del Pico de Tancítaro, Michoacán, México. Tesis de licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 112 pp.

Riquier, J., D. L. Bramao y I. L. Cornet. 1970. A new system of soil appraisal in terms of actual and potential productivity. FAO AGLTERS 70:6.

Rossiter, D. G., A. Jiménez y A. Van. 1995. Sistema Automatizado para la Evaluación de Tierras, ALES. Manual para Usuarios. Versión 4.5 en Español. Cornell University, Department of Soil, Crop & Atmospheric Sciences. Ithaca, NY USA 16 pp.

Rossiter, D.G.1996. A Theoretical Framework for Land Evaluation (with Discussion). Geoderma, 72:165-202

Rosette, V., F. A. 1998. Diseño de una base de datos para su aplicación en la evaluación de tierras de la Comunidad de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Tesis de maestría. Facultad de Biología-UMSNH. Morelia, Michoacán, México.



- Ruíz-Corral J.A. y G. Medina-García. 1993.** Como pronosticar la fenología del guayabo en los estados de Zacatecas y Aguascalientes. Folleto Técnico No. 6. INIFAP. C.E. Los Cañones. Huanusco, Zacatecas. 23 pp.
- Rzedowski, J. 1978.** Vegetación de México. Ed. Limusa. 432 pp.
- Ruíz-Corral J.A., G. Medina-García, I.J. González-Acunña, C. Ortiz-Trejo, H.E. Flores-López, R.A. Martínez-Parra, y K.F. Byerly-Murphy. 1999.** Requerimientos agroecológicos de cultivos. SAGAR. INIFAP. CIRPC. Libro Técnico No. 3. Guadalajara, Jalisco, México. 324 p.
- Sánchez, G., P. 2008.** Producción orgánica de aguacate. Manejo sustentable del suelo. SAGARPA. Fundación PRODUCE Michoacán. 83 pp.
- Sánchez-Pérez J. de la L., J.J. Alcántara-Rocillo, V.M. Coria-Avalos, I. Vidales-Fernández, J.L. Aguilera-Montañez, J.A. Vidales-Fernández L.M. Tapia-Vargas, y G. Hernández-Ruíz. 2001.** Tecnología para producir aguacate en México. SAGARPA. INIFAP. Campo Experimental Uruapan. Libro técnico No. 1.
- Sánchez, P. A., W. Couto, & S. W. Buol. 1982.** The fertility capability soil classification system: interpretation, applicability and modification. Geoderma 27(4): 283-309.
- Sánchez, E. J. F. 2000.** Uso del Suelo y Evaluación de la Aptitud de Tierras en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. México. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural Regional. Universidad Autónoma Chapingo. México, D. F. 155 pp.
- Sánchez, R., G. 2007.** El cluster del aguacate de Michoacán. Fundación PRODUCE Michoacán. Alianza para el Campo. 421 pp.
- Scattolin, M. 1996.** Studio Geologico e Morfometrico del Settore Centro Occidentale della Meseta Tarasca, Michoacán, México. Tesi di Laurea. Università degli Studi di Milano/Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (México). Milano, Italia. 136 pp.
- Servicios Unidos en Materia Agrícola A.C. 2006.** Reporte de Resultados de la Primera etapa del Proyecto: "Estimación Probabilística de Cosecha de Aguacate Hass en la Región Productora de Michoacán. Boletín Informativo, El Aguacatero



No. 50. Asociación Agrícola Local de Productores de Aguacate de Uruapan, Michoacán. <http://www.aproam.com/boletines/aguacatero.html>

Skole, D.L., H. Chomentowski, W.A. Salas y A. D. Nobre. 1994. Physical and human dimensions of deforestation in Amazonia. *BioScience* 44(5): 314-322.

Smith, M. 1993. CROPWAT. Programa de ordenador para planificar y manejar el riego. Estudio FAO, Riego y Drenaje No. 46, Roma, Italia. 134 pp.

Steffen, R., C., y F. Echánove H. 2003. Los pequeños productores de aguacate del ejido y la comunidad de San Francisco Peribán, Michoacán. *Cuadernos Geográficos*. Granada España. 33:133-149.

Storie R. E., 1970. Manual de Evaluación de Suelos. UTEHA Ed. México, 225 pp.

Storie, R. E. 1976. Storie index soil rating (revised). Special Publication Division of Agricultural Science, University of California, Berkeley.

Tapia-Vargas L.M., J.A. Ruíz, V. Muñoz, L. Tiscareño, E. Venegas, C. Sánchez, R. Molina y X. Chávez. 1995. Áreas potenciales para el cultivo de cucurbitáceas en el proyecto de riego Chilatán de Tepalcatepec, Mich. *TERRA*. 13(3): 231-243.

Torres, A. y G. Bocco. 1999. Cambio de Uso de Suelo por Cultivo de Aguacate en la Meseta Tarasca, Michoacán para los años de 1970 y 1990/92. In: Bocco, G. y M. Mendoza. 1999. Evaluación de los Cambios de la Cobertura Vegetal y Uso del Suelo en Michoacán (1975-1995). Lineamientos para la Ordenación Ecológica de su Territorio. Programa SIMORELOS-CONACYT. Informe Técnico. Departamento de Ecología de los Recursos Naturales-Instituto de Ecología, UNAM. Campus Morelia, Michoacán. México. 50 pp + anexos.

Turner II, B.L., y Meyer, W.B. 1994. Global land-use and land-cover change: an overview. En: Meyer, W.B., Turner II, B.L. (Eds.) *Changes in Land use and land cover: a global perspective*. Cambridge University Press, GB, 380 pp.

USBR. 1953. Bureau of reclamation manual. Vol V. Irrigated land use, Part. 2. Land clasification. US Dept. Interior, Washington, DC.

USDA. 1983. National Agricultural Land Evaluation and Site Assessment Handbook, Washington D.C., Government Printing Office.

Verstappen, H. TH., 1977. The Use of Aerial Photographs in Geomorphological Mapping. ITC Text Book VII-5, Enschede. The Netherlands. 177 pp.



Zárate Z., R. 1995. Sistemas para la Evaluación de Tierras y su Relación con el Desarrollo Agrícola Sustentable. Centro Regional Universitario de Occidente. Dirección de Centros Regionales. Universidad Autónoma Chapingo.

Zonneveld, I. S. 1979. Land Evaluation and Land (Scape) Science. Lectures of Land (Scape) Science, Land (Scape) Survey and Land Evaluation (Pragmatic Land Classification). Textbook VII.4. ITC. Enschede. The Netherlands. 134 pp.