



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

CIGA
CENTRO DE INVESTIGACIONES
EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAISAJE QUE DETERMINAN EL USO AGRÍCOLA DE LA TIERRA EN TRES MUNICIPIOS DEL ESTADO DE MICHOACÁN

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN GEOGRAFÍA

ORIENTACIÓN EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

MANEJO INTEGRADO DEL PAISAJE

PRESENTA:

ING. RITA LIBERTAD DAME CAMPOS

DIRECTOR DE TESIS:

M.C. LUIS MIGUEL MORALES MANILLA



Morelia, Michoacán, México, 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

AGRADECIMIENTOS

Al Maestro Luis Miguel Morales Manilla, por su paciencia, comprensión y por su valiosa asesoría.

Al Maestro Antonio Navarrete, por su apoyo y disposición en parte de esta tesis.

A mis amigos, Rigel y Alberto, que estuvieron justo cuando se necesitaban.

A mi familia (Papo, mi mamá, mi hermana), que estuvieron con Camila mientras yo trabajaba en mi tesis.

A todas aquellas personas que de alguna manera siempre estuvieron en el momento preciso para brindarme su apoyo, **mil gracias!** Ya que sin su colaboración este trabajo no se hubiera concluido.

ÍNDICE

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Introducción	9
1.2 Justificación	10
1.3 Objetivo general.....	10
1.3.1 Objetivos específicos.....	10
1.4 Antecedentes	11
1.5 Marco conceptual	12
1.6 Hipótesis.....	15
CAPITULO II. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO, MATERIALES Y MÉTODOS	17
2.1. Descripción del área de estudio	18
2.1.1. Zona de Estudio.....	18
2.1.2 Geología	20
2.1.3. Fisiografía	20
2.1.4. Edafología.....	21
2.1.5. Hidrología	22
2.1.6. Clima.....	22
2.1.7. Vegetación	23
2.2. Materiales.....	23
2.3. Métodos	24
2.3.1. Interpretación de fotografías aéreas e imágenes de satélite	25
2.3.2. Fusión de imágenes.....	25
2.3.3. Mosaicos	25
2.3.3.1 Metodología para generación de mosaicos de fotografías aéreas.....	26
2.3.4. Métodos de interpolación.....	27
2.3.5. El modelo AGRILocal	28
2.3.5.1 ETAPA UNO: Identificación de las relaciones espaciales relevantes.	29

2.3.5.2. ETAPA DOS: Especificación de las funciones matemáticas que se ajustan a las distribuciones de las relaciones reales relevantes, y determinación de los umbrales que indican el grado de preferencia que los valores de cada relación representan.....	34
2.3.5.3. ETAPA TRES: Derivación de los pesos para establecer el grado de influencia de cada relación espacial en la decisión de usar la tierra con fines agrícolas.	36
2.3.5.4. ETAPA CUATRO: Aplicación del modelo.	37
2.3.6. ENCUESTAS.....	38
CAPITULO III. RESULTADOS	39
3.1. Información base generada	40
3.2. Construcción del modelo AGRILocal.....	47
3.2.1. ETAPA UNO: Identificación de las relaciones espaciales relevantes.....	47
3.2.2. ETAPA DOS: Especificación de las funciones matemáticas que se ajustan a las distribuciones de las relaciones reales relevantes, y determinación de los umbrales que indican el grado de preferencia que los valores de cada relación representan.....	53
3.2.2.1 Modelo preliminar de probabilidad de uso agrícola del territorio.	59
3.2.2.2 Modelo preliminar de aptitud territorial para el uso agrícola	61
3.2.3. ETAPA TRES: Derivar los pesos para establecer el grado de influencia de cada relación espacial en la decisión de usar la tierra con fines agrícolas.....	61
3.2.4. Aplicación del Modelo.....	62
3.2.4.1 Modelo ponderado de probabilidad de uso agrícola del territorio.....	62
3.2.4.2. Modelo ponderado de aptitud territorial para el uso agrícola.....	63
3.3. Aplicación de encuestas	66
CAPITULO IV. DISCUSIÓN	68
4.1. Discusión de mapas de cobertura vegetal y uso de suelo	69
4.2. Discusión de resultados del modelo	70
4.2.1 ETAPA UNO: Identificación de las relaciones espaciales relevantes.....	70

4.2.2. ETAPA DOS: Especificar las funciones matemáticas que indican el grado de preferencia para el uso del territorio con fines agrícolas.....	71
4.2.3. ETAPA TRES: Derivar los pesos para establecer el grado de influencia de cada relación espacial en la decisión de usar la tierra con fines agrícolas.....	73
4.2.4 Aplicación del modelo.....	73
4.3. Discusión de Encuestas	80
4.3.1. Parámetros relevantes que determinan el uso agrícola de la tierra, de acuerdo con los Agricultores de la Meseta Purépecha.	80
4.3.2. Preferencia de los valores de los parámetros de acuerdo con los agricultores de la Meseta Purépecha.	82
4.3.3. Peso de los parámetros de acuerdo con los agricultores de la Meseta Purépecha.	84
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1 Conclusiones sobre el Modelo AGRILocal de la Meseta Purépecha.....	87
5.2. Conclusiones sobre la aptitud territorial de la Meseta Purépecha	87
5.3 Conclusiones sobre el aspecto técnico del Modelo.....	88
5.4 Conclusión general.....	89
Bibliografía.....	91
Anexos	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la Meseta Purépecha dentro del estado de Michoacán y de la zona de estudio.....	19
Figura 2. Límite de la zona de estudio extendida para fines de análisis.....	20
Figura 3. Tipos de suelo en la zona de estudio.....	21
Figura 4. Procedimiento general para la elaboración de las cartografías de uso y cubierta del suelo para los años 1971 y 2007.....	41
Figura 5. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo para el año 1971.....	42
Figura 6. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo para el año 2007.....	43
Figura 7. Mapa de caminos del año 1971.....	44
Figura 8. Mapa de caminos del año 2007.....	45
Figura 9. Mapa de Precipitación media anual de la Meseta Purépecha.....	46
Figura 10. Mapa de Tenencia de la Tierra de la Meseta Purépecha.....	47
Figura 11. Mapa de muestra aleatoria de la Zona de Estudio.....	50
Figura 12. Mapa de muestra aleatoria de la Zona Agrícola.....	51
Figura 13. Función probabilística de preferencia para la relación Pendiente de la Agricultura	54
Figura 14. Función probabilística de preferencia para la relación Proximidad a la Agricultura Actual.....	54
Figura 15. Función probabilística de preferencia para la relación Caminos de la Agricultura.....	55
Figura 16. Preferencia para uso agrícola del territorio en función de la pendiente del terreno.....	56
Figura 17. Preferencia para uso agrícola del territorio en función de la proximidad a caminos.....	57
Figura 18. Preferencia para uso agrícola del territorio en función de la proximidad a tierras de cultivo.....	58

Figura 19. Probabilidad preliminar de uso agrícola del territorio derivada de las preferencias inferidas de los agricultores locales para tres relaciones espaciales (PZA, PZAC, PZAZAP).....	59
Figura 20. Aptitud territorial para uso agrícola (modelo preliminar, no ponderado).....	61
Figura 21. Probabilidad ponderada de uso agrícola del territorio, derivada de las preferencias inferidas de los agricultores locales para tres relaciones espaciales (PZA, PZAC, PZAZAP).....	63
Figura 22. Aptitud territorial para uso agrícola (modelo ponderado).....	64
Figura 23. Comparación visual de las zonas agrícolas de 1971 y la aptitud territorial para uso agrícola según el modelo AGRILLOCAL.....	65
Figura 24. Comparación visual de las zonas agrícolas de 2007 y la aptitud territorial para uso agrícola según el modelo AGRILLOCAL.....	66
Figura 25. Mapa de aptitud territorial en zonas agrícolas de 1971.....	76
Figura 26. Mapa de Aptitud Territorial en zonas agrícolas.....	77
Figura 27. Zonas con aptitud Apta y moderada que presentan suelo erosionado (malpaís).....	78
Figura 28. Gráfica de Parámetros Relevantes de acuerdo con los agricultores de la Meseta Purépecha.....	81
Figura 29. Gráfica de preferencias de rangos de los parámetros relevantes para la agricultura de la Meseta Purépecha.....	83
Figura 30. Comparativa de gráficas generadas de las encuestas a agricultores y del modelo AGRILLOCAL de la Meseta Purépecha.....	84
Figura 31. Gráfica de los pesos de los parámetros de acuerdo con los agricultores de la Meseta Purépecha.....	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de Relaciones Espaciales seleccionadas para el análisis.....	48
Tabla 2. Tabla de resultados de la relevancia de las relaciones espaciales (las relaciones relevantes aparecen resaltadas).....	52
Tabla 3. Tabla de rangos de preferencia para el modelo preliminar de Aptitud Territorial para el Uso Agrícola.....	60
Tabla 4. Tabla de pesos para los parámetros relevantes.....	62
Tabla 5. Tabla de rangos de preferencia para el modelo ponderado de Aptitud Territorial para el Uso Agrícola.....	64
Tabla 6. Tabla de cambios de cobertura vegetal y uso de suelo de 1971 a 2007.....	69
Tabla 7. Tabla comparativa entre modelos de aptitud territorial ponderado y sin ponderar..	74
Tabla 8. Tabla comparativa entre aptitud agrícola de 1971 y aptitud agrícola de 2007.....	79
Tabla 9. Tabla de relevancia de los parámetros espaciales de acuerdo con los agricultores de la Meseta Purépecha.....	82

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio investiga cómo las relaciones espaciales en el paisaje determinan la localización y posibilidades de expansión de la agricultura en la Meseta Purépecha en función de las condiciones de desarrollo socioeconómico de los agricultores y de su conocimiento de los elementos del paisaje que limitan o favorecen la actividad agrícola.

La agricultura es una de las actividades económicas más importantes de la Meseta Purépecha. Debido a las diferentes condiciones naturales de este lugar, hay una amplia variedad de cultivos. Los principales cultivos de temporal por superficie cosechada son los granos: maíz, sorgo, frijol y trigo. Las formas de producción agrícola son: agricultura de riego intensiva y moderada, la agricultura de temporal intensa y moderada, agricultura de temporal limitada y agricultura de humedad [INEGI, 2008]. Se incluye la actividad frutícola, fundamentalmente en lo referente al cultivo del aguacate, que en los últimos años se ha extendido a varios municipios de la Meseta, y la hortícola, representada por la introducción del cultivo de la papa.

Particularmente el maíz, componente esencial de las reservas y regímenes alimenticios, constituye el elemento central, aunque no el más importante desde el punto de vista de mercado, del sistema económico de producción. De hecho, es el cultivo predominante en las áreas de las laderas de la serranía [Barragán, 1999].

El enfoque de la investigación es el de la evaluación de tierras. La Evaluación de Tierras está definida como el proceso de valoración de la tierra cuando ésta se usa para propósitos específicos [FAO, 1976]. Uno de los objetivos de la evaluación de tierras es determinar el mejor manejo y las medidas a implementar para cada tipo alternativo de uso del suelo [Mendoza *et al*, 2008]. En este estudio, se realizará una evaluación de tierras, tanto para evaluar la aptitud de la actividad agrícola existente cómo para determinar la posibilidad de expansión de la agricultura, utilizando el modelo AGRILocal [Morales, 2008]. Este es un modelo basado en los conceptos de relevancia, preferencia e influencia local de las relaciones espaciales entre la actividad agrícola y diversos elementos del paisaje, según la percepción de los agricultores.

Este trabajo considera a la agricultura de forma general, como actividad agrícola, dada la extensión del área de estudio y de la escala de análisis, así como de la representación cartográfica, ya que se trabajó en un nivel regional, lo cual permite observar procesos y patrones espaciales a la escala de la actividad económica más que a la escala de un solo cultivo.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Debido a la importancia de la agricultura en la Meseta Purépecha, y a que la cantidad de tierra disponible para este fin en la región es cada vez más reducida, surge la necesidad de identificar las condiciones que determinen si las tierras agrícolas utilizadas actualmente son las adecuadas, y si hay disponibilidad de tierra nueva que pueda dedicarse a esta actividad. Conocer la cantidad y el tipo de tierra disponible para la agricultura es esencial para satisfacer necesidades económicas a corto plazo y es de alto valor estratégico para el desarrollo sostenible.

1.3. OBJETIVO GENERAL

Identificar y caracterizar las relaciones espaciales en el paisaje que determinan la localización y posibilidad de expansión de la agricultura en la Meseta Purépecha, desde una perspectiva local.

1.3.1. Objetivos específicos

- Identificar los factores sociales, económicos y ambientales que inciden significativamente en la selección de tierras para uso agrícola por parte de los agricultores locales.
- Caracterizar la aptitud del territorio actualmente bajo explotación agrícola desde la perspectiva de los factores locales identificados.
- Estimar la superficie potencial más apropiada para la expansión de tierras agrícolas, de acuerdo a las relaciones espaciales de la agricultura en el paisaje, consideradas como preferibles o aceptables por los agricultores locales.

1.4. ANTECEDENTES

Entre las numerosas investigaciones que se han realizado en la Meseta Purépecha en los últimos años, destacan estudios históricos, antropológicos, y ambientales, entre otros, que hacen ver a las prácticas agrícolas como primordiales en la región.

Actualmente, algunos procesos del desarrollo regional tales como la pavimentación de carreteras, el desarrollo de la explotación industrial de la madera, y la llegada de productos industriales a los mercados de consumo, han afectado a la agricultura de la Meseta, desplazando al mercado regional campesino, debilitando la economía de las comunidades y mostrando fuertes cambios en el paisaje, especialmente con la expansión del cultivo del aguacate y la explotación industrial de los bosques [Garibay y Bocco, 2007].

Lo anterior está ocasionando fundamentalmente que la disponibilidad de la tierra adecuada para la agricultura disminuya rápidamente y las tierras agrícolas existentes se degraden o se utilicen para otros propósitos.

Los estudios convencionales de disponibilidad y aptitud de la tierra intentan definir los niveles de capacidad de la misma para mantener los cultivos, así como también determinar cuanta tierra nueva se puede asignar a la agricultura. En este tipo de estudios la capacidad de la tierra se puede estimar considerando varios parámetros biofísicos con las metas implícitas de encontrar la tierra en donde la cosecha rinde más o donde la agricultura puede ser sostenible.

Klingebiel y Montgomery (1961) propusieron un sistema de evaluación de suelos para usos generales por medio de clases agrológicas.

La FAO diseñó un procedimiento que describe las actividades que se deben llevar a cabo para una evaluación de tierras que se enfoca en los tipos de uso de la tierra y sus cualidades [FAO, 1976].

Douglas Helms (1992) realizó un análisis del desarrollo de la clasificación de capacidad de la tierra en términos de la erosión del suelo.

Rossiter (1996) realizó un marco teórico para la evaluación de tierras en donde hace una clasificación de modelos temporales, espaciales, estáticos y dinámicos y sugiere la aplicación de algún modelo de acuerdo a objetivos específicos.

La metodología sobre Zonificación Agro-ecológica de la FAO, define zonas en base a combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas, con la finalidad de identificar las potencialidades o limitaciones de cada una, para incrementar la producción o limitar la degradación de los recursos [FAO, 1997].

Indudablemente, los estudios convencionales de capacidad de la tierra y agroecológicos son útiles para el planeamiento de la agricultura, sin embargo, se considera que es también muy importante tener en cuenta la valoración, favorable o desfavorable, de las condiciones del desarrollo y ambientales, que se encuentran implícitas en las prácticas locales de los agricultores, las que, comúnmente, se desconocen o son ignoradas, y que en algunos casos impiden la puesta en práctica directa de los resultados de dichos estudios. No existe ningún estudio disponible de esta naturaleza para la región objeto de esta investigación.

Como una alternativa, que debe ser tomada como complementaria, a los estudios antes mencionados, podemos modelar las condiciones locales en que se ha desarrollado la agricultura tomando en cuenta el conocimiento de los agricultores de la región, e implícitamente los factores socioeconómicos y ambientales locales, reflejados en los patrones espaciales de la actividad.

1.5. MARCO CONCEPTUAL

Esta investigación está enmarcada principalmente por aspectos de evaluación de tierras y de relaciones espaciales, definiendo por un lado la evaluación de tierras como "la evaluación del rendimiento de la tierra cuando es utilizada con fines específicos, la cual incluye la ejecución e interpretación de aspectos en términos de requerimientos de usos de la tierra considerando los más relevantes de la zona en cuestión, dentro de los contextos físico, económico y social" [FAO, 1976].

Las relaciones espaciales se pueden definir como las representaciones de interacciones espaciales reales o potenciales entre eventos espaciales, siendo éstos últimos una concentración de materia organizada y conceptos en el espacio [Morales, 2011].

La realización de actividades económicas, entre ellas la agrícola, siempre busca condiciones ideales para su localización y desarrollo. Sin embargo, las condiciones que podrían considerarse como "ideales" para la realización de actividades agrícolas, ya sea que estén derivadas de experimentos agrológicos o de teoría agronómica, no siempre son adecuadas para predecir donde la agricultura puede ser lograda con éxito. Esto puede ser debido a una o varias de las razones siguientes [Morales, 2008]:

- a) Conocimiento incompleto en todas las condiciones ideales requeridas para un cultivo específico.
- b) La información experimental o teórica puede ser válida para un número limitado de ambientes naturales y condiciones de desarrollo socioeconómico.
- c) El uso del conocimiento de los agricultores sobre las condiciones ambientales y sociales preferibles para la práctica local de la agricultura se descuida a menudo, privilegiando— al conocimiento teórico/experimental en condiciones biofísicas controladas.
- d) Las condiciones ideales usadas como parámetros en un modelo predictivo pueden ser conjeturas solamente sobre qué se piensa o estima que es adecuado o deseable para que se lleve a cabo la agricultura, pero no ajustarse a las condiciones verdaderas bajo las cuales los agricultores locales realizan realmente la actividad.
- e) Los modelos predictivos pueden ser completos, exactos y ajustados a la realidad, pero la información sobre los parámetros del modelo puede no ser suficiente, no estar disponible, o no estar actualizada.
- f) Las condiciones ideales pueden implicar el uso de prácticas, que a pesar de ser eficaces, eficientes, y equitativas, sean difíciles de aplicar en la realidad debido a la

resistencia de los agricultores locales a cambiar sus propias prácticas, o porque representan una carga a su economía, o cambios radicales en su forma de vida.

Haciendo énfasis en la razón *c*, puede agregarse que las condiciones espaciales locales en las que se desarrolla la agricultura, tales como proximidad a los mercados (autoconsumo o comercial), proximidad a los caminos, proximidad a los establecimientos humanos, proximidad a otras áreas con la agricultura, coincidencia con ciertos tipos de suelo, preferencias locales por la inclinación del terreno y la orientación del terreno, etc.; son a menudo desconocidas o ignoradas en estudios convencionales de capacidad o aptitud agrológica del territorio.

En agricultura, como en otras actividades económicas, hay una diferencia entre lo que se debe hacer teóricamente para realizar eficientemente la actividad y lo que se hace realmente. Estas diferencias se derivan de la experiencia, el conocimiento, la cantidad y la calidad de la información que los agricultores pueden tener cuando toman decisiones para realizar prácticas agrícolas, pero también de las condiciones de desarrollo bajo las cuales ocurre la actividad, específicamente en lo que respecta a los niveles del acceso a recursos, y las restricciones socioeconómicas y ambientales que existen en un lugar.

Una porción importante del conocimiento espacial de los agricultores sobre las condiciones bajo las cuales la agricultura se desarrolla en un lugar o región, se puede inferir y extraer de mapas e imágenes de percepción remota, es decir de los patrones de la distribución de la actividad, incluyendo los históricos.

Las condiciones sociales y económicas adversas del desarrollo regional, la ausencia de infraestructura, la falta de acceso a la tecnología, y las condiciones ambientales pueden obstaculizar la actividad agrícola. Estas condiciones pueden variar de un lugar a otro, y esto se ve reflejado en el patrón espacial de la agricultura en un lugar o región específica.

Las imágenes captadas por satélites y aeronaves se han utilizado ampliamente para obtener información de los patrones de actividades económicas y por medio del uso de la tecnología de información geográfica moderna, principalmente de los sistemas de información geográfica (SIG), es posible extraer conocimiento de dicha información. En particular, la

información sobre las relaciones espaciales entre la agricultura y otros elementos del paisaje en la región, es de gran importancia.

De acuerdo con Morales (2011) existen 9 tipos básicos de relaciones espaciales: proximidad, orientación, exposición, adyacencia, inclusión, coincidencia, conectividad, agregación espacial y asociación espacial. Estos tipos de relaciones espaciales pueden utilizarse para indicar interacciones espaciales existentes o interacciones deseables entre los eventos geográficos que componen un sistema agrícola dentro del paisaje.

El modelo AGRILocal utiliza un enfoque basado en estas relaciones para conocer primero cuáles de ellas son relevantes localmente y qué valores son preferidos por los agricultores, para luego utilizar este conocimiento en la evaluación del territorio con fines agrícolas y la estimación de la disponibilidad de la tierra, en donde los parámetros del modelo son relaciones espaciales que representan prácticas agrícolas locales.

1.6. HIPÓTESIS

- El modelo AGRILocal asume que el conocimiento experto de los agricultores está contenido en el patrón espacial actual e histórico de la actividad agrícola. Este conocimiento, que refleja las condiciones socioeconómicas y ambientales bajo las que ha ocurrido la agricultura, se emplea para realizar la actividad de la mejor manera posible, dado un conjunto de limitantes y de factores favorables locales.
- En este contexto, se asume también que las prácticas del agricultor contienen de alguna manera una medida de la sustentabilidad de la agricultura. Esta sustentabilidad implícita incluye condiciones ambientales así como factores y limitantes socioeconómicos. Es decir, los agricultores siembran comúnmente en los lugares donde perciben o conocen que el cultivo tienen probabilidades de éxito.
- Las relaciones espaciales pueden ser usadas como indicador de las condiciones limitantes, favorables y de sustentabilidad de la actividad agrícola. Por ejemplo, las relaciones de la proximidad de la agricultura a caminos o a los asentamientos humanos reflejan claramente criterios económicos y sociales, mientras que otras

relaciones espaciales, tales como coincidencia de la actividad con ciertos tipos de suelos o la preferencia de una gama particular de la pendiente del terreno, se ligan a criterios ambientales.

- Es posible evaluar la aptitud del territorio de acuerdo con la relevancia que estas relaciones tienen para los agricultores locales, y los niveles de preferencia para cada relación, obtenidos de la distribución de frecuencias de los valores que adoptan estas relaciones en mapas.
- En la región de estudio, varios factores, principalmente económicos, han influido para que los agricultores realicen sus prácticas agrícolas en terrenos que no son aptos para este fin, muy probablemente ocasionando deterioro ambiental y disminución de productividad de sus cultivos.

CAPITULO II. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO, MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.1.1. Zona de Estudio

Michoacán tiene alrededor de 60,000 km², sus tierras se van desde el nivel del mar hasta los 3870 m. del Cerro de Tancítaro, que es el punto más alto del estado.

El territorio que actualmente se conoce como Región Purépecha está ubicado en la parte noroccidental del Estado de Michoacán, en una franja del Sistema Volcánico Transversal. Alrededor de 110 comunidades en las que se asientan los Purépechas contemporáneos forman parte de un total de 21 municipios.

La Meseta Purépecha, en particular, forma parte de esta región con otras tres subregiones más como la cuenca lacustre de Pátzcuaro, la Ciénega de Zacapu y el valle del río Duero, regionalmente conocido como la Cañada de los Once Pueblos. Abarca la porción mayor de la región, y se extiende desde el lago de Patzcuaro, hasta las cercanías de Zamora y Los Reyes, de oriente a poniente, y por el Sur se amplía hasta los interiores de la Cuenca del Balsas y del Tepalcatepec, y por el norte con las regiones de Zamora y Zacapu [Franco, 1997].

Estas subregiones se caracterizan por tener un suelo volcánico altamente poroso, que da lugar a una gran permeabilidad del terreno a las aguas pluviales el cual está cubierto de bosques y parcelas agrícolas [Dietz, 1999].

La Meseta Purépecha se ubica geográficamente entre los 101° 45' y 102° 20', 19° 30' y 19° 55' latitud norte. Su altitud promedio en las partes planas es de 2,300 metros sobre el nivel del mar (msnm) y en las porciones montañosas alcanza los 3,300 msnm. Está comprendida dentro de las zonas más altas del estado de Michoacán [Ávila, 1996]. Esta característica topográfica es la que ha hecho que se le llame Meseta, ya que su altitud es mayor a la que se tiene en los alrededores.

Para este trabajo se toma en cuenta el territorio ocupado por los municipios de Paracho, Cherán y Nahuatzen, como la zona de estudio de interés. (Figura 1)



Figura 1. Localización de la Meseta Purépecha dentro del estado de Michoacán y de la zona de estudio.

Tomando como base el límite municipal, se generó una zona de estudio extendida adecuada para los fines de análisis espacial de las relaciones. Este límite consiste en un polígono de proximidad o *buffer*, trazado a 5 km a partir del límite externo de los municipios considerados (Figura 2). Este límite ampliado de la zona de estudio es necesario para minimizar los efectos indeseables de lo que se conoce en análisis espacial como "*edge effect*" o efecto de borde, y que ocasiona que los valores de los fenómenos o relaciones bajo investigación, que dependen en alguna manera de la proximidad entre eventos espaciales, sea incorrecta por no tomar en cuenta a aquellos eventos localizados fuera pero en las proximidades de la zona de estudio.

En esta etapa del estudio es importante señalar que el polígono de proximidad estuvo condicionado a la disponibilidad de las fotografías aéreas. En la figura 2 se puede observar que, aún cuando se generó un *buffer* regular a partir de los límites municipales, no se logró ampliar el área de estudio al noroeste de la zona de estudio así como en otras zonas por falta

de información, por lo cual se redujo el área de la zona de estudio a el área de disponibilidad de información fotográfica.

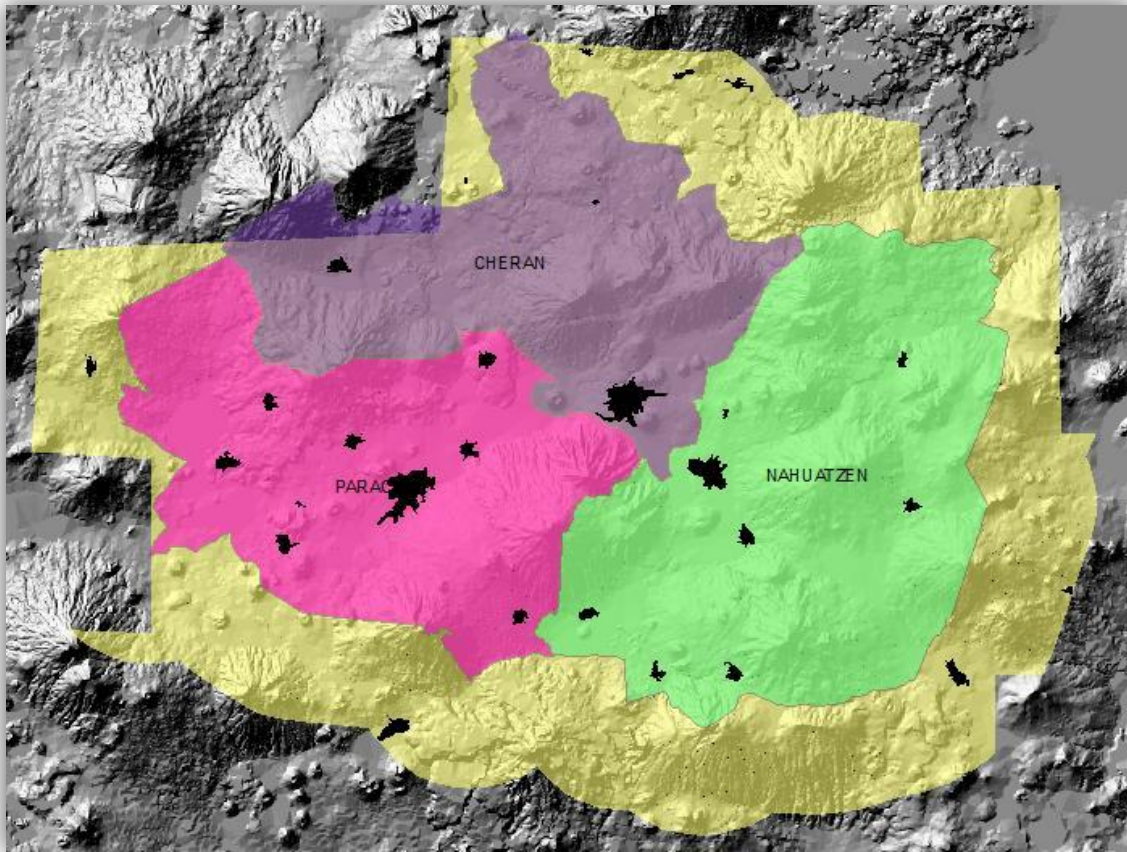


Figura 2. Límite de la zona de estudio extendida para fines de análisis.

2.1.2 Geología

Esta gran área fue formada en el Terciario y el Cuaternario, a partir de actividad ígnea que derramó grandes cantidades de lava. El material rocoso está compuesto por andesitas, basaltos (que forman los conjuntos rocosos de los “malpaíses” típicos del área) y riolitas. En Michoacán, el Sistema Volcánico Transversal está conformado por una red de sierras formadas por rocas ígneas, emitidas por efusiones a lo largo de fracturas [Pérez, 1974].

2.1.3. Fisiografía

Una de las regiones con el relieve más accidentado de México es justamente la franja donde se asienta el Sistema Volcánico Transversal, que se ubica alrededor del paralelo de 19° norte.

Ahí, en su porción central-oeste se ubica el área de la Meseta Purépecha. Toda el área presenta un relieve montañoso, producto de su origen volcánico. Se encuentran por ello numerosos conos cineríticos, que son conos truncos o planos, rellenos de arena, en cuya mesa superior se acostumbra sembrar maíz. En la región existen alrededor de 400 conos de ambos tipos, que dominan el panorama y le dan su imagen característica de elevaciones volcánicas y valles intermontanos [Argueta, 2008].

2.1.4. Edafología

De acuerdo a la cartografía de INEGI, se reconocen los siguientes tipos de suelo: Acrisol, Andosoles (húmico, mólico, ócrico y vítrico), Cambisol, Feozem, Litosol, Histosol, Luvisol y Vertisol, principalmente.

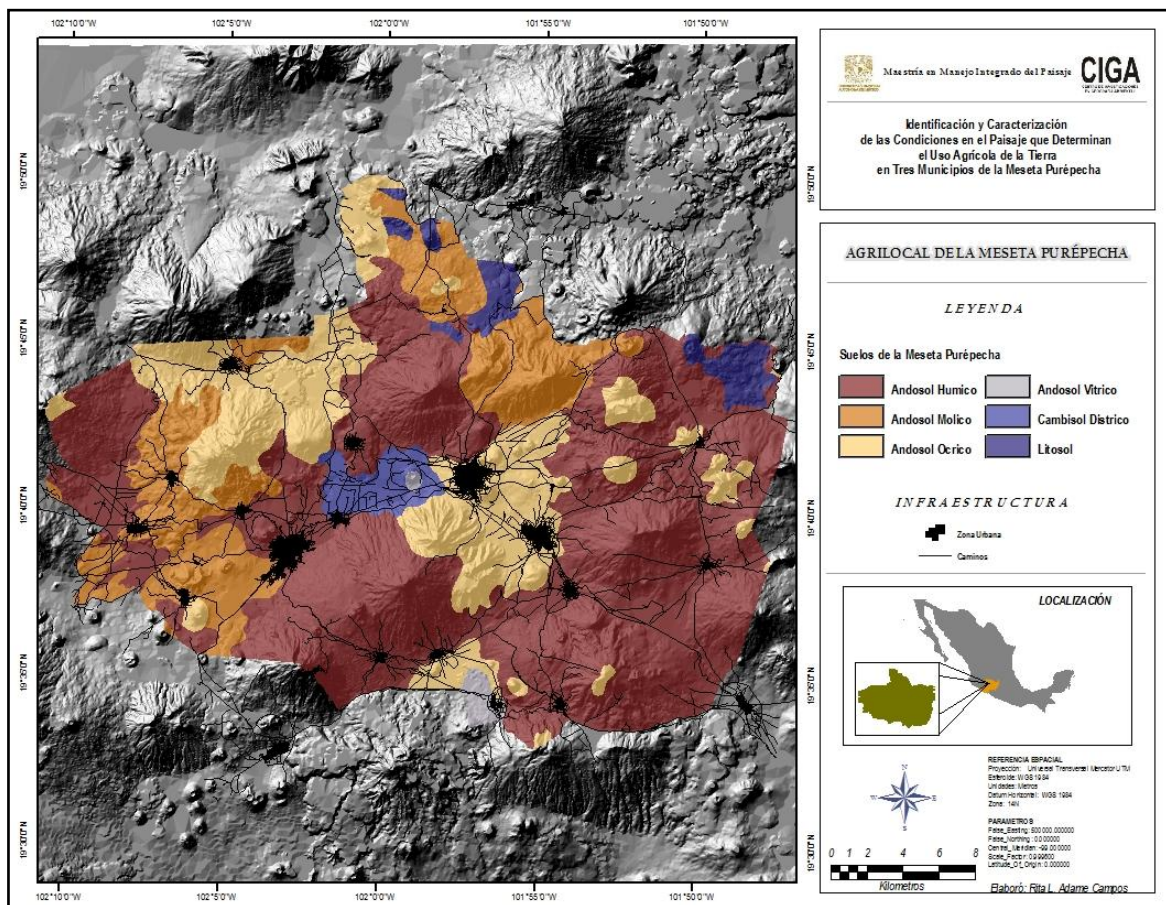


Figura 3. Tipos de suelo en la zona de estudio.

Para los tres municipios en que se desarrolla ésta investigación, los tipos de suelos que se distinguen son los andosoles en un 90% del área de estudio y el resto son cambisoles, vertisoles y litosoles (Figura 3).

2.1.5. Hidrología

Los suelos de la meseta purépecha son, como ya se mencionó, muy porosos y ello hace que, aunque se presenten lluvias torrenciales y hasta 1,500 mm de precipitación anual, esta agua sea rápidamente absorbida, formándose corrientes subterráneas que son vertidas kilómetros después por medio de tres ríos: el Cupatitzio, que nace en Uruapan; el Duero que nace en Carapan, y el Chivo, que nace al oeste del área. Mientras en otras regiones una precipitación así genera grandes lagos y ríos importantes, aquí el suelo lo imposibilita, pero ello, a su vez explica la formación de los ríos que generan la riqueza agrícola de los valles de Apatzingán y Zamora [Argueta, 2008].

2.1.6. Clima

La mayor parte de la región purépecha, particularmente la Meseta, presenta climas templados subhúmedos con lluvias en verano C(w2)(w), según la clasificación de Köppen modificado por Ávila (1996) y se caracteriza por ser templado subhúmedo con lluvias en verano y con porcentaje de lluvia invernal menor a 5; es el más húmedo de los subhúmedos. En la parte oriente y en algunos cerros y montañas se tiene el clima C(E)(w2)(w) que es semifrío húmedo con lluvias en verano y porcentaje de precipitación invernal menor de 5; es el más húmedo de su tipo. En la parte sur se tiene un clima C(m)(w) que es templado húmedo con lluvias abundantes en verano y con porcentaje de lluvia invernal menor de 5. La precipitación promedio anual es de 1274 mm y la mayor parte (alrededor del 90-95%) se concentra en los meses de junio a octubre. Esto da origen a una época de lluvias abundantes y una época de estiaje en donde la precipitación es casi nula. En lo referente a la temperatura ambiente, durante los meses de noviembre a marzo se presentan las temperaturas promedio más bajas: oscilan entre los 10 y 12°C; y el resto del año entre los 13 y 15°C [Ávila, 1996].

2.1.7. Vegetación

Tomando en cuenta la delimitación de provincias florísticas de Rzedowski, en Michoacán se presentan cuatro provincias: Serranías Meridionales, Altiplanicie, Depresión del Balsas y Costa Pacífica; de las cuales, la Meseta Purépecha comprende las dos primeras.

La provincia de las Serranías Meridionales, está caracterizada por la presencia de muy diversas especies de pinos y encinos (*Pinus* y *Quercus*), y es notable el desarrollo endémico de otras especies de los géneros *Hintonella*, *Achaenopodium*, *Microspermum*, *Omitelia*, *Peyristichia* y *Salvia*.

En cuanto a la Altiplanicie, ésta presenta una vegetación dominante de matorral xerófilo, siendo frecuente también los pastizales y el bosque espinoso con presencia de acacias [Argueta, 2008].

2.2. MATERIALES

Los insumos geográficos requeridos en el desarrollo de la investigación, indispensables para generar la información base del modelo fueron:

- 44 fotografías aéreas pancromáticas blanco y negro, que abarcan los municipios de Paracho, Cherán y Nahuatzen, en la Meseta Purépecha, del año 1971, escala aproximada 1:50 000, obtenidas de INEGI.
- 2 Imágenes de satélite SPOT5, una pancromática de julio de 2008 y una multiespectral de abril de 2007.
- Cartografía vectorial de suelos, ejidos, localidades y cabeceras municipales, curvas de nivel, límites municipales, brechas, veredas, autopistas y carreteras del estado de Michoacán, zonas UTM 13 y 14 de INEGI, a escala 1: 50,000 del año 1998.

La proyección utilizada en la cartografía de este trabajo fue: Universal Transversa de Mercator (UTM), Elipsoide: WGS1984, Datum: D_WGS_1984, Unidades: Metros.

Para los mapas con estructura de datos raster, la resolución con la que se trabajó fue con celdas de 20 X 20 m.

Durante el desarrollo de ésta investigación se utilizaron los siguientes programas de cómputo:

- ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica IMTA, 2006)

- ERDAS Imagine 9.1
- ESRI ARCGIS 9.3, ARCMAP 9.3
- TableCurve 2D v5 for Windows
- STATGRAPHICS PLUS 5.1

En cuanto a sistema de cómputo se refiere, el análisis se realizó en una computadora marca TOSHIBA, modelo SATELLITE L305, Intel Pentium Dual CPU T3400 2.16 GHz, 3 Gb de RAM.

2.3. MÉTODOS

Para la construcción del modelo AGRILocal es necesario contar con la información base necesaria, como son las bases de datos espaciales y de atributos de los parámetros biofísicos y socioeconómicos que intervienen para que se desarrolle la actividad de la agricultura en la meseta purépecha. Entre otros, la base de datos de cobertura y uso del suelo, distribución de localidades, caminos, altitud, tenencia ejidal de la tierra, así como las bases de datos puntual de datos climatológicos mensual así como de temperatura y precipitación.

A partir de los datos anteriores, el modelo AGRILocal requiere generar la información sobre las relaciones espaciales existentes entre la agricultura y varios elementos geográficos del paisaje, ya que estas bases de datos no existen. Es importante mencionar que para la construcción del modelo y su posterior aplicación es indispensable contar también, en el caso de las base de datos de cobertura/uso del suelo y caminos, con insumos de una fecha anterior a la que actualmente esté siendo evaluada en el estudio, de por lo menos 10 años antes, que reflejen el proceso histórico del cambio en la ocupación del territorio en la zona de estudio.

Con los datos básicos y dependiendo del tipo de relación espacial a investigar, se preparan varios mapas que muestran los valores de la relación entre las zonas agrícolas y el parámetro a incluir en el modelo. Así por ejemplo si se considera que la proximidad de las zonas agrícolas a caminos es una relación que puede estar determinando la localización y extensión de la agricultura, debe prepararse un mapa de proximidad a caminos; si se considera que la pendiente del terreno es importante como factor que regula el uso agrícola

de la tierra, debe prepararse un mapa de pendientes a partir del modelo digital de elevación, etc.

Una vez que se obtienen estos mapas derivados de la información básica, se requiere generar los mapas de las relaciones que representan a cada parámetro del modelo, lo que en su caso normalmente se obtiene por sobreposición con el mapa de zonas de uso agrícola.

Las técnicas utilizadas en el proceso de generación de información para obtener los insumos que utiliza el modelo AGRILLOCAL son las que se mencionan a continuación.

2.3.1. INTERPRETACIÓN DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS E IMÁGENES DE SATÉLITE

La Fotointerpretación se define como el proceso que sirve para extraer información útil a partir de fotografías [Musso, 2005]. En caso de no contar con la información digital, se utiliza esta técnica para generar mapas de coberturas vegetales y usos del suelo a partir de datos raster (imágenes de satélite, fotografías aéreas, otros datos procedentes de la observación remota y datos escaneados). Una de las ventajas de la fotointerpretación, es la amplia capacidad de proporcionar datos de alta resolución espacial. Esta técnica se empleó para generar los mapas de uso y cubierta del suelo de las dos fechas del estudio.

2.3.2. FUSIÓN DE IMÁGENES

En el caso de las imágenes de satélite, es posible fusionar dos tipos de imágenes de satélite distintas para crear un producto híbrido que une las ventajas de ambas imágenes. Lo más habitual es fundir una imagen pancromática, como la SPOT4 de 10 metros con otra multiespectral SPOT4 de 20 metros o Landsat-7 de 30 metros. Esto produce una imagen que contiene los datos multiespectrales y la información espacial de la imagen pancromática, en este caso se aplicó este proceso de fusión para las imágenes pancromáticas de 2.5 metros y las imágenes multiespectrales de 10 metros del satélite SPOT5. La técnica específica de fusión utilizada fue la de Brovey en el programa ESRI ARCGIS 9.3, ARCMAP 9.3.

2.3.3. MOSAICOS

Es frecuente que la escena de la imagen del satélite no abarque el área de interés en su totalidad. En ese caso se deben unir dos o más escenas adyacentes generando un mosaico

mediante el empleo de complejos algoritmos informáticos que hagan coincidir exactamente los bordes de las escenas y equilibren los colores para crear una base de datos sin fisuras de la zona extendida [SRGIS, 2005]. Para el caso de fotografías aéreas, si la zona de estudio es muy amplia y el nivel de detalle que se requiere para el análisis es alto, se necesita más de una fotografía aérea.

La generación de los mosaicos de las imágenes de satélite y de las fotografías aéreas se realizó mediante el programa ERDAS, con la ayuda de la extensión LPS, siguiendo el procedimiento especificado a continuación.

2.3.3.1 METODOLOGÍA PARA GENERACIÓN DE MOSAICOS DE FOTOGRAFÍAS AÉREAS

Parte de la metodología empleada se basa en el programa ERDAS Imagine 9.1. Previo al proceso para la realización del mosaico, es importante contar con los datos de entrada correctos; para este caso se requieren las fotografías aéreas con sus marcas fiduciales respectivas, en este caso, en formato TIFF. Posteriormente se debe preparar la información relacionada a la toma de las fotografías para introducirla al programa. Datos como Puntos de Control y parámetros obtenidos del reporte de calibración de la cámara con la que se tomaron las fotografías aéreas son necesarios para la orientación interior y exterior de cada una de las imágenes. Todo lo anterior se tiene que tomar en cuenta para que las fotografías aéreas que serán utilizadas pasen por un proceso de ortorectificación. Otro dato de entrada fundamental para la construcción del ortomosaico es el Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual se puede generar por medio de las curvas de nivel de la zona de estudio, o emplear alguno de los modelos de elevación disponibles en internet (INEGI, ASTER, SRM, etc.), con el fin de reducir las distorsiones en las fotos causadas por el relieve. Para este caso de estudio, se generó el MDE a partir de las curvas de nivel obtenidas de INEGI.

Posteriormente se procede a hacer un archivo de bloque en el software ERDAS 9.1, donde se requieren datos iniciales como: parámetros de la cámara con que se realizó la adquisición de las fotos, la proyección en que se va a trabajar la información, las unidades de entrada, la altura de vuelo promedio y los parámetros de orientación exterior. El siguiente paso es la adición de las fotografías aéreas, proporcionando la información de orientación interior. Después, es importante seleccionar la orientación fiducial. Es muy importante que las marcas

fiduciales de cada fotografía se midan con la mayor exactitud posible, éstas se pueden verificar revisando el valor del error medio cuadrático o RMS (Root Mean Square) de cada fotografía. Una vez que las marcas fiduciales se miden, se procede a establecer los puntos de control usando pares de imágenes y ubicando el punto al mismo tiempo en todas las imágenes en donde éste esté presente. Se realiza este paso hasta incluir todos los puntos de control (de 8 a 10 por foto). Posteriormente se deben generar puntos de liga (tiepoints) automáticos; este proceso tarda algunos minutos hasta que el software genere la cantidad de puntos requeridos.

Se procede después a realizar la triangulación del bloque, que es el proceso que establece la relación matemática entre el modelo del sensor y la realidad; es un proceso riguroso ya que considera la minimización y distribución de los errores. Una vez revisados los resultados de los parámetros de la triangulación, se actualizan los parámetros de orientación exterior del bloque. Finalmente se crean las ortofotos.

El archivo de bloque contiene toda la información necesaria para crear las imágenes. Se puede realizar el análisis visual con las fotografías aéreas como bloque y facilita la selección de cada una de ellas para fotointerpretarlas [Navarrete, 2003].

2.3.4. MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN

Las técnicas de interpolación espacial son esenciales para la estimación de variables de los lugares no muestreados. Los métodos de interpolación espacial, incluyendo la geoestadística, han sido desarrollados para aplicarlos a varias disciplinas. Son datos específicos e incluso variables específicas. Muchos factores, incluyendo el tamaño de la muestra, el diseño del muestreo y las propiedades de los datos afectan a las estimaciones de los métodos. No hay datos consistentes acerca de cómo estos factores afectan al rendimiento de los métodos de interpolación. Por lo tanto, es difícil seleccionar un método adecuado para la interpolación espacial de un conjunto de datos de entrada [Li y Heap, 2008]. El método de interpolación empleado debe ser seleccionado en función de las características de la variable de interés, continuidad espacial y superficie geográfica sobre la cual se va aplicar [Díaz *et ál*, 2008]. En el estudio se empleó el método conocido como Krigging.

El Krigging es un método geoestadístico de interpolación que ha probado ser útil y popular en muchos campos. Dicho método provee, a partir de una muestra de puntos, ya sean regular o irregularmente distribuidos, valores estimados de aquellos sitios donde no hay información, sin sesgo y con una varianza mínima conocida. En comparación con otros métodos de interpolación, éste método aporta mejores resultados, especialmente cuando se utilizan los parámetros del semivariograma experimental de los datos [FAO, 2001].

2.3.5. EL MODELO AGRILocal

El nombre del modelo refleja la importancia que se le da al conocimiento de las prácticas agrícolas locales en la evaluación de la tierra. El modelo inicialmente puede evaluar la aptitud del uso agrícola existente y luego estimar la disponibilidad del territorio para este fin, utilizando como parámetros las relaciones espaciales que representan prácticas agrícolas locales inferidas. El resultado del modelo puede interpretarse como el grado de éxito posible de alcanzar al usar tierra nueva para propósitos agrícolas, según el contexto local [Morales, 2011].

No hay un modelo de AGRILocal que pueda aplicarse a todos los lugares o regiones, es necesario construir un modelo apropiado para cada lugar o región. Los valores umbrales de relevancia, preferencia e influencia para las prácticas agrícolas locales se obtienen de las relaciones espaciales entre las zonas con uso agrícola y los elementos geográficos que intervienen en el sistema agrícola, y se extraen de los patrones espaciales actuales e históricos de esas relaciones.

Este modelo requiere la ponderación de sus parámetros. Estos pesos se pueden obtener de las distribuciones estadísticas particulares de cada parámetro o ser derivados de la comunicación explícita de los agricultores a través de encuestas.

El procedimiento para construir un modelo AGRILocal se resume en tres pasos:

1. Relevancia. Consiste en encontrar las relaciones espaciales importantes entre las tierras agrícolas y otros eventos geográficos que participan en la actividad.
2. Preferencia. Se establece mediante las funciones matemáticas que se ajustan a las distribuciones estadísticas de estas relaciones, y la determinación estadística de los

umbrales que indican el grado de preferencia que los valores de cada relación representan.

3. Influencia. Se obtiene mediante la especificación de pesos que establecen el grado de influencia de cada relación espacial en la decisión de usar la tierra con fines agrícolas.

Se puede construir un modelo específico AGRILLOCAL a partir de la forma general del modelo que se muestra a continuación.

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

Donde:

LA = disponibilidad o aptitud de la tierra

WR_i = peso de la relación i

f PR_i = función de preferencia para la relación i

n = número de relaciones en el modelo

A continuación se describe en detalle las actividades requeridas en cada etapa de construcción del modelo.

2.3.5.1 ETAPA UNO: Identificación de las relaciones espaciales relevantes.

El procedimiento para establecer la condición de relevancia de una relación espacial se inicia mediante la estructuración de los conocimientos sobre los eventos geográficos existentes en una región, en términos de sus posibles relaciones espaciales como determinantes de la localización y extensión de las tierras agrícolas. Inicialmente, como hipótesis, se puede preparar una lista de relaciones relevantes, o puede ser derivada a partir de entrevistas a los agricultores. Sea cual sea el enfoque, se recomienda explorar todas las relaciones posibles, desde la proximidad a la asociación, aunque las relaciones de agregación y asociación pueden resultar difícil determinar y medir. Los agricultores serían el medio directo de obtener conocimiento para conocer la importancia de las relaciones espaciales; si no es factible ésta opción, se emplea la manera indirecta que usa el modelo AGRILLOCAL, determinando la diferencia estadística entre los patrones reales y patrones generados aleatoriamente, para la misma relación en el mismo lugar. Esto implica el siguiente procedimiento de cinco pasos:

- a) Elaboración de una lista de relaciones espaciales, conocidas o hipotéticas, relevantes.

Esta lista se crea 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 con las zonas de uso agrícola, como determinantes de su localización y extensión.

Con el fin de averiguar si una relación es relevante o no, es necesario analizar el patrón producido por la relación entre las zonas con uso agrícola actual y otros eventos geográficos. Dado que los patrones espaciales se observan y miden mejor con la ayuda de mapas, esta tarea requiere la preparación de un mapa por cada una de las relaciones que se están investigando.

Es importante mencionar que para preparar los mapas de estas relaciones espaciales, primero se debe contar con mapas base que contengan la información correcta y otros aspectos fundamentales que se mencionan a continuación. A partir de estos mapas se puede aislar, si es necesario, los tipos específicos de eventos geográficos que interesan.

- a) Preparación de un conjunto de mapas que muestran el patrón real de cada relación.

Es necesario primero preparar un mapa que muestre el patrón real de cada relación, ya que éstos son los parámetros que forman parte del modelo en esta etapa. Adecuando cada mapa al polígono del área de estudio, teniendo cuidado que se encuentren en la misma escala, resolución, referencia espacial, y que, en los casos en donde se emplea información histórica, la información sea preferentemente de la misma temporada, así como la misma extensión de terreno; con la finalidad de minimizar los errores y evitar resultados erróneos. Enseguida, cada uno de estos mapas se sobrepone secuencialmente con el mapa de cobertura del uso agrícola de la zona de estudio, para conocer los valores del parámetro o relación espacial en cuestión. Para esto se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{RECA} = \text{RE} * \text{CA}$$

No. 1

Donde:

RECA = Mapa resultado de la sobreposición de la relación espacial y la cobertura agrícola de la zona de estudio.

RE = Mapa de la relación espacial en cuestión.

CA = Mapa de la cobertura agrícola real.

Por ejemplo, si se asume como hipótesis que las carreteras determinan de manera importante si la actividad agrícola se realiza o no, se debe generar un mapa de la superficie de proximidad a caminos. Este mapa, tiene que ser superpuesto con el mapa de tierras del cultivo a analizar para obtener un mapa que contiene las distancias de las tierras agrícolas a la carretera más cercana. Este último mapa contiene los valores que necesitamos para determinar la relevancia de la relación espacial. El procedimiento antes mencionado es el recomendable para obtener el mapa para cada relación espacial que se requiera analizar.

- b) Preparación de un conjunto de mapas que muestran el patrón aleatorio para cada relación.

Como ya se mencionó, la relevancia de una relación se determina comparando 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 deriva a partir de un mapa que represente la misma extensión de tierras agrícolas existente en la zona de estudio, pero como si la distribución de las tierras agrícolas fuese aleatoria y no agregada, y sobreponiendo este mapa al mapa del parámetro o relación espacial en cuestión. Para preparar el mapa aleatorio se selecciona aleatoriamente (con distribución estadística 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 con actividad agrícola que tenga el mapa del patrón real. Este mapa se sobrepone al mapa de la relación espacial en cuestión, para asignar el valor de la relación en el mapa aleatorio, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$\mathbf{REMA = RE * MA}$$

No.2

Donde:

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

RE = Mapa de la relación espacial en cuestión.

MA = Mapa aleatorio de la cobertura agrícola.

- c) Eliminación de los efectos del tamaño / disponibilidad en ambos conjuntos de patrones (real y aleatorio).

Antes de realizar las comparaciones estadísticas, es importante saber si las frecuencias observadas se deben a un efecto de tamaño. Esto es, algunas de las frecuencias más altas observadas en la distribución de una relación podría deberse simplemente al hecho de que hay más territorio en el área de estudio que cae dentro de esa clase de valores que dentro de las otras clases, y viceversa. Para eliminar el efecto del tamaño se realiza un procedimiento de normalización que se aplica a cada clase de frecuencia de la distribución real y la aleatoria de la relación. Esto puede llevarse a cabo dividiendo el número de celdas en cada clase de las distribuciones entre la cantidad de territorio (número de celdas totales) y, finalmente, multiplicando este resultado por el número de celdas en cada clase de la relación. Para cualquier relación, la fórmula es (Morales, 2011):

$$SNF_i = NCIE_i(NCIE_i/NCIOE_i)$$

No. 3

Donde;

SNFi= Tamaño normalizado de la frecuencia de la clase i.

NCIEi= Número de celdas de la clase i dentro del evento a investigar.

NCIOEi= Número de celdas de la clase i dentro y fuera del evento bajo investigación.

Por ejemplo, para el caso de la relación de proximidad de zonas agrícolas a caminos, NCIEi corresponde al número de celdas de la clase i de distancia que se encuentra

dentro de las porciones de tierras agrícolas, y NCIOEi, es el número total de celdas de la clase i de distancia en el área de estudio. Los valores de frecuencia normalizada pueden ser utilizados para realizar la prueba de comparación. Se recomienda eliminar el efecto tamaño en las relaciones de coincidencia, no es indispensable hacerlo para otros tipos de relaciones

- d) Comparación estadística de las distribuciones de frecuencia de valores en los mapas reales y aleatorios para determinar si una relación es relevante o no.

A partir de los mapas de relaciones espaciales, se tienen que construir los histogramas de distribución de frecuencias de los valores correspondientes a cada relación. Tomando el ejemplo mencionado anteriormente, en el caso de la relación proximidad de zonas agrícolas a caminos, si se quiere saber qué tan relevante es, hay que observar inicialmente, en su histograma de frecuencias, si hay una concentración de valores de distancia. Es muy probable que, las distancias cortas muestren una mayor concentración de valores que las distancias largas, con la concentración mostrando un decaimiento relativamente rápido a medida que aumentan las distancias. Lo esperable es observar una regularidad notable de la distribución de las distancias, lo que nos permitirá identificar con precisión los valores preferibles de los agricultores para esta relación. En la construcción de los histogramas se debe tener cuidado de seleccionar la amplitud adecuada y el número de intervalos de clase. Por lo general, la amplitud de intervalo apropiado, y en consecuencia el número de clases, se puede estimar a partir del rango de valores, la resolución de los mapas empleados, y la escala del análisis.

Se puede determinar la pertinencia de una relación mediante la comparación de las características de dispersión y de concentración de los valores de la distribución real frente a los de una distribución aleatoria de la misma relación. Para que la comparación sea válida, la cantidad de tierras agrícolas en el mapa aleatorio debe ser igual a la del mapa de tierras de cultivo actuales. Posteriormente, se deben realizar pruebas de comparación entre la distribución real y la distribución al azar, si ambas distribuciones son normales, se pueden usar las estadísticas paramétricas como t

(Student) y F (Fisher) para establecer la importancia de la similitud o disimilitud de ambas distribuciones, sin embargo, si la distribución no puede ser considerada normal, pueden ser utilizadas las estadísticas no paramétricas, tales como W (Wilcoxon) y D (Kolmogorov-Smirnoff). No se recomienda tratar de "normalizar" una distribución mediante su transformación por logaritmos, raíz cuadrada, o cualquier otra, debido a que las formas reales de la distribución deben ser empleadas en la determinación de las funciones de preferencia, en la etapa siguiente de construcción del modelo. Además de establecer si las distribuciones son normales o no, es importante que se vuelva a comprobar la aplicación de las dos pruebas que se sugiere en cada caso para verificar si las hipótesis estadísticas se confirman; esto es se debe usar t o W, para evaluar la concentración, y F y D para evaluar la dispersión.

Si, de acuerdo con las estadísticas empleadas, las distribuciones real y aleatoria son significativamente diferentes (a $p < 0,05$ o $\alpha = 95\%$), entonces podemos decir que la relación es relevante, es decir, el patrón de la relación está dictado por preferencias de los agricultores y no sigue un comportamiento al azar.

2.3.5.2. ETAPA DOS: Especificación de las funciones matemáticas que se ajustan a las distribuciones de las relaciones reales relevantes, y determinación de los umbrales que indican el grado de preferencia que los valores de cada relación representan.

Es esta etapa, se especifica el grado de preferencia para las prácticas agrícolas locales, a partir de las relaciones que resultaron estadísticamente relevantes. Tales preferencias se interpretan como los valores que los agricultores locales parecen elegir con más frecuencia, según lo indicado en el patrón de la relación espacial. Estos valores pueden convertirse en un grado de preferencia, transformando dichos valores en probabilidades empíricas usando la frecuencia de los valores de la relación. En general, cuanto más alta es la frecuencia de los valores en una distribución, más preferible es el valor de una relación, o una gama de valores (una clase), para la práctica de la agricultura. El procedimiento para modelar la preferencia

puede ser descrito como sigue (se asume que el efecto del tamaño fue eliminado en el paso anterior):

- a. Convertir los valores normalizados de frecuencia en probabilidades para cada valor o rango de valores (clase).
- b. Ajustar una función matemática para describir la relación entre los valores de probabilidad obtenidos y los valores de clase de la relación.
- c. Calcular valores umbral para establecer clases de aptitud del territorio donde se desarrolla la actividad agrícola.

La conversión de los valores de frecuencia transformada en valores de probabilidad de uso agrícola de la tierra se puede lograr con la asignación del valor de probabilidad más alto (normalmente 1.0) al valor más alto de la frecuencia, y escalar en proporción el resto de valores

A continuación se debe derivar una función para predecir los valores de preferencia (probabilidad) dado un valor de una relación específica. Esta, evidentemente, es la función de mejor ajuste correspondiente a la correlación entre las clases de las relaciones y sus respectivos valores de probabilidad. Dependiendo de la forma de esta correlación puede haber muchas funciones que la pueden describir con precisión adecuada; es recomendable elegir la función que tenga la forma más simple y el más alto valor de R^2 ajustado (por grados de libertad) posible.

Posteriormente, mediante el algoritmo de agrupamiento estadístico K-medias, se calculan los valores umbrales de las clases de aptitud del territorio en el que se desarrolla la actividad agrícola (estrictamente, son clases de probabilidad de uso agrícola del territorio, derivados estadísticamente de la preferencia inferida de los agricultores locales) , donde el método K-medias 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.

Una vez especificadas todas las funciones de ajuste para cada relación relevante, se puede obtener de manera preliminar un modelo AGRILOCAL específico sumando cada una de las funciones, donde el resultado es la disponibilidad /aptitud de la tierra. En esta etapa, se

considera al modelo como ponderado de manera equivalente, es decir todos los parámetros reciben igual peso. Con este modelo preliminar se pueden elaborar mapas para propósitos exploratorios del componente de preferencia en el modelo, mediante el uso de la siguiente fórmula:

$$LA = \Sigma RE / NTR$$

No. 4

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

2.3.5.3. ETAPA TRES: Derivación de los pesos para establecer el grado de influencia de cada relación espacial en la decisión de usar la tierra con fines agrícolas.

La tercera etapa consiste en derivar el grado de influencia o peso de cada relación espacial. Una forma de obtener los pesos sería la de entrevistar a los agricultores locales y que ellos mismos determinen las relaciones que tienen más influencia al tomar la decisión de usar una nueva porción de tierra para fines agrícolas. Esto por supuesto presenta diversas dificultades, desde la posibilidad de reunir un número suficiente de opiniones (idealmente el universo de encuestas debería ser el de todos los agricultores de la región), hasta el hecho de que en las encuestas los valores de los pesos o grados de influencia estimados tendrían un alto grado de subjetividad. Afortunadamente, de acuerdo con el modelo AGRILocal, estos también pueden extraerse estadísticamente de los patrones espaciales de la agricultura. Se requieren los pesos porque las relaciones espaciales pueden tener influencia en diferentes grados en la decisión del agricultor para convertir cierta porción de territorio en tierra para prácticas agrícolas.

En el método AGRILocal, el supuesto es que cuanto más diferentes son los valores de la relación real comparando con los valores de su relación aleatoria equivalente, más

influyente es la relación. Para medir esta diferencia se emplea la prueba de Kolmogorov-Smirnoff (estadística D), ya que puede medir la diferencia máxima entre las dos distribuciones acumulativas de las relaciones real y aleatoria, interpretándose este valor como el peso máximo para cada relación. El procedimiento para obtener los pesos es:

- a) Aplicar una prueba de Kolmogorov-Smirnoff para comparar las distribuciones acumulativas, real y aleatoria, de las relaciones y encontrar los valores del estadístico D.
- b) Transformar los valores D en pesos normalizados.

El proceso para establecer el peso a partir de los valores D de cada relación es de la siguiente manera:

$$WR_i = D_i / \sum_{j=1}^n D_j \quad , i = 1 \dots n \quad \text{No. 5}$$

Donde,

WR_i= Peso de la relación i;

D_i = diferencia máxima entre la distribución acumulativa actual y la aleatoria de la relación i;

n = número de relaciones en el modelo.

Esta ecuación es en efecto la de la normalización de los pesos, por lo tanto, el resultado de la suma de los pesos de todas las relaciones debe arrojar 1. Las ponderaciones indican el grado de importancia local que cada relación tiene para la práctica de la agricultura.

2.3.5.4. ETAPA CUATRO: Aplicación del modelo.

Una vez que se tiene el modelo final (ponderado), se puede aplicar con la ayuda de un SIG. Para este propósito se requiere preparar el mismo número de mapas que las relaciones seleccionadas como relevantes en el modelo AGRILocal, es decir, cada parámetro del modelo es un mapa representando a una relación.

Se puede predecir la disponibilidad /aptitud estimada de las tierras agrícolas de acuerdo a las relaciones modelo utilizando la siguiente ecuación:

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

$i = 1 \dots n$

No. 6

Donde:

LA = disponibilidad o aptitud de la tierra

WR_i = peso de la relación *i*

f PR_i = función de preferencia para la relación *i*

n = número de relaciones en el modelo

El resultado es una serie de mapas que indican la aptitud del territorio y predicen la disponibilidad de las tierras agrícolas según las relaciones modeladas.

2.3.6. ENCUESTAS

La encuesta se puede definir como una técnica primaria de obtención de información sobre la base de un conjunto objetivo, coherente y articulado de preguntas, que garantiza que la información proporcionada por una muestra pueda ser analizada mediante métodos cuantitativos y los resultados sean extrapolables con determinados errores y confianzas a una población. Las encuestas pueden ser personales y no personales [Abascal, 2005]. Por medio de las encuestas personales, se puede obtener información sobre la base de un cuestionario. Las ventajas de realizar una encuesta son que permite estandarizar la información, facilita la administración y el tratamiento de los datos.

En este estudio se levantaron algunas encuestas a fin de comparar las respuestas de los agricultores locales con las inferencias establecidas en el modelo AGRILocal.

CAPITULO III. RESULTADOS

3.1. INFORMACIÓN BASE GENERADA

a) Mapas de cobertura vegetal y uso de suelo.

Debido a que no se cuenta con la cartografía digital del uso y cubierta del suelo de la zona de estudio, y a que se requiere como base para la construcción del modelo, fue necesario generarla a partir de los insumos mencionados en la sección de materiales. Se utilizaron dos fechas para el análisis, 1971 y 2007. Para ambas fechas se generaron los mapas de cobertura vegetal y uso de suelo a escala 1:20,000.

Para la elaboración del mapa de Cobertura Vegetal y Uso de Suelo de 1971 (Figura 5), fue necesario fotointerpretar fotografías aéreas debido a que no existe cartografía específica de la zona con la escala requerida. Se utilizaron 44 fotografías aéreas para cubrir toda la zona de estudio, elaborándose un mosaico con las fotografías para su interpretación. No se hizo verificación de campo. El procedimiento se ilustra en la Figura 4.

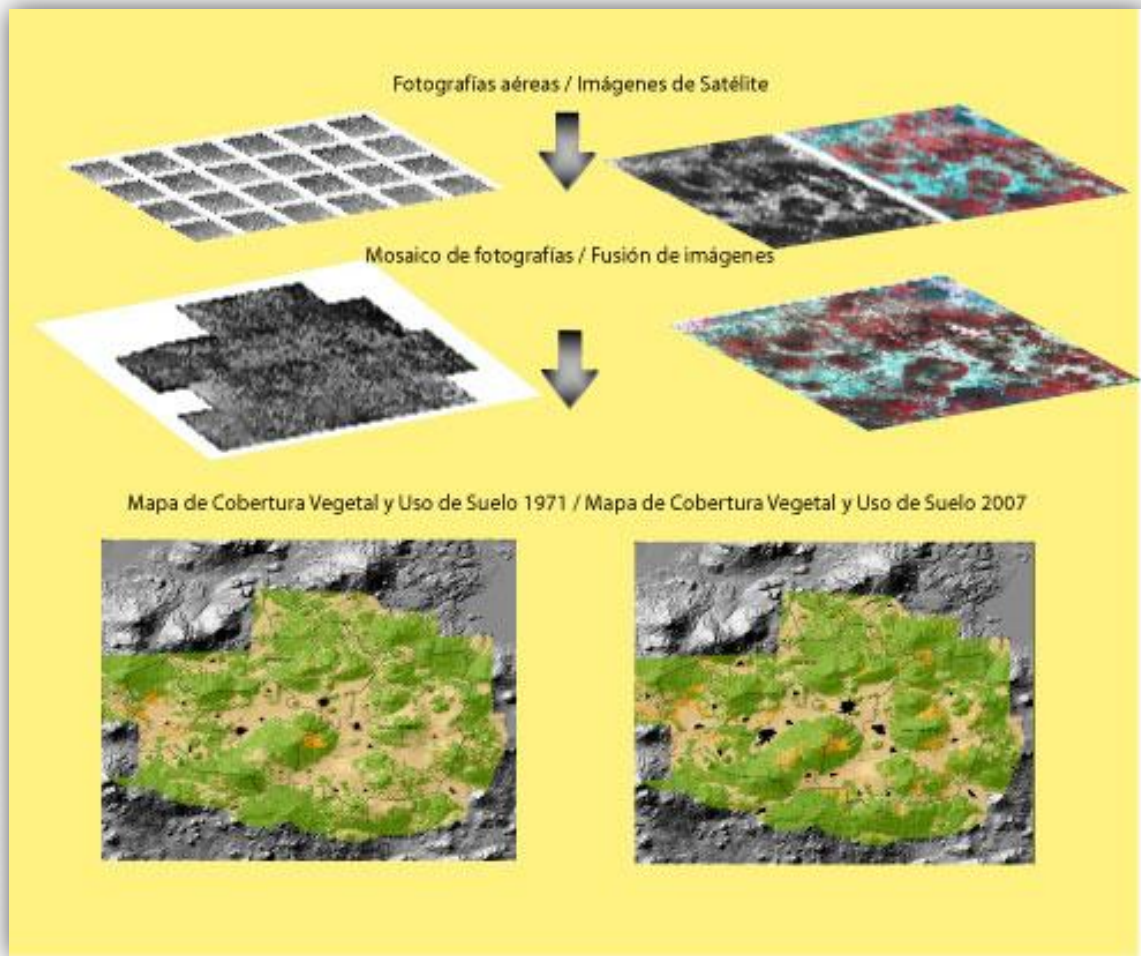


Figura 4. Procedimiento general para la elaboración de las cartografías de uso y cobertura del suelo para los años 1971 y 2007.

En cuanto al Mapa de Cobertura Vegetal y Uso del Suelo 2007 (Figura 6), fue necesario emplear dos imágenes de satélite (SPOT, pancromática y multiespectral), y realizar una fusión de ambas para obtener un mejor detalle al momento de la interpretación. En este caso se realizó verificación de campo dado que las imágenes son relativamente recientes.

"Identificación y Caracterización de las Condiciones del Paisaje que Determinan el Uso Agrícola de la Tierra en Tres Municipios del Estado de Michoacán"

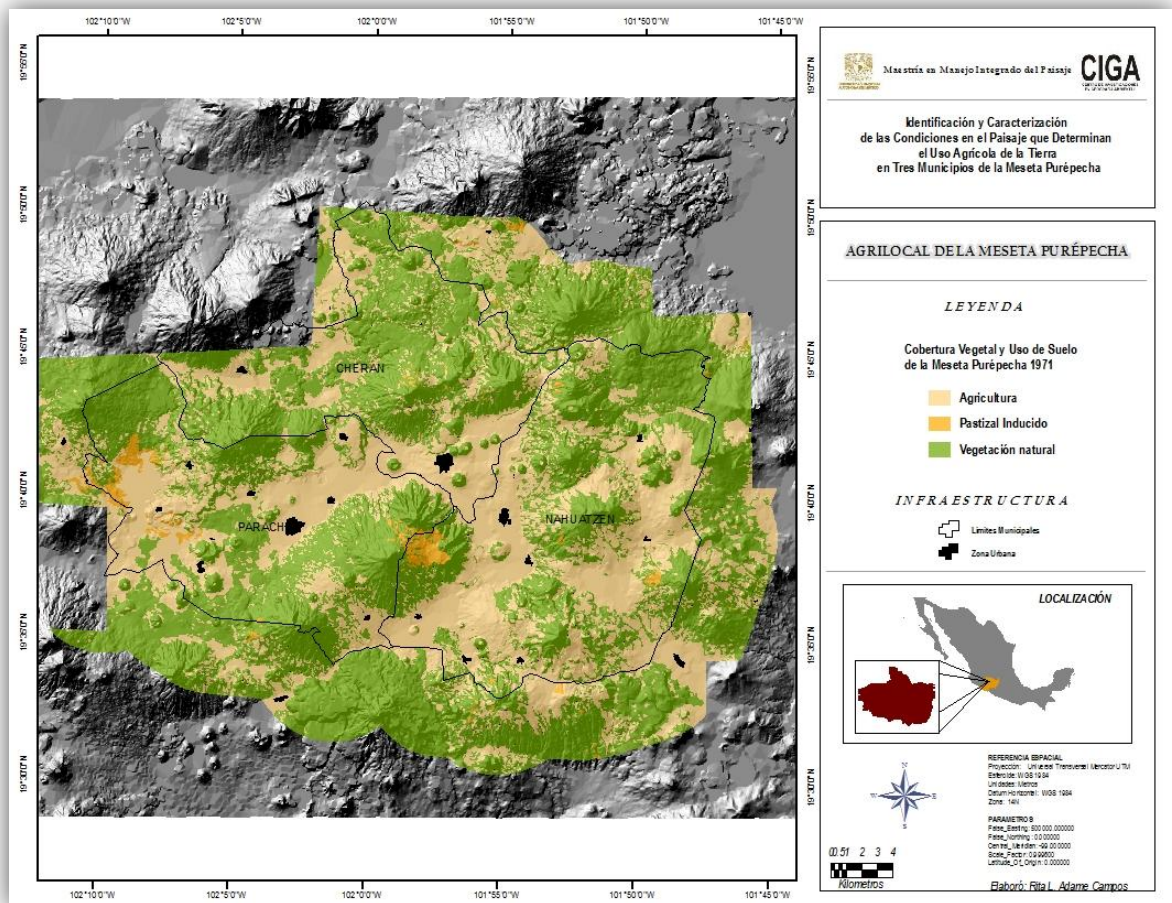


Figura 5. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo para el año 1971.

Es importante mencionar que la foteointerpretación se realizó a una escala de 1:20,000, abarcando una extensión de 1270 km², debido al nivel de detalle que requiere el modelo AGRILocal. A partir de los mapas de cobertura vegetal y uso de suelo de ambas fechas, se obtuvieron los mapas que se utilizaron en la construcción del modelo AGRILocal (zonas agrícolas de ambas fechas, Poblaciones urbanas, Pastizales, y Cobertura Vegetal).

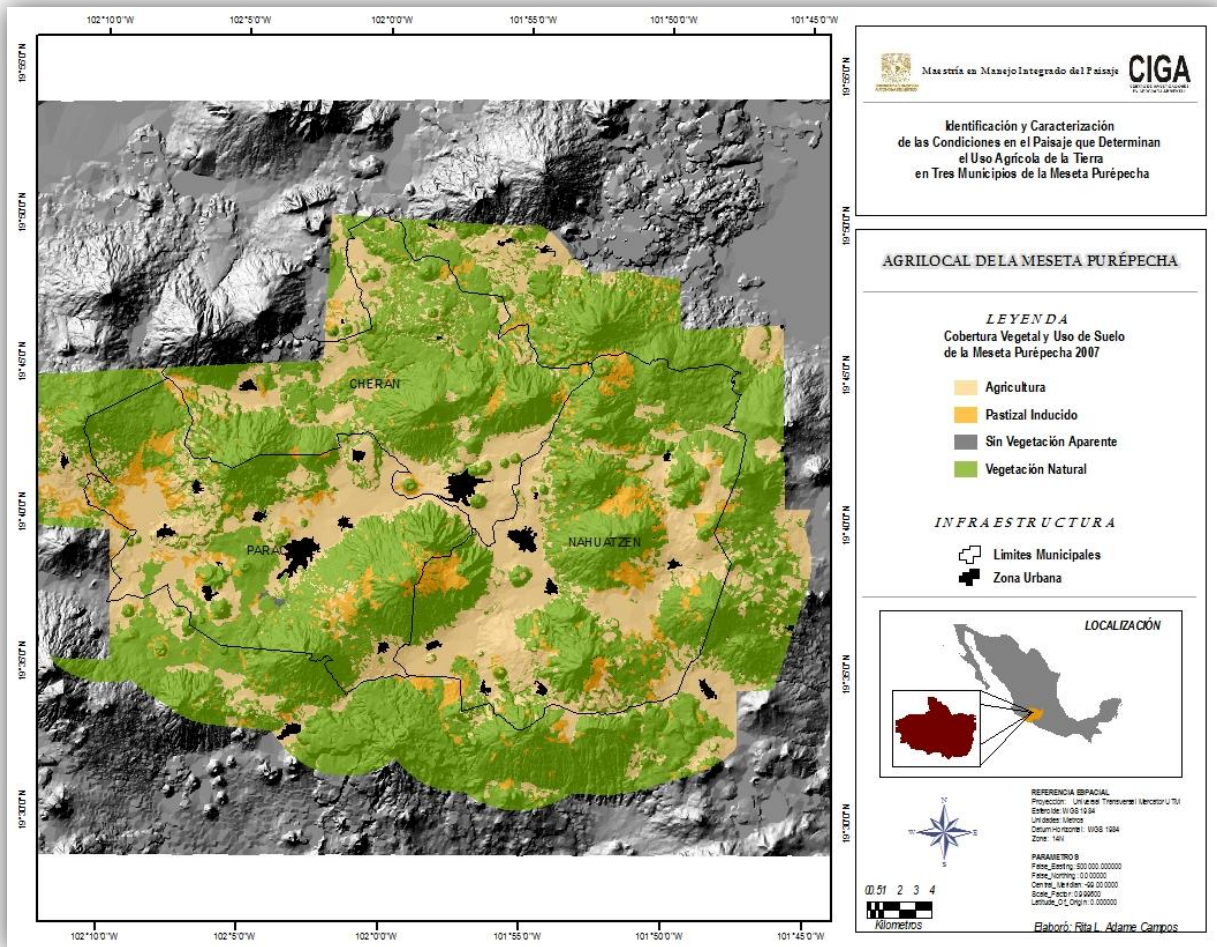


Figura 6. Mapa de cobertura vegetal y uso del suelo para el año 2007.

b) Mapas de caminos.

Otro de los mapas fundamentales que se generaron, de los cuales deriva un análisis de proximidad y es indispensable tomar en cuenta en el modelo AGRILLOCAL, fueron, el mapa de caminos del año 1971 (Figura 7) que se generó por medio de fotointerpretación y el mapa de caminos más reciente (Figura 8) que se actualizó con base en los mapas existentes de INEGI y las imágenes de satélite SPOT.

"Identificación y Caracterización de las Condiciones del Paisaje que Determinan el Uso Agrícola de la Tierra en Tres Municipios del Estado de Michoacán"

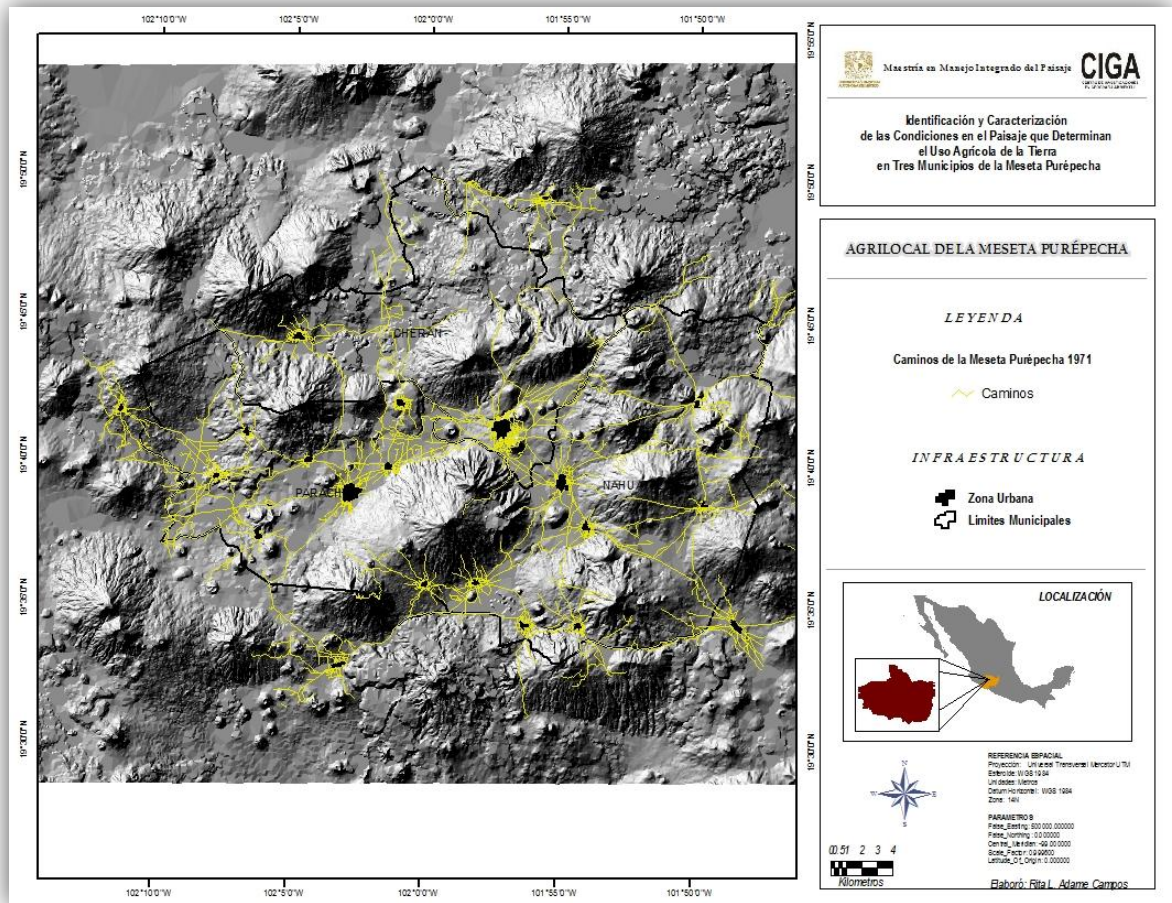


Figura 7. Mapa de caminos del año 1971.

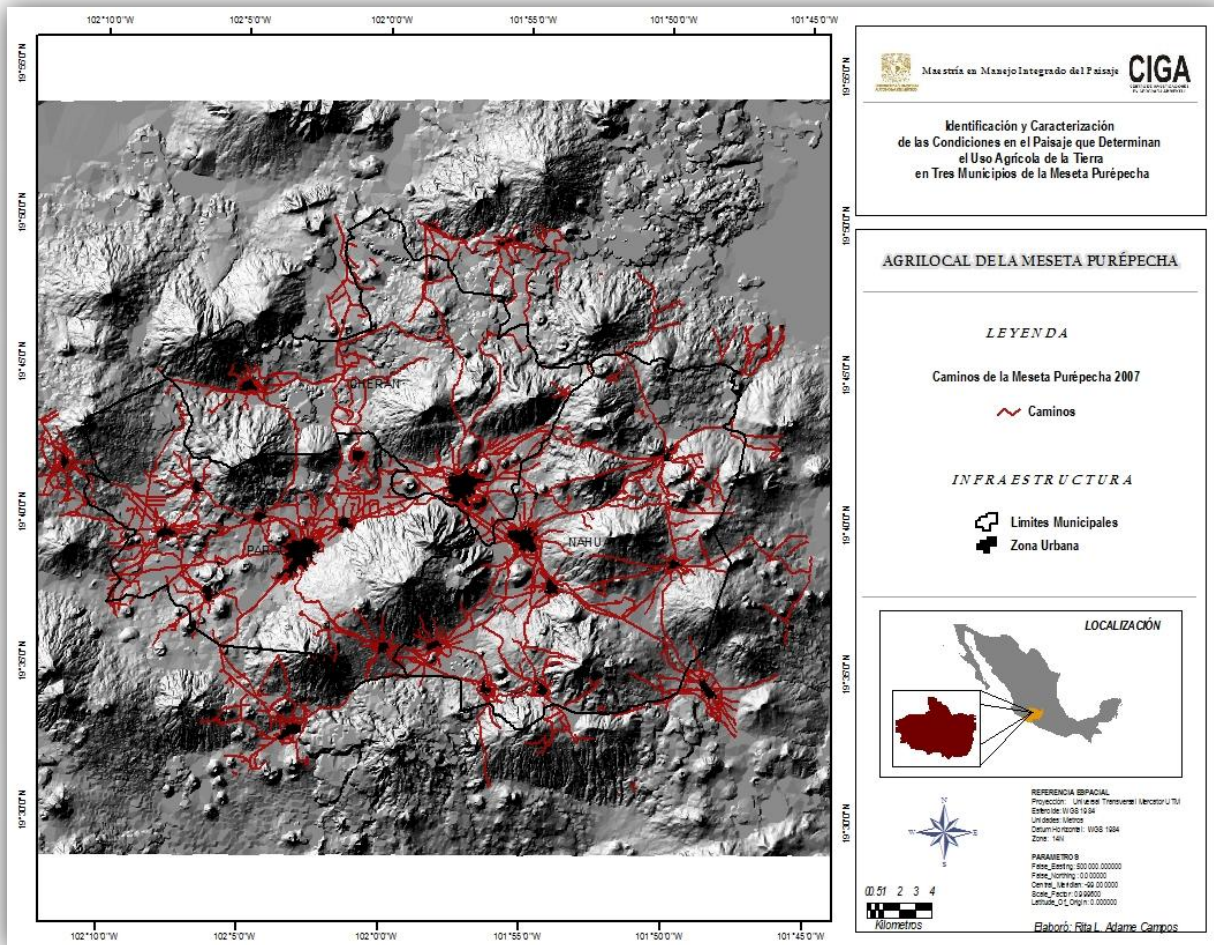


Figura 8. Mapa de caminos del año 2007.

c) Mapas de temperatura y precipitación.

Con respecto al clima, se generaron mapas de temperatura mínima y temperatura máxima, un mapa por cada mes respectivamente, para investigar su posible influencia sobre el desarrollo de la agricultura. También se elaboró un mapa de la precipitación promedio total anual. Para su elaboración se utilizaron los puntos georeferenciados de las estaciones climatológicas cercanas y alrededor de la zona de estudio, 90 en total de las cuales la mayoría cuenta con datos desde 1950 hasta 2004, donde 13 estaciones son las que tienen más datos (50 años), y sólo 10 estaciones cuentan con el menor número de datos (10 años), y posteriormente se realizó una interpolación

por krigging para obtener los mapas finales, siendo un total de 25 mapas. Como ejemplo se muestra el mapa de la precipitación media anual (Figura 9).

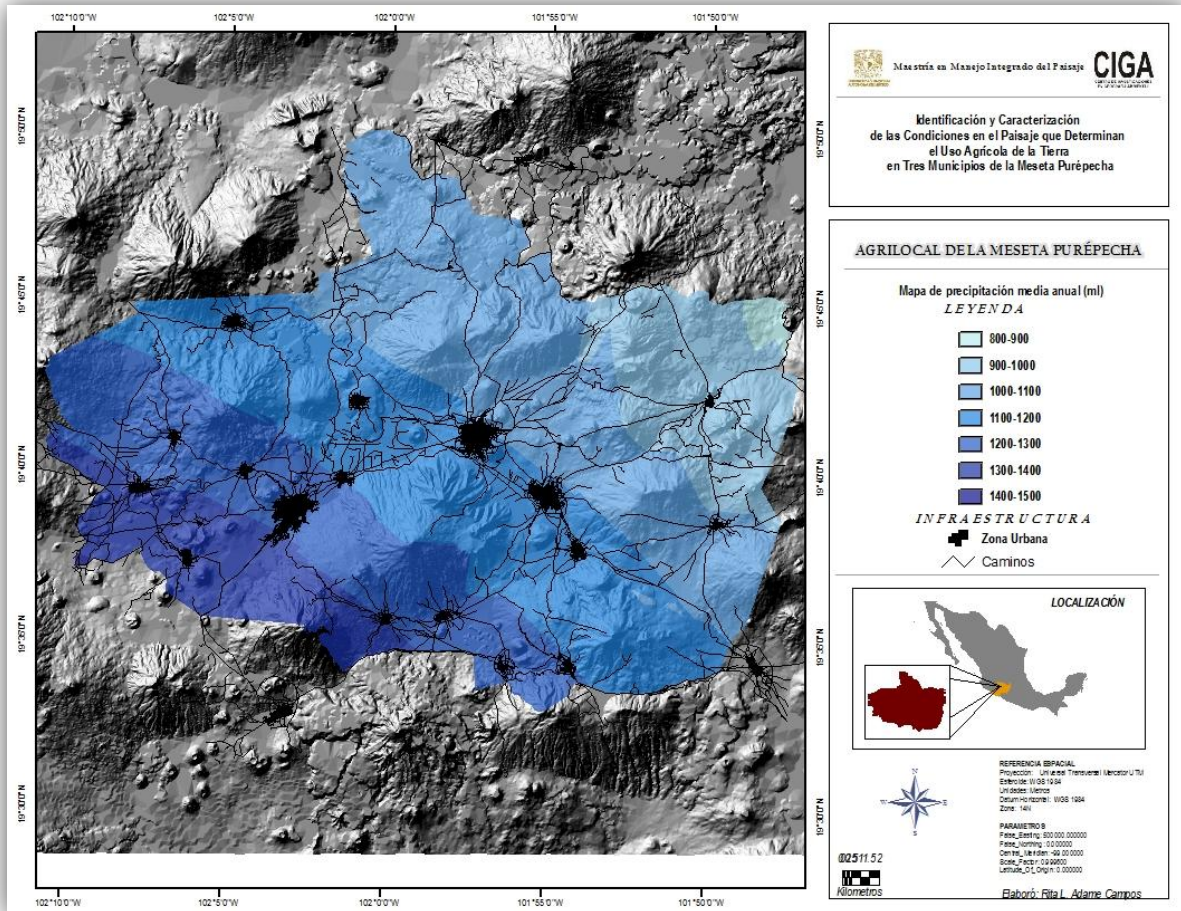


Figura 9. Mapa de precipitación media anual de la Meseta Purépecha.

d) Mapa de tenencia de la tierra.

Considerando a la tenencia de la tierra como un factor hipotético relevante en la construcción del modelo AGRILocal, se generó el mapa de tenencia de la tierra de la zona de estudio, a partir de información obtenida de INEGI (Figura 10).

"Identificación y Caracterización de las Condiciones del Paisaje que Determinan el Uso Agrícola de la Tierra en Tres Municipios del Estado de Michoacán"

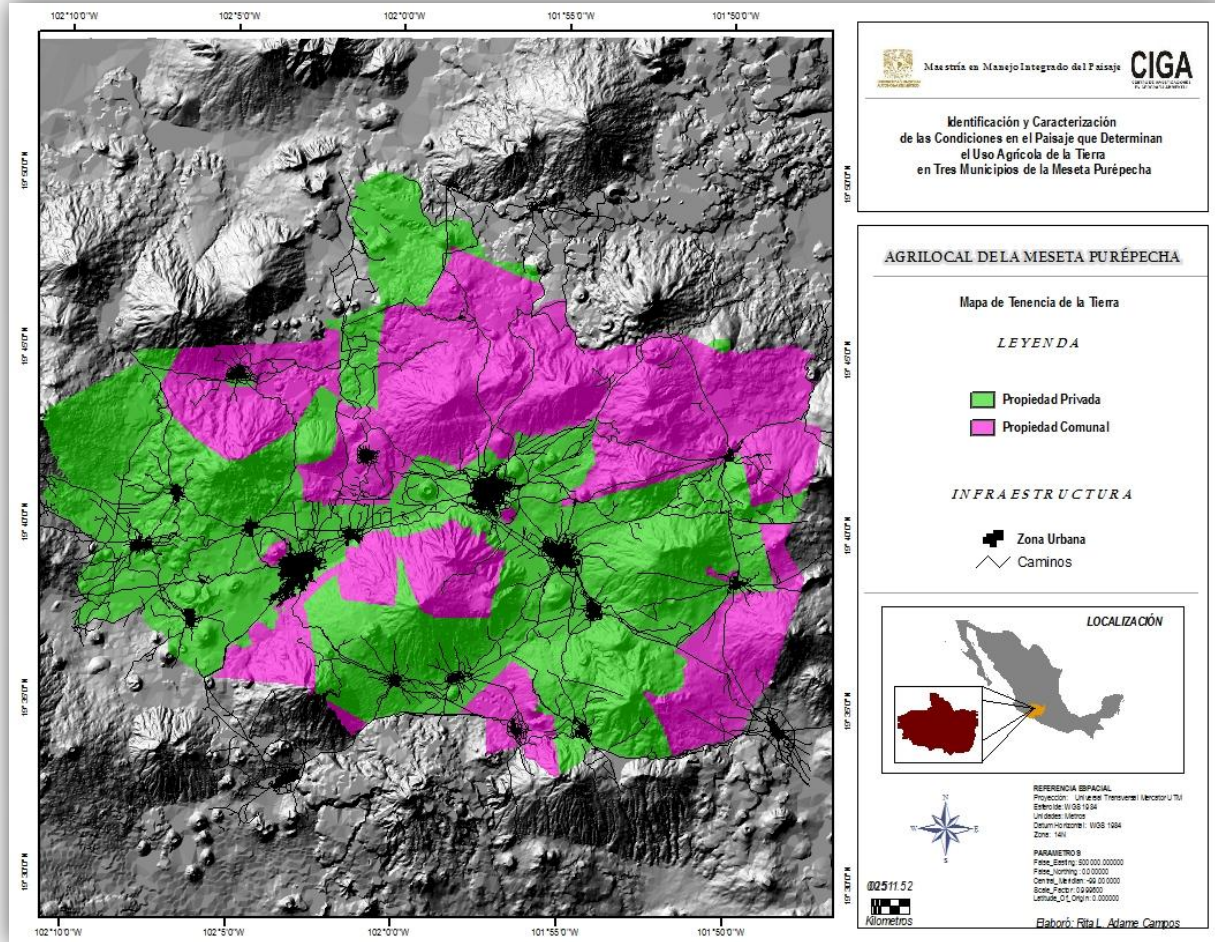


Figura 10. Mapa de Tenencia de la Tierra de la Meseta Purépecha.

Con estos mapas generados y los mapas base existentes, se elaboró un conjunto de mapas que forman parte del análisis en la primera etapa del modelo AGRILocal y que se muestran a continuación.

3.2. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO AGRILocal

3.2.1. ETAPA UNO: Identificación de las relaciones espaciales relevantes. De acuerdo a la metodología para la construcción del modelo AGRILocal se tomó en cuenta que ésta información se puede obtener de manera directa con los agricultores pero dada la extensión del área de estudio y la población de agricultores implicada, esto sólo se hizo para fines de comparación con los resultados del modelo.

Para determinar las relaciones espaciales que formaron parte de ésta etapa del modelo AGRILocal, se tomaron en cuenta factores económicos y biofísicos, específicos de la región, que hipotéticamente estarían determinando si la actividad agrícola se realiza o no. Esta lista incluye 32 parámetros o relaciones.

Tipo	Mapa de:
Fisiográficos	
	Coincidencia con altitud del terreno
	Coincidencia con pendiente del terreno
	Coincidencia con tipo de suelo
Clima	
	Coincidencia con precipitación total anual promedio
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Enero
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Febrero
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Marzo
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Abril
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Mayo
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Junio
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Julio
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Agosto
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Septiembre
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Octubre
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Noviembre
	Coincidencia con Temperatura mínima promedio de Diciembre
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Enero
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Febrero
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Marzo
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Abril
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Mayo
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Junio
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Julio
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Agosto
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Septiembre
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Octubre
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Noviembre
	Coincidencia con Temperatura máxima promedio de Diciembre
Económicas	
	Proximidad a Caminos
	Proximidad a Pastizales
	Proximidad a Poblaciones
	Coincidencia con Tenencia de la Tierra

Tabla 1. Lista de Relaciones Espaciales seleccionadas para el análisis.

Para cada relación se prepararon 32 mapas que representan el patrón real de acuerdo con la fórmula no. 1, correspondiente a cada relación espacial, y 32 mapas que representan el patrón aleatorio, respectivamente; de acuerdo con la fórmula no. 2.

Es importante mencionar que todo el análisis se realizó tomando una muestra de 161 000 píxeles tanto para el mapa del patrón real como para el del mapa del patrón aleatorio de cada relación; debido a limitaciones del programa (ARCMAP 9.2), respecto a la extensión de la zona de estudio y al número total de celdas que representa la zona agrícola (1 292 000 celdas), y a la resolución de análisis, no se pudo generar el mapa aleatorio con la cantidad requerida de celdas. Los mapas aleatorios utilizados en el análisis se muestran a continuación (Figura 11 y 12).

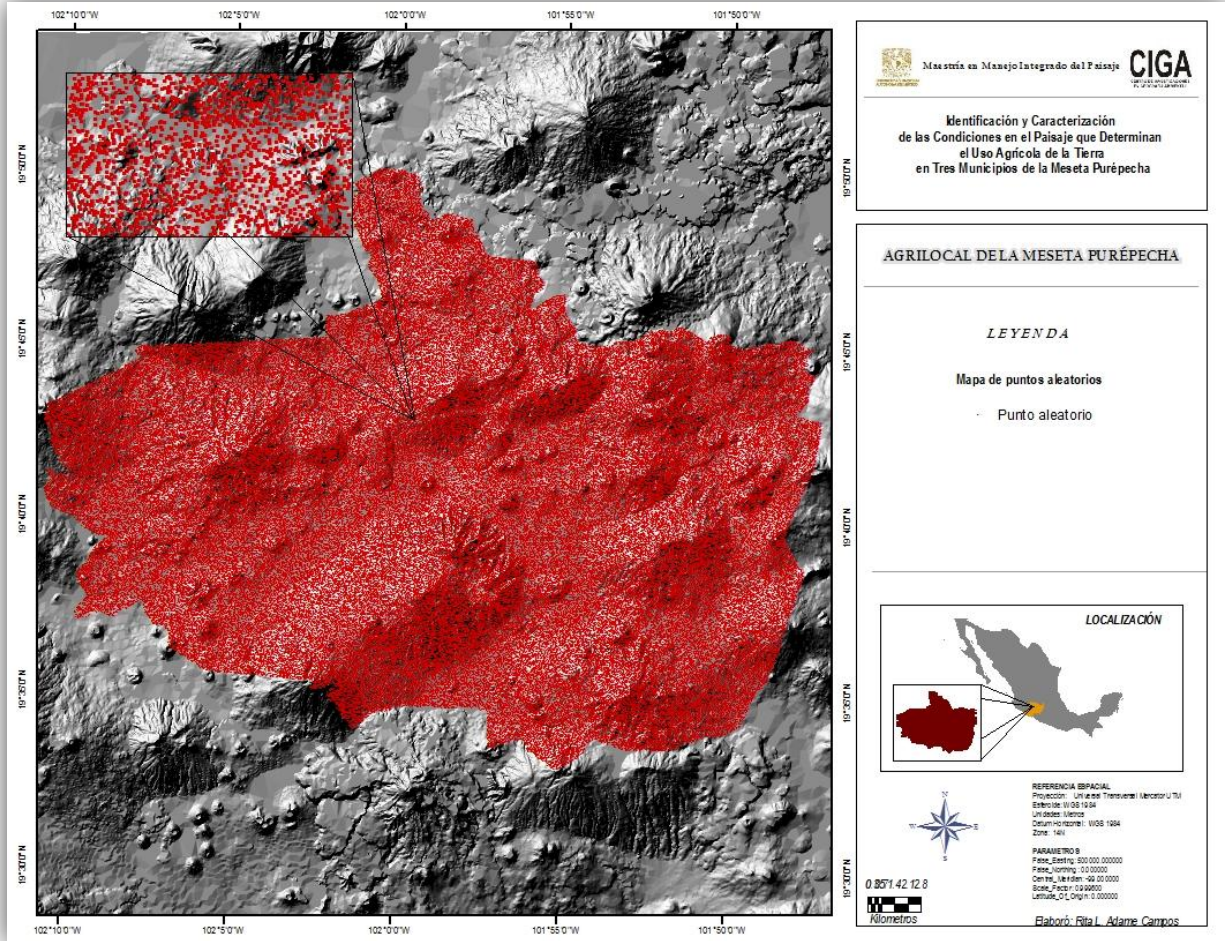


Figura 11. Mapa de muestra aleatoria de la Zona de Estudio.

Se procedió a reclasificar cada uno de los mapas (un total de 64 mapas, incluyendo patrón real y aleatorio) en rangos iguales para cada relación, es decir, el mismo número de clases (y de tamaño de intervalo de clase) del patrón real que del patrón aleatorio para cada una de las relaciones espaciales.

Se eliminó el efecto tamaño tanto para el patrón real como para el aleatorio para cada una de las relaciones de coincidencia aplicando la fórmula no. 3.

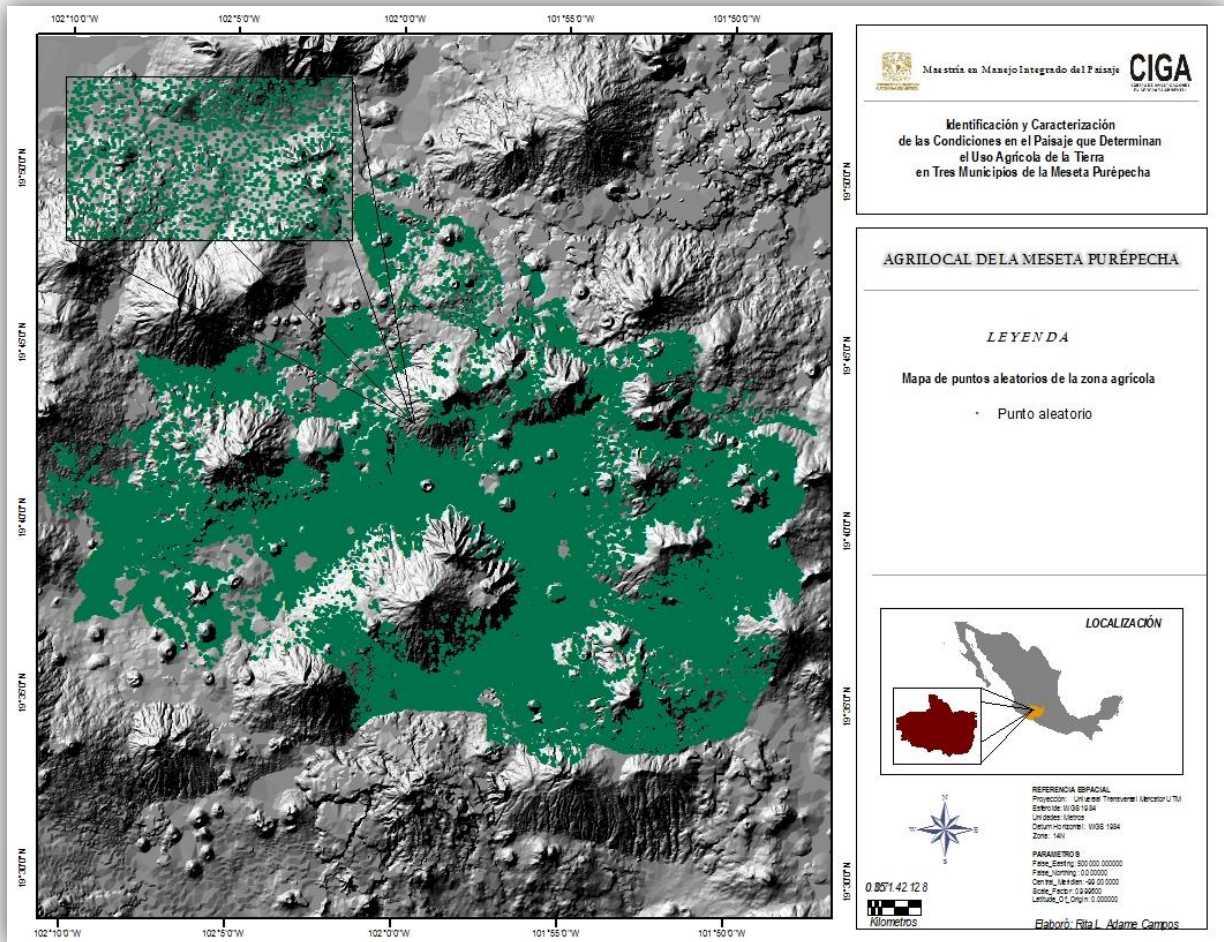


Figura 12. Mapa de muestra aleatoria de la Zona Agrícola.

Posteriormente se realizó la comparación estadística de las muestras de cada patrón para cada una de las relaciones espaciales; tomando en cuenta si la distribución es normal en las dos distribuciones, se aplicó la prueba t (Student) y F (Fisher); en caso contrario, si las distribuciones se consideraron no normales, entonces se aplicaron las pruebas W (Wilcoxon) y D (Kolmogorov-Smirnoff). Se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 2.

Relación Espacial	Distribución Cultivo/Aleatoria	Nivel de confianza %	Relevante
Altitud	Normal/Normal	18	No
Pendiente	No-Normal/ No-Normal	99	Si
Suelo	Normal/Normal	5	No
Precipitación	Normal/Normal	46	No
Temperatura mínima de Enero	No-Normal/ No-Normal	25	No
Temperatura mínima de Febrero	Normal/Normal	7	No
Temperatura mínima de Marzo	Normal/Normal	4	No
Temperatura mínima de Abril	Normal/Normal	29	No
Temperatura mínima de Mayo	Normal/Normal	3	No
Temperatura mínima de Junio	Normal/Normal	1	No
Temperatura mínima de Julio	No Normal/Normal	1	No
Temperatura mínima de Agosto	Normal/Normal	22	No
Temperatura mínima de Septiembre	Normal/Normal	1	No
Temperatura mínima de Octubre	No Normal/Normal	14	No
Temperatura mínima de Noviembre	Normal/Normal	14	No
Temperatura mínima de Diciembre	Normal/Normal	12	No
Temperatura máxima de Enero	Normal/Normal	5	No
Temperatura máxima de Febrero	Normal/Normal	1	No
Temperatura máxima de Marzo	Normal/Normal	9	No
Temperatura máxima de Abril	Normal/Normal	9	No
Temperatura máxima de Mayo	No Normal/No Normal	6	No
Temperatura máxima de Junio	Normal/Normal	9	No
Temperatura máxima de Julio	Normal/Normal	10	No
Temperatura máxima de Agosto	Normal/Normal	14	No
Temperatura máxima de Septiembre	Normal/Normal	12	No
Temperatura máxima de Octubre	Normal/Normal	12	No
Temperatura máxima de Noviembre	Normal/Normal	5	No
Temperatura máxima de Diciembre	Normal/Normal	5	No
Tenencia de la Tierra	--	74	No
Proximidad a Agricultura	No-normal/No-normal	99	Sí
Proximidad a pastizal	Normal/Normal	29	No
Proximidad a Caminos	No-normal/No-normal	87	Sí
Proximidad a Poblaciones	Normal/Normal	30	No

Tabla 2. Tabla de resultados de la relevancia de las relaciones espaciales (las relaciones relevantes aparecen resaltadas).

El análisis de Relevancia muestra que, de las 32 relaciones espaciales, sólo 3 resultaron relevantes: **Proximidad de Zonas Agrícolas a Caminos, Proximidad de Zonas Agrícolas a Zonas Agrícolas Previas y Pendiente de Zonas Agrícolas.**

Es importante señalar que la relevancia de una relación espacial está dada por la diferencia significativa entre las distribuciones del patrón real y el aleatorio, a un nivel de confianza α determinado.

Se observa que de las relaciones que resultaron relevantes para el modelo AGRILocal, las relaciones de Proximidad a Agricultura y Pendiente presentaron una distribución No-Normal para ambas muestras y una similitud significativa a un nivel de confianza del 99%; otra relación relevante fue Proximidad a Caminos, que presentó una distribución No-Normal, y diferencia con respecto a la distribución aleatoria equivalente a un nivel de confianza del 87%.

Para las relaciones que no resultaron relevantes, se observa que la mayoría presentaron una distribución Normal excepto Temperatura mínima de Enero y Temperatura máxima de Mayo que presentaron una distribución No-Normal en ambos patrones; y Temperatura mínima de Julio y Temperatura mínima de Octubre obtuvieron diferentes distribuciones. En general se observó que la mayoría de las relaciones espaciales que no resultaron relevantes tienen un nivel de confianza muy bajo para el punto donde comienzan a ser relevantes. Para el caso de la relación de Tenencia de la tierra, no se logró obtener una diferencia estadística, ya que sólo se cuenta con dos clases; para este caso se tomó en cuenta la probabilidad empírica.

Un aspecto fundamental en la construcción del modelo para esta zona de estudio, para el año 2007, es tomar en cuenta los patrones que se han dado en años previos al año analizado tanto en áreas con el mismo cultivo como en coberturas vegetales.

3.2.2. ETAPA DOS: Especificación de las funciones matemáticas que se ajustan a las distribuciones de las relaciones reales relevantes, y determinación de los umbrales que indican el grado de preferencia que los valores de cada relación representan.

Para determinar las funciones de preferencia que representan los valores de cada relación relevante, se utilizaron como variable Y los valores de probabilidad para cada clase de cada relación y los valores inferiores de cada intervalo de clase como la variable X. Se ajustó por mínimos cuadrados la función matemática que mejor define cada relación. Los resultados se muestran en las figuras 13,14 y 15.

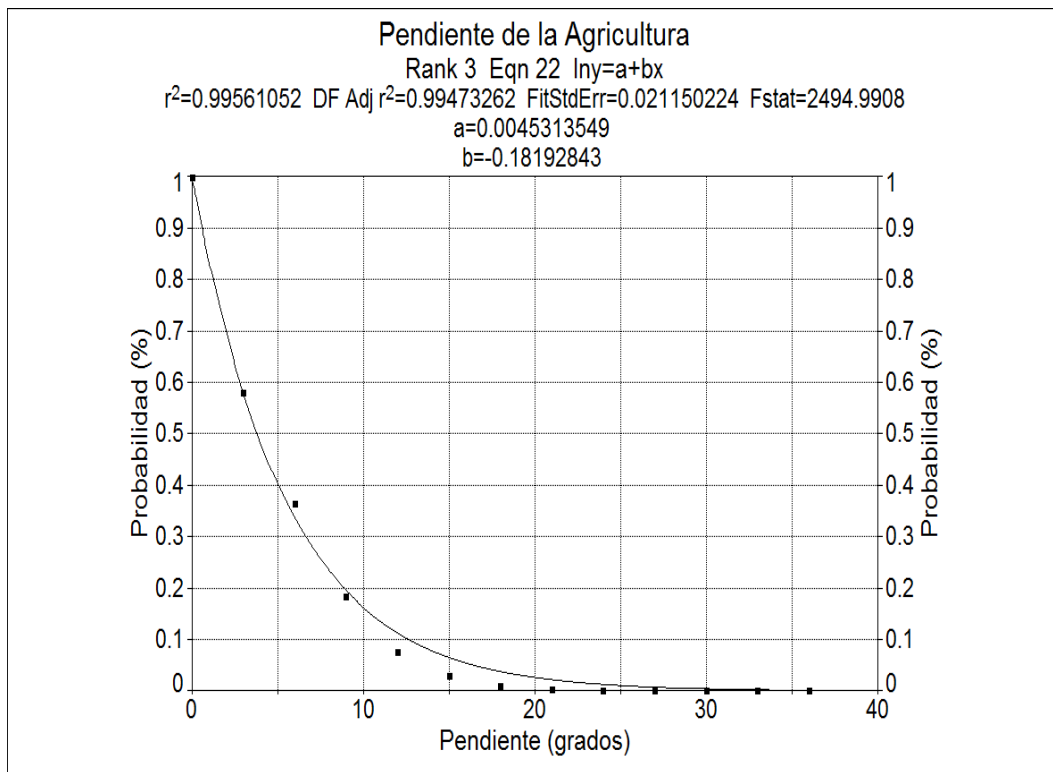


Figura 13. Función probabilística de preferencia para la relación Pendiente de la Agricultura.

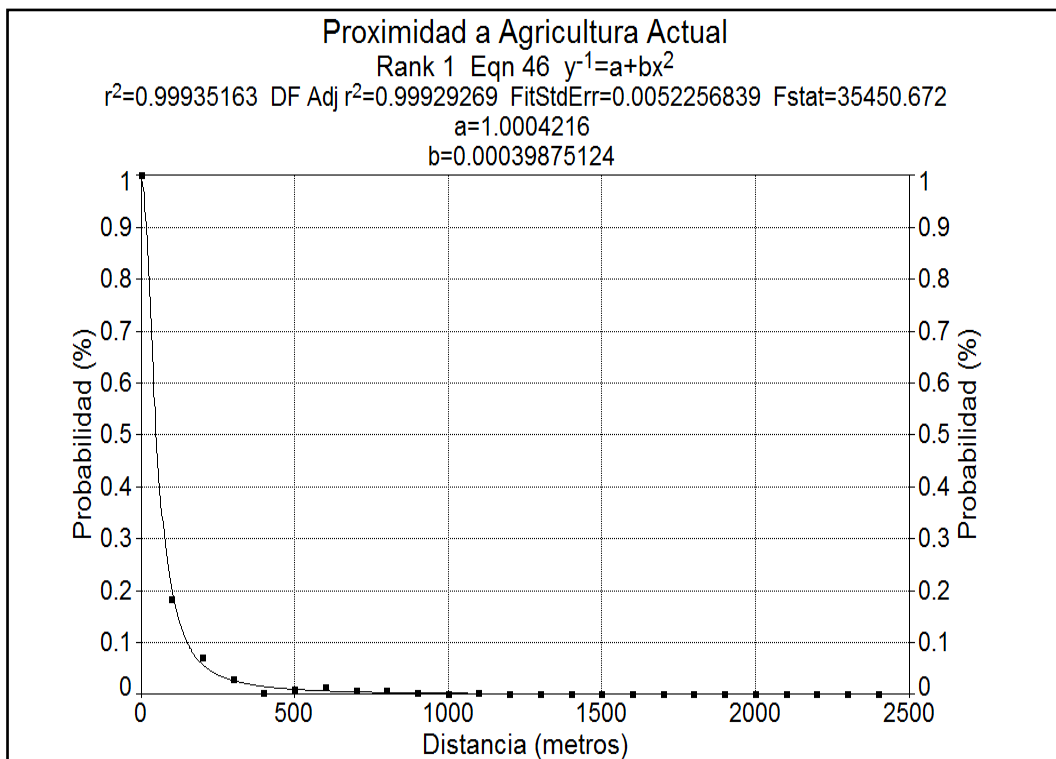


Figura 14. Función probabilística de preferencia para la relación Proximidad a la Agricultura Actual.

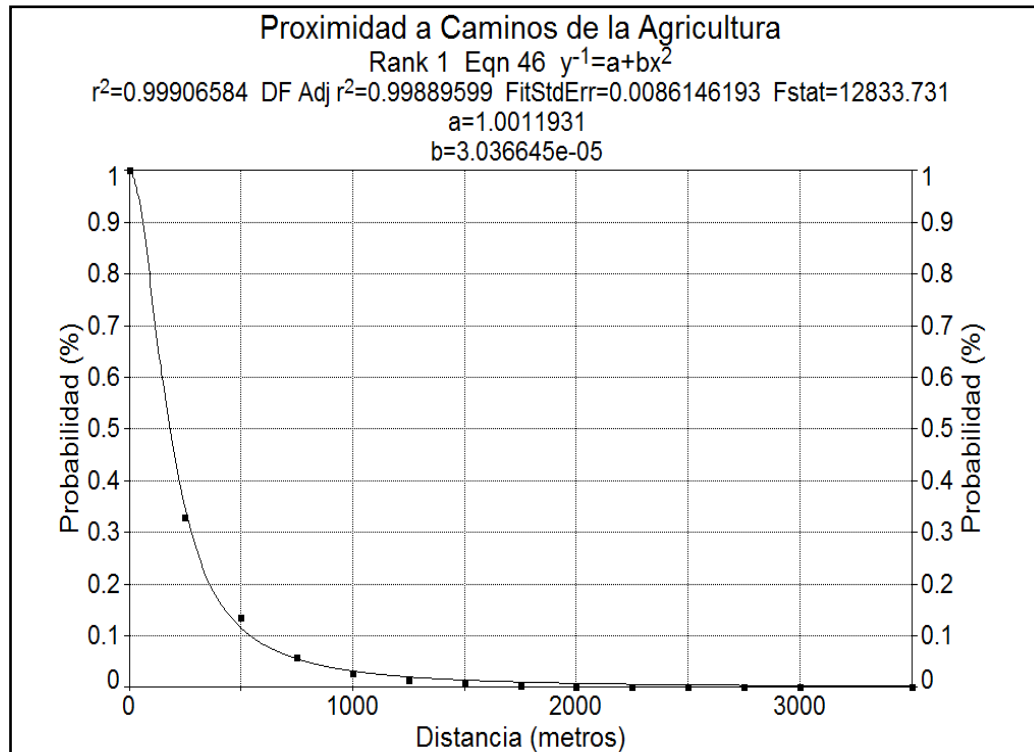


Figura 15. Función probabilística de preferencia para la relación Caminos de la Agricultura.

Debido a que se obtuvieron varias funciones con ajustes apropiados para cada una de las relaciones, se decidió tomar como definitiva a aquella que tuviera un número reducido de términos y mantuviera un coeficiente de determinación (R^2), ajustado por grados de libertad, mayor a 0.99. Para la relación de Proximidad de Zonas Agrícolas a Zonas Agrícolas Previas

(PZAZAP), se obtuvo la ecuación $\frac{a + bx^2}{1}$, con el r^2 más alto para las tres relaciones, de 0.99935163, la cual define de manera adecuada la relación. Para el caso de la relación Pendiente de las Zonas Agrícolas (PZA), la función matemática que mejor se ajustó fue la de $\ln y = a + bx$, con un r^2 de 0.99561052; y para la relación de Proximidad de las Zonas

Agrícola a Caminos (PZAC) se obtuvo la función $\frac{a + bx^2}{1}$, con un r^2 de 0.99906584. La cercanía al valor 1 de las funciones habla de un ajuste casi perfecto y de una clara definición matemática de cada una de las relaciones.

Una vez obtenidas las funciones se procedió a aplicarlas a cada mapa de la relación correspondiente; para la relación PZA se empleó el mapa de pendientes de la zona de estudio, derivado del modelo digital de elevación, para la relación PZAC, se usó el mapa de proximidad a caminos actualizados al 2007, y para la relación PZAZAP se utilizó el mapa de zonas agrícolas de 2007. Todos los mapas obtenidos de la aplicación de las funciones de preferencia poseen, valores de 0 a 1, donde el valor de preferencia más alto corresponde a uno y el más bajo a cero (Figuras 16, 17 y 18).

Estos mapas se interpretan como la preferencia para el uso del territorio con fines agrícolas, basado en la forma en que los agricultores de la región han utilizado el territorio para ese fin.

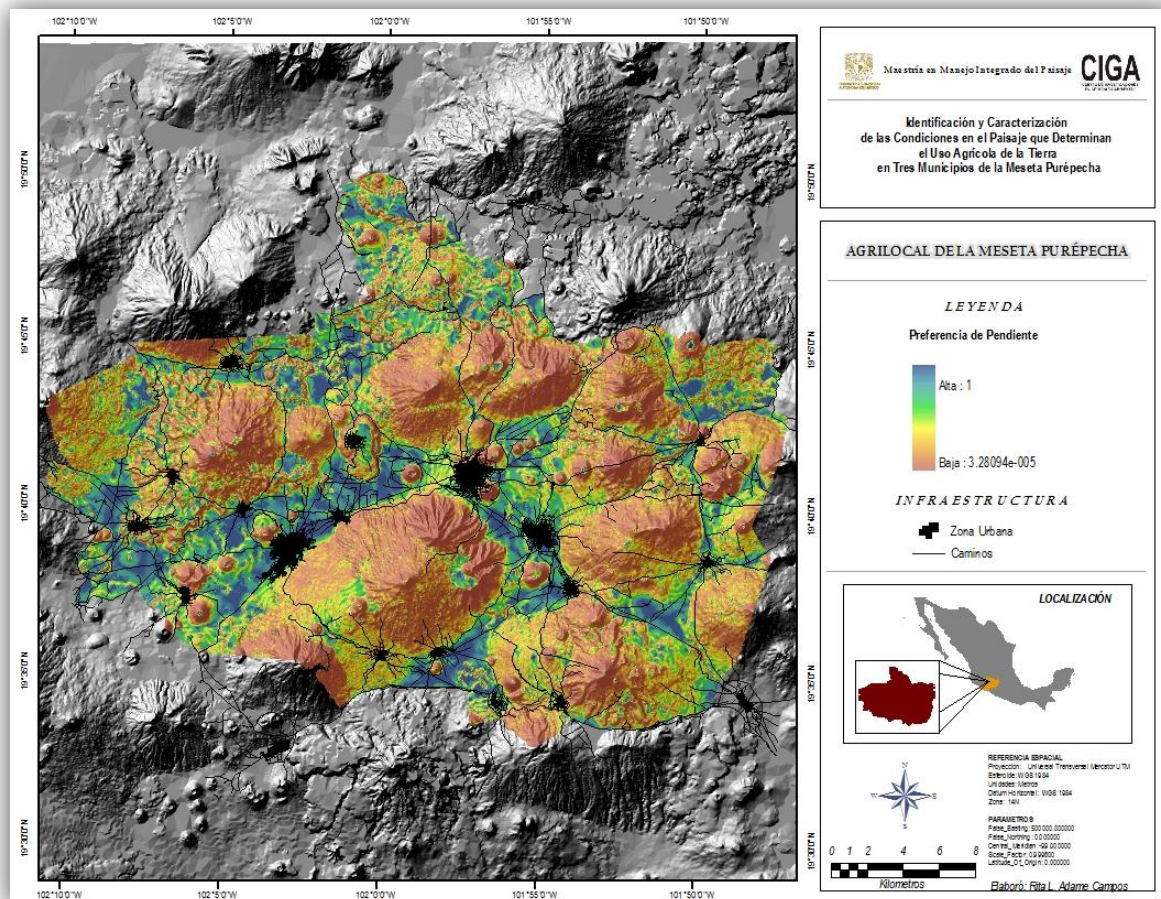


Figura 16. Preferencia para uso agrícola del territorio en función de la pendiente del terreno.

"Identificación y Caracterización de las Condiciones del Paisaje que Determinan el Uso Agrícola de la Tierra en Tres Municipios del Estado de Michoacán"

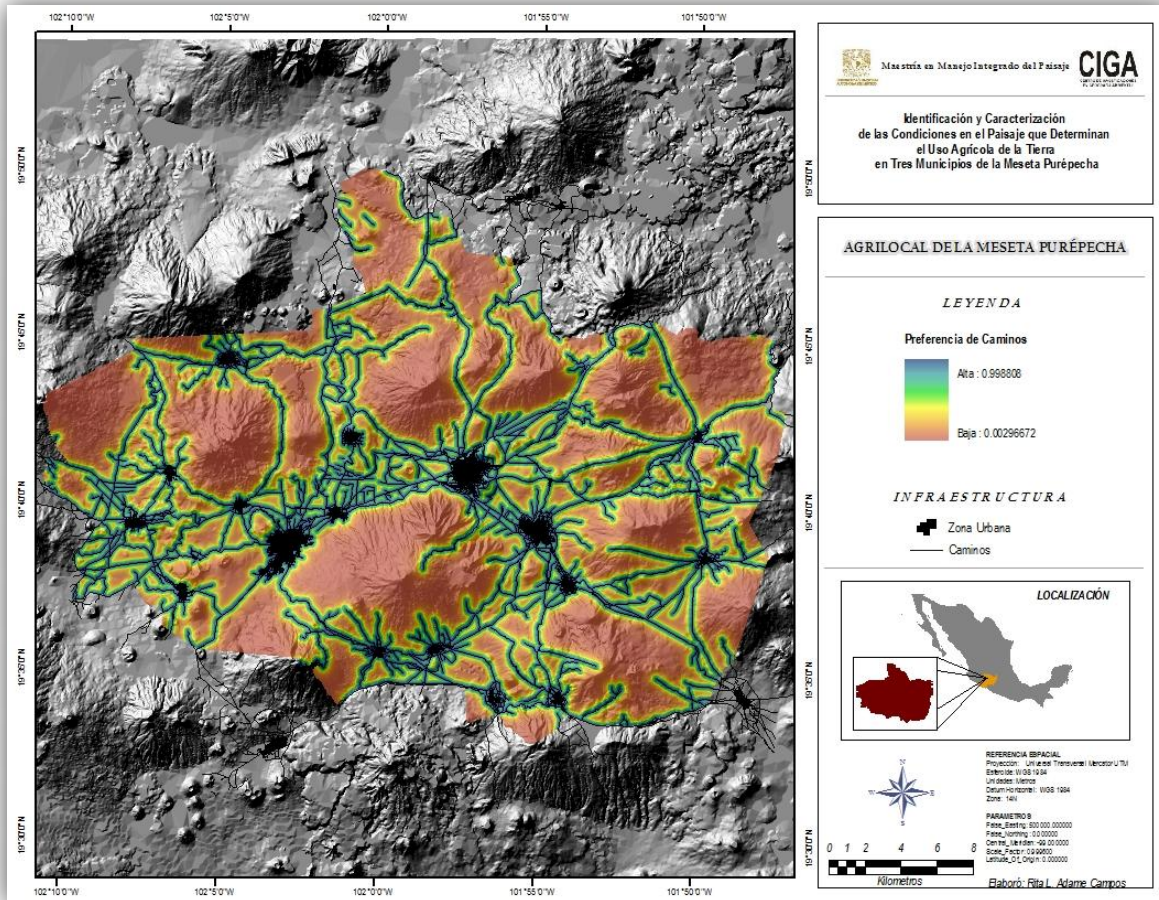


Figura 17. Preferencia para uso agrícola del territorio en función de la proximidad a caminos.

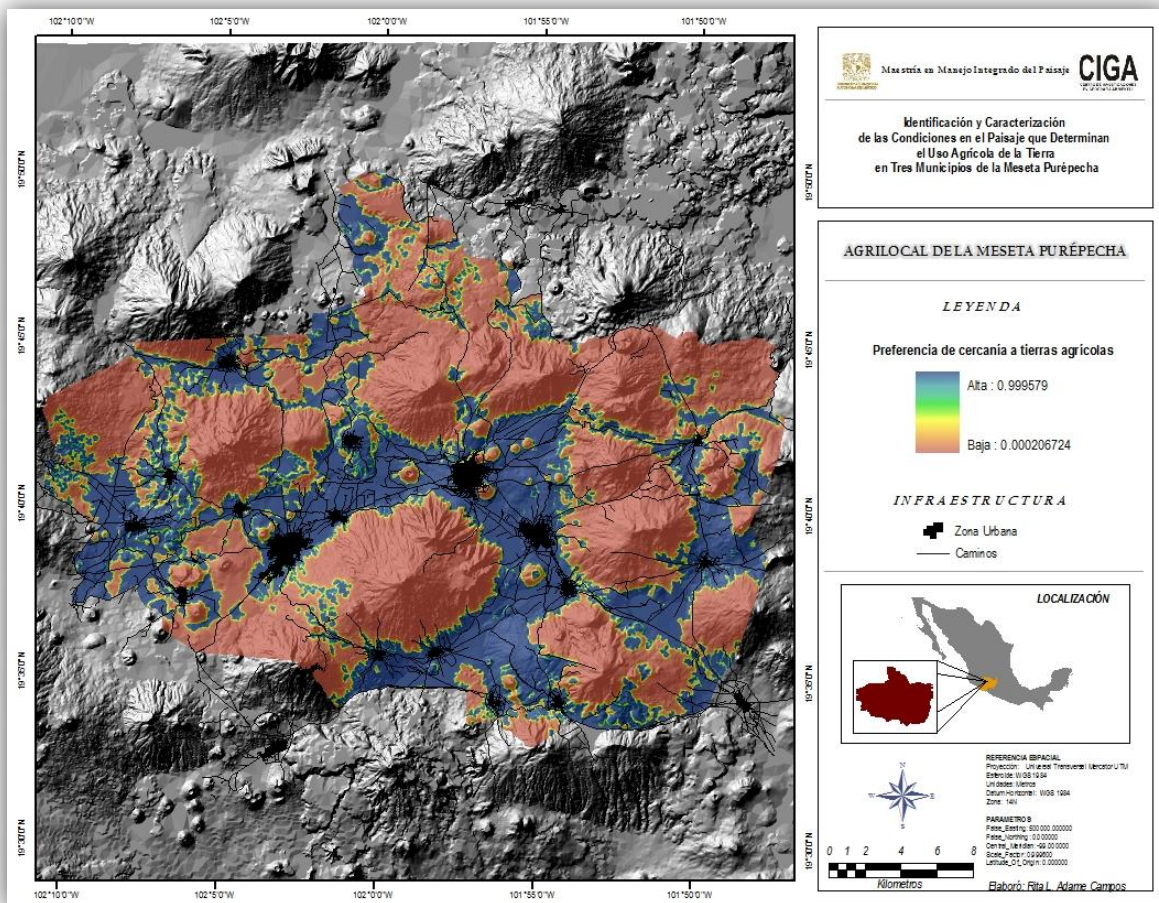


Figura 18. Preferencia para uso agrícola del territorio en función de la proximidad a tierras de cultivo.

Con estos tres mapas de preferencia se generaron dos modelos preliminares para el uso agrícola del territorio; el primero consiste en un mapa de probabilidad de uso agrícola del territorio basado en tres relaciones espaciales, en donde a partir de los valores de 0 a 1, 1 corresponde al valor más alto de probabilidad de uso y el 0 al valor más bajo (Figura 19). El segundo modelo resultó en un mapa de clases aptitud del territorio para el uso agrícola y se generó usando la información de probabilidad del primer mapa, agrupando en clases los valores de probabilidad (Figura 20).

Es necesario mencionar que ambos modelos son preliminares y solamente se elaboraron con fines exploratorios. Aunque ya son susceptibles de interpretación, la falta de ponderación de los parámetros impide que cualquier conclusión obtenida de ellos pueda ser tomada como definitiva. A continuación se describe brevemente la elaboración de cada modelo.

3.2.2.1 MODELO PRELIMINAR DE PROBABILIDAD DE USO AGRÍCOLA DEL TERRITORIO.

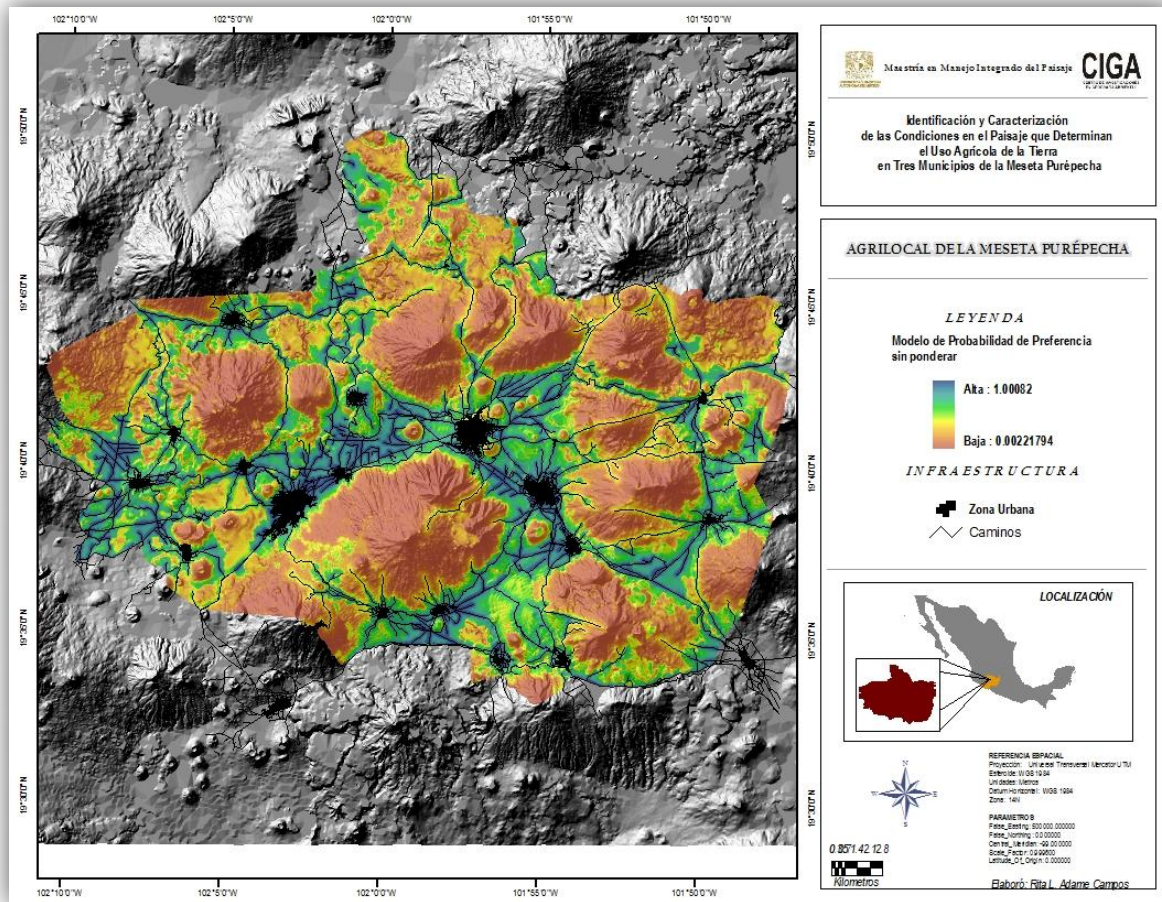


Figura 19. Probabilidad preliminar de uso agrícola del territorio derivada de las preferencias inferidas de los agricultores locales para tres relaciones espaciales (PZA, PZAC, PZAZAP).

Los mapas anteriores se generaron de acuerdo con la fórmula general no. 4 y específicamente el modelo es el siguiente:

$$PUASPE = (ProbPZA + ProbPZAC + ProbPZAZAP) / 3$$

Donde:

PUASPE = Probabilidad de Uso Agrícola, sin ponderar;

ProbPZA = Probabilidad en función de la relación Pendiente de las Zonas Agrícolas;

ProbPZAC = Probabilidad en función de la relación Proximidad de las Zonas Agrícolas a Caminos;

ProbPZAP = Probabilidad en función de la relación de Proximidad a Zonas Agrícolas Previas;

Con esta fórmula se obtuvo el mapa de probabilidad de la Figura 19, con una escala entre 1 y 0, donde 1 corresponde al valor más alto de probabilidad de uso y el 0 al valor más bajo o a la nula probabilidad. Como todas las relaciones espaciales tienen el mismo peso el patrón de probabilidades no es del todo realista, pero si se pueden observar los terrenos de mayor preferencia para el uso agrícola.

3.2.2.2 MODELO PRELIMINAR DE APTITUD TERRITORIAL PARA EL USO AGRÍCOLA

El segundo modelo se realizó para obtener valores de clase de aptitud y a partir del modelo anterior. Para esto, se procedió a generar rangos para las clases de aptitud territorial utilizando el algoritmo de agrupamiento estadístico K-medias, y dividiendo en 5 clases de aptitud (Muy apta, Apta, Moderada, marginal y No apta). La tabla de rangos de aptitud se muestra a continuación.

Clase de Aptitud	Valores límite de probabilidad	
	de	A
Muy apta	0.751172	1.000824
Apta	0.552231	0.751172
Moderada	0.345489	0.552231
Marginal	0.150449	0.345489
No apta	0.002218	0.150449

Tabla 3. Tabla de rangos de preferencia para el modelo preliminar de Aptitud Territorial Para el Uso Agrícola.

"Identificación y Caracterización de las Condiciones del Paisaje que Determinan el Uso Agrícola de la Tierra en Tres Municipios del Estado de Michoacán"

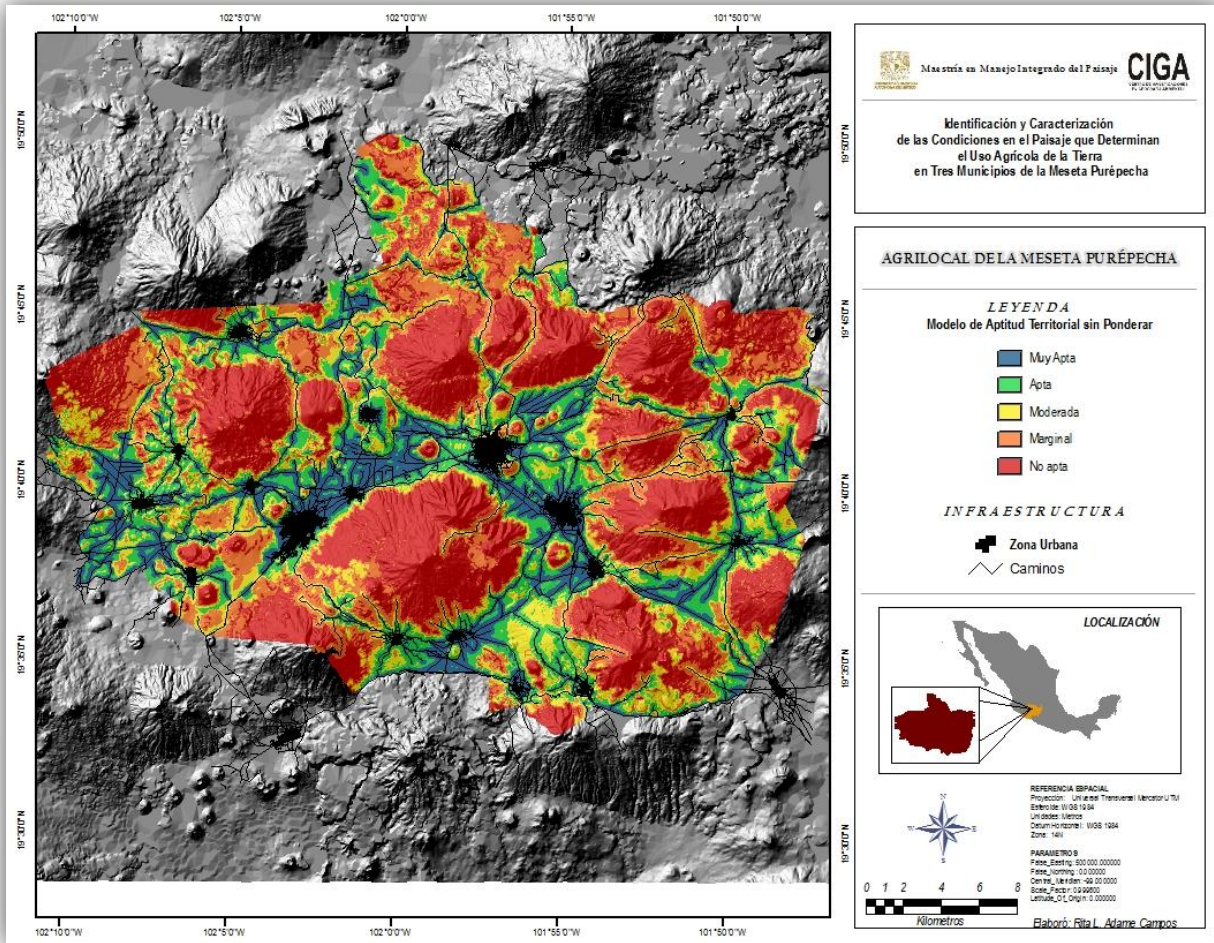


Figura 20. Aptitud territorial para uso agrícola (modelo preliminar, no ponderado)

3.2.3. ETAPA TRES: Derivar los pesos para establecer el grado de influencia de cada relación espacial en la decisión de usar la tierra con fines agrícolas.

Para obtener el grado de influencia de cada relación espacial que resultó relevante, se analizó el valor “D” de la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov, que resulta de la diferencia entre la distribución acumulada real de la relación espacial y la distribución acumulada aleatoria de la misma relación; tomando en cuenta que cuanto más diferentes son los valores entre la relación real y la aleatoria, es más influyente la relación en cuestión, es decir, entre más diferentes son ambas distribuciones se asume que los agricultores le dan más importancia a la relación en la decisión de usar el territorio para fines agrícolas. Con ésta prueba se pudo medir la diferencia máxima entre las dos distribuciones acumulativas, la cual sirve de bases para generar el peso máximo para cada relación. Para derivar los pesos se

basó en la fórmula no.5, en donde se transformaron los valores de “D” en valores normalizados, los cuales se interpretan como pesos, obteniendo como resultado que las relaciones con mayor peso resultaron ser PZA y PZAZAP, con un valor de 0.375013. Se observa en la Tabla 4 que los pesos son similares y su interpretación se discute en el capítulo siguiente.

Relación Espacial	Valor D	PESO
Pendiente	0.526316	0.375013
Proximidad a Agricultura	0.520000	0.370513
Proximidad a Caminos	0.357143	0.254473

Tabla 4. Tabla de pesos para los parámetros relevantes.

Con estos pesos se procedió a generar los modelos definitivos de probabilidad de uso agrícola del territorio y de aptitud del territorio para uso agrícola, como se describe a continuación.

3.2.4 APLICACIÓN DEL MODELO

3.2.4.1 MODELO PONDERADO DE PROBABILIDAD DE USO AGRÍCOLA DEL TERRITORIO

A partir de la fórmula general no. 6, se generó el modelo final de probabilidad de uso agrícola (Figura 21), con la fórmula específica siguiente:

$$PUA = ((0.375013)(ProbPZA) + (0.370513)(ProbPZAC) + (0.254473)(ProbPZAZAP))$$

Donde:

PUA = Probabilidad de Uso Agrícola del territorio;

ProbPZA = Probabilidad en función de la relación Pendiente de las Zonas Agrícolas;

ProbPZAC = Probabilidad en función de la relación Proximidad de las Zonas Agrícolas a Caminos;

ProbPZAZAP = Probabilidad en función de la relación de Proximidad a Zonas Agrícolas Previas;

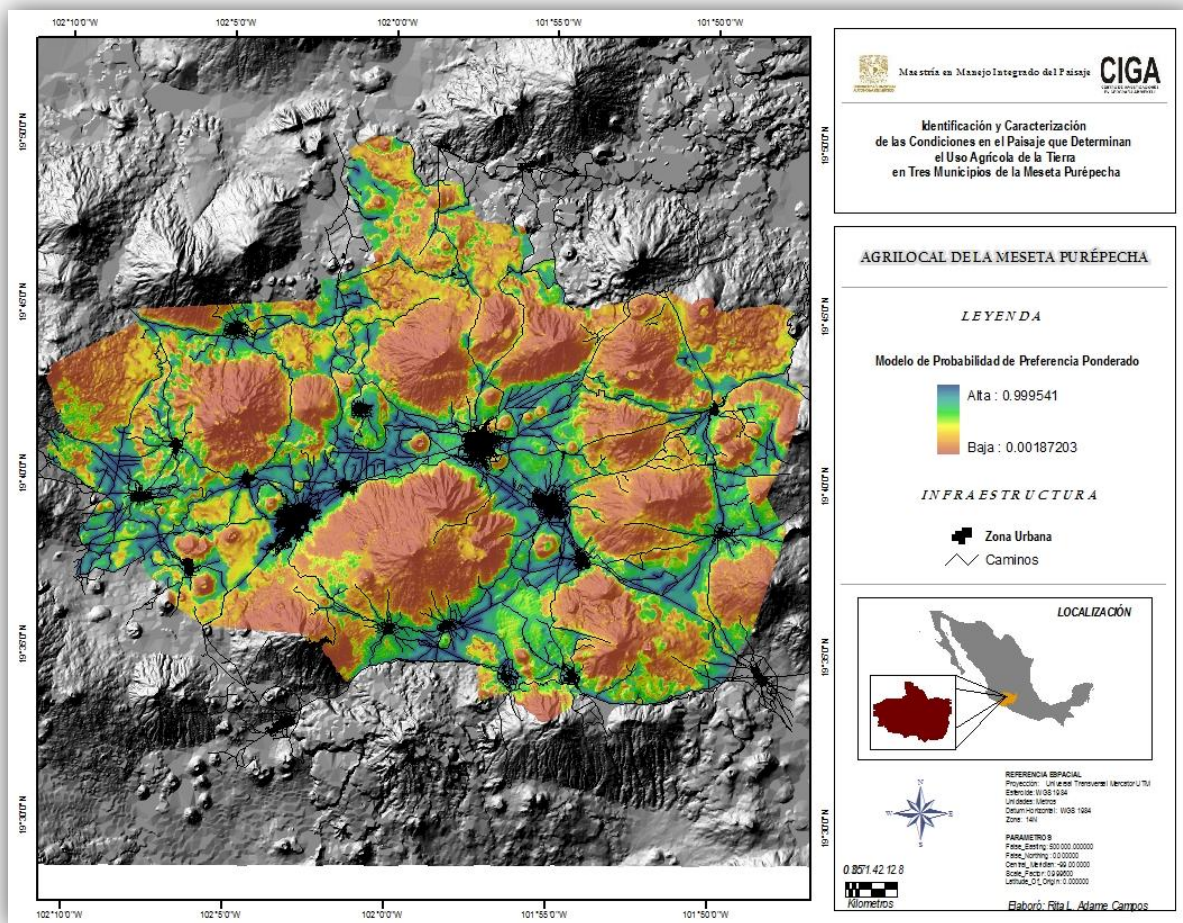


Figura 21. Probabilidad ponderada de uso agrícola del territorio, derivada de las preferencias inferidas de los agricultores locales para tres relaciones espaciales (PZA, PZAC, PZAZAP).

3.2.4.2. MODELO PONDERADO DE APTITUD TERRITORIAL PARA EL USO AGRÍCOLA

Para facilitar la interpretación del mapa anterior, se reclasificó en 5 clases de aptitud territorial, de acuerdo con el algoritmo de agrupamiento estadístico K-Medias, las cuales se muestran en la tabla 5. El mapa resultante se muestra en la Figura 22.

Clase de Aptitud	Valores límite de probabilidad	
	de	A
Muy apta	0.750123	0.999541
Apta	0.559163	0.750123
Moderada	0.352615	0.559163
No apta	0.153861	0.352615
No apta	0.001872	0.153861

Tabla 5. Tabla de rangos de preferencia para el modelo ponderado de Aptitud Territorial Para el Uso Agrícola.

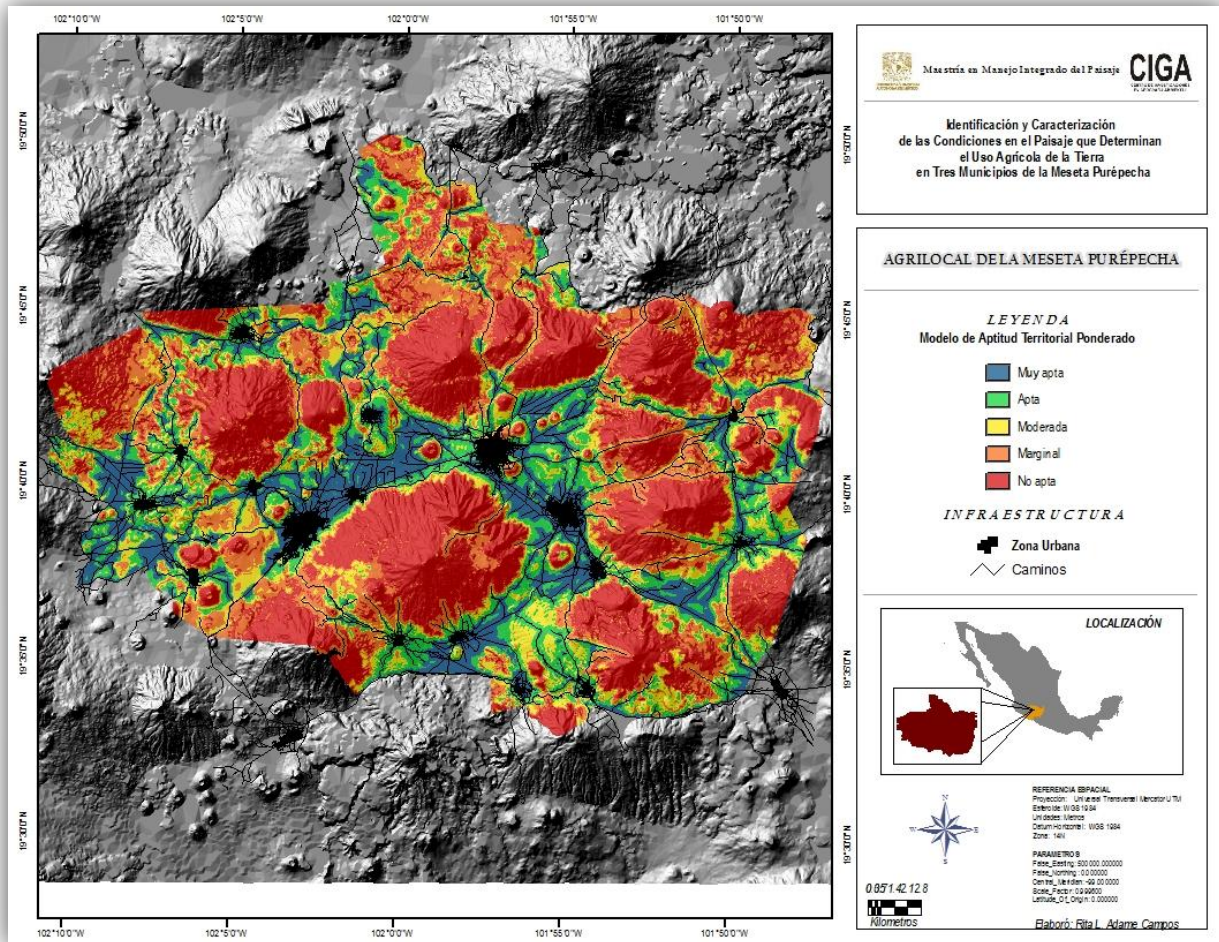


Figura 22. Aptitud territorial para uso agrícola (modelo ponderado).

Finalmente, se sobrepuso la distribución anterior y actual de las tierras agrícolas a los dos mapas finales de probabilidad de uso y aptitud territorial, para contrastar el modelo

AGRILOCAL de la Meseta Purépecha con la realidad. Específicamente, con los mapas de cobertura agrícola de la fecha anterior (1971) y de la fecha actual (2007) se hizo una comparación entre las diferentes zonas de aptitud indicadas en el mapa de aptitud territorial clasificado y las coberturas agrícolas. En las figuras 23 y 24 se muestran los mapas de estas comparativas y sus resultados se discuten en el capítulo siguiente.

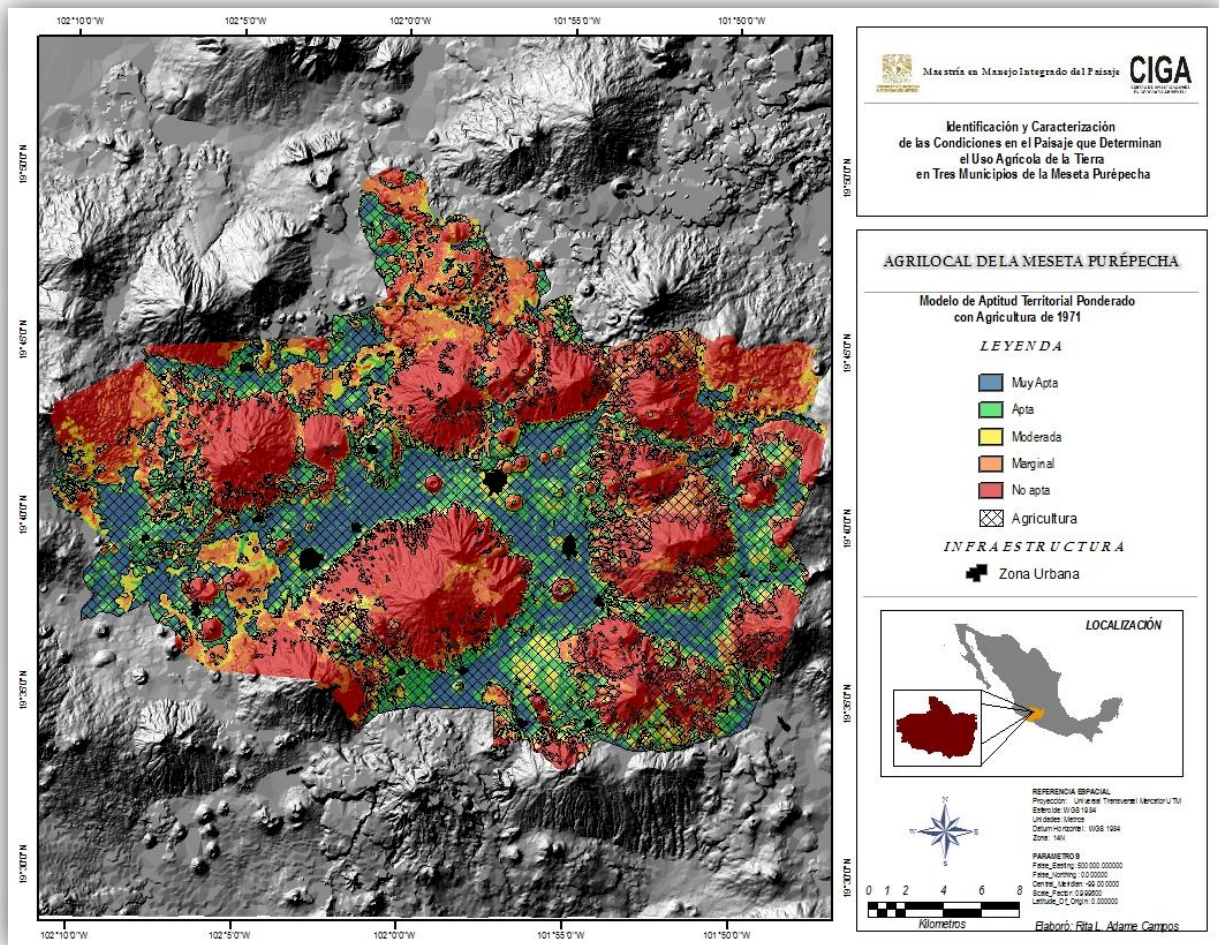


Figura 23. Comparación visual de las zonas agrícolas de 1971 y la aptitud territorial para uso agrícola según el modelo AGRIOLOCAL.

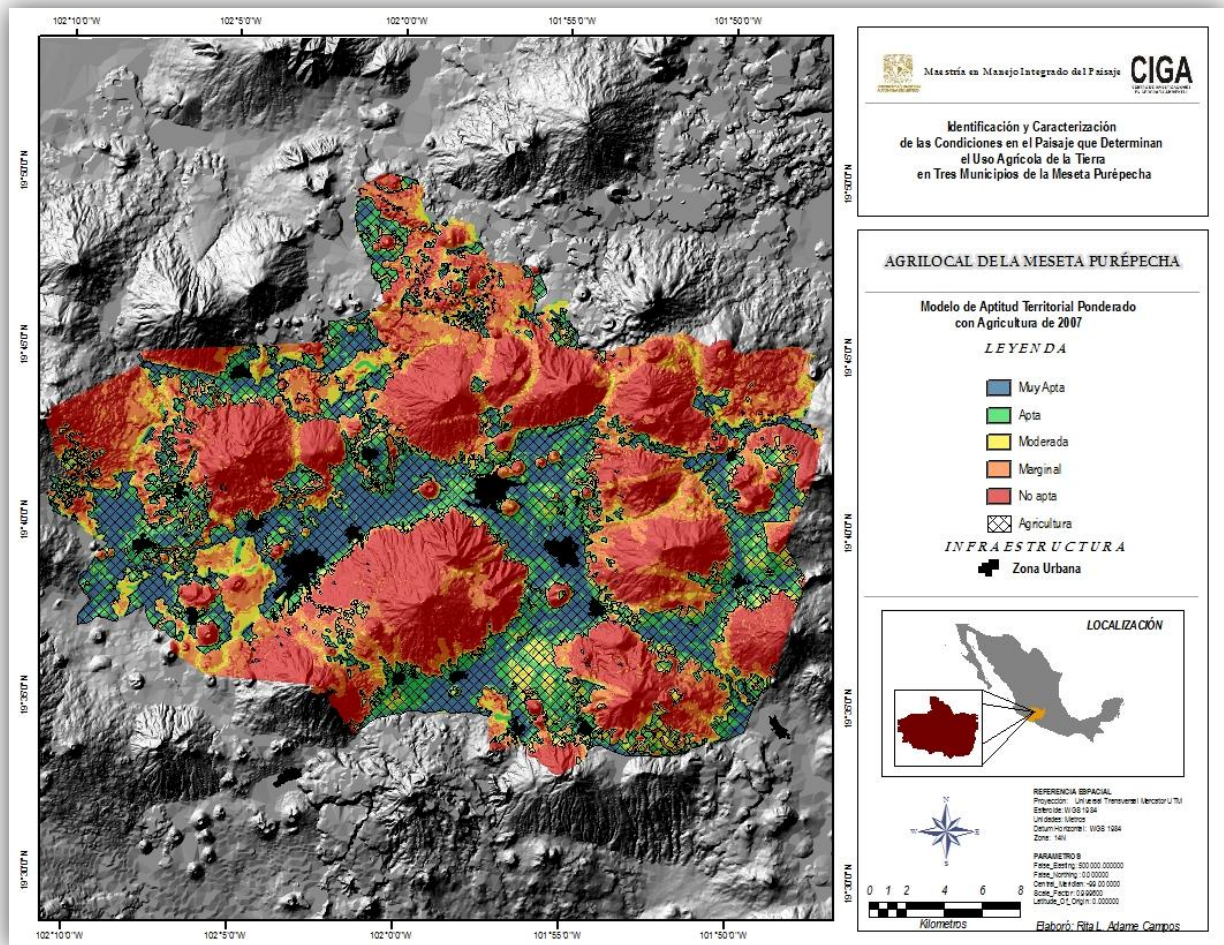


Figura 24. Comparación visual de las zonas agrícolas de 2007 y la aptitud territorial para uso agrícola según el modelo AGRILocal.

A partir del mapa de Aptitud Territorial Ponderado, se generó un mapa de Aptitud Territorial Ponderado de las Zonas Agrícolas en el cual se hizo un análisis más específico de estas zonas.

3.3. APLICACIÓN DE ENCUESTAS

La aplicación de encuestas se hizo con el objetivo de comparar los resultados de relevancia, preferencia y pesos obtenidos estadísticamente de las distribuciones de la agricultura en la Meseta Purépecha para el 2009, con la opinión directa de los agricultores. Esta comparación 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 agricultores de la Meseta Purépecha, constaron de tres partes (ver ANEXOS):

1.- La primera fue estructurada para conocer cuales parámetros resultan relevantes para los agricultores, 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 la agricultura.

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

Se aplicaron un total de 48 encuestas a los agricultores de la Meseta Purépecha, así mismo dentro de los entrevistados se encuentran algunos Ingenieros agrónomos que a su vez son agricultores y vertieron su punto de vista y experiencia en cuanto a la agricultura en la zona.

Es importante mencionar que sólo se entrevistaron a dos ingenieros agrónomos, lo cual causaría un sesgo mínimo en los resultados de la encuesta.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN

4.1. DISCUSIÓN DE MAPAS DE COBERTURA VEGETAL Y USO DE SUELO

Es fundamental contar con mapas de cobertura vegetal y uso de suelo por lo menos de dos fechas de la zona de estudio para poder aplicar el modelo AGRILLOCAL; ya que a partir de las coberturas en éstos mapas se generan algunos parámetros del modelo, por ejemplo: proximidad a pastizales en fecha anterior y proximidad a tierras agrícolas en fecha anterior.

Posteriormente se estimaron los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo, simplemente con la finalidad de tener una referencia de contexto en términos de superficie de los procesos de cambio en la región, sin que esto modifique en manera alguna los resultados del modelo. Se realizó un análisis de información para estimar los cambios que se han venido dando de cobertura vegetal y uso de suelo en la Meseta Purépecha en los periodos de 1971 a 2007.

Cobertura Vegetal y Uso del Suelo	Superficie (Ha)	
	1971	2007
Vegetación Natural	75172.8	81995.16
Agricultura	49312.48	35143.52
Pastizal	1840.28	8103.8
Población	614.16	1633.84
Sin Vegetación Aparente	0	61.04

Tabla 6. Tabla de cambios de cobertura vegetal y uso de suelo de 1971 a 2007.

Para 1971 se tiene que predominan la cobertura de vegetación natural en un 59.2% y la agricultura en 38.8%, y sólo 1.4% de pastizal y 0.5% de población. Después de 37 años (2007), en la Meseta Purépecha se aprecian algunos cambios; la cobertura de vegetación natural incrementó su superficie un 5%, cubriendo para esta fecha un 64.6%, la agricultura por su parte disminuyó un 11% quedando un 27.7% de la superficie para este uso; la cobertura de pastizal tuvo un incremento significativo en términos de superficie ocupada pasando de poco mas de 1,000 has a poco más de 8,000 has, pero en términos de la superficie total del territorio solamente se incrementó del 5% a 6.4% de superficie, lo cual indica que el cambio no fue importante. El uso del suelo urbano pasó de 0.5% a 1.3% de la superficie, lo cual se interpreta como poco significativo.

4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO

4.2.1 ETAPA UNO: Identificación de las relaciones espaciales relevantes.

En la Etapa Uno de la construcción del modelo se identificaron 32 relaciones espaciales hipotéticamente relevantes, se generaron mapas con las distribuciones real y aleatoria de cada relación, cuyos valores se clasificaron y posteriormente se realizó la comparación estadística de los patrones (real y aleatorio) para cada relación espacial hipotética y así determinar las relaciones espaciales relevantes del modelo AGRILocal de la meseta purépecha.

Del análisis de relevancia según el modelo AGRILocal solamente tres relaciones espaciales resultaron relevantes: **PZA, PZAC y PZAZAP**. Todas ellas presentaron una distribución no-normal. Lo que indica que existe un sesgo de los valores hacia una de las colas de las distribuciones; en este caso el sesgo es hacia los valores bajos de distancia en el caso de las relaciones de proximidad, y hacia los valores bajos de inclinación del terreno, en el caso de la relación de coincidencia entre pendiente y zonas agrícolas. Lo cual es lógico, ya que en el caso de la proximidad a zonas agrícolas ya existentes, es más fácil ampliar la frontera agrícola a partir desde zonas con ese uso que hacerlo desde otro tipo de cubierta / o uso del suelo, mientras que la proximidad a caminos se explica por la necesidad de introducir los insumos de cultivo (maquinaria y fertilizantes) y extraer la cosecha. En el caso de la pendiente su relevancia se explica seguramente por las relaciones que esta guarda con las características de los suelos, particularmente en términos de profundidad, fertilidad y facilidad de labranza.

Hay que recordar que la relevancia de una relación espacial se ve reflejada en el nivel de confianza α , por encima del cual las distribuciones real y aleatoria se deben considerar como diferentes. En este sentido, es importante mencionar que originalmente el modelo considera un nivel de significancia $\alpha = 95\%$ o $p < 0.05$ para determinar si una relación es relevante o no (Morales 2011). Sin embargo, en el transcurso del estudio se discutió que el establecer este límite de confianza es un tanto arbitrario, y que una mejor manera de determinar relevancia usando límites de confianza sería el relajar este umbral al 85%, y reportar a qué nivel la

relación es relevante. Así no solamente se sabe si la relación es relevante sino también si una relación es más relevante que otra.

En este caso, se observa en la Tabla 2 que, las relaciones PZA y PZAZAP resultaron ser relevantes con un nivel de confianza del 99%; lo cual nos habla de una probabilidad elevada de que estos factores sean tomados muy en cuenta para realizar la actividad agrícola en esta región, es decir, que la manera en que los agricultores han venido utilizando las tierras para la actividad agrícola no es debida al azar, sino que depende en mucho de los valores de estos dos factores. Para el caso de la relación PZAZAP se obtuvo que es relevante a un nivel de confianza del 87%, lo cual refleja una probabilidad por debajo del 95% sugerido originalmente en el modelo, pero que cuando se analiza detenidamente se encuentra que es también relevante, solo que su relevancia es ligeramente menor que la de las otras dos. La explicación posible para este nivel inferior de la relevancia de la relación PZAC, es que, en la región, dado que la agricultura está determinada en Apta medida por la pendiente (seguramente como variable subrogante de las características físico-químicas de los suelos), y que la mayor parte de las zonas agrícolas se realiza en pendientes relativamente planas, la necesidad de tener un camino próximo disminuye, toda vez que es posible ingresar vehículos a los campos de cultivo sin que necesariamente haya un camino en el sentido formal, sino a través de brechas temporales a campo traviesa. Para el caso de la relación precipitación, la razón por la que resultó no relevante para el modelo, se puede deber a que, aún cuando se tienen lluvias abundantes, el gradiente de precipitación a lo largo de la meseta purépecha no es muy variable y se puede apreciar en la Figura 9. El mismo caso sucede para las relaciones de temperatura.

4.2.2. ETAPA DOS: Especificar las funciones matemáticas que indican el grado de preferencia para el uso del territorio con fines agrícolas.

Para establecer el grado de preferencia de cada relación espacial relevante, se obtuvo la función matemática que mejor define cada relación. Se generaron mapas de preferencia de cada relación y se obtuvieron los rangos para las clases de aptitud territorial de cada mapa.

En las Figuras 13, 14 y 15, se observa visualmente que el ajuste de las funciones a los conjuntos de datos son muy buenos, aun en el caso de la relación zonas agrícolas - pendiente del terreno. Esto obedece en parte al elevado número de muestras empleadas (161,000) en la generación de los datos usados para las variables X y Y, pero este ajuste también está indicando que el comportamiento en conjunto de todos los agricultores a la hora de realizar sus prácticas agrícolas tiende hacia valores preferenciales muy claramente marcados. Si la información para la determinación de la preferencia se hiciese a través de encuestas se requeriría un número elevado de ellas para poder arrojar resultados similares a los del AGRIOLOCAL, por lo que puede afirmarse que el método resulta preferible en estos casos a la realización de encuestas, en las que además habría un cierto grado de ambigüedad sobre los valores de las relaciones, y en cambio esta ambigüedad es mínima con el método AGRIOLOCAL, ya que los valores se derivan de mediciones del patrón real de la agricultura. En todo caso se puede hablar de error en las mediciones pero no de ambigüedad. Pero este error está dado por la escala de análisis, los errores de interpretación de fotografías e imágenes y por la resolución de los mapas raster.

En la gráfica de la relación PZA (Figura 13) se observa que existe una preferencia por los valores bajos de inclinación del terreno, en donde el 94.6% de las áreas con Agricultura se encuentran entre 0 y 12°. Esto habla de que los Agricultores han venido practicando la actividad en superficies prácticamente planas. Para el caso de la relación PZAZAP (Figura 14), se aprecia que la preferencia es de 0 a 300 metros, ya que en este rango se encuentran el 96% de las áreas agrícolas. Para la relación PZAC (Figura 15), se obtuvo que las áreas agrícolas se encuentren preferiblemente de 0 a 500 metros cerca de un camino (93%).

Con las funciones matemáticas resultantes se generaron mapas de preferencia por cada relación espacial relevante y a partir de estos, dos mapas de preferencia para el territorio agrícola de la meseta purépecha, uno de probabilidades y otro con clases de aptitud territorial. En el mapa de la Figura 19, se puede observar que en general hay más áreas con valores bajos de probabilidad de uso agrícola. Esto se explica porque gran parte del territorio de la región es montañoso, con fuertes pendientes, escasos caminos y lejos de las zonas agrícolas. En éste modelo ya se pueden observar algunas de las zonas agrícolas más

preferibles que serían las que contienen valores cercanos a 1 y que en comparación son reducidas y limitadas a los "valles intermontanos". Estos resultados se aprecian mejor en el Modelo de Aptitud Territorial sin Ponderar (Figura 20); de donde se obtiene de manera preliminar que el 53% del territorio purépecha tiene aptitud media, Apta y Muy apta para el uso agrícola, pero el área de esta última clase es de sólo 14%. El resto de las zonas, tienen una aptitud marginal y No apta; en particular, el área de esta última clase es de 34%, misma que sobreponiendo el mapa de cobertura vegetal y uso de suelo, resulta corresponder en su mayoría a vegetación natural (bosque, matorral). Es importante recordar que para éstos modelos no se tomaron en cuenta los pesos para cada relación.

4.2.3. ETAPA TRES: Derivar los pesos para establecer el grado de influencia de cada relación espacial en la decisión de usar la tierra con fines agrícolas.

En esta etapa de construcción del modelo se analizó el valor "D" de la prueba estadística de Kolmogorov-Smirnov, tomando en cuenta que la relación espacial es más influyente con el valor "D" más alto y posteriormente se transformaron estos valores a pesos normalizados. De acuerdo con la tabla de Pesos (Tabla 4), resultó que las relaciones con mayor peso fueron las de Pendiente y Proximidad a Agricultura con un valor de 0.375013, siguiendo la relación de Proximidad a Caminos con un peso de 0.254473.

Con estos pesos se logró modelar correctamente la aptitud territorial, aplicados a las relaciones espaciales relevantes que determinan el uso del territorio agrícola.

4.2.4 APLICACIÓN DEL MODELO

En el mapa de probabilidad de preferencia ponderado (Figura 21), se puede observar claramente que la aptitud más alta contiene valores cercanos a 1, y aptitudes bajas contiene valores cercanos a 0. Comparando con el mapa de probabilidad de preferencia, se aprecia que las áreas con aptitudes más altas abarcan un 45%, lo que significa que tomando en cuenta los pesos en las relaciones, estas zonas disminuyeron un 2%. Por otro lado, el aumento se dio en las áreas que se aprecian con aptitudes marginales con un 55%.

El mapa de probabilidad de aptitud territorial ponderado (Figura 22), muestra de manera clasificada el análisis y comparándolo con el mapa de aptitud territorial (sin ponderar, Figura 20) se pudo observar que el área con aptitud Muy apta incrementó en 1% con una superficie de 242.52 hectáreas; mientras que la aptitud apta mantuvo el porcentaje de 16%; para la aptitud media, la superficie disminuyó en 2% con 1324.92 hectáreas y las áreas con aptitud marginal y No apta incrementaron en 1%. Lo mismo ocurre con el resto de las clases, en donde las diferencias entre ambos modelos son mínimas. Cabe mencionar que los diferentes niveles de aptitud están influenciados por los parámetros que tienen mayor peso. En este caso, se aprecia que las diferencias son mínimas entre los dos modelos y reflejan que para los agricultores son igualmente importantes los parámetros de Pendiente, Proximidad a Agricultura y Proximidad a Caminos (Tabla 7).

Clase de Aptitud	% ATP	Superficie ATP (has)	% AT	Superficie AT (has)
Optima	15	11578.00	14	11335.48
Apta	16	12766.08	16	13058.64
Moderada	14	11347.12	16	12672.04
Marginal	20	15807.72	19	15181.44
No apta	35	27748.24	34	26999.56

ATP= Aptitud Territorial Ponderada

AT= Aptitud Territorial

Tabla 7. Tabla comparativa entre modelos de aptitud territorial ponderado y sin ponderar.

En general y tomando como referencia al mapa de aptitud territorial ponderada (ATP), se observa también que la aptitud No apta presenta mayor superficie en la zona con un 35%, siguiéndoles las clases Marginal, Apta, Muy apta y Moderada, con un 20, 16, 15 y 14 % del área de estudio, respectivamente. Con lo anterior se estima que el 55% de la extensión del territorio tiene niveles de aptitud muy bajos (aptitud marginal y No apta). Por lo tanto se tiene un poco más de la mitad del territorio que no es apto para la actividad agrícola.

Con la sobreposición del mapa de probabilidad de aptitud territorial ponderado con el mapa de cobertura vegetal y uso del suelo de ambas fechas (Figuras 23 y 24), se logró hacer un análisis más profundo.

Para la primera fecha (1971) se aprecia que la actividad se realizó en más del 50% en tierras con niveles de aptitud Muy apta, Apta, moderada, marginal y No apta. Del total de la superficie agrícola anterior, el 32 y 31% se encontraban en niveles de aptitud Muy apta y Apta respectivamente y el resto en niveles de aptitud moderada (16%), marginal (11%) y No apta (10%); lo cual significa que a pesar de las condiciones no del todo favorables, los agricultores trabajaban sus tierras en zonas con poca o muy poca aptitud agrícola, sin importar tanto si no había un camino cerca de su parcela, o si su terreno se encontraba en una superficie muy inclinada, mientras el rendimiento fuese aceptable. Esta situación se observa en el mapa de la Figura 25.

"Identificación y Caracterización de las Condiciones del Paisaje que Determinan el Uso Agrícola de la Tierra en Tres Municipios del Estado de Michoacán"

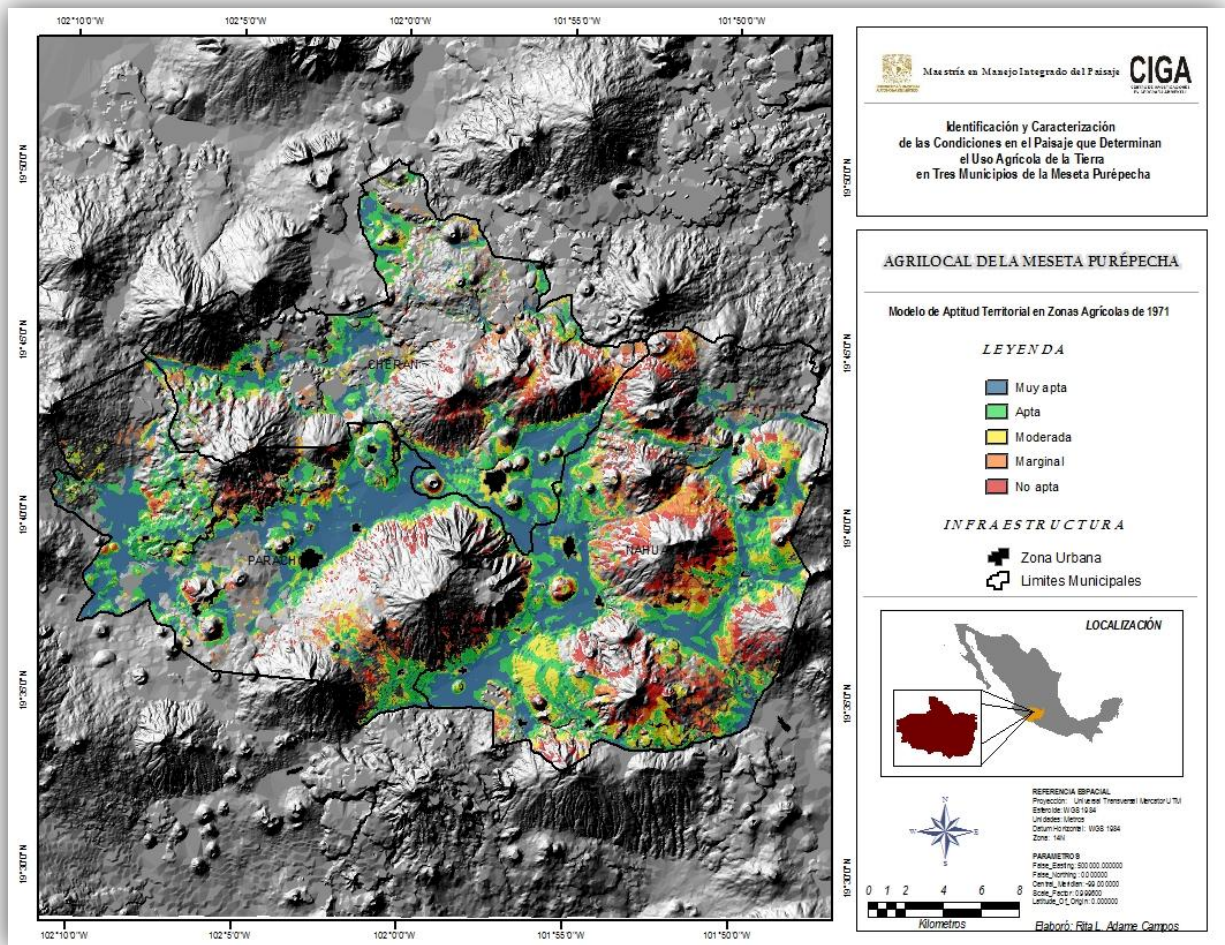


Figura 25. Mapa de aptitud territorial en zonas agrícolas de 1971.

Para la segunda fecha (2007), se aprecia que de acuerdo con la distribución en los niveles de aptitud, la totalidad de las zonas agrícolas, ocupan los niveles de aptitud Muy apta, Apta y moderada, lo que refleja de alguna manera que la actividad agrícola se ha venido desarrollando en las mejores áreas que ofrece este territorio (Figura 26), de las cuales el 44% de la agricultura con respecto a la extensión agrícola, se desarrolla en áreas con aptitud Muy apta, el 41% en áreas con aptitud Apta y sólo el 15% en niveles de aptitud media.

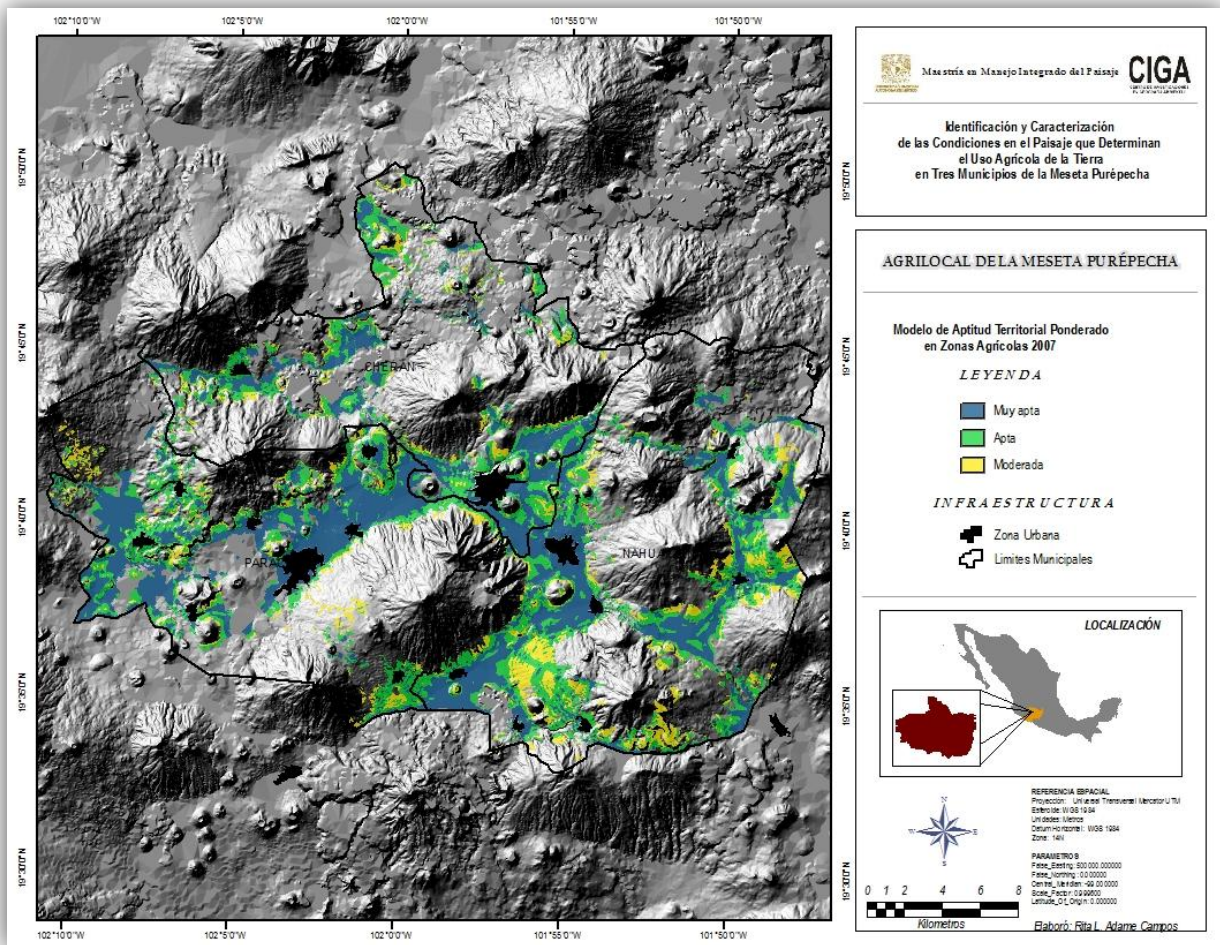


Figura 26. Mapa de Aptitud Territorial en zonas agrícolas.

Es importante mencionar que las zonas donde se realiza la actividad agrícola ocupan la tercera parte (32%) de la zona de estudio y el resto es prácticamente vegetación.

Se pudo determinar que en zonas donde se tiene cobertura vegetal, se cuenta con aptitudes Apta (3.4%) y media (12.8%) para el uso agrícola. En general se pueden apreciar franjas muy delgadas de aptitud Apta y media en toda la zona de estudio las cuales muestran el efecto que causa la proximidad de la agricultura con la cobertura vegetal. Al noroeste y suroeste de la zona de estudio se cuentan con áreas de mayor extensión de aptitud Apta y media, que se podría considerar como territorio apto para el uso agrícola, pero que sobreponiéndolas con la imagen satelital y haciendo la verificación en campo, se pudo confirmar que ésta zona es un terreno muy joven, y el poco tiempo que ha estado expuesto a agentes exógenos no ha permitido que los procesos pedogenéticos desarrollen suelo; por lo tanto no es apropiado para cultivar y se le conoce generalmente como “malpaís”. Esto se puede apreciar en la Figura 27.

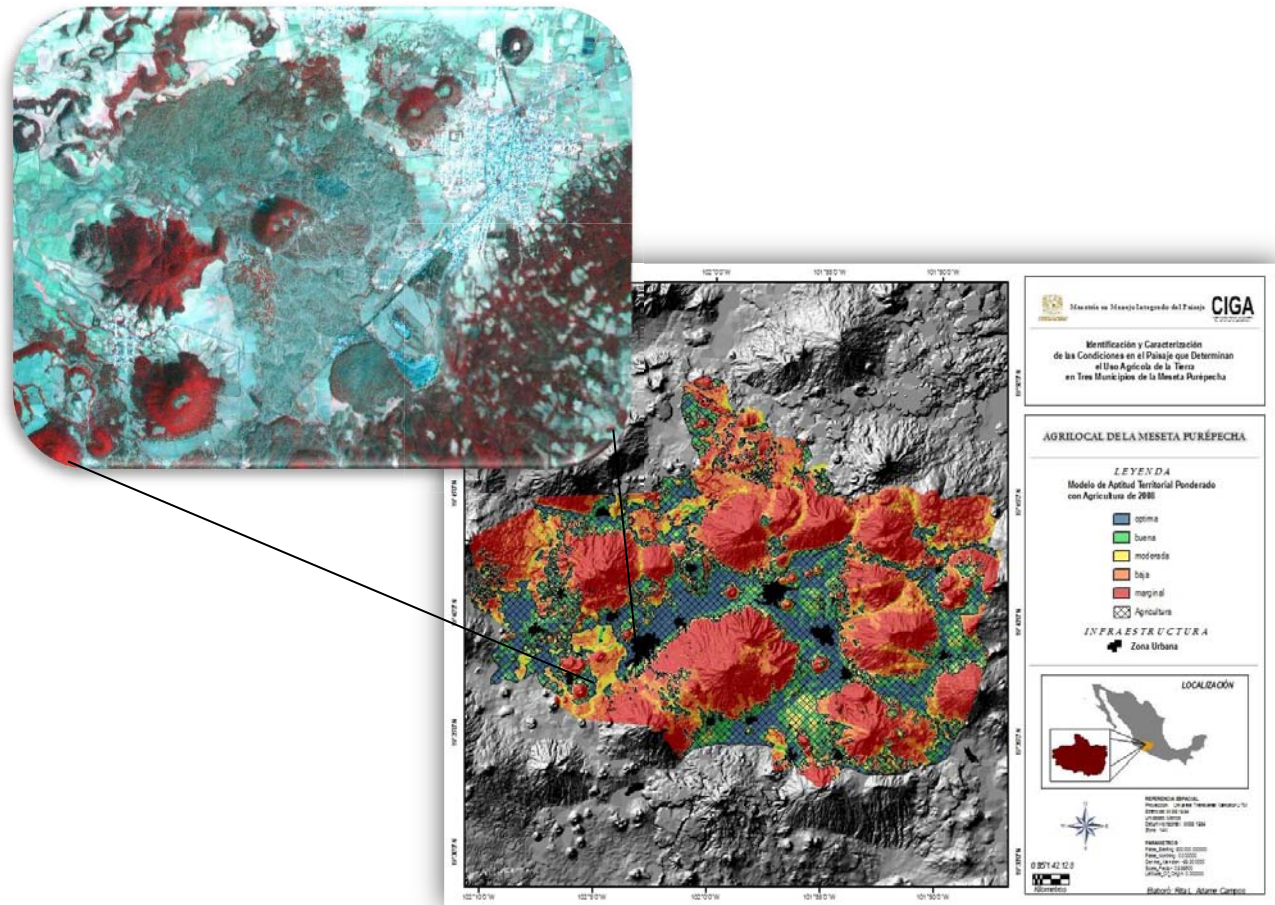


Figura 27. Zonas con aptitud apta y moderada que presentan suelo erosionado (malpaís).

Al sureste de la zona se aprecia territorio con aptitud Apta y media en el que han reforestado recientemente, pero también se cuenta con áreas que se han revegetado de manera natural. La revegetación se ha venido dando en la Meseta Purépecha en los últimos años debido al abandono de tierras causado principalmente por la emigración. Al suroeste de la zona de estudio se observa el mismo caso; revegetación de territorio que anteriormente tenía uso agrícola y “malpaís” en áreas con aptitudes Apta y media.

A partir de las superposiciones de las zonas agrícolas para las dos fechas con el modelo ponderado de aptitud territorial, se generó una tabla donde se aprecian algunas diferencias que merecen una discusión.

Comparando ambas fechas, y tomando en cuenta las mismas clases de aptitud territorial, se observa que los valores de la fecha anterior (1971) con respecto a los de la fecha más reciente (2007) indican que existía más superficie dedicada a la agricultura (21%), incluyendo un área agrícola importante en clases de aptitud marginal y No apta (aproximadamente 7000 hectáreas), mientras que para el año 2007, se observa que ya no se tienen zonas agrícolas en estas últimas clases.

Aptitud	Aptitud Agrícola 1971		Aptitud Agrícola 2007	
	Superficie (Has)	%	Superficie (Has)	%
Muy apta	11,306.32	32	11,163.36	44
Apta	11,018.4	31	10,269.04	41
Moderada	5,691.64	16	3,685.64	15
Marginal	4,007.08	11	0	0
No apta	3,433.56	10	0	0
TOTAL	35,457.00	100	25,118.04	100

Tabla 8. Tabla comparativa entre aptitud agrícola de 1971 y aptitud agrícola de 2007.

Para la clase de aptitud Muy apta se observa que en términos absolutos, el número de hectáreas con uso agrícola no ha cambiado significativamente, aun cuando en términos relativos parece que hay una diferencia de más de 12% en la ocupación agrícola del territorio, pero esto se explica fácilmente porque todas las mejores tierras de cultivo fueron ocupadas desde la fecha anterior (1971). Para la clase de la aptitud Apta se presenta un casi similar al anterior, el número de hectáreas disminuyó (en términos absolutos), sin considerarse un cambio significativo y en términos relativos existen diferencias del 10%. Para la clase de aptitud Moderada, se observa que disminuyeron cerca de 2000 hectáreas en términos absolutos, lo cual se refleja en términos relativos en un 1%. Para las clases de aptitud Marginal y No apta, se aprecian diferencias significativas. Para el año 2007, se desocuparon cerca de 7000 hectáreas en las cuales se desarrollaba la agricultura en el año 1971, lo cual significa que en términos relativos se perdió el 21% de la superficie destinada para este fin. Estos resultados validan el modelo AGRILocal de la Meseta Purépecha, ya que se aprecia para el año 2007, que las zonas que ya no se utilizan para la actividad agrícola son precisamente las menos aptas.

4.3. DISCUSIÓN DE ENCUESTAS

Se aplicaron encuestas con el objetivo de comparar parcialmente los resultados de relevancia, preferencia y pesos obtenidos estadísticamente de las distribuciones de la Agricultura actual en la Meseta Purépecha, es importante tomar en cuenta que el número de encuestas aplicadas fue reducido, y que 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.

Se aplicaron un total de 48 encuestas a los Agricultores de las comunidades de la Meseta Purépecha, en los que se incluyeron algunas personas con conocimientos en Agronomía. Con lo cual contribuyó en la investigación a tomar 4 puntos de vista: La parte técnica externa (modelo AGRILLOCAL de la Meseta Purépecha), la parte técnica local (Ing. Agrónomos de la zona), los agricultores locales de la región y la lectura especializada en el tema de la Agricultura en ésta zona. Comparando estos puntos de vista, se observó que existe semejanza entre ellos lo cual valida de alguna forma el Modelo Agrilocal de la Meseta Purépecha.

4.3.1. Parámetros Relevantes que determinan el uso agrícola de la tierra, de acuerdo con los Agricultores de la Meseta Purépecha.

En la primera parte de la encuesta se encontró que para los Agricultores locales todos los parámetros son relevantes excepto uno, el de Clima Caluroso (Figura 28), ya que por la experiencia y conocimiento que se tiene del clima en la región, se sabe que predominan temperaturas bajas; se podría decir que para este Modelo AGRILLOCAL de la Meseta Purépecha no aplicaría este parámetro.

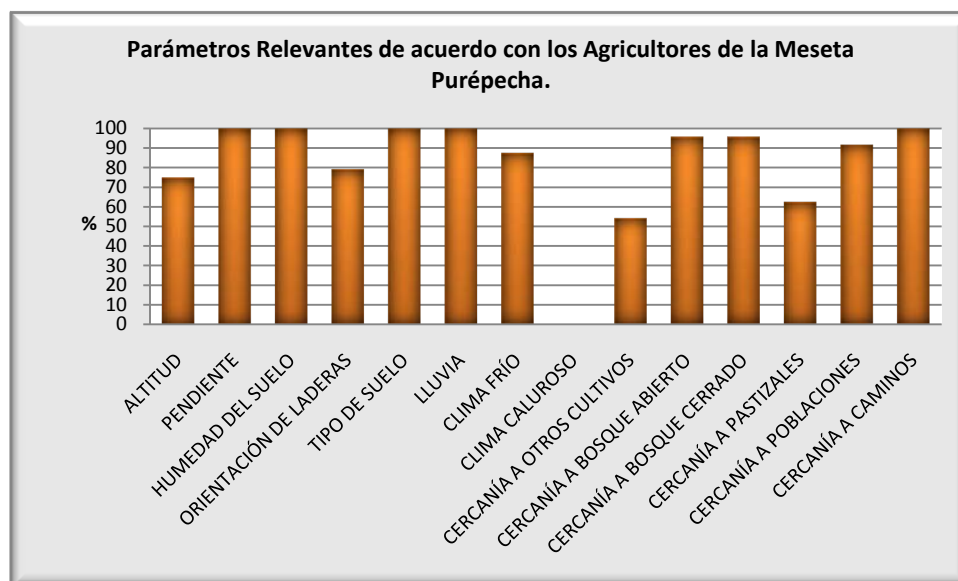


Figura 28. Gráfica de Parámetros Relevantes de acuerdo con los agricultores de la Meseta Purépecha.

Por otro lado, se observó que aún cuando se entrevistaron a diversas personalidades que cuentan con conocimiento empírico y otras con conocimiento teórico, coincidieron en la mayoría de los parámetros; y esto se aprecia en la gráfica anterior, en donde más del 50% de los entrevistados consideran relevantes unos parámetros u otros. Estos resultados también reflejan que la zona de estudio en general presenta un paisaje muy homogéneo lo cual se pudo comprobar en la verificación en campo. Los resultados reflejaron también que se consideraron unos parámetros más relevantes que otros; se mencionaron Pendiente, Humedad del Suelo, Tipo de Suelo, Lluvia y Cercanía a Caminos en el 100% de las encuestas; le siguen Cercanía a Bosque Abierto y Cercanía a Bosque Cerrado con 96% y Cercanía a Poblaciones con 92%; de los cuales se puede ver claramente que, de los que se mencionan en el 100% de las encuestas se encuentran dos parámetros (Pendiente y Cercanía a Caminos) que fueron considerados en el Modelo AGRILocal de la Meseta Purépecha como relevantes. Le siguen Clima Frío con 88%, Orientación de Laderas con 79%, Cercanía a Pastizales con 63%, y Cercanía a otros Cultivos con 54%. Si se considera que los parámetros más relevantes son los que cuentan con un porcentaje mayor a 85, se puede decir que la Orientación a Laderas tuvo un porcentaje relativamente bajo debido a que los agricultores en su mayoría tienen sus parcelas en planicies extensas por lo cual no genera impacto éste parámetro y

aunado a esto, a las condiciones de vida de la región y al conocimiento local del agricultor han preferido cultivar en superficies planas y no en laderas. Por su parte, Cercanía a Pastizales no es considerado tan relevante ya que las condiciones económicas y el valor tan bajo que tienen los cultivos de la Meseta Purépecha en el mercado (particularmente el Maíz), no hacen posible ni conveniente que un agricultor pueda expandir sus cultivos si se tiene cerca un pastizal y por el lado del agricultor que es dueño del pastizal, éste prefiere darle otro uso.

Con la primera parte de las encuestas se validó en su mayoría, la Relevancia del Modelo AGRILOCAL de la Meseta Purépecha, en donde, se muestran cómo relevantes las relaciones de Pendiente y Cercanía a Caminos. Esto se puede observar en el cuadro siguiente.

RELACIÓN ESPACIAL	ENCUESTAS	MODELO AGRILOCAL DE LA MESETA PURÉPECHA
Altitud	RELEVANTE	NO RELEVANTE
Pendiente	RELEVANTE	RELEVANTE
Suelo	RELEVANTE	NO RELEVANTE
Precipitación	RELEVANTE	NO RELEVANTE
Meses más fríos (Temperatura mínima promedio de Diciembre, Enero y Febrero)	RELEVANTE	NO RELEVANTE
Meses más calientes (Temperatura promedio máxima de Abril, Mayo y Junio)	NO RELEVANTE	NO RELEVANTE
Tenencia de la Tierra		NO RELEVANTE
Proximidad a Agricultura	RELEVANTE	RELEVANTE
Proximidad a Pastizal	RELEVANTE	NO RELEVANTE
Proximidad a Caminos	RELEVANTE	RELEVANTE
Proximidad a Poblaciones	RELEVANTE	NO RELEVANTE

Tabla 9. Tabla de relevancia de los parámetros espaciales de acuerdo con los agricultores de la Meseta Purépecha.

4.3.2. Preferencia de los valores de los parámetros de acuerdo con los Agricultores de la Meseta Purépecha.

En la segunda parte de la encuesta, cada parámetro se presentó en una serie de rangos de valores o clases, de los cuales los agricultores de la Meseta Purépecha, consideran algunos como más preferibles para la práctica de la agricultura. Se observa en el cuadro siguiente, que en cada uno de los parámetros, hay un rango o clase que sobresale de los demás y que indica que ese rango es el que presenta mayor preferencia por parte de los Agricultores

locales. Por ejemplo, se tiene que la clase "Cerca" del parámetro Cercanía a Caminos, es la más preferible (Figura 28).

Preferencia de las clases o rangos de los parámetros para la Agricultura en la Meseta Purépecha

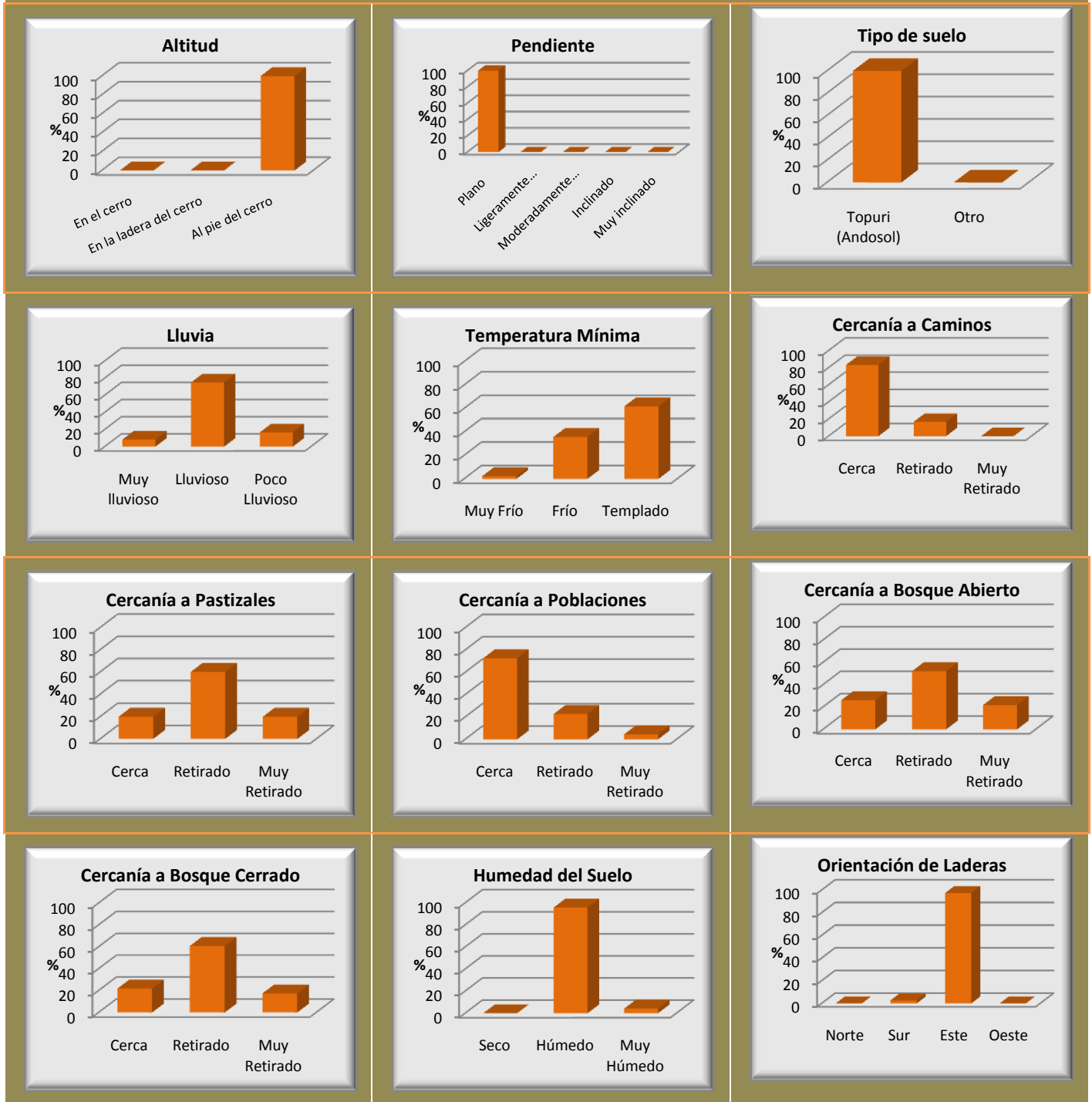


Figura 29. Gráfica de preferencias de rangos de los parámetros relevantes para la agricultura de la Meseta Purépecha de acuerdo a las encuestas.

Con los resultados de la segunda parte de la encuesta, se pudo comprobar que los rangos de preferencia que los encuestados mencionan como los más adecuados, concuerdan con la información estadística según el Modelo AGRILocal de la Meseta Purépecha; lo que se muestra en la Figura 30, en donde se aprecia la similitud con la gráfica de los rangos de preferencia obtenida por los encuestados, y la gráfica obtenida estadísticamente por el Modelo.

4.3.3. Peso de los parámetros de acuerdo con los Agricultores de la Meseta Purépecha.

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 la variable asignada con el peso más alto fue la de Lluvia con un peso de 10. Le siguen Humedad de Suelo, Pendiente,

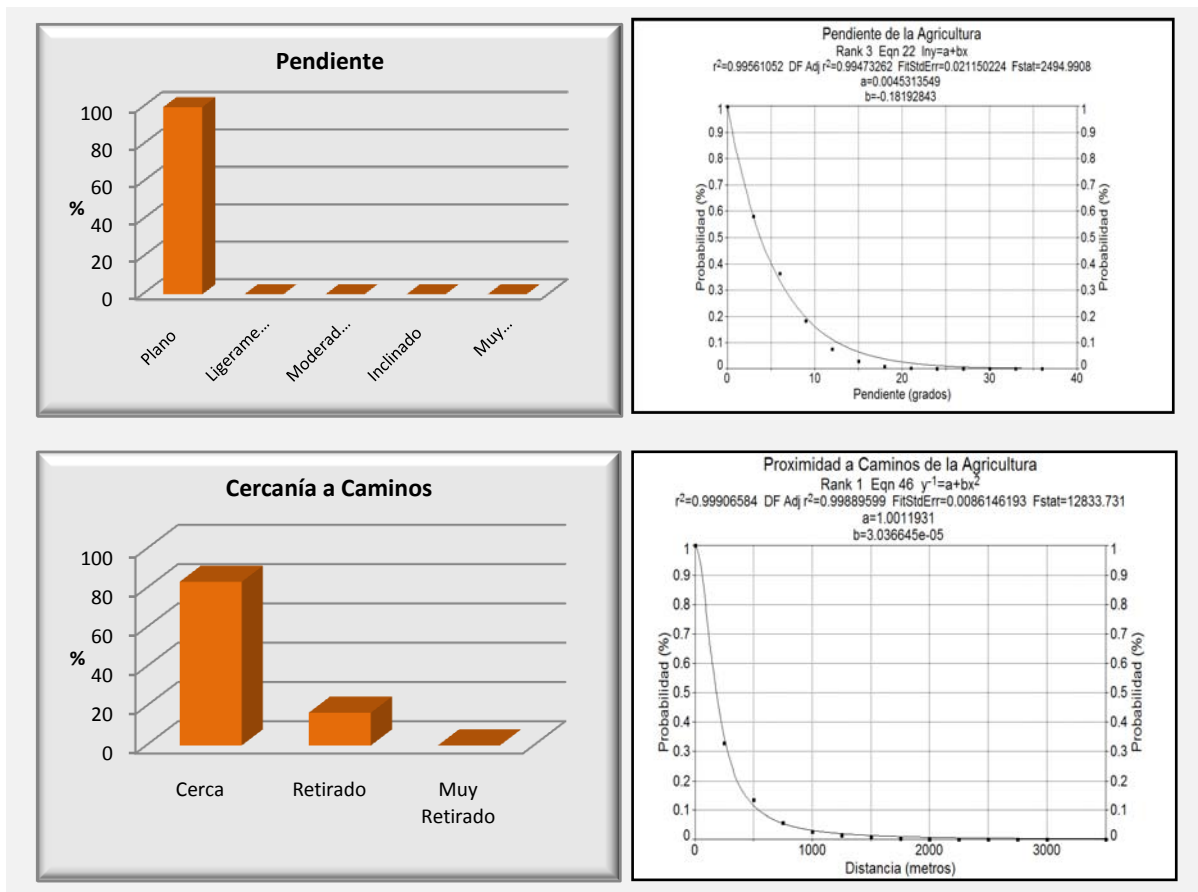


Figura 30. Comparativa de gráficas generadas de las encuestas a agricultores y del modelo AGRILocal de la Meseta Purépecha.

Cercanía a Caminos y Cercanía a Poblaciones con 8.6, 7.0, 5.8 y 5.6, respectivamente. Cabe mencionar que los Agricultores le dan el peso más alto a la variable Lluvia debido a que los cultivos en esta zona son de temporal y dependen totalmente de la precipitación, pero esto no significa que la variación espacial de la lluvia sea determinante en el uso agrícola del territorio de la región, sino que simplemente los agricultores están diciendo que es importante que llueva (Figura 31).

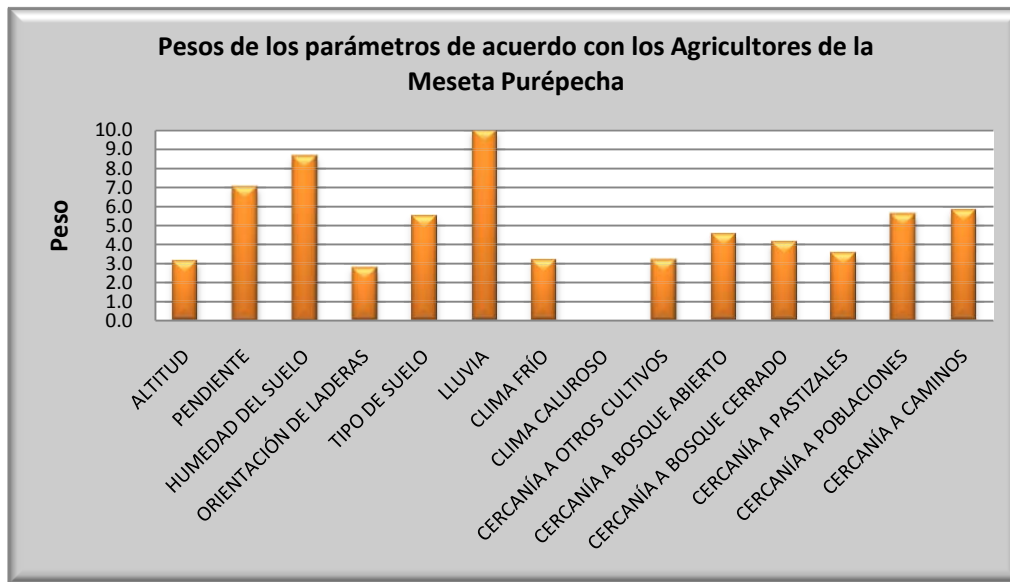


Figura 31. Gráfica de los pesos de los parámetros de acuerdo con los agricultores de la Meseta Purépecha.

Comparando estos resultados con los del Modelo AGRILocal de la Meseta Purépecha, se puede apreciar que las variables como Pendiente y Cercanía a Caminos coinciden por encontrarse entre los valores más altos.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones sobre el Modelo AGRILocal de la Meseta Purépecha

- Para el modelo AGRILocal de la Meseta Purépecha se analizaron 32 relaciones espaciales, de las cuales 3 resultaron relevantes: Pendiente, Proximidad a Agricultura y Proximidad a Caminos.
- En cuanto a la preferencia de las relaciones espaciales relevantes se determinó que en cuanto a Pendiente, se prefieren los rangos entre 0 y 12°; para Proximidad a la Agricultura Actual, se prefiere el rango de 0 a 300 metros; y para Proximidad a Caminos un rango de 0 a 500 metros.
- Las relaciones que obtuvieron más peso fueron Pendiente y Proximidad a Agricultura. Cabe señalar que la diferencia entre los valores de los pesos para las tres relaciones espaciales relevantes fueron mínimas, lo cual explica por un lado, que los agricultores locales le dan prácticamente la misma importancia a estos tres criterios en la toma de decisiones para realizar la actividad agrícola, y por el otro también explica la similitud de los modelos AGRILocal de Probabilidad de Aptitud Territorial (ponderado y sin ponderar).
- El modelo aquí construido solamente aplica para los tres municipios de la meseta purépecha (Paracho, Cherán y Nahuatzen). No se puede extrapolar debido a que se toman en cuenta condiciones socioeconómicas y ambientales específicas de la zona. Esto es porque el modelo construye las probabilidades a partir de las estadísticas de frecuencia de valores de las relaciones empleadas, las cuales pueden variar en todo el territorio.

5.2. Conclusiones sobre la aptitud territorial en la Meseta Purhépecha

- Se estima, con base en el modelo AGRILocal, que en el territorio de estudio en la Meseta Purépecha se cuenta con el 15% de superficie con un nivel óptimo que está ocupado en su totalidad por agricultura, y que más de la mitad de la superficie (55%) presenta clases de aptitud marginal y No apta, lo cual limita posibilidades de expansión de la agricultura.

- La agricultura se desarrolla actualmente en las mejores áreas que ofrece el territorio ya que todas ellas se encuentran en clases de nivel Muy apta (44%), Apta (41%) y moderada (15%). Lo cual significa que, en términos de ordenamiento territorial, los agricultores de la meseta purépecha conocen y manejan su territorio de la mejor manera posible.
- La pérdida de zonas agrícolas en terrenos clasificados con niveles de aptitud marginal y No apta en 1971 con respecto a la fecha actual, confirma en alguna medida que el modelo está estimando la aptitud con certeza, ya que se han desocupado las zonas con condiciones menos favorables para la agricultura, y está se ha concentrado en las zonas de mayor aptitud.
- Los cambios más significativos en la cobertura vegetal y uso de suelo, están condicionados en gran medida por la aptitud del territorio para la agricultura, ya que se observa que el proceso de conversión inicial de zonas de bosque a agricultura se ha revertido, existiendo ahora un proceso marcado de revegetación / reforestación tras el abandono de las tierras agrícolas en dichas zonas, las que corresponden a niveles de aptitud agrícola No apta.

5.3 Conclusiones sobre el aspecto técnico del Modelo

- Para minimizar errores en los resultados del modelo se recomienda trabajar con información preferiblemente de las mismas fechas o cercanas para la generación de la información de los parámetros del modelo. La calidad de los datos también afecta al modelo y esto depende en parte de la disponibilidad de los mismos. Por ejemplo, para la generación de información de la segunda fecha (2007) se utilizaron imágenes de satélite de diferentes fechas (2007 y 2008), lo que aunque no es crítico porque la fecha del 2008 corresponde a la imagen pancromática, la cual únicamente se empleo para dar más detalle a la interpretación de la imagen multiespectral de 2007, si introduce algún error difícil de cuantificar, mientras que para la primera fecha (1971) no fue posible obtener todas las fotografías aéreas para cubrir la zona de estudio, lo cual introduce también un factor de error mínimo en los resultados, ya que aunque el

área de estudio se redujo al área de información disponible, no fue posible eliminar el efecto límite de las zonas dentro del área de estudio cercanas a las áreas en donde no hubo información.

- Si existen limitaciones en el programa para generar el mismo número de celdas aleatorias que el número de celdas de las zonas agrícolas, se deben tomar muestras del mismo número de celdas tanto de la distribución real como de la aleatoria de las zonas agrícolas. Lo anterior se refiere a la Etapa Uno del modelo, en donde es necesario sobreponer las relaciones espaciales con las distribuciones real y aleatoria de la agricultura.
- Se recomienda que si se trabaja con muestras en lugar de poblaciones de datos para la construcción del modelo (patrones real y aleatorio), se ajuste el nivel de confianza a un 85% en lugar de que este sea de 95%, ya que al tomar una muestra de la población se está estimando sobre una base incompleta. Aun así, es importante que al determinar el tamaño de la muestra el error muestral sea mínimo (entre 4 y 6% de la desviación estándar) y de esta forma se represente adecuadamente la población de la cual ha sido extraído. En cambio si se trabaja con la totalidad de los datos en la construcción del modelo, sí se sugiere un nivel de confianza de 95%.
- La relevancia de las relaciones no necesariamente tiene que evaluarse al nivel de significancia fijado (85% o 95%), sino que es posible explorar el nivel de significancia (dentro del rango válido 85-100 o 95 100) en el que la relación comienza a no ser relevante. Esto sirve para determinar diferentes niveles de relevancia para las relaciones relevantes, pues si bien todas ellas pueden resultar relevantes al nivel mínimo de significancia establecido, es muy posible que algunas dejen de serlo (estadísticamente) si se incrementa este nivel.

5.4 Conclusión general

Se puede considerar al modelo como apropiado para determinar las zonas más aptas y menos aptas para la actividad agrícola estimando el punto de vista de los agricultores locales, dado que el modelo se basa en la extracción de diversas relaciones espaciales entre la

agricultura y diversos aspectos geográficos del territorio, a partir de los patrones históricos de distribución de tierras agrícolas, lo cual no se hace en otros modelos, en los que se privilegian las relaciones espaciales de coincidencia. En un sentido técnico, el éxito del modelo AGRILLOCAL se basa en su capacidad para inferir prácticas agrícolas preferibles, aceptables o deseables a partir de los patrones espaciales de la actividad, mientras que otros modelos, aunque utilizan un marco espacial, basan su utilidad en las propiedades de los eventos que ocurren en el espacio, en lugar de hacerlo en las relaciones espaciales de esos mismos eventos, como en el modelo AGRILLOCAL.

Este modelo se puede aplicar como complemento de otros estudios en la evaluación de tierras y para implementar políticas y acciones que mejoren las condiciones de vida y el desarrollo de los pueblos de la Meseta Purépecha. Concluimos que, a fin de determinar la disponibilidad de nuevas tierras para la agricultura, el mejor enfoque posible sería combinar los modelos de la LC, AEZ y AGRILLOCAL. Nuestra recomendación aquí es utilizar primero el enfoque AGRILLOCAL, en un contexto regional de planificación de la actividad y, a continuación, realizar estudios detallados de LC o AEZ en aquellas áreas que se clasificaron como adecuadas para las actividades agrícolas desde la perspectiva local.

BIBLIOGRAFÍA

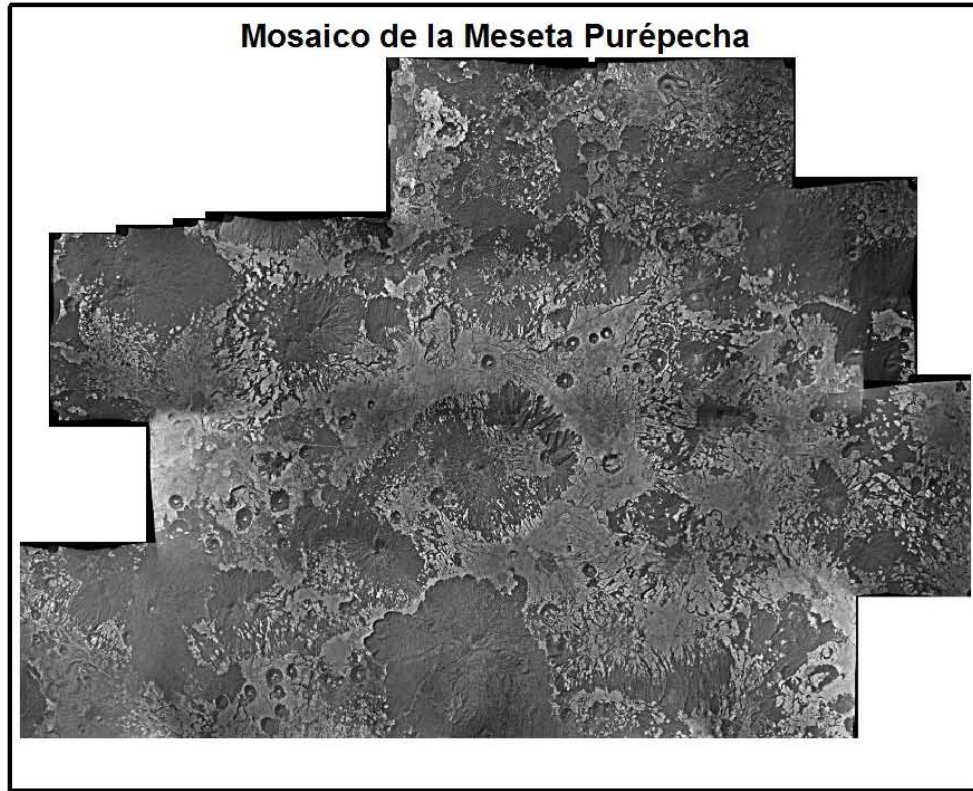
- Alcalá de Jesús, M., C.A. Ortiz Solorio y M.C. Gutiérrez Castorena, 2001. *Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca*. Terra Latinoamericana 19. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=57319304>
- Argueta Arturo, 2008. *Los saberes purhépecha: los animales y el diálogo con la naturaleza*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ávila García, P., 1996. *Escasez de agua en una región indígena de Michoacán: El caso de la Meseta Purhépecha*. El Colegio de Michoacán A.C. 428 pp.
- Barragán López E., 1999. *Frutos del campo michoacano*. Edición ilustrada. El Colegio de Michoacán A.C., 372 pp.
- Díaz Padilla G., Sánchez Cohen I., Quiroz R., Garatuza Payán J., Watts Thorp C., Cruz Medina I. R., 2008. *Interpolación espacial de la precipitación pluvial en la zona de barlovento y sotavento del Golfo de México*. Agricultura técnica en México 34:279-287
- Dietz, G., 1999. *La Comunidad Purhépecha es nuestra fuerza: Etnicidad, cultura y región en un movimiento indígena en Michoacán, México*. Editorial Abya Yala. 490 pp.
- Douglas Helms, 1992. *The Development of the Land Capability Classification*. Reimpreso en D. Helms. Readings in the History of the Soil Conservation Service. Soil Conservaiton Service, Washington, D.C., pp. 60-73.
- FAO. 1976. *A framework for land evaluation*. Soils Bulletin 32. FAO, Roma.
- FAO. 1997. *Zonificación agroecológica*. Guía general. Boletín de suelos de la FAO, No. 73. FAO, Roma, 82 pp.
- FAO 2001. *El Uso de Computadoras, Programas e Instrumentos Electrónicos en la Planificación y Seguimiento de Planes de Manejo del Bosque Húmedo Tropical - Un Caso en Costa Rica*. Costa Rica. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x8763s/x8763s00.htm>
- Food, Agriculture and Rural Development. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Disponible en: <http://www.fao.org/DOCREP/003/X9808E/X9808E00.HTM>
- Franco M. M., 1997. *La Ley y la Costumbre en la Cañada de los Once Pueblos*. El Colegio de Michoacán.

- Garibay C., Bocco G., 2007. *Situación actual en el uso del suelo en comunidades indígenas de la Méseta Purhépecha 1976-2005*. Universidad Autónoma de México. 60 pp.
- Grande E.I., Abascal E., 2005. *Análisis de encuestas*. Madrid. Editorial ESIC.
- INEGI, 1985. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. *Síntesis geográfica del estado de Michoacán*: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- INEGI, 2008. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx>
- Klingebiel, A. A. y P. H. Montgomery. 1961. *Land Capability Classification*. Agricultural Handbook No. 210, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service. Disponible en: <http://www.nrcs.usda.gov/about/history/articles/LandClassification.html>.
- Li, J. y Heap, A.D., 2008. *A Review of Spatial Interpolation. Methods for Environmental Scientists*. Geoscience Australia, Record 2008/23, 137 pp.
- Mendoza M., Plascencia H., Alcantara P.C., Rosete F., y Bocco G., 2008. *Análisis de la aptitud territorial, una perspectiva biofísica*. Primera Edición. 140pp.
- Morales Manilla, L., M., 2008. *Using spatial relationships to estimate the availability of farmland according to local practice: the AGRILLOCAL model*.
- Morales Manilla, L.M., 2011. *The definition of a minimum set of spatial relationships*. Unpublished Ph. D. Thesis. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Musso E., Cotos Yáñez J. M., Taboada González, J. A., 2005. *Sistemas de información medioambiental*. Universidad de Santiago de Compostela.
- Navarrete Pacheco, J. A., 2003. *Digital Stereo Image Interpretation for Natural Hazard Assessment*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.
- Pérez, Correa G., 1974. *Geografía del Estado de Michoacán: física, humana, económica*. Gobierno del Estado.
- Rossiter, D. 1996. *A theoretical framework for land evaluation*. Geoderma 72:165-202.
- 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.

SRGIS, Geología y Geomática Ltda. Sensores remotos & GIS 2005. Disponible en:
http://www.srgis.cl/pdf/guia_basica_imagenes_satelitales.pdf.

ANEXOS



Encuestas

ENCUESTA.

NO. _____

OBJETIVO: "CONOCER LAS VARIABLES MÁS IMPORTANTES QUE DETERMINAN EL USO AGRICOLA DE LA TIERRA, DE ACUERDO A LAS PRÁCTICAS SUSTENTABLES DE MANEJO DEL PAISAJE CONSIDERADAS COMO PREFERIBLES O ACEPTABLES POR LOS AGRICULTORES, EN TRES MUNICIPIOS DE LA MESETA PURHÉPECHA, MICHOACÁN, MÉXICO"

Localidad _____ Fecha _____

X _____ Y _____ ZONA _____

1.- Parámetros relevantes que determinan el uso agrícola de la tierra

A.- De los siguientes factores ¿Cuáles considera que son importantes para cultivar?

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 frio	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
8.- Clima caluroso	si	<input type="text"/>	no	<input type="text"/>
9.- Cercanía a otros Cultivos	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 el uso agrícola de la tierra.

A.-De los parámetros que mencionó como importantes, ¿Qué características de estos prefiere para cultivar?

1.- Altitud	En el cerro En la ladera del cerro En la falda del cerro	
2.- Pendiente	Plano Ligeramente inclinado Moderadamente inclinado Inclinado Muy inclinado	
3.- Humedad del Suelo	Seco Húmedo Muy húmedo	
4.- Orientación de Laderas	Norte Sur Este Oeste	
5.- Tipo de Suelo	Topuri (Andosol) Otro	
6.- Lluvia	Muy lluvioso Lluvioso Poco lluvioso	
7.- Temperatura Mínima	Muy frío Frío Templado	
8.- Temperatura Máxima	Muy caluroso Cálido Templado	
9.- Cercanía a otros cultivos	Retirado Cerca Muy retirado	
10.- Cercanía a Bosque Abierto	Retirado Cerca Muy retirado	
11.- Cercanía a Bosque Cerrado	Retirado Cerca Muy retirado	
12.- Cercanía a Pastizales	Retirado Cerca Muy retirado	
13.- Cercanía a Poblaciones	Cerca Retirado Muy retirado	
12.- Cercanía a Caminos	Cerca Retirado Muy retirado	

OBSERVACIONES

3.- Grado de importancia de cada Parámetro.

A.-De los parámetros que menciono como importantes ¿Cuáles son los más importantes para cultivar en una escala del 1 al 10? Donde 10 es el valor más alto de importancia y 1 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 otros cultivos	<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
