



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”

Dinámica del cambio de usos de suelo de Acajete, Puebla.

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

LILIANA GARCÍA MARTÍNEZ

Director de tesis:

Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide

Diciembre 2019



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



**INSTITUTO DE CIENCIAS
POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la tierra”

Dinámica del cambio de usos de suelo de Acajete, Puebla.

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

LILIANA GARCÍA MARTÍNEZ

Comité tutorial:

Director	Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide
Integrante Comité Tutorial	Dr. Jorge Antonio Yañez Santos
Integrante Comité Tutorial	Dra. Sonia Emilia Silva Gómez
Integrante Comité Tutorial	Dra. Rossana Schiaffini Aponte

Diciembre 2019

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	MARCO DE REFERENCIA.....	3
	2.1 Antecedentes	3
	2.1.1 Impacto Ambiental	3
	2.1.2 Uso del suelo	4
	2.1.3 Cambio de uso del suelo.....	4
	2.1.4 Causas y consecuencias del cambio de uso del suelo	5
	2.1.5 Estudios sobre cambio del uso del suelo: una revisión.	6
	2.2 Conceptos y técnicas	9
	2.2.1 Tasa de cambio de uso de suelo.....	9
	2.2.2 Tasa de crecimiento de la población	9
	2.2.3 Sistemas de Información Geográfica	10
	2.2.4 Clasificación no supervisada y supervisada:.....	11
	2.2.5 Cadenas de Markov	13
	2.3 Marco Conceptual	15
	2.3.1 Tipo de investigación	15
	2.3.2 Paradigma que sustenta la investigación.....	16
	2.3.3 Enfoque epistemológico	16
	2.3.4 Teorías que soportan la investigación	17
	2.4 Marco Legal	18
	2.4.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.....	19
	2.4.2 Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable	19
	2.4.3 Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	20
III.	JUSTIFICACIÓN	21
IV.	OBJETIVOS	22
	4.1 Objetivo general	22
	4.1.1 Objetivos específicos.....	22
V.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
	5.1 Localización del área de estudio.....	23
	5.1.1 Caracterización Medio Ambiental del Municipio de Acajete, Puebla.....	27

5.2 Primera fase: Categorías de análisis	32
5.3 Segunda fase: gabinete y de campo.	32
5.3.1 Mapas de Uso de Suelo y Vegetación.....	32
5.3.2 Matriz de cambios, periodos: 1980-1990, 1990-2000, 2000-2010 y 2010-2018.....	33
5.3.3 Factores socioeconómicos	34
5.4 Análisis estadísticos	34
VI. RESULTADOS	35
6.1 Análisis del cambio del uso del suelo, con información de imágenes de satélite.....	35
6.2 Modelo probabilístico Cadenas de Markov	49
6.3 Aspectos socioeconómicos del Municipio de Acajete.	51
6.3.1 Características de la población del municipio de Acajete, Puebla.	51
6.3.2 Vivienda	53
6.3.3 Migración	54
6.3.4 Características Económicas	55
6.4 Otros problemas ambientales y sociales.	56
6.4.1 Contingencias climáticas registradas en el Municipio de Acajete, Puebla.	56
6.4.2 Actividades Ilícitas	61
VII. CONCLUSIONES.....	64
VIII. LITERATURA CITADA	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macrolocalización del Municipio de Acajete, Estado de Puebla.....	26
Figura 2. Mapa Topográfico del Municipio de Acajete, Puebla.	28
Figura 3. Edafología del Municipio de Acajete, Puebla.....	29
Figura 4. Subzonificación Parque Nacional La Montaña Malinche o Matlalcuéyatl.....	31
Figura 5. Fotografías de recorridos de campo en el Municipio de Acajete, Puebla.	35
Figura 6. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 1980, Municipio de Acajete, Puebla.	38
Figura 7. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 1990, Municipio de Acajete, Puebla.	39
Figura 8. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 2000, Municipio de Acajete, Puebla.	41
Figura 9. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 2010, Municipio de Acajete, Puebla.	44
Figura 10. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 2018, Municipio de Acajete, Puebla.	45
Figura 11. Dinámica de Cambio de Uso del Suelo y la Vegetación en el municipio de Acajete, Puebla.	49
Figura 12. Cadenas de Markov; Transición entre las categorías de análisis.....	50
Figura 13. Dinámica del Crecimiento de la Población Municipio de Acajete.	51
Figura 14. Registros de Natalidad y Mortalidad del Municipio de Acajete.....	52
Figura 15. Numero toral de viviendas particulares en el Municipio de Acajete, Puebla. ..	54
Figura 16. Población que cambio de lugar de residencia.	55
Figura 17. Características económicas en el Municipio de Acajete, Puebla.	56
Figura 18. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 1980.....	59
Figura 19. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 1990.....	59
Figura 20. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 2000.....	60
Figura 21. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 2010.....	60
Figura 22. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 2016.....	61
Figura 23. Triangulo rojo en el estado de Puebla.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias entre la clasificación supervisada y la clasificación no supervisada. ..	12
Tabla 2. Principales localidades del municipio de Acajete.	23
Tabla 3. Matriz de cambios o tabulación cruzada.	33
Tabla 4. Matriz de transición del año 1980 al 1990.	36
Tabla 5. Tasas de Cambio de Uso de Suelo del año 1980 al año 1990.	37
Tabla 6. Matriz de transición del año 1990 al 2000.	40
Tabla 7. Tasas de Cambio de Uso de Suelo del año 1990 al año 2000.	42
Tabla 8. Matriz de transición del año 2000 al año 2010.....	42
Tabla 9. Tasas de Cambio de Uso de Suelo del año 2000 al año 2010.	43
Tabla 10. Matriz de transición del año 2010 al año 2018.....	46
Tabla 11. Tasas de Cambio de Uso de Suelo del año 2010 al año 2018.	47
Tabla 12. Matriz de transición del año 1980 al 2018.	48
Tabla 13. Tasas de Cambio de Uso de Suelo de todo el periodo analizado desde el año 1980 al año 2018.....	48
Tabla 14. Características de la Población, Municipio de Acajete, Puebla.	53

DEDICATORIA

A mi compañero de vida y mi gran amor Misael por su apoyo incondicional.
A mis hijos Gerardo y Maximiliano por darme la fuerza y amor suficiente para
querer ser mejor todos los días.

Muy en especial al Dr. Edgardo Torres Trejo †, donde quiera que se encuentre
sé que está muy contento de ver este trabajo culminado.

AGRADECIMIENTOS

Por este medio, me permito agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada durante mi estadía en la Maestría en Ciencias Ambientales, que culminó de esta tesis de investigación.

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Programa IV. Investigación y Posgrado. Apoyar a los programas de posgrado para lograr su incorporación al Padrón Nacional de Calidad. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2017-2021.

Al Dr. Edgardo Torres Trejo†, con quien inicié esta travesía, por su paciencia y consejos como asesor y amigo, que para mí fue un pilar muy importante en la culminación del presente trabajo de investigación y donde quiera que se encuentre le agradezco infinitamente su apoyo y comprensión.

A la Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide, por sus consejos y apoyo incondicional, por mostrarse siempre disponible y atenta conmigo, por compartir sus conocimientos y tiempo para la culminación de esta investigación, muchas gracias.

A la Dra. Sonia Emilia Silva Gómez por aceptar ser parte de mi comité tutorial y quien siempre estuvo dispuesta a brindarme sus consejos para la mejora de este trabajo.

A Dra. Rossana Schiaffini Aponte por formar parte de mi comité tutorial y siempre ser tan atenta y hacer tiempo para compartir sus conocimientos.

Al Dr. Jorge Antonio Yañez por formar parte de mi comité tutorial, a quien agradezco su tiempo y atención durante la realización de este trabajo.

A Dr. Juan Ricardo Cruz Aviña, Dr. Miguel Ángel Valera Pérez, Dra. María Teresa Zayas Pérez, Dra. Edith Chávez Bravo y la Dra. Sonia Emilia Silva Gómez por ser parte del

jurado de sinodales, y quienes muy amablemente aceptaron revisar este trabajo de investigación.

.

A toda la planta académica del posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, gracias por sus enseñanzas, conocimientos y tiempo que me fueron brindados, durante mi estadía en la maestría.

Un agradecimiento especial a mi familia que siempre ha estado conmigo, a mis padres por brindarme siempre la confianza y motivación para culminar mis estudios, a mis hermanos Ana y Sergio que sé que, aunque en la distancia siempre podré contar con su apoyo.

A mi sobrina Brenda porque estuvo presente en esta etapa tan importante, muchas gracias.

A mis compañeros de generación de la Maestría en Ciencias Ambientales, de quienes aprendí y compartí grandes vivencias, que se quedaran presentes por siempre.

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades económicas y sociales del hombre han contribuido directamente a la modificación del entorno, ya que donde se establece para satisfacer sus necesidades básicas de alimentación y vivienda, va modificando el espacio geográfico y las características físicas, químicas, biológicas y funciones del suelo. De ahí surge la necesidad y preocupación por conocer la dinámica de los cambios del uso del suelo ocurridos en los ecosistemas terrestres, los cuales se deben principalmente: a la conversión en la cobertura vegetal, extensión de las fronteras agrícolas, degradación del terreno, intensificación en el uso del terreno, crecimiento de asentamientos humanos y apertura de nuevas vías de comunicación (Aspinall y Hill, 2008; Sahagun y Reyes, 2018).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en la evaluación de los recursos forestales, reporta que el pronóstico de cambio de uso de suelo a causa de la deforestación se mantuvo en niveles altos, sobre todo en la conversión de zonas forestales para agricultura. Se ha calculado una pérdida de bosques entre el período 2000-2005 de 4.8 millones de hectáreas anuales (tasa de 0.12% anual), para 2005-2010 se elevó a cerca de 5.6 millones (tasa de 0.14% anual), por último entre 2010 y 2015 hubo una reducción neta de 3.3 millones de hectáreas anuales (FAO, 2015).

En México como en muchos países se presentan procesos de cambio de uso de suelo, de los cuales: la deforestación y el incremento poblacional son los principales factores de impacto ambiental (Mas *et al.*, 2009). En el país se ha observado una tendencia en favor de la reducción en la superficie deforestada en México, para el periodo 2000-2005 se alcanzó una pérdida de 235 mil hectáreas por año; y, en el 2005 y 2010 se perdieron alrededor de 155 mil hectáreas anuales, por último, el reporte del periodo 2010-2015 estima una pérdida de forestal de 92 mil hectáreas anuales (Semarnat, 2016).

En el estado de Puebla las principales actividades que deterioran la biodiversidad, son: 1) Conversión de terrenos forestales para agricultura incompatible con la conservación, 2) Prácticas ganaderas, 3) Crecimiento urbano, 4) Desarrollo de infraestructura vial, 5) Contaminación, 6) Especies invasoras y plagas (descortezadores, parásitos y fitoparásitos),

7) El cambio climático y 8) La sobreexplotación de especies (CONABIO, 2013). Al menos las primeras cuatro tienen que ver directamente con el cambio del uso del suelo.

Las investigaciones que se han desarrollado sobre el análisis de la dinámica del cambio del uso del suelo y la cobertura vegetal de un determinado espacio geográfico y en una dimensión temporal se basan, principalmente, en el uso y manipulación de distintos insumos cartográficos tanto impresos como digitales (Millington y Alexander, 2000). Las imágenes de satélite son una base de material importante para analizar los cambios de cobertura vegetal, con la sobreposición de mapas de uso de suelo y vegetación y la aplicación de métodos y técnicas estadísticas. Estos análisis están basados en mayor medida en el espectro electromagnético de las imágenes, generando ventajas al diferenciar tipos de cubiertas vegetales.

En el presente estudio se analizó la dinámica en el cambio del uso del suelo como factor ambiental, así como los aspectos socioeconómicos que influyen en el proceso de conversión de la cobertura vegetal de áreas forestales, terrenos agrícolas y asentamientos humanos del Municipio de Acajete, Estado de Puebla. Proceso que se evaluó creando los mapas temáticos de uso del suelo y vegetación del territorio a partir de imágenes de satélite LANTSAT en el software ArcMap 10.2. Con la información obtenida se sobrepusieron los mapas para calcular las tasas de cambio de uso del suelo, ganancias y pérdidas para los años 1980, 1990, 2000, 2010 y 2018.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Antecedentes

Los estudios sobre los procesos dinámicos del cambio de uso del suelo y la cobertura vegetal son trascendentales y necesarios, considerados en muchos países como una de las principales causas que coadyuvan al deterioro ambiental, por lo que pueden ser la base para conocer las tendencias de los procesos de degradación y desertificación de los suelos, la pérdida de la biodiversidad de los ecosistemas asociados a una región, así como, para identificar y analizar los factores socioeconómicos que inciden en el cambio del uso del suelo (Camacho *et al.*, 2015; López *et al.*, 2015). Para entender el cambio del uso del suelo se debe tener claro los diferentes conceptos que aplican para su análisis, los cuales se puntualizan en los siguientes apartados.

2.1.1 Impacto Ambiental

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) define el impacto ambiental como la “Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza”. Se clasifican diversos tipos de impactos ambientales, provocados en primer lugar por el aprovechamiento de recursos naturales ya sean renovables, tales como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables, tales como la extracción del petróleo o del carbón. La segunda causa es la contaminación originada por las actividades o proyectos que producen algún residuo (peligroso o no), emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente y la tercera causa es la ocupación del territorio. Los proyectos que al ocupar un espacio modifican las condiciones naturales por acciones tales como desmonte, compactación del suelo, desechos de residuos peligrosos, cambio de drenaje hidrológico natural y otras. En la última clasificación se puede incluir la ocupación por vivienda e infraestructura urbana (Semarnat, 2018).

2.1.2 Uso del suelo

El concepto de uso de suelo surge a finales del siglo XIX en el estudio de las ciencias sociales y la agronomía, es el resultado de la actividad del hombre sobre la cubierta del suelo, es decir, se trata de patrones primordialmente culturales (Platt, 2004). El uso del suelo se puede definir como el proceso de producción de bienes materiales para satisfacer necesidades para el ser humano, algunos ejemplos son; producción de alimentos, instrumentos y/o herramientas de trabajo, construcción, vivienda y todos los que permiten mantener la subsistencia y supervivencia de las poblaciones humanas (Ramos *et al.*, 2004).

Los tipos de uso de suelo y su grado de aprovechamiento conforman el paisaje, el cual al transformarse o modificarse hace un cambio en el uso del suelo (López *et al.*, 2015). El uso del suelo incluye el uso de la cobertura del suelo por parte de los seres humanos más la "función" social, económica, política o cultural de la cobertura de la tierra (Aspinall y Hill, 2008). En geografía humana se destaca el análisis histórico de los factores sociales, económicos y culturales como causantes de generar los patrones de uso o manejo de un lugar en un tiempo determinado. En cambio, para la geografía física, y otras ciencias naturales, se trata de la descripción de la extensión, complejidad y velocidad de la dinámica de cambio de los esquemas de manejo expresados en los tipos de cubiertas, también se da importancia a los modelos de tendencias (Velázquez *et al.*, 2014).

2.1.3 Cambio de uso del suelo

Las interacciones de las actividades humanas con el medio físico traen como consecuencia el cambio en el uso del suelo y la vegetación, lo anterior se ve reflejado por el impacto de las actividades económicas y de desarrollo de la sociedad sobre el territorio y el uso que les dan a los recursos naturales (Palacio *et al.*, 2004). En términos generales, Platt (2004) define el cambio en el uso del suelo como la expresión dinámica de las actividades humanas sobre un espacio. Por tanto, podemos decir que son los cambios que se dan continuamente sobre la superficie terrestre, lo que se debe principalmente a actividades como la deforestación, la agricultura, ganadería, industria, aumento demográfico y/o urbanización (Ramos *et al.*, 2004).

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable define el cambio de uso del suelo, solo a nivel forestal, como la remoción total o parcial de la vegetación de los terrenos forestales para destinarlos a actividades no forestales (LGDFS, Última Reforma DOF 26-03-2015).

Para analizar el cambio en el uso del suelo Lambin et al., (citado en Aspinall y Hill, 2008) hacen mención a cumplir tres requisitos, los cuales son: 1) vincular el comportamiento de la sociedad en su interacción con el uso de suelo, 2) comprender el tipo de relaciones que establece la sociedad con su ambiente y 3) incluir un criterio multi-temporal para incorporar los eventos pasados y presentes, en el contexto de la interacción de la sociedad con el ambiente.

López y colaboradores (2015) reportó que los principales procesos de cambios antropogénicos son: el uso del suelo del bosque a pastizales, de pastizal a agricultura de riego o de temporal, estas últimas actividades por asentamientos urbanos. Como ya se menciona estos cambios son consecuencia directa de la interacción de las actividades humanas con el medio biótico y abiótico de los ecosistemas, por tanto, la identificación espacial y temporal de los cambios pueden ser la base para aplicar políticas correctivas y/o planes de acción que mejoren el manejo de los recursos naturales de una región (Palacio *et al.*, 2004).

2.1.4 Causas y consecuencias del cambio de uso del suelo

Dentro de las principales causas que influyen en el proceso del cambio del uso del suelo destacan el aumento demográfico, la deforestación (incluye tala clandestina y extracción de productos maderables, apertura para establecimiento de cultivos), la agricultura que se destaca por técnicas y prácticas mal aplicadas, por ejemplo, la roza, tumba y quema, el monocultivo, aplicación excesiva de agroquímicos, cultivos en laderas sin prácticas de conservación de suelos, entre otras (Camacho *et al.*, 2015).

Las investigaciones sobre la dinámica del cambio del uso del suelo también pueden incluir la identificación y análisis de los factores que tienen impacto sobre el medio

ambiente. Por ejemplo, cambio en la cubierta forestal que reduce la superficie de bosques y selvas, con ello, disminuye la capacidad de captación de agua. También la construcción de carreteras, pavimentación de caminos de terracería y parques industriales, son factores que contribuyen al proceso de cambio. Otros, no menos importantes son; los incendios forestales, el sobrepastoreo, abandono de terrenos agrícolas y construcción de fraccionamientos o viviendas y parques industriales que además contribuyen a la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos, aire y suelo (López *et al.*, 2015).

Entre las causas directas e indirectas que promueve el cambio en el uso del suelo se encuentran procesos de fragmentación y la pérdida de hábitat, alteran los ciclos biogeoquímicos, aumentan procesos de erosión del suelo, disminuye la recarga de acuíferos, disminuye la provisión de servicios ecosistémicos y contribuye con el calentamiento global (Escandón *et al.*, 2018). A pesar de los efectos negativos que se citaron anteriormente, también existe un efecto positivo que tiene que ver con el bienestar y riqueza de la población humana y está relacionado con el aumento de los rendimientos productivos de alimentos y fibras.

2.1.5 Estudios sobre cambio del uso del suelo: una revisión.

Los estudios sobre el cambio del uso del suelo actualmente están basados en la manipulación de imágenes satelitales y sensores remotos para el análisis de la cobertura vegetal espacial y temporal, con lo cual podemos obtener el porcentaje (%) de cobertura vegetal y a partir de esta calcular la tasa de cambio del uso del suelo, a partir de esto se obtienen los factores que servirán de referencia para la determinación del impacto causado por las actividades antropogénicas, al mismo tiempo proponer alternativas de manejo y conservación para preservar las zonas que aún no han sido degradadas y aprovecharlas de manera sustentable (Millington y Alexander, 2000).

Los modelos de cambio de uso constituyen una herramienta de análisis espacial que ayudan a considerar aspectos como: las variables sociales, económicas y espaciales que

conducen a un cambio; proyectar los potenciales impactos ambientales y socioeconómicos derivados de los cambios en el uso del suelo, y; valorar la influencia de alternativas políticas y mejora de los sistemas de manejo de los recursos naturales (López *et al.*, 2015).

A nivel país el estudio “Predicción del cambio de uso/cobertura arbolada en México a través de probabilidades de transición” de los autores Torres, Magaña y Moreno (2016) consistió en relacionar las probabilidades de transición con variables climáticas, físicas y socioeconómicas para explicar la dinámica de cambio de los bosques y las selvas del país. En los resultados que obtuvieron muestran que la transición principal fue la de cobertura de bosque hacia cultivos y desarrollo urbano por su frecuencia y la transición selva/cultivo/zona urbana depende de la temperatura, variación en siniestros y de la precipitación.

El Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales, en colaboración con instituciones académicas y de investigación elaboraron la descripción de los cambios de cobertura y uso del suelo en el estado de Morelos durante el periodo 2000-2009 utilizando datos espaciales y sistemas de información geográfica. Los resultados que reportan son procesos de cambio hacia zonas agrícolas (con 1 373 ha) y áreas urbanas (con 189 ha); además, identificaron factores socioambientales y de tenencia de la tierra como las causas principales (Escandón *et al.*, 2018).

En el estudio de Sahagun y Reyes (2018) se determinó el impacto potencial del cambio en el uso de suelo y la cobertura vegetal de las Áreas Naturales Protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, en México, a través del análisis espacial y la simulación de escenarios de cambio potencial. Se evidencia una tendencia de cambio en las coberturas vegetales naturales hacia actividades antrópicas como la agricultura (temporal y riego) y hacia procesos de sucesión ecológica en áreas abandonadas.

La investigación realizada por Gordillo y Castillo (2017) en la Cuenca del Rio Sabinal, Estado de Chiapas se abordó mediante el análisis de los mapas de cambio de uso

del suelo, destacando el papel que desempeña la población humana en la configuración del ambiente biofísico y como inciden sus actividades socioeconómicas en este proceso de cambio, obtuvieron que el 72 % del territorio de la cuenca tiene el mismo tipo de cobertura de suelo, mientras que 28 % tuvo algún tipo de cambio, destacando el incremento de la superficie utilizada para la actividad ganadera.

Otro estudio basado en el análisis de los cambios de cobertura y uso del suelo ocurridos en un periodo de tiempo es el de Camacho et al. (2015) en una zona del sur poniente del Estado de México ubicada en la Zona de Transición Mexicana de Montaña a través de la interpretación de imágenes de satélite construyó los mapas temáticos que permitieron elaborar una matriz de cambio del uso del suelo de la superficie estudiada y determinar las tasas de cambio e inferir en los procesos antropogénicos que tienen influencia sobre los cambios del uso del suelo, obtuvieron los porcentajes de la cobertura forestal la cual disminuyó notablemente en el periodo estudiado, así mismo, se obtuvieron las capas agrícolas, agropecuarias y urbanas, estas últimas actividades causan la deforestación de las zonas boscosas, otro factor notorio fue la disminución en los cuerpos de agua de la región.

Los estudios de cambio de uso del suelo también han sido aplicados para proponer nuevos modelos de producción agrícola como el realizado por Ramos y colaboradores (2014) mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera el objetivo además de actualizar la cartografía de las unidades de suelos fue determinar su potencialidad para el cultivo del cacao. Con ello se demuestra que los métodos de análisis de insumos cartográficos y/o satelitales pueden aplicarse para diferentes propósitos según el área de estudio de los especialistas.

En el estudio de análisis de cambio de uso de suelo también se han utilizado modelos geomáticos aplicados a la simulación de cambios de usos del suelo para evaluar el potencial de cambio, utilizando el Modelo de Cadenas de Markov que indica el potencial de transición entre las categorías de uso de suelo en un periodo de tiempo (Camacho *et al.*, 2010).

2.2 Conceptos y técnicas

2.2.1 Tasa de cambio de uso de suelo

La vegetación es un indicador importante para conocer las condiciones naturales de un territorio, el análisis de los cambios producidos en la vegetación considera, básicamente, los originados por las actividades antrópicas y el estudio de componentes, tales como: el porcentaje de vegetación conservada, superficies deforestadas, superficie revegetada (cultivos o pastizales), superficie degradada, cambio de actividad productiva de una superficie y las áreas sin cambio (Palacio *et al.*, 2004). Las tasas de cambio de la cobertura y uso del suelo para algún periodo de tiempo indica si hubo incremento o decremento.

Las tasas de cambio de la cobertura y uso del suelo para algún periodo de tiempo se pueden determinar mediante la fórmula (FAO) citada en Camacho *et al.*, (2015):

$$t=1- [1-((S_1 - S_2) /S_1)]^{1/n}$$

Dónde: t corresponde a la tasa de cambio; S_1 la superficie cubierta por un tipo dado de uso/cobertura del suelo en la fecha 1; S_2 es la superficie del mismo uso/cobertura del suelo en la fecha 2 y; n es el número de años transcurridos entre las dos fechas.

2.2.2 Tasa de crecimiento de la población

Según Hernández (1996) el crecimiento de la población humana se refiere al aumento, disminución o estabilidad en el número de sus integrantes en un tiempo determinado. Un indicador utilizado para medir el porcentaje de la velocidad del fenómeno es la tasa de crecimiento medio anual (TCMA) de población, la cual se puede calcular con la siguiente ecuación (INEGI, 2009):

$$TCMA= [(Pf/Pi)^{(1/t)}-1]*100$$

Dónde: P_f representa a la población al fin del periodo en estudio; P_i , la población a inicio del periodo; y t , la magnitud de dicho periodo.

El crecimiento de la población trae como consecuencia mayor demanda de territorio y recursos naturales para satisfacer sus necesidades, de ahí la importancia de relacionar la tasa de crecimiento poblacional con las tasas de cambio de uso de suelo.

2.2.3 Sistemas de Información Geográfica

El Instituto Nacional de Información Geográfica y Estadística (INEGI), 2014 define que los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son un conjunto de herramientas diseñadas para conseguir, recopilar, recuperar, desarrollar y analizar datos espaciales del mundo real. Con los SIG se puede manipular datos espaciales referenciados y vincular bases de datos, resultando información de fácil acceso a los usuarios.

Olaya, 2014 define un SIG como “un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica, y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados” por tanto resultan ser integradores de información geográfica susceptible de ser analizada. Los componentes de un SIG son; los datos, métodos que se aplican a los datos, software, hardware y personas encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema.

Las ventajas de usar un SIG son múltiples, por ejemplo, capacidad de almacenamiento, múltiples niveles de datos, capacidad de manejo para editar y actualizar información, rapidez en la operación, asociación de datos espaciales con propiedades y capacidad para análisis de datos mediante la ejecución de modelos de aplicación.

La aplicación de los SIG es importante en los análisis espaciales, diagnósticos y comparaciones temporales, debido a que es una herramienta fundamental para evaluar, predecir y simular procesos como cambios de uso de suelo, erosión, planificación urbana, planeación y gestión de recursos naturales y servicio, rutas de transporte, cartografía,

planificación ambiental, evaluación de riesgos y emergencias, impacto ambiental, estudios demográficos, entre muchos otros (García, 2012; INEGI, 2014).

La manipulación de las imágenes de satélite se realiza mediante programas de sistemas de información geográfica (SIG) (Palacio *et al.*, 2004). Existen diferentes softwares para análisis de imágenes de satélite e insumos cartográficos impresos, tales como: ILWIS 3.4 OPEN, ArcMap 9.3 o la versión 10.2.2, QGIS, ARCGIS, ERDAS, entre muchos otros.

2.2.4 Clasificación no supervisada y supervisada:

Los métodos de clasificación no supervisada reconocen patrones espectrales de manera autónoma e interactiva para examinar coberturas de uso de suelo, la desventaja de este método es que no se sujeta a conocimiento del sitio de estudio por lo que la interpretación y evaluación de las categorías de análisis (usos de suelo) dependerá de la persona a cargo (Macedo, Pajares y Santos, 2010).

La clasificación supervisada es el procedimiento cuantitativo para analizar imágenes de satélite, la categorización de las unidades o categorías de análisis está controlada por la persona que realiza la clasificación. Este tipo de clasificación usa algoritmos para etiquetar píxeles que servirán como campos de entrenamiento o reconocimiento de la firma espectral de cada tipo de cobertura o clase seleccionada. Esta asociación de clases se basa en un modelo de distribución probabilística de las clases de interés. Es necesario contar con información adicional como son Fotografías aéreas, mapas temáticos y/o puntos georreferenciados para poder definir la asignación de los píxeles de la imagen a una clase previamente seleccionada (Tabla 1).

La máxima verosimilitud es un algoritmo utilizado en la clasificación supervisada asume que los datos siguen una función de distribución normal para asignar la probabilidad de que un píxel cualquiera pertenezca a cada una de las clases (Camacho *et al.*, 2015; Vargas y Campos, 2018). A partir de todos los píxeles que conforman una muestra, se

obtiene el centroide de la clase, el cual es un vector, cuyos componentes son las medias aritméticas de los valores de muestra de los píxeles de esa clase, en cada banda.

Este método es muy similar al anterior, pero considera la distancia MAHALANOBIS en lugar de la distancia euclídea. Considera que la forma geométrica de la nube de puntos que representa al conjunto de píxeles pertenecientes a una clase puede ser descrita por un elipsoide. La localización, forma y tamaño de las elipses reflejan la media, varianzas y covarianzas de los datos. Esta idea se traslada a n-dimensiones, siendo (-n) la cantidad de bandas de una imagen. La distancia de MAHALANOBIS tiene en cuenta la variabilidad de clases (dispersión de los datos) y la correlación de los píxeles.

Otro método utilizado es el “Maximun Likelihood” o Máxima Correlación que asume previamente que los histogramas de las clases tienen distribuciones normales (Vargas y Campos, 2018). A partir de este supuesto, se calcula las probabilidades de que un píxel pertenezca a cada clase. Se termina asignando el píxel incógnito a la clase de mayor probabilidad. Este es un método más complejo y que más cálculos realiza, pero también el que da los mejores resultados.

Tabla 1. Diferencias entre la clasificación supervisada y la clasificación no supervisada.

Clasificación Supervisada	Clasificación no supervisada
Se parte de un cierto conocimiento sobre la zona a clasificar, a partir del cual se obtienen los criterios de clasificación.	No se posee ningún conocimiento previo y discrimina píxeles en función de una magnitud cuantitativa de diferenciación entre unos y otros.
Previamente se han de seleccionar muestras de cada clase constitutiva.	Supone la búsqueda de grupos de valores homogéneos.
Son procesadas a fin de calcular estadísticas: media, rango, desviación típica, etc., de todas las bandas que intervienen en la clasificación.	La intervención humana se centra más en la interpretación de resultados que en la consecución de los mismos.

Fuente: elaboración propia basada en (Macedo, Pajares y Santos, 2010; Camacho *et al.*, 2015; Vargas y Campos, 2018)

2.2.5 Cadenas de Markov

Un modelo utilizado en el análisis del cambio del uso del suelo es el basado en transición espacial que utiliza el método de Cadenas de Markov. Estos modelos asumen explícitamente que las áreas vecinas influyen en la probabilidad de transición del área o celda central (Serfozo, 2009).

Los Procesos Estocásticos o Procesos Aleatorios, son una herramienta probabilística, que surge ante la necesidad de modelar el comportamiento de experimentos aleatorios que varían en el tiempo, o dependen de alguna otra variable no determinista. Usualmente se usan como modelos matemáticos de fenómenos aleatorios que evolucionan en el tiempo o el espacio (dinámica del sistema). Y como la aleatoriedad está presente en una gran diversidad de situaciones, sus posibles aplicaciones son muy amplias: finanzas, seguros, telecomunicaciones, medicina, servicios y muchos más (Serfozo, 2009).

De acuerdo con Serfozo (2009) una cadena de Markov es un proceso estocástico con un número finito de estados con probabilidades de transición estacionarias, es decir, si se conoce la historia del sistema hasta su instante actual, su estado presente resume toda la información relevante para describir en probabilidad su estado futuro.

Un proceso estocástico $X = \{X_n: n \geq 0\}$ en un conjunto contable S es una cadena de Markov si, para cualquier valor de $i, j \in S$ (pertenece al conjunto) S y $n \geq 0$:

$$P \{X_{n+1} = j \mid X_0, \dots, X_n\} = P \{X_{n+1} = j \mid X_n\}, \quad (1)$$

$$P \{X_{n+1} = j \mid X_n = i\} = pij. \quad (2)$$

El pij es la probabilidad de que la cadena de Markov salte del estado i al estado j . Estas probabilidades de transición satisfacen $\sum_{j \in S} pij = 1, i \in S$, y la matriz $P = (pij)$ es la matriz de transición de la cadena.

La ecuación (1) llamada Propiedad de Markov, dice que, en cualquier momento de n , el siguiente estado X_{n+1} es condicionalmente independiente del pasado X_0, \dots, X_{n-1} dado el

estado presente X_n . En otras palabras, el siguiente estado depende del pasado y el presente solo a través del estado presente. En consecuencia, las cadenas de Markov y los procesos relacionados de Markov en tiempo continuo son modelos naturales o bloques de construcción para las aplicaciones.

La ecuación (2) simplemente dice que las probabilidades de transición no dependen del parámetro de tiempo; la cadena de Markov es por lo tanto "homogénea en el tiempo". Si las probabilidades de transición fueran funciones del tiempo, el proceso X_n sería una cadena de Markov no homogénea en el tiempo. Estas cadenas son como cadenas homogéneas en el tiempo, pero la dependencia del tiempo introduce detalles contables adicionales que no abordaremos aquí.

En el estudio de Briceño (2005) se describe una cadena de Markov como una secuencia X_1, X_2, X_3, \dots de variables aleatorias. El rango de estas variables, es llamado espacio estado, el valor de X_n es el estado del proceso en el tiempo n . Si la distribución de probabilidad condicional de X_{n+1} en estados pasados es una función de X_n por sí sola, entonces:

$$\text{Prob}\{X_{n+1}=j|X_0=k_0, X_1=k_1, \dots, X_{n-1}=k_{n-1}, X_n=i\} = \text{Prob}\{X_{n+1}=j|X_n=i\}$$

Donde X_i es el estado del proceso en el instante i . la identidad mostrada es la propiedad de Markov.

Las cadenas de Markov, pueden definirse para estudiar la dinámica del uso del suelo y vegetación, ya que proporcionan un modelo descriptivo y prospectivo para analizar los cambios en el uso del suelo y la distribución de los mismos (Briceño, 2005; Torres *et al.*, 2016). Por ejemplo, si en una superficie se tiene la probabilidad de que este en uso (categoría 1) en un tiempo (t), representado por la expresión categoría (1)(t) y la probabilidad de un cambio de uso de categoría (1) a categoría (2) o de categoría (i) a categoría (j), durante un intervalo de tiempo ($t+1$), la expresión es la siguiente:

$$\text{Categoría } j(t+1) = \sum_{i=1}^n \text{categoría } i(t) * \text{categoría } (ij)(t, t + 1) \dots\dots\dots(1)$$

Dónde: (n) es el número total de categorías de uso.

Simplificando, se tiene que la distribución de probabilidades de las variables aleatorias de uso de la tierra en tiempo (t+1), será dada por la multiplicación matricial siguiente:

$$\text{Categoría } i(t+1) = \text{Categoría } i(t) * P(t, t+1) \dots \dots \dots (2)$$

Y para el caso donde las probabilidades de transición dependen solo del intervalo de tiempo (t, t+1), se considera que el proceso es temporalmente homogéneo, por tanto, la ecuación anterior podemos escribirla:

$$\pi(t+1) = \pi(t) * P \dots \dots \dots (3)$$

Así, el proceso Markov se lleva efecto mediante operaciones entre matrices. Las matrices de Markov son tablas con arreglos simétricos que contienen en uno de los ejes las categorías de análisis de uso de suelo y vegetación en el año (t₁) y, en el otro eje las mismas categorías, pero en el año (t₂). La matriz de probabilidades se puede resolver de forma automatizada utilizando el software libre Rcommander.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Tipo de investigación

El objeto de estudio de la presente investigación se encuentra dentro de la investigación cuantitativa de tipo descriptiva. En este estudio se aborda la influencia que tiene la deforestación, el aumento demográfico y urbano, las actividades agrícolas y ganaderas, sobre la dinámica del proceso del cambio del uso del suelo para describir, asociar, predecir y cuantificar las relaciones entre conceptos y variables, por lo tanto, conocer el comportamiento y respuesta de las variables asociadas al cambio del uso del suelo.

Las investigaciones descriptivas aportaron cierta información interpretativa con la que se podrá determinar la causa de los procesos o fenómenos físicos o sociales ligados al

cambio del uso del suelo, por tanto, también podemos asociar el tipo de investigación explicativa a la presente investigación, con el objetivo de generar un sentido de entendimiento sumamente estructurado del objeto de estudio cambio del uso del suelo en el Municipio de Acajete, Puebla (Hernández *et al.*, 2014).

2.3.2 Paradigma que sustenta la investigación

Los problemas ambientales como el cambio de uso del suelo tienen gran complejidad ya que los múltiples factores que influyen en la dinámica del cambio vienen determinados por la problemática social, económica y política de cada entorno, por tanto, la construcción de la investigación debe estar basada la visión de la realidad de los múltiples actores involucrados con el objeto de estudio. Lo anterior permite considerar el paradigma interpretativo para sustentar la presente investigación.

El paradigma interpretativo se caracteriza por tener una ontología holística, es decir, la realidad que se contempla va a depender de los sujetos y/o personas implicadas y la visión o construcción mental que tengan sobre el objeto, proceso o fenómeno que se analizará. La naturaleza de la relación entre el sujeto-objeto o epistemología es subjetivista porque el investigador y lo investigado forman una entidad única que generan nuevos conocimientos (Moreno, Aguarón y Escobar, 2001).

2.3.3 Enfoque epistemológico

Padrón (2007) describe “Se utilizan dos variables para sistematizar los Enfoques Epistemológicos: una es de tipo gnoseológico, referida a las convicciones acerca de la fuente del conocimiento, simplificada en dos valores: empirismo / racionalismo. La otra es de tipo ontológico, referida a las convicciones acerca de las relaciones del sujeto con la realidad, simplificada también en dos valores: idealismo / realismo. El cruce de esas variables nos lleva tentativamente a cuatro enfoques epistemológicos: el enfoque empirista-realista (mediciones, experimentaciones, inducción controlada...), el enfoque empirista-idealista (etnografía, diseños de convivencia, inducción reflexiva...), el enfoque racionalista-realista (abstracciones, sistemas lógico-matemáticos, deducción controlada...)

y el enfoque racionalista-idealista (interpretaciones libres, lenguajes amplios, argumentación reflexiva...)."

Teniendo en cuenta lo anterior, para la presente investigación el enfoque epistemológico es racionalista-realista que permitirá obtener abstracciones, sistemas lógico-matemáticos y deducción controlada sobre el objeto de estudio cambio de uso del suelo a través del tiempo en el Municipio de Acajete, siendo un objeto real que tiene una relación directa con las actividades económicas y sociales que desempeñan los pobladores en la región, por lo que es importante entender y razonar las causas y consecuencias que se derivan del problema de investigación.

2.3.4 Teorías que soportan la investigación

Los problemas ambientales están categorizados como complejos, holísticos e interdisciplinarios, por lo que la investigación se apoya en la teoría de sistemas. Un sistema complejo considera la relación que existe entre el objeto de estudio y las disciplinas a partir de las cuales se puede abordar el estudio de investigación, por lo tanto, no se puede considerar aspectos particulares de un proceso, fenómeno o realidad. García (2006) cita "Un sistema complejo es una representación de un recorte de esa realidad, conceptualizado como una totalidad organizada (de ahí la denominación de sistema), en la cual los elementos no son "separables" y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente".

Los sistemas funcionan como una totalidad, y tiene dos características principales: propiedades estructurales y evolución en sus componentes. Por ejemplo, en el sistema ambiente la propiedad de vulnerabilidad se da por el cambio constante en el uso del suelo que ocurre a una evolución espacio-temporal que dependerá del subsistema socioeconómico, ya que cuando un terreno agrícola ya no produce, la necesidad por obtener alimento e ingresos para sostener a la familia llevará al agricultor a buscar otro terreno con condiciones óptimas o mejores para la producción, deteriorando por lo regular, las zonas forestales de alguna región (repitiendo el ciclo cuando el terreno se vuelva improductivo, y dejando al abandono los terrenos que fueron agrícolas).

Un principio básico de la teoría de sistemas complejos afirma que toda alteración de alguna fracción del todo se generaliza de diferentes formas en el conjunto de relaciones de los elementos que forman la organización del sistema, lo que podría generar una reorganización total dentro de un sistema (García, 2006).

2.4 Marco Legal

El artículo 27 de la Constitución Mexicana establece que “la propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponden originariamente a la Nación la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada”.

En consecuencia, de lo establecido en el artículo anterior, se dictarán las medidas necesarias para ordenar los asentamientos humanos y establecer adecuadas provisiones, usos, reservas y destinos de tierras, aguas y bosques, a efecto de ejecutar obras públicas, de planear y regular la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; para preservar y restaurar el equilibrio ecológico.

La institución encargada de autorizar el cambio en el uso del suelo en terrenos forestales es la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), también tiene la facultad de avalar las Evaluaciones de Impacto Ambiental (EIA) otra herramienta indispensable de la política pública ambiental, promovida desde hace cuatro décadas a nivel mundial y aceptada a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1992.

La EIA es un instrumento que se debe realizar antes de ejecutar cualquier proyecto que afecta contra los factores bióticos y abióticos al realizar un cambio en el uso del suelo, en el deben establecerse las medidas de prevención, mitigación y/o remediación que deben pagar los promoventes para revertir el daño ambiental que generarán en corto, mediano y largo plazo sus proyectos.

A nivel federal se cuenta con legislación aplicable en materia de cambio de uso de suelo, misma que es adaptable a nivel estatal y municipal, a continuación, se describen algunas:

2.4.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente marca que “el ordenamiento territorial es el instrumento de política ambiental cuyo objeto es regular o inducir el uso del suelo y las actividades productivas, con el fin de lograr la protección del medio ambiente y la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, a partir del análisis de las tendencias de deterioro y las potencialidades de aprovechamiento de los mismos” (LGEEPA, Última Reforma DOF 24-01-2017).

La formulación y expedición de los programas de ordenamiento ecológico local del territorio a que se refiere el artículo 20 BIS 4 de esta Ley, en los términos en ella previstos, así como el control y la vigilancia del uso y cambio de uso del suelo, establecidos en dichos programas.

La ley también trata de contribuir con la regulación ambiental de los asentamientos humanos para lograr una diversidad y eficiencia en el uso del suelo y disminuir las afectaciones ambientales con los cambios de uso del suelo. La LGEEPA también considera algunos criterios para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo y sus recursos, como: el uso del suelo debe ser compatible con su vocación natural para que éstos mantengan su integridad física y su capacidad productiva, tomar las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión capacidad productiva, llevar a cabo medidas de restauración y conservación de suelo, entre otros.

2.4.2 Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) indica que el cambio de uso de suelo en terrenos forestales, para manejo y aprovechamiento sustentable de los recursos forestales es autorizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), siempre y cuando cumplan con las disposiciones descritas en la ley y su

reglamento; por ejemplo, disponer de un Programa de Manejo, reforestar, conservar y restaurar los suelos, aprovechar los recursos forestales de acuerdo con la posibilidad y el plan de cortas establecidos en la autorización (Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Última reforma DOF 24-01-2017).

Esta ley también establece que cada 5 años se debe analizar la dinámica del cambio de la vegetación forestal del país, para conocer y evaluar las tasas de deforestación y las tasas de degradación y disturbio, registrando sus causas principales. Al realizar lo anterior, sin duda, se permite inferir en el cambio de otros usos de suelo, que son los que regularmente rebasan las fronteras forestales, tales como el agrícola, ganadero, asentamientos humanos, vías de comunicación y otras.

La ley forestal tiene la base de datos Registro Nacional Forestal donde se encuentran las autorizaciones del cambio de uso de suelo en terrenos forestales del país. También indica que los servicios técnicos forestales deben ser mediante personas capacitadas para elaborar los estudios técnicos justificativos de cambio de uso de suelo de terrenos forestales y otros estudios.

La ley establece dentro del Título Quinto “De las medidas de conservación forestal” el Capítulo I. “Del Cambio de Uso del Suelo en los Terrenos Forestales” quienes están facultados para autorizar el cambio del uso del suelo en terrenos forestales, bajo que excepciones y con qué tipo de estudios o programas de manejo.

2.4.3 Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano

La Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano es un instrumento de regulación para el uso del territorio por asentamientos humanos en el país. Como objetivo principal es propiciar procesos de planeación y gestión para la creación de espacios, como: vivienda, infraestructura, equipamiento y servicios básicos para la población con apego a la ordenación territorial.

III. JUSTIFICACIÓN

Es importante y necesario conocer los elementos ambientales y sociales que influyen en la dinámica del cambio del uso del suelo para comprender las interrelaciones del sistema, e identificar las entradas y salidas que tienen mayor afectación en el comportamiento y deterioro de los factores bióticos y abióticos de un ecosistema.

El cambio en la estructura paisajística tiene que ver directamente con la degradación de los recursos naturales presentes en un territorio, lo cual genera cambios en la estructura y productividad de los suelos, modificación del hábitat de la flora y la fauna, y transformación de las actividades económicas y sociales, pérdida de la biodiversidad y en general, en la alteración de la producción de bienes y servicios ambientales: todo en conjunto deteriora el medio físico, económico y social de las poblaciones involucradas en un entorno.

La realización de este trabajo en el municipio de Acajete, Puebla atiende la necesidad de identificar y comprender la dinámica en la transformación del territorio debida al cambio de uso del suelo, mismo que se ha acrecentado en las últimas décadas. Los principales problemas que enfrenta la zona, son: la falta de planificación para el crecimiento urbano, el crecimiento en la demanda del agua para uso doméstico y para la agricultura, la tala clandestina y el sobrepastoreo.

Conocer el proceso espacio-temporal de cambio del uso del suelo permite plantear estrategias de planeación y gestión para el uso y manejo de los recursos naturales, a escala regional y en este caso municipal, así como a tener una fuente de información actual sobre el uso del suelo y la vegetación.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Analizar la dinámica del cambio del uso del suelo en el Municipio de Acajete, Estado de Puebla del año 1980 al 2018.

4.1.1 Objetivos específicos

- Generar el mapa temático de uso de suelo y vegetación del Municipio de Acajete, Puebla, para los años 1980, 1990, 2000, 2010 y 2018.
- Generar una Matriz de Cambio de Uso de Suelo para los periodos 1980-1990, 1990-2000, 2000-2010 y 2010-2018.
- Calcular las Tasas de Cambio de Uso de Suelo que se encuentran en la zona de estudio.
- Conocer y analizar los principales factores sociales que han influido en la dinámica del cambio del uso de suelo y vegetación en el Municipio de Acajete.

V. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Localización del área de estudio

La presente investigación se establece en el Municipio de Acajete, el cual ocupa una superficie de 0.5% del Estado de Puebla. Las coordenadas geográficas donde se localiza son: entre los paralelos 19°00' y 19°12' de latitud norte; meridianos 97°50' y 98°01' de longitud oeste, altitud entre 2280 y 3200 m.s.n.m. Colinda al norte con el Estado de Tlaxcala, al sur con los municipios de Tepeaca y Cuautinchan, al oriente con Nopalucán y Tepeaca y al poniente con Tepatlaxco de Hidalgo y Amozoc (Figura 1).

El Municipio se integra de 63 localidades (INEGI, 2009). De acuerdo al número de población, localización estratégica, dinámica social y económica se ubican las principales localidades en el municipio de Acajete (Tabla 2):

Tabla 2. Principales localidades del municipio de Acajete.

Localidad	Número de población	Porcentaje de población municipal (%)
Acajete	20,923	34.67
San Juan Tepulco	8,232	13.64
La Magdalena Tetela Morelos	6,421	10.64
San Agustín Tlaxco	6,163	10.21
San Jerónimo Ocotitlán	4,809	7.97

Fuente: INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2010.

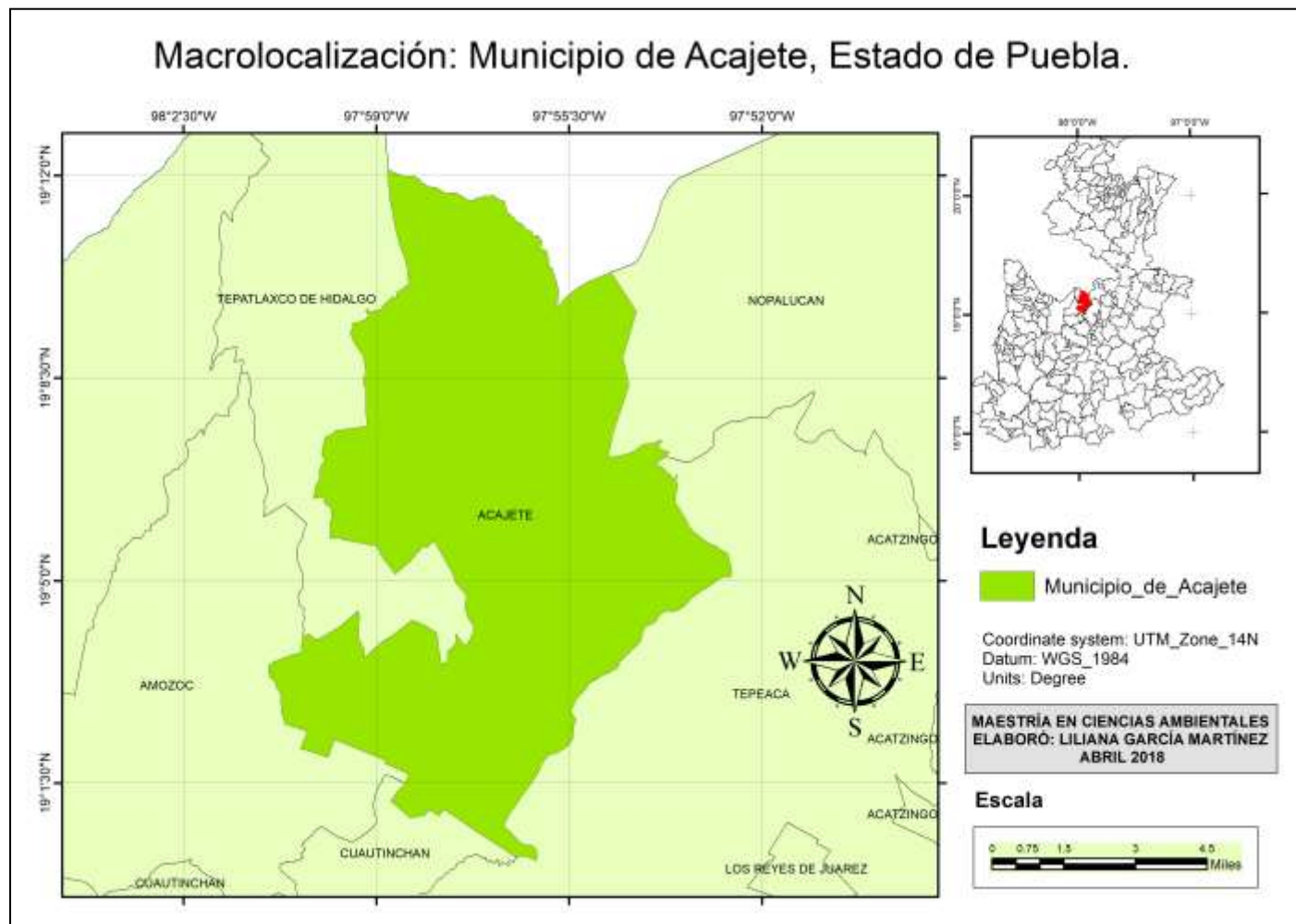


Figura 1. Macrolocalización del Municipio de Acajete, Estado de Puebla.
 Fuente: Datos Vectoriales del Gobierno del Estado de Puebla (2010) y
 Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III de INEGI (2013-2018)

5.1.1 Caracterización Medio Ambiental del Municipio de Acajete, Puebla.

Las variantes climáticas reportadas para el Municipio de Acajete, Estado de Puebla son las siguientes: templado subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (80%), templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (16%) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano, de mayor humedad (4%). El rango de temperatura se encuentra entre 6-16°C y de precipitación entre 700-1100 mm (INEGI, 2009).

El municipio de Acajete se encuentra en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcanico y la Subprovincia Lagos y Volcanes del Anahuac. El sistema de topofomas que lo conforman en mayor proporción son las llanuras aluviales con lomeríos y la sierra volcánica con estrato volcanes o estrato volcanes aislados, siguiendo la Meseta basáltica escalonada y en menor proporción Sierra volcánica de laderas tendidas. Al noreste se levantan algunos cerros que son desprendimientos de La Malinche, como El Tintero, El Pinal, Huilotepec y San Martín (Figura 2). El municipio se encuentra dentro de la región hidrológica Balsas, pertenece a la cuenca del Rio Atoyac uno de los más importantes del estado de Puebla, podemos encontrar corrientes de agua perennes e intermitentes (INEGI, 2009).

La roca que podemos encontrar en la región es de tipo ígnea extrusiva como la brecha volcánica intermedia, andesita, basalto, brecha volcánica básica y toba ácida. También rocas sedimentarias como calizas, conglomerados y brecha sedimentaria. Las rocas son de suma importancia en la región ya que se han aprovechado para cantera y material para construcción, sin embargo, también ha dejado una gran perturbación en el medio biótico y abiótico (INEGI, 2009).

Los suelos dominantes según en orden de relevancia son el fluvisol y regosol (Figura 3); seguidos de suelos en menor proporción como el cambisol, litosol, luvisol y feozem (INEGI, 2009).

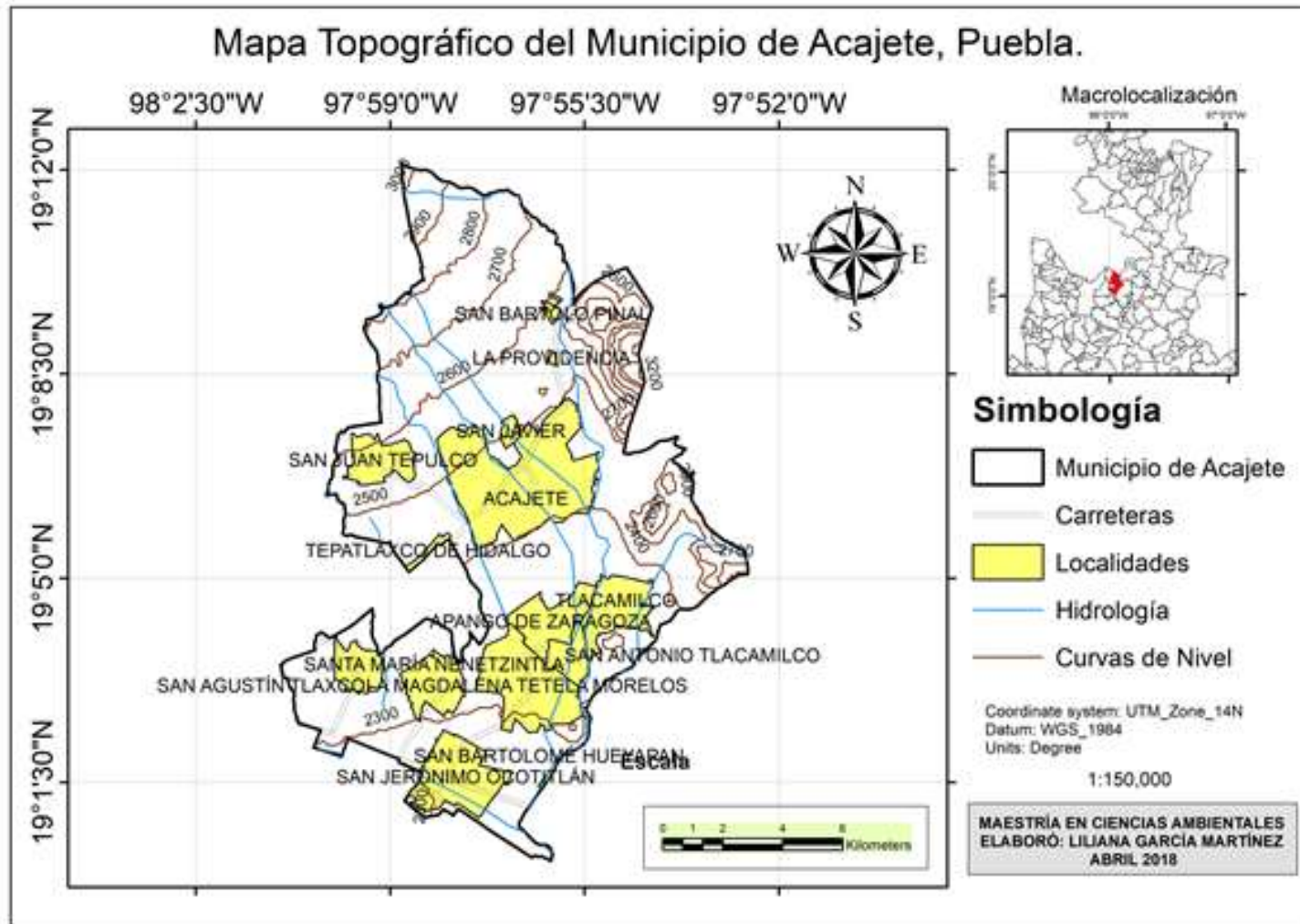


Figura 2. Mapa Topográfico del Municipio de Acajete, Puebla.
Fuente: Datos Vectoriales del Gobierno del Estado de Puebla (2010) y
Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III de INEGI (2013-2018).

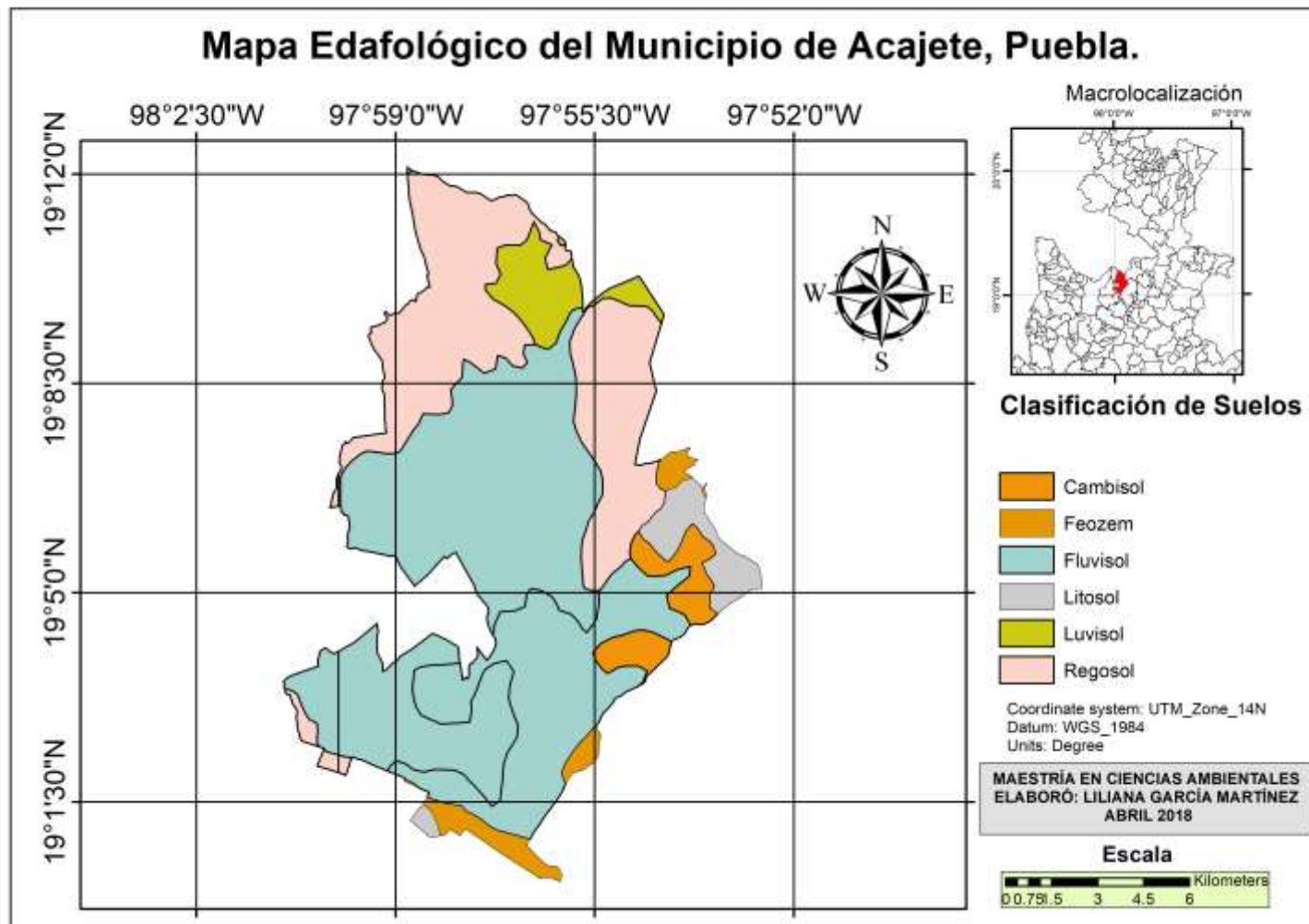


Figura 3. Edafología del Municipio de Acajete, Puebla.

Fuente: Datos Vectoriales del Gobierno del Estado de Puebla (2010) y Conjunto de datos vectoriales de información topográfica escala 1:50 000 serie III de INEGI (2013-2018).

Con respecto a la vegetación se localizan las siguientes unidades vegetales: el bosque de encino-pino ocupa una superficie de 2844 ha lo que representa el 19.13%; la siguiente unidad es el matorral xerófilo el cual cubre una superficie de 947 ha que representan el 6.37% del total municipal; el Pastizal inducido se encuentra en una superficie de 151 ha que representan el 1.01% del total municipal y por último el bosque de pino en una superficie de 23 ha que representa el 0.15% del total municipal y se localiza en el noroeste del municipio a las faldas de la Malinche (INEGI, 2009).

En municipio forma parte de la zona de influencia y uso tradicional del área natural protegida "Parque Nacional la Malinche o Matlalcuéyatl" (Figura 4) decretada el 06 de octubre de 1938 con una superficie de 46, 112.2 ha, dentro de esta área se han identificado más de 100 especies entre mamíferos, aves y reptiles, de las cuales 16 son endémicas del Eje Neovolcánico, como el teporingo. La superficie que ocupan los ejidos pertenecientes al municipio de Acajete dentro del parque es de 1,901.68 ha.

La población total reportada por INEGI, (2015) es de 65,048 habitantes, de la cual 30,952 son hombres y 34, 096 mujeres. Los nacimientos reportados son 1,876, mientras que la cantidad de defunciones fueron 357. La información anterior puede denotar que el crecimiento en la población es exponencial para este año al tener un mayor número de nacimientos que de muertes de la población.

La población ocupada en el municipio dentro de algún sector de actividad económica es de un total de 19,778 personas, de las cuales en un mayor porcentaje se encuentran en el sector de secundario (32.62%), seguido del sector de servicios (25.54%), enseguida el sector comercio (20.22%) y por último el sector primario (17.82%). Dentro del sector secundario se encuentran actividades como la minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción; el sector de servicios incluye transporte, gobierno y otros servicios; y el sector primario actividades como la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca y caza (INEGI, 2015). En Acajete existen bancos de arena, piedra y barro que se utilizan para la construcción; también cuenta con piedra de mármol y sus derivados como cal y arcilla, formando parte del sector secundario.

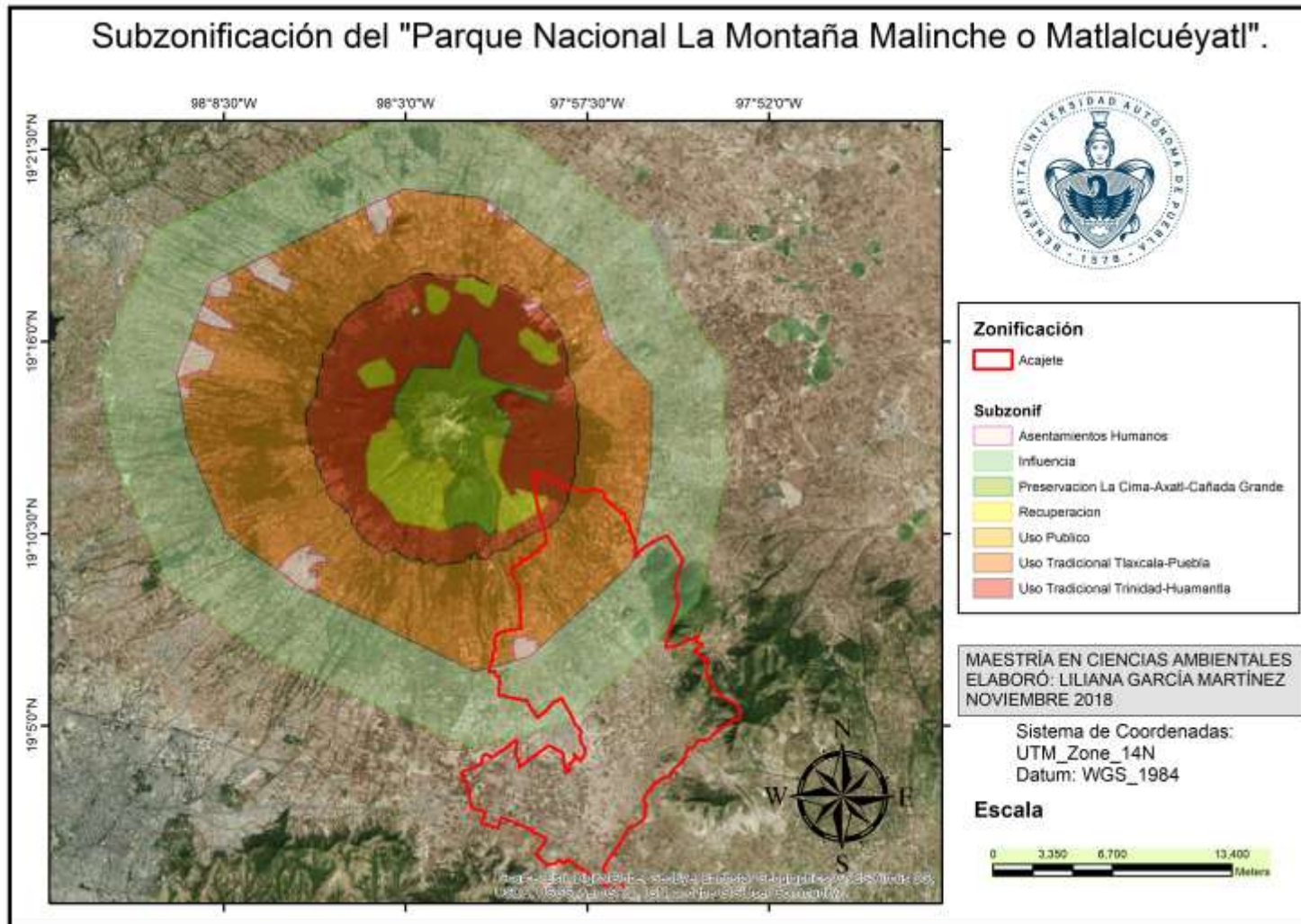


Figura 4. Subzonificación Parque Nacional La Montaña Malinche o Matlalcuéyatl.

Fuente: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, (2017).

Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana.

5.2 Primera fase: Categorías de análisis

Se realizaron los mapas de uso de suelo y vegetación, para analizar la dinámica del cambio de uso del suelo utilizando herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) con el software ArcMap 10.2.2. El principal insumo son las imágenes de satélite LANSAT Thematic Mapper (TM) y/o TM+ de los años 1980, 1990, 2000, 2010 y 2018. Así mismo se utilizó el Global Position System (GPS), para verificar y georreferenciar la información digital *in situ*.

Las categorías de análisis (uso de suelo) fueron determinadas a partir del siguiente criterio: observación directa con recorridos en campo.

5.3 Segunda fase: gabinete y de campo.

5.3.1 Mapas de Uso de Suelo y Vegetación

Para generar los mapas de Uso de Suelo y Vegetación la metodología incluyó la corrección radiométrica y atmosférica de las imágenes de satélite, para ajustar los valores radiométricos y la calidad de las imágenes de satélite. Posteriormente se procedió a realizar la clasificación supervisada donde se definieron las categorías de análisis diferenciando los elementos de las imágenes. Se aplicó el método conocido como Máxima Probabilidad o Verosimilitud para determinar los píxeles de la imagen en cada una de las categorías clasificadas de uso de suelo y vegetación para el Municipio de Acajete y se generó el mapa temático de uso de suelo para cada año. Para el año 2018 la información se pudo corroborar con puntos georreferenciados en campo.

El mapa de Uso de Suelo y Vegetación del año 2018 fue sometido a un proceso de evaluación para conocer la certeza de los datos que representarán, Camacho et al., 2015 menciona las siguientes fases metodológicas:

1. Diseño del muestreo: para determinar las unidades de muestreo (píxeles) se utilizará el método aleatorio estratificado. El muestreo corresponde solo al número de sitios

por categorías y no será proporcional a la superficie de cada categoría de análisis. Con base en Congalton, (1988 y 1991) citado por Camacho et al., 2015 se recomienda verificar 50 puntos por categoría temática.

2. Evaluación de sitios de verificación: la validación de la información temática para el año 2018 por medio de los puntos de muestreo fueron localizados *in situ* haciendo uso y manejo del GPS. Cada punto fue caracterizado de acuerdo con la información visual de campo. Los puntos de muestreo se sobrepusieron en el mapa temático, para validar la información satelital.

3. Análisis de los datos: en esta fase se comparó la información de campo con la información de digital (del mapa temático 2018) que dio por consecuencia el mapa temático actualizado y con ello se puede proceder al cálculo de la superficie en hectáreas para cada categoría de análisis.

5.3.2 Matriz de cambios, periodos: 1980-1990, 1990-2000, 2000-2010 y 2010-2018.

La dinámica temporal del cambio del uso del suelo en el Municipio de Acajete se analizó mediante la sobreposición de los mapas temáticos de uso de suelo y vegetación y la matriz de cambios o tabulación cruzada (Tabla 3), que indica la superficie para cada año de uso de suelo. Para posteriormente calcular ganancias, pérdidas, persistencia y porcentajes de las coberturas vegetales (Camacho et al., 2015; López et al., 2015).

Tabla 3. Matriz de cambios o tabulación cruzada.

		AÑO t_1				
AÑO t_2		Categoría 1 (t_1)	Categoría 2 (t_1)	Categoría 3 (t_1)	Categoría n (t_1)	Total (t_1)
Categoría 1 (t_2)	Categoría 1 (t_1), Categoría 1 (t_2)	Categoría 2 (t_1) Categoría 1 (t_2)	Categoría 3 (t_1) Categoría 1 (t_2)	Categoría n (t_1) Categoría 1 (t_2)	Total Categoría 1 (t_2)	
Categoría 2 (t_2)	Categoría 1 (t_1) Categoría 2 (t_2)	Categoría 2 (t_1) Categoría 2 (t_2)	Categoría 3 (t_1) Categoría 2 (t_2)	Categoría n (t_1) Categoría 2 (t_2)	Total Categoría 2 (t_2)	
Categoría 3 (t_2)	Categoría 1 (t_1) Categoría 3 (t_2)	Categoría 2 (t_1) Categoría 3 (t_2)	Categoría 3 (t_1) Categoría 3 (t_2)	Categoría n (t_1) Categoría 3 (t_2)	Total Categoría 3 (t_2)	

Categoría n (t ₂)	Categoría 1 (t ₁) Categoría n (t ₂)	Categoría 2 (t ₁) Categoría n (t ₂)	Categoría 3 (t ₁) Categoría n (t ₂)	Categoría n (t ₁) Categoría n (t ₂)	Total Categoría n (t ₂)
Total (t ₂)	Total Categoría 1 (t ₁)	Total Categoría 2 (t ₁)	Total categoría 3 (t ₁)	Total categoría n (t ₁)	Suma de Totales

Fuente: elaboración propia basada en Camacho et al., 2015.

5.3.3 Factores socioeconómicos

Es importante conocer indicadores que proporcionen información sobre la situación social y económica del Municipio de Acajete la cual puede influir en la modificación del uso del suelo. La información se compilo de las bases históricas de datos de fuentes oficiales, y además se dividieron en categorías temáticas que se consideraron importantes para el presente estudio, aunque sabemos que existen muchos otros indicadores, no serán campo de esta investigación (López y Gentile, 2008). Las categorías temáticas, son:

1. Población: El análisis demográfico tiene en cuenta las características y la composición de la población a través de aspectos como: el crecimiento poblacional, la distribución territorial y contempla también factores de cambio como la natalidad, la mortalidad o las migraciones.
2. Vivienda: características de las viviendas y de los servicios básicos con que cuentan sus residentes.
3. Indicador económico: se analizaron solo las actividades que se desarrollan en el municipio de Acajete, Puebla. Fueron divididas por sectores: primario, secundario y terciario.

5.4 Análisis estadísticos

Para el análisis estadístico de la información se utilizó el Software libre R para determinar las cadenas de Markov con la Matriz de Probabilidades, la cual se calcula con la Matriz de cambios o Tabulación cruzada.

VI. RESULTADOS

6.1 Análisis del cambio del uso del suelo, con información de imágenes de satélite.

Se trabajaron imágenes de satélite Landsat 4-5, Landsat 7 ETM + y Landsat 8 para los años 1980, 1990, 2000, 2010 y 2018 las cuales se obtuvieron del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), la zona de estudio se encuentra con el código Path 25, Row 47. Las imágenes que se procesaron corresponden al mes de enero de cada año. Las categorías de análisis (Figura 5) que se identificaron en los recorridos de campo son: Agricultura, Asentamientos Humanos, Bosque Encino-Pino, Matorral Xerófilo y Pastizales.



Figura 5. Fotografías de recorridos de campo en el Municipio de Acajete, Puebla.

En las Figuras 6 a la 10 se muestran los mapas temáticos de uso de suelo y vegetación para cada año de análisis, la dinámica del cambio del uso de suelo y vegetación fue constante en las diferentes categorías de uso de suelo que hay en el Municipio de Acajete. Para cada 10 años se determinó la Matriz de Transición o de Cambio de Uso de Suelo para calcular los las persistencias, pérdidas o ganancias en superficie en hectáreas (ha) para cada categoría de análisis, los resultados se muestran a continuación.

La Matriz de Transición del periodo 1980-1990 (Tabla 4) indica en la diagonal la superficie en hectáreas para cada uso de suelo que permaneció sin cambios, el principal uso del suelo dentro del municipio de Acajete ha sido la agricultura, seguida del uso forestal donde predomina el matorral xerófilo y el bosque de encino-pino.

Tabla 4. Matriz de transición del año 1980 al 1990.

AÑO	CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	AÑO1980					Total general
		A	AH	BE-P	MX	P	
1990	A	6,944.6	0.0	126.6	212.1	1,219.2	8,502.5
	AU	107.9	242.8	0.2	0.0	5.2	356.1
	BE-P	50.0	0.0	1,040.7	643.7	19.9	1,754.2
	MX	1,088.4	0.0	210.9	866.8	26.6	2,192.7
	P	2,523.0	0.0	65.9	439.4	104.7	3,133.0
	Total general	10,713.8	242.9	1,444.2	2,161.9	1,375.7	15,938.5

DONDE: A=AGRICULTURA, AH=ASENTAMIENTOS HUMANOS, BE-P=BOSQUE ENCINO-PINO, MX=MATORRAL XERÓFILO Y P=PASTIZALES

En el año 1980 la agricultura ocupaba un total 10,713.8 ha de la superficie total de municipio de Acajete, está caracterizada por ser de temporal y mecanizada, los principales cultivos que siembran son el maíz de grano y el frijol. Para el mismo año el matorral xerófilo ocupaba 2,161.9 ha, el bosque de encino-pino 1,444.2 ha, los pastizales tenían 1,375.7 ha y los asentamientos humanos estaban en 242.9 ha.

Entre el año 1980 y 1990 la superficie total agrícola disminuyo un total de 2,211.3 ha, la tasa de cambio de uso de suelo fue de 2.29 % anual. El abandono de los terrenos agrícolas, en algunos casos, manifiestan procesos de sucesión ecológica, representada por vegetación

secundaria como los pastizales y arbustos (Sahagún y Reyes, 2018; Sotelo *et al.*, 2015). Lo anterior puede favorecer a que usos de suelo y vegetación como el bosque de encino-pino, matorral xerófilo y pastizales hayan presentado cambios positivos con el aumento de sus superficies (Tabla 5).

Tabla 5. Tasas de Cambio de Uso de Suelo del año 1980 al año 1990.

CATEGORÍA DE USO DE SUELO	SUPERFICIE TOTAL (ha)		CAMBIOS (ha)	TASAS DE CAMBIO DE USO DE SUELO (%)
	1980	1990		
AGRICULTURA	10,713.8	8,502.5	-2,211.3	2.29
ASENTAMIENTOS URBANOS	242.9	356.1	113.3	3.90
BOSQUE ENCINO-PINO	1,444.2	1,754.2	310.0	1.96
MATORRAL XERÓFILO	2,161.9	2,192.7	30.8	0.14
PASTIZALES	1,375.7	3,133.0	1,757.2	8.58

La superficie agrícola en el año 1990 ocupaba una superficie total de 8,502.5 ha, el Atlas Agropecuario del Estado de Puebla del INEGI para el año 1991 reporta que el Municipio de Acajete tenía una superficie total sembrada de 9,291 ha siendo los principales cultivos el maíz y el frijol, hay una diferencia de 788.5 ha, sin embargo, es notable que la actividad agrícola seguía siendo la principal actividad económica de la región.

La transición de áreas agrícolas hacia los asentamientos humanos de 1980 a 1990 es notable en los mapas de temáticos de uso de suelo y vegetación de ambos años, los cuales tuvieron un aumento de 113.3 ha, con una tasa de cambio de 3.9 % anual. También se nota la transición de agricultura hacia pastizales los cuales tuvieron un incremento de 1,757.2 ha en el año 1990, con una tasa de cambio de 8.58 % por año.

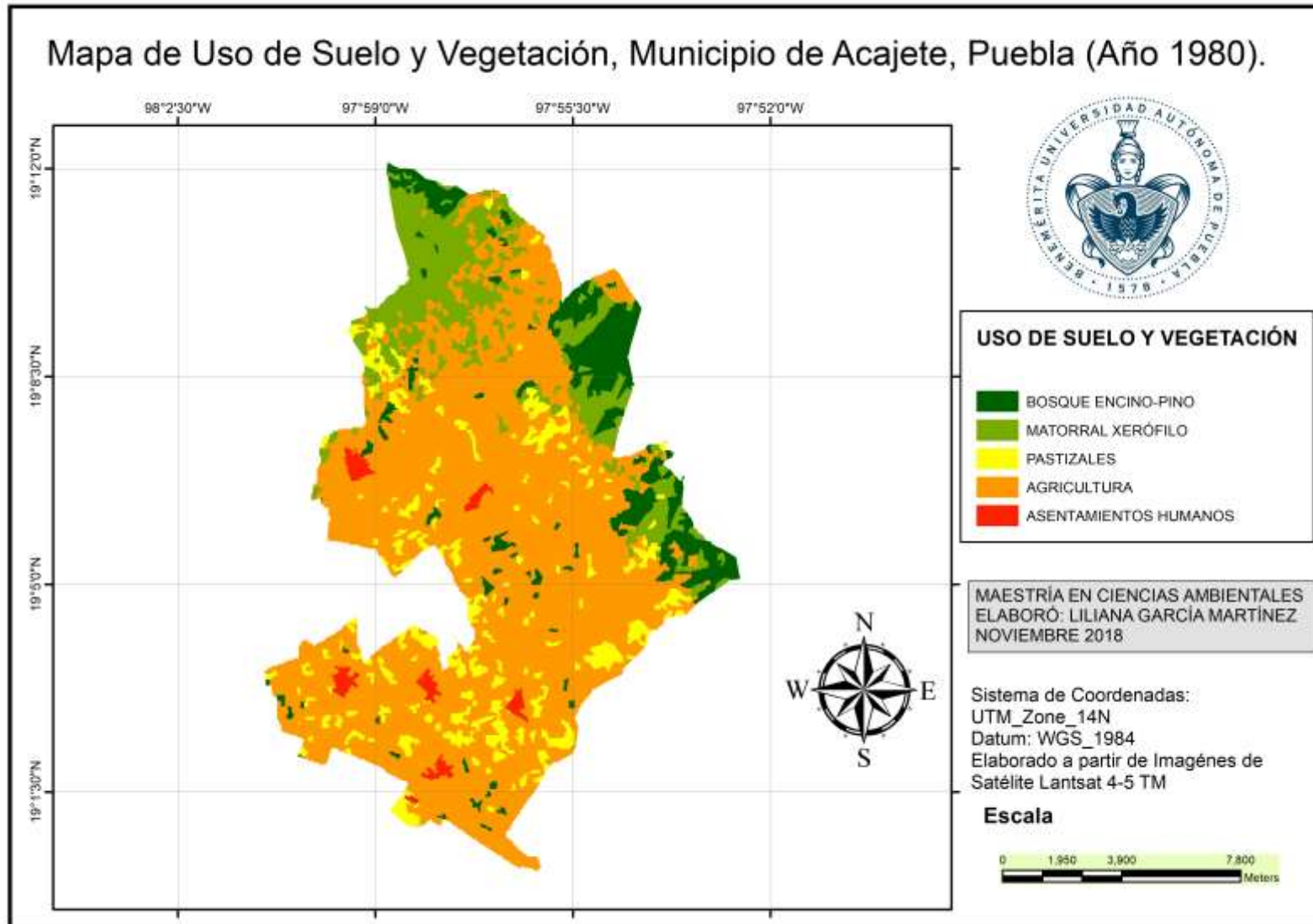


Figura 6. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 1980, Municipio de Acajete, Puebla.

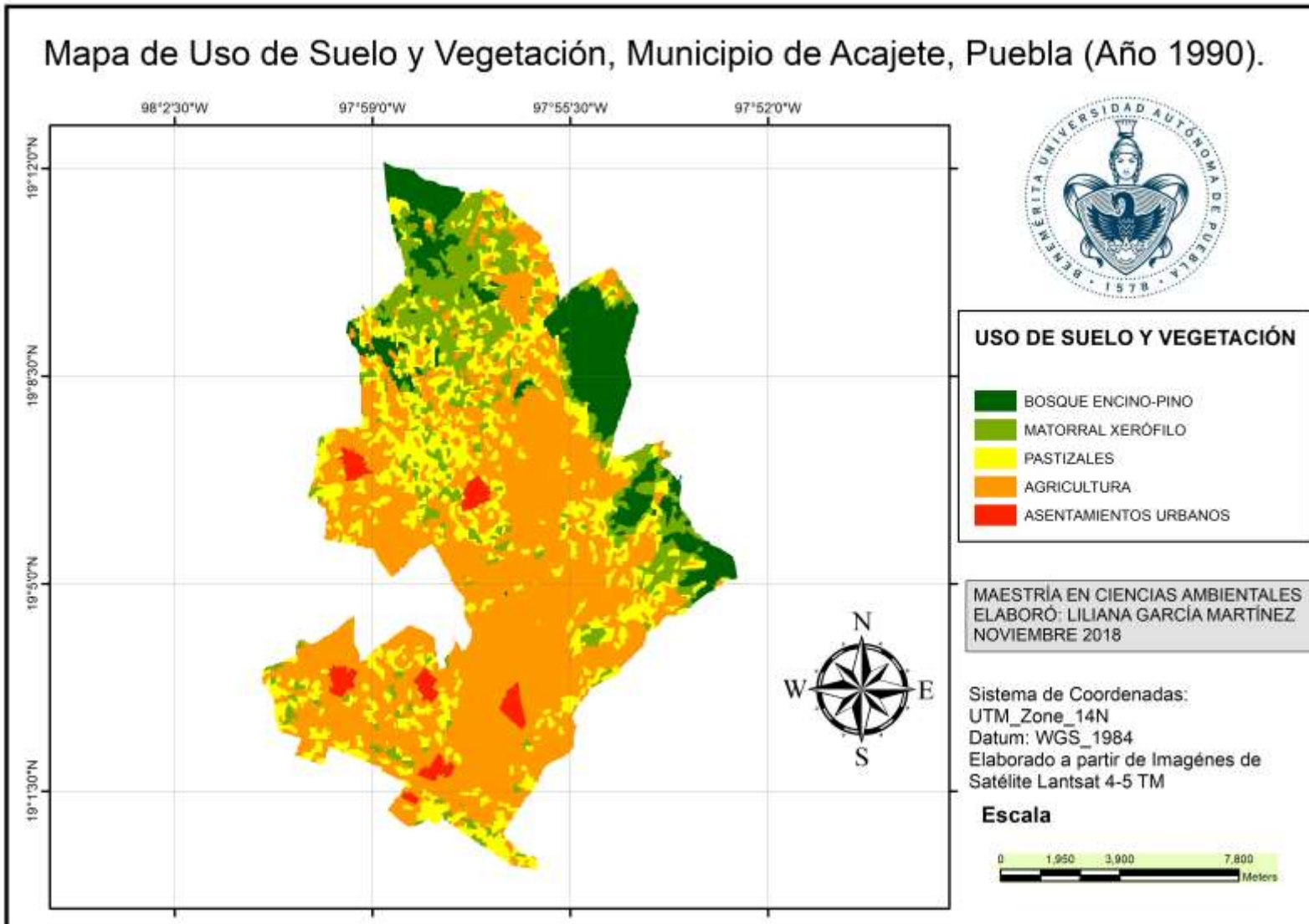


Figura 7. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 1990, Municipio de Acajete, Puebla.

La Matriz de Transición para el periodo 1990-2000 reafirma que la agricultura sigue prevaleciendo en mayor superficie ocupada, desde el año inicial 1980 al 2000, la agricultura forma parte de las actividades económicas y sociales del municipio, sin embargo, en este periodo se mantiene sin cambios aparentes (Tabla 6).

Tabla 6. Matriz de transición del año 1990 al 2000.

AÑO 2000	CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	AÑO 1990					Total general
		A	AH	BE-P	MX	P	
	A	6,023.7	3.3	17.4	663.3	2,000.2	8,707.9
	AH	591.1	352.7	0.0	10.0	81.6	1,035.5
	BE-P	0.7	0.0	1,015.1	15.6	2.0	1,033.4
	MX	501.8	0.0	718.6	1,460.1	922.5	3,603.0
	P	1,393.6	0.1	0.2	40.8	124.2	1,558.8
	Total general	8,510.8	356.1	1,751.3	2,189.8	3,130.5	15,938.5

DONDE: A=AGRICULTURA, AH=ASENTAMIENTOS HUMANOS, BE-P=BOSQUE ENCINO-PINO, MX=MATORRAL XERÓFILO Y P=PASTIZALES

En el periodo analizado del año 1990 al año 2000 la categoría agricultura tuvo cambios menos significativos, con un aumento en su superficie de 205.4 ha (Tabla 7). Los asentamientos humanos aumentaron su superficie con 679.4 ha, con una tasa de cambio de uso de suelo de 11.3 % por año, en este periodo INEGI reporta un aumento de 2166 viviendas.

Los pastizales se vieron afectados por una severa disminución en esta época ya que para el año 1990 tenía una superficie de 3,133 ha y para el año 2000 se vio reducido a la mitad del área inicial, la tasa de cambio fue de 6.7 % de cambio por año, la transición de pastizales hacia asentamientos humanos y agricultura es notable en los mapas temáticos de los años 1990 y 2000, debido a la cercanía con los pastizales como se observa en las Figuras 7 y 8.

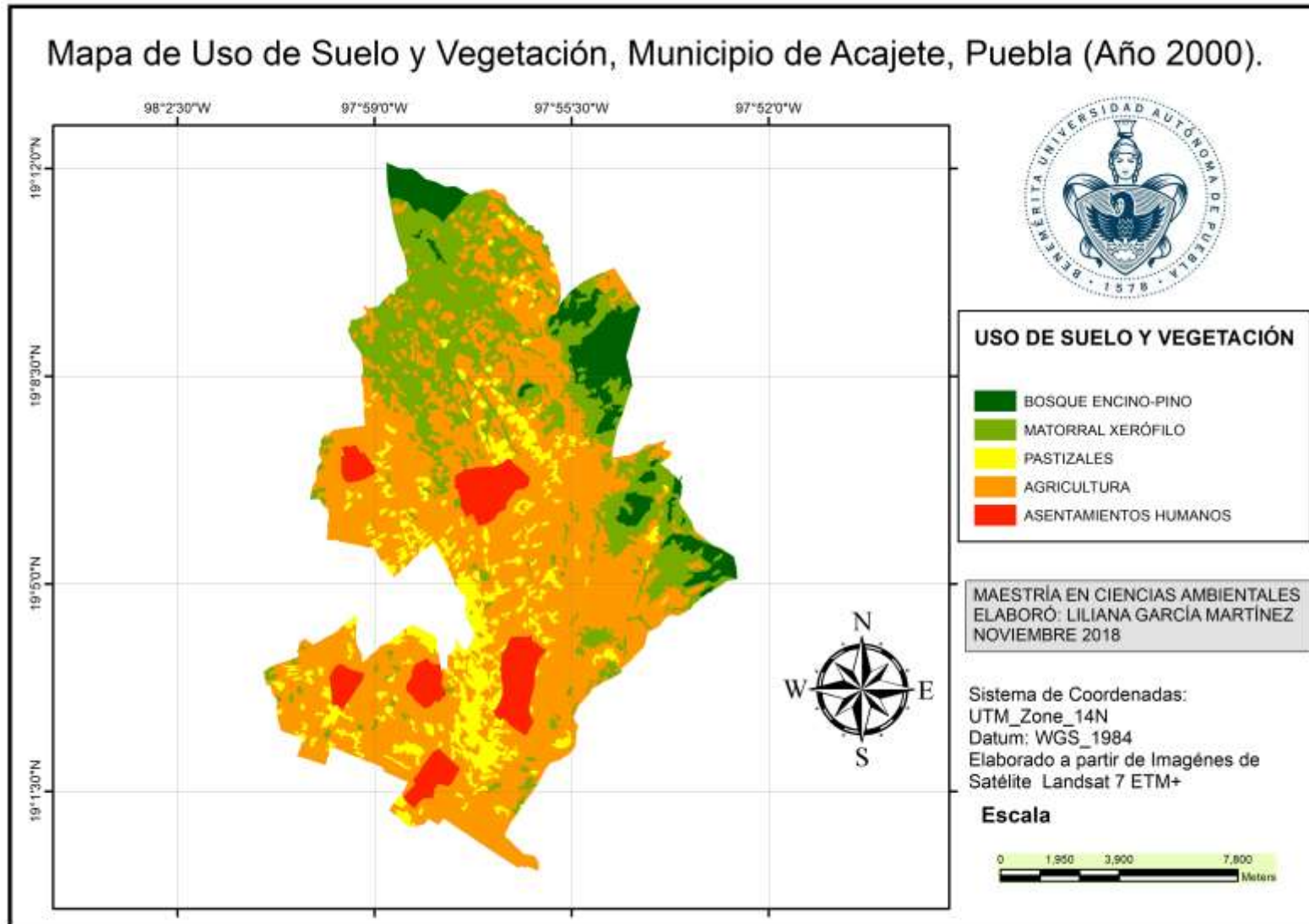


Figura 8. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 2000, Municipio de Acajete, Puebla.

Tabla 7. Tasas de Cambio de Uso de Suelo del año 1990 al año 2000.

CATEGORÍA DE USO DE SUELO	SUPERFICIE TOTAL (Ha)		CAMBIOS AÑO 1990 AL 2000 (Ha)	TASAS DE CAMBIO DE USO DE SUELO (%)
	1990	2000		
AGRICULTURA	8,502.5	8,707.9	205.4	0.2
ASENTAMIENTOS HUMANOS	356.1	1,035.5	679.4	11.3
BOSQUE ENCINO-PINO	1,754.2	1,033.4	-720.8	5.2
MATORRAL XERÓFILO	2,192.7	3,603.0	1,410.3	5.1
PASTIZALES	3,133.0	1,558.8	-1,574.1	6.7

El periodo de análisis de cambios en el uso del suelo del año 2000 al 2010 tiene la siguiente dinámica (Tabla 8, 9): la superficie agrícola sigue siendo el uso de suelo con mayor superficie, permanecieron sin cambios 7,266.1 ha, para este periodo de análisis tuvo un aumento de 735.3 ha, con una tasa de cambio de 0.81 % anual. En cuanto a los asentamientos humanos, siguen aumentando su superficie a un ritmo menor que en el periodo 1990-2000, terminando con una superficie total de 1,195.5 ha para el año 2010, la tasa de cambio fue de 1.45 % por año, sin embargo, el aumento de los asentamientos humanos es consecuencia de la demanda de vivienda por parte de la población, por lo cual sigue en aumento exponencial.

Tabla 8. Matriz de transición del año 2000 al año 2010.

AÑO	CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	AÑO 2000					Total general
		A	AH	BE-P	MX	P	
AÑO 2010	A	7,266.1	34.9	0.7	1256.3	885.2	9,443.2
	AH	196.5	988.1	0.0	1.3	9.7	1,195.5
	BE-P	6.6	0.0	1,026.0	486.0	0.0	1,518.5
	MX	395.6	0.1	10.2	1,807.3	31.7	2,245.0
	P	825.4	12.3		60.4	638.1	1,536.3
Total general		8,690.2	10,35.4	10,36.9	3,611.3	1,564.7	15,938.5

DONDE: A=AGRICULTURA, AH=ASENTAMIENTOS HUMANOS, BE-P=BOSQUE ENCINO-PINO, MX=MATORRAL XERÓFILO Y P=PASTIZALES

Tabla 9. Tasas de Cambio de Uso de Suelo del año 2000 al año 2010.

CATEGORÍA DE USO DE SUELO	SUPERFICIE TOTAL (Ha)		CAMBIOS AÑO 2000 AL 2010 (Ha)	TASAS DE CAMBIO DE USO DE SUELO
	2000	2010		
AGRICULTURA	8,707.9	9,443.2	735.3	0.81
ASENTAMIENTOS HUMANOS	1,035.5	1,195.5	160.0	1.45
BOSQUE ENCINO-PINO	1,033.4	1,518.5	485.2	3.92
MATORRAL XERÓFILO	3,603.0	2,245.0	-1,358.0	4.62
PASTIZALES	1,558.8	1,536.3	-22.5	0.15

Los Bosques de Encino-Pino incrementaron la superficie con 485.2 ha, este incremento se puede deber al impulso por Programas de Reforestación ya que desde el año 2001 se fundó por decreto presidencial la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) que promueve desde entonces la reforestación y restauración de los bosques, lo anterior resultó en zonas reforestadas en el Municipio de Acajete, gestionadas principalmente por los núcleos agrarios en las áreas de uso común que son de vocación forestal.

El Matorral Xerófilo tuvo un decremento fuerte de 1,358.0 ha, denota una constante y fuerte dinámica entre las diferentes categorías de análisis, su tasa de cambio de uso de suelo fue de 4.62 % anual. Los pastizales tuvieron un cambio poco relevante para este periodo, representado con un cambio de 22.5 ha y una tasa de cambio de 0.15 % anual.

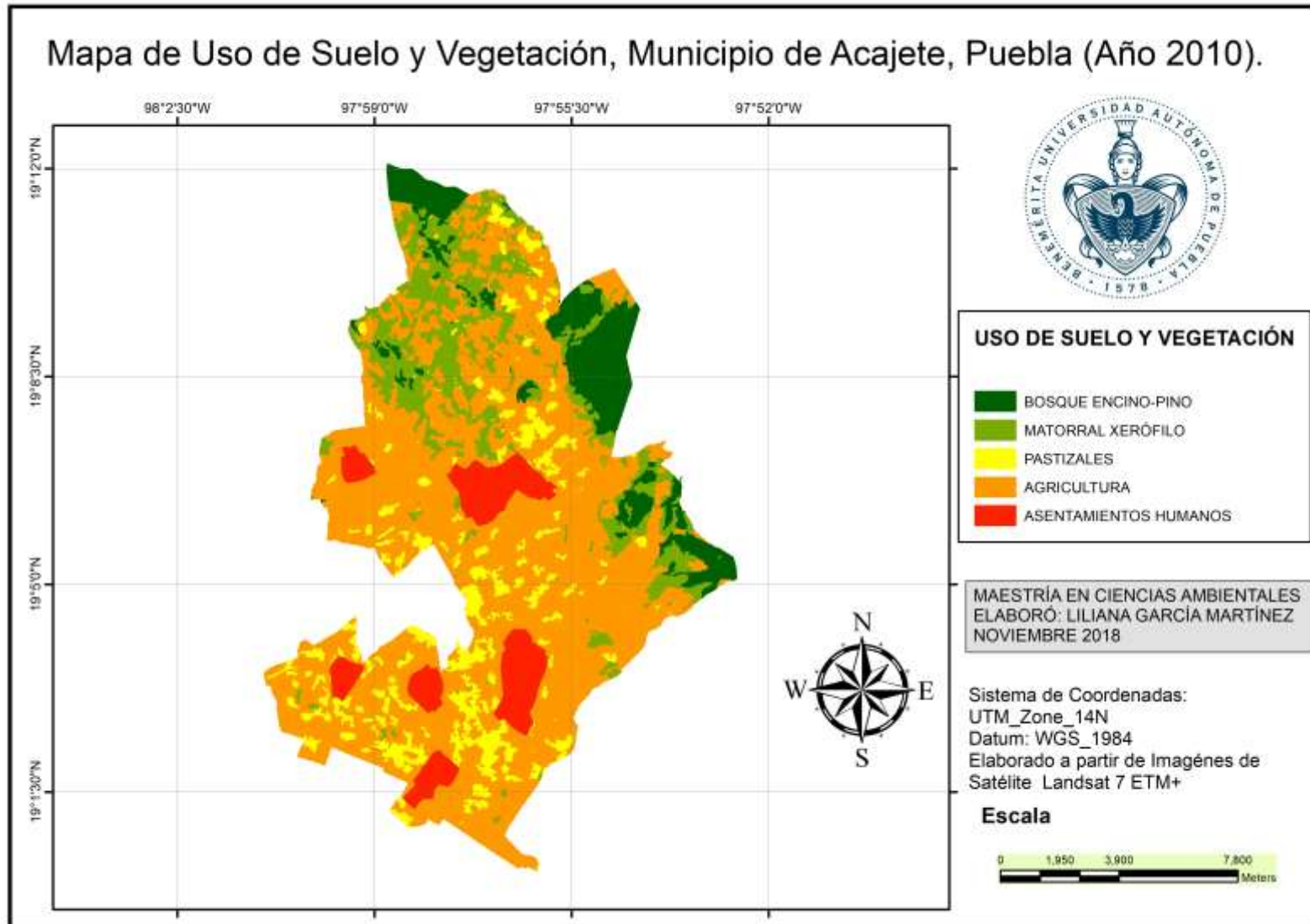


Figura 9. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 2010, Municipio de Acajete, Puebla.

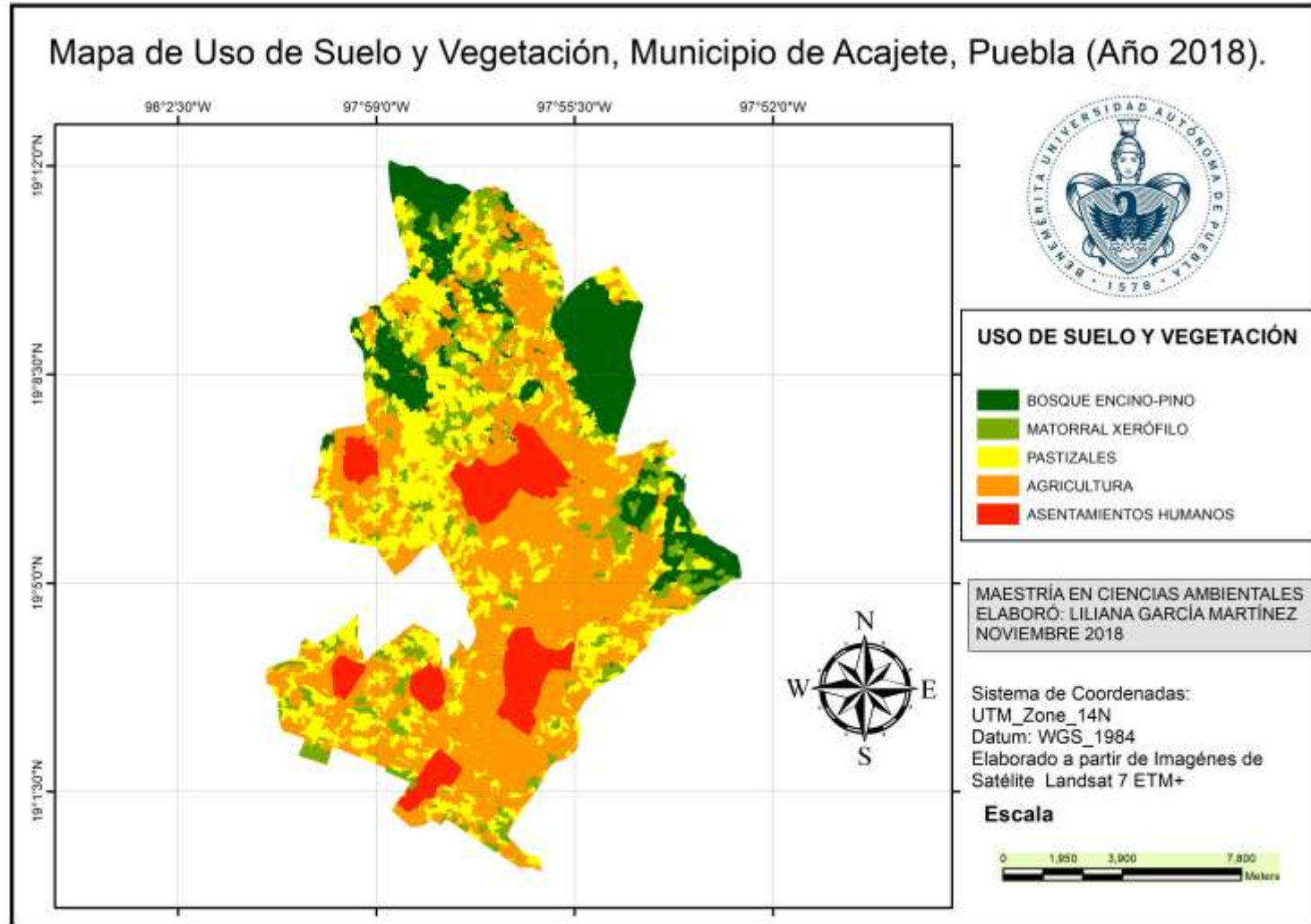


Figura 10. Mapa temático de Uso de Suelo y Vegetación del año 2018, Municipio de Acajete, Puebla.

Finalmente, el periodo que corresponde a los últimos ocho años del 2010 al 2018, arroja los siguientes resultados: la agricultura sigue en el primer lugar de superficie ocupada en el municipio, para el año 2018 (Figura 10) con un total de 6, 934.8 ha, seguida de los pastizales con 3,920.2 ha, el bosque de pino-encino con 2,272.5 ha, los asentamientos humanos ocupan 1,450.6 ha y el Matorral Xerófilo con 1,360.4 ha (Tabla 10). En cuanto a la categoría agricultura el abandono de los terrenos es muy notorio, se puede atribuir a la baja productividad que obtienen los campesinos y la incertidumbre ante eventos climatológicos atípicos como sequías, heladas y granizadas como se reporta en el atlas de riesgos del municipio de Acajete del año 2012, por lo que la transición de esta categoría da paso a la vegetación secundaria que puede explicar que los pastizales hayan incrementado su superficie en 2,383.8 ha con una tasa de cambio de 9.82 % anual (Tabla 11).

Tabla 10. Matriz de transición del año 2010 al año 2018.

AÑO	CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	AÑO 2010					Total general
		A	AH	BE-P	MX	P	
2018	A	5486.3	0.0	7.0	326.6	1114.8	6934.8
	AH	181.3	1195.4	0.0	2.1	71.8	1450.6
	BE-P	137.5	0.0	1434.5	696.0	4.4	2272.5
	MX	715.4	0.0	59.0	525.7	60.3	1360.4
	P	2922.1	0.0	18.2	694.5	285.4	3920.2
Total general		9442.6	1195.5	1518.7	2244.9	1536.7	15938.5

DONDE: A=AGRICULTURA, AH=ASENTAMIENTOS HUMANOS, BE-P=BOSQUE ENCINO-PINO, MX=MATORRAL XERÓFILO Y P=PASTIZALES

Los asentamientos humanos registran un aumento de 255.1 ha en el periodo 2010-2018, aunque, esta cantidad es solo una tercera parte del aumento que presento esta categoría en el periodo de 1990 al 2000, sigue ejerciendo presión sobre otros usos de suelo ya que este aumento se da sin un orden en el espacio, las viviendas se están extendiendo en áreas que tenían vocación agrícola y forestal. Los pastizales en este periodo tienen un aumento de 2,383.8 ha y una tasa de cambio de 9.8 % anual (Tabla 11), y en la matriz de transición (Tabla 10) se observa que la principal interacción se da entre áreas agrícolas y el matorral xerófilo, considerando lo anterior, se puede inferir que el sector primario ha dejado de ser la

actividad principal de la región, pero además se constata con la información económica recolectada, que se explica en la siguiente sección de resultados.

Tabla 11. Tasas de Cambio de Uso de Suelo del año 2010 al año 2018.

CATEGORÍA DE USO DE SUELO	SUPERFICIE TOTAL (Ha)		CAMBIOS AÑO 2010 AL 2018 (Ha)	TASAS DE CAMBIO DE USO DE SUELO
	2010	2018		
AGRICULTURA	9,443.2	6,934.8	-2,508.4	3.040
ASENTAMIENTOS HUMANOS	1,195.5	1,450.6	255.1	1.953
BOSQUE ENCINO-PINO	1,518.5	2,272.5	753.9	4.114
MATORRAL XERÓFILO	2,245.0	1,360.4	-884.5	4.886
PASTIZALES	1,536.3	3,920.2	2,383.8	9.820

La dinámica del cambio de uso del suelo en el periodo de 38 años (1980 al 2018) ha sido continúa y perceptible en el análisis de las imágenes de satélite, la agricultura es el principal uso del suelo que tiene el municipio de Acajete, la cual tiene una superficie total de 5,664.5 ha que permanecieron sin cambios durante los 38 años de análisis (Tabla 12).

No se puede descartar la importancia del uso forestal caracterizado por el Bosque de Encino-Pino y el Matorral Xerófilo, este uso se encuentra dentro de la zona de influencia del Área Natural Protegida “La Malinche”, su dinámica de cambio tiende a ir en aumento (Figura 11), lo cual es de suma importancia ya que representa una reserva de recursos bióticos y abióticos importante para la población circundante.

Los pastizales tuvieron una tasa de cambio de 2.79 % anual ocupando el segundo lugar en el periodo de estudio (38 años), se caracterizó por en tener una dinámica constante y fuerte de transición hacia otras categorías de análisis. Son una cobertura vegetal que se desarrolla, principalmente, en los terrenos de cultivo que han sido abandonados, evitan la erosión del suelo y, además, da paso a vegetación secundaria como matorrales y encinares, por lo que se consideran dentro de la frontera de los usos forestal, agrícola y asentamientos humanos.

Los asentamientos humanos han aumentado su superficie considerablemente ya que para el año 1980 la superficie era de 242.9 ha y para el año 2018 la superficie total es de 1,450.5 ha, presenta una tasa de cambio de 4.8 % anual, mayor de las demás categorías analizadas (Tabla 13), sin duda, el aumento demográfico ha sido muy relevante e indica que se ha intensificado el uso de las tierras agrícolas, para satisfacer la alimentación de la población, sin embargo, la falta de prácticas agrícolas sustentables y el abuso de agroquímicos y maquinaria afectan las características químicas, físicas y biológicas de los suelos.

Tabla 12. Matriz de transición del año 1980 al 2018.

AÑO 2018	CATEGORÍAS DE ANÁLISIS	AÑO 1980					Total general
		A	AH	BE-P	MX	P	
	A	5,664.5	1.7	129.4	344.4	817.4	6,957.4
	AH	1,131.4	241.1	6.9	0.0	71.1	1,450.5
	BE-P	242.9	0.0	1,054.5	870.2	100.3	2,267.7
	MX	878.6	0.0	137.0	284.0	55.8	1,355.3
	P	2,799.7	0.0	114.3	662.4	331.1	3,907.5
	Total general	10,717.1	242.9	1,442.1	2,160.9	1,375.6	15,938.5

DONDE: A=AGRICULTURA, AH=ASENTAMIENTOS HUMANOS, BE-P=BOSQUE ENCINO-PINO, MX=MATORRAL XERÓFILO Y P=PASTIZALES

Tabla 13. Tasas de Cambio de Uso de Suelo de todo el periodo analizado desde el año 1980 al año 2018.

CATEGORÍA DE USO DE SUELO	AÑO 1980	AÑO 2018	CAMBIOS AÑO 1980 AL 2018 (Ha)	TASAS DE CAMBIO DE USO DE SUELO
AGRICULTURA	10,717.1	6,957.4	-3,759.66	1.13
ASENTAMIENTOS HUMANOS	242.9	1,450.5	1,207.68	4.82
BOSQUE ENCINO-PINO	1,442.1	2,267.7	825.64	1.20
MATORRAL XERÓFILO	2,160.9	1,355.3	-805.55	1.22
PASTIZALES	1,375.6	3,907.5	2,531.90	2.79

La transición entre las categorías de análisis en el periodo de 1980 al 2018, marca una clara tendencia de permanencia del uso agrícola a través del tiempo y eso es comprensible ya que en el territorio la principal actividad productiva desde el año 1980 ha sido el cultivo de

granos básicos como maíz, frijol y haba; y árboles frutales, principalmente durazno, también se adaptan frutales como la pera y la manzana. Los bosques de encino y pino, así como los matorrales tienen 46 y 65 % de permanencia a través del tiempo. Los asentamientos humanos tienden a ocupar el espacio que estaba destinado para la agricultura o donde se habían establecido pastizales inducidos por el abandono de terrenos agrícolas (Figura 11).

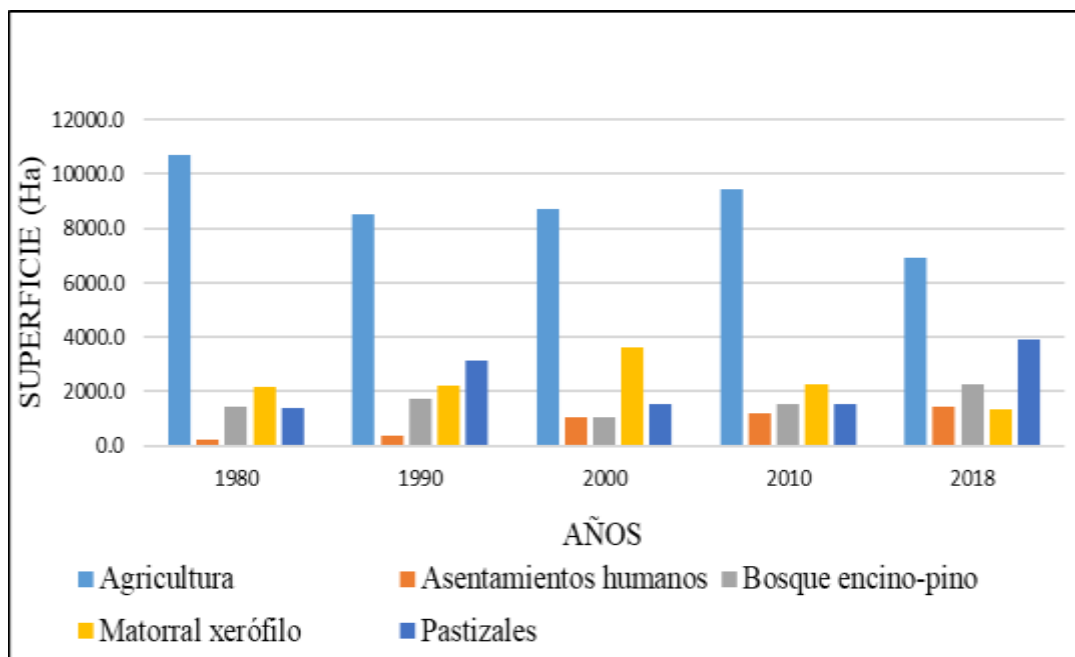


Figura 11. Dinámica de Cambio de Uso del Suelo y la Vegetación en el municipio de Acajete, Puebla.

6.2 Modelo probabilístico Cadenas de Markov

El modelo probabilístico de cadenas de Markov del periodo de 38 años, nos indica cual es la probabilidad de que un determinado uso de suelo permanezca en el espacio que ocupa, es preciso destacar, nuevamente, que la agricultura tiene una probabilidad alta (81%) de permanecer en el municipio de Acajete. La transición principal ocurre de uso agricultura a pastizal inducido y de agricultura a asentamientos humanos con una probabilidad de 78 % (Figura 12).

El matorral tiene una dinámica continua de pérdida y ganancia, con una probabilidad de 21 %, baja persistencia, Ramírez (2014) encontró una tendencia similar en la zona de los municipios de Guadalupe Victoria y Tepeyahualco, del estado de Puebla. Es preciso destacar que la probabilidad de transición de matorral a agricultura es de 65 % y de matorral a bosque de encino-pino es de 38 %.

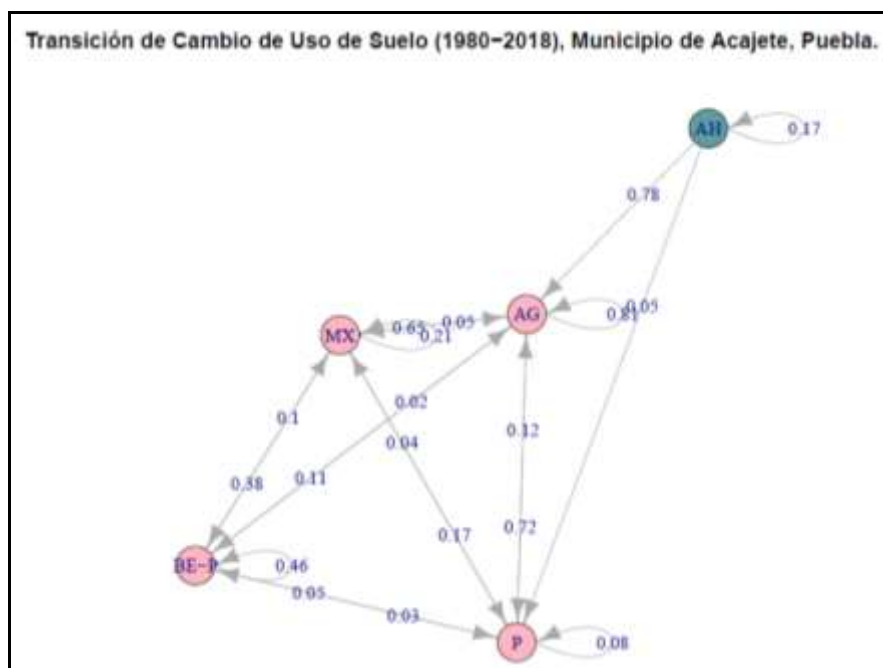


Figura 12. Cadenas de Markov; Transición entre las categorías de análisis.

Los pastizales presentan una dinámica de transición constante, con una permanencia muy baja de 8 %, sin embargo, se observa una clara tendencia del pastizal hacia agricultura con una probabilidad de 72%, es preciso notar que los pastizales se encuentran en la frontera de transición con los demás usos que se encuentran en el municipio.

El modelo nos indica que los asentamientos humanos tienen una alta probabilidad de cambio hacia el uso agricultura, sin embargo, sabemos que la infraestructura asentada en un espacio es difícil que sea removida, la densidad de población aumento al doble, por lo que el modelo no representa a los asentamientos humanos, ya que si sigue creciendo la población la demanda de recursos será mayor y por tanto el espacio que ahora existe será insuficiente.

6.3 Aspectos socioeconómicos del Municipio de Acajete.

6.3.1 Características de la población del municipio de Acajete, Puebla.

El ritmo de crecimiento de la población del municipio de Acajete ha sido ascendente (Figura 13), en el año 1980 la población total registrada era de 33,975 habitantes y en el año 2015 la última encuesta intercensal del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) registra un total de 65,048 personas. La distribución entre mujeres y hombres es relativamente homogénea, no existe diferencia entre grupos de diferente sexo.

De acuerdo a Indicadores demográficos de la República Mexicana del Consejo Nacional de Población (CONAPO), en las últimas décadas la tendencia de la tasa de crecimiento poblacional de México ha disminuido, para el año 1980 la tasa era de 2.81% y para 2018 se reporta una tasa de 1.15 %. La tasa de crecimiento media anual poblacional del municipio de Acajete en el periodo de análisis 1980-2015 (35 años) es de 1.9 % anual, el INEGI para el año 2015 reporta una tasa de crecimiento de 1.6% anual. Con el incremento de la población se dan procesos de degradación ambiental por el aumento en la demanda de uso de suelo para asentamientos humanos, infraestructura y producción de alimentos.

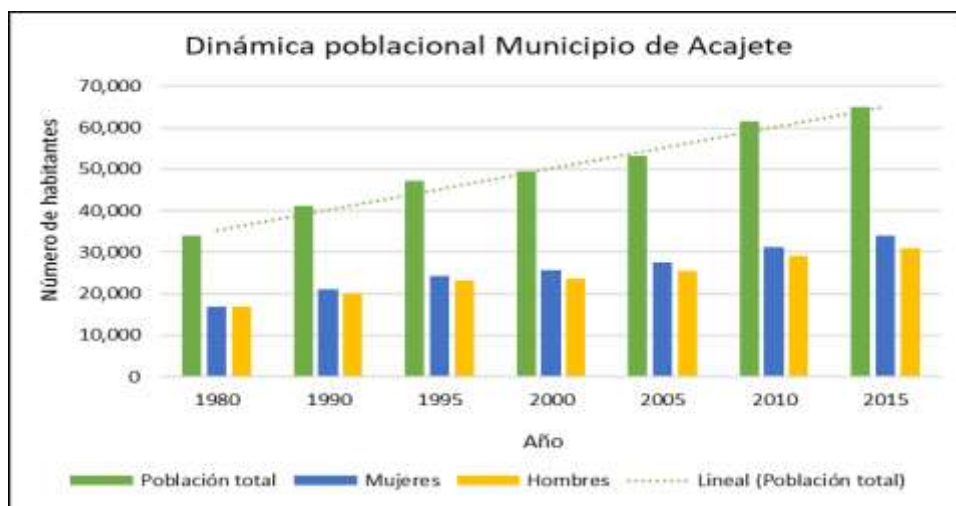


Figura 13. Dinámica del Crecimiento de la Población Municipio de Acajete.

Fuente: INEGI. Censos de Población y Vivienda, Tabulados.

La dinámica ascendente poblacional se refleja en los registros de natalidad y mortalidad del municipio de Acajete, el número de nacimientos desde el año 1990 al año 2017 fluctúa entre los 1700 y 2500 personas nacidas, estos números son muy altos comparados con el número de defunciones que oscilan entre 185 y 251 personas (Figura 14).

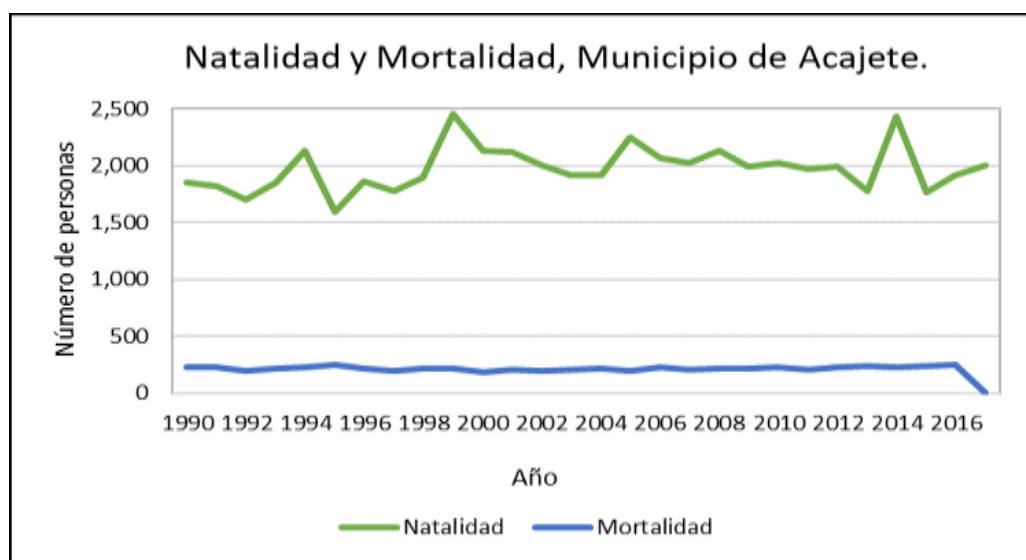


Figura 14. Registros de Natalidad y Mortalidad del Municipio de Acajete.
Fuente: INEGI. Censos de Población y Vivienda, Tabulados.

El crecimiento de la población tiene que ver directamente con el aumento en la densidad de población (Tabla 14) que se define como el número de habitantes por unidad espacial de referencia en el tiempo, con los datos poblacionales se obtuvo que en el año 1980 la densidad poblacional era de 213.2 hab/km² y para el 2015 la densidad es de 408.1 hab/km² representando un aumento al doble lo que ayuda a inferir que se ha dado un uso intensivo del suelo en las diferentes categorías de análisis que se encuentran en el Municipio, y en especial en el aumento de los asentamientos humanos como se muestra en los mapas temáticos de uso de suelo y vegetación.

Tabla 14. Características de la Población, Municipio de Acajete, Puebla.

Año	Población total	Mujeres	Hombres	Densidad poblacional (hab/km²)
1980	33,975	16,968	17,007	213.2
1990	41,227	21,115	20,112	258.7
1995	47,253	24,222	23,031	296.5
2000	49,462	25,795	23,667	310.3
2005	53,115	27,576	25,539	333.2
2010	61,532	31,128	29,225	386.1
2015	65,048	34,096	30,952	408.1

Fuente: INEGI. Censos de Población y Vivienda, Tabulados.

6.3.2 Vivienda

Para el análisis del crecimiento de los Asentamientos Humanos es importante el registro de las viviendas. En los censos del INEGI se reportan el número de viviendas particulares, en el municipio de Acajete el incremento ha sido muy significativo en 1980 se registra un total de 5,047 viviendas y en el 2010 un total de 14,218 viviendas, el aumento fue de 64.5 % (Figura 15). De acuerdo a los principales resultados de la Encuesta Intercensal 2015 del INEGI del estado de Puebla el municipio de Acajete a nivel estatal se encuentra en el décimo lugar con mayor promedio de ocupantes de vivienda con 4.7 personas por casa.

El aumento en viviendas coincide con el incremento de los asentamientos humanos registrados en los mapas temáticos de uso de suelo y vegetación de cada año analizado, destacando la dinámica constante del cambio del uso del suelo, principalmente, de terrenos agrícolas para convertirlos en viviendas y demás infraestructura de servicios básicos y esparcimiento humano.

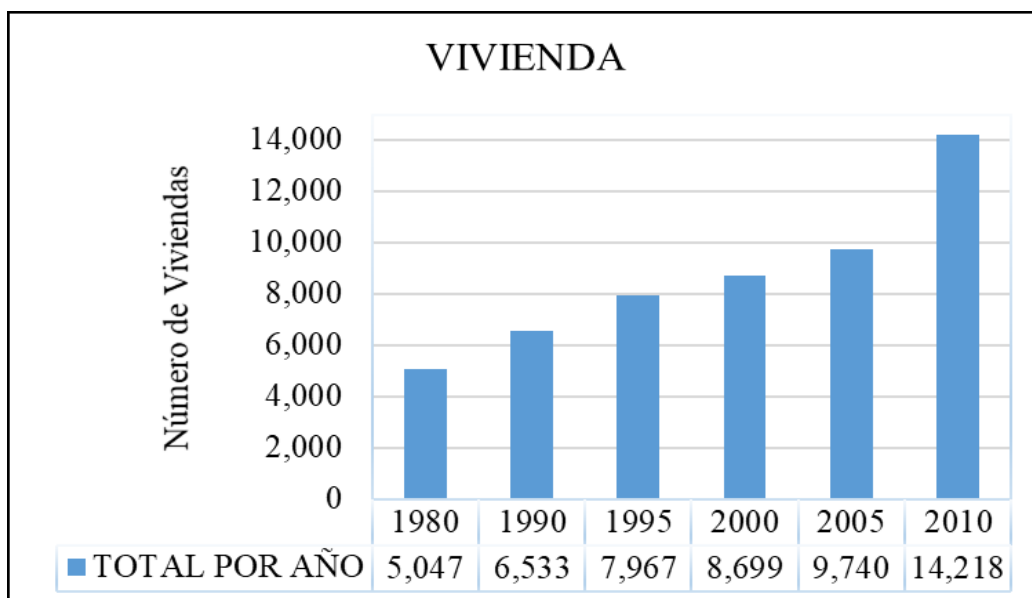


Figura 15. Numero total de viviendas particulares en el Municipio de Acajete, Puebla.
Fuente: INEGI. Censos de Población y Vivienda, Tabulados.

6.3.3 Migración

Con respecto a la migración las Estimaciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) que publica el Índice Absoluto de Intensidad Migratoria (IAIM) así como el grado de intensidad migratoria y lugar que se ocupa en los contextos estatal y nacional por municipio, para los años 2000 y 2010. El IAIM se define como el promedio del porcentaje de viviendas que recibieron remesas, de viviendas con emigrantes a Estados Unidos, de viviendas con migrantes circulares y de viviendas con migrantes de retorno.

En el año 2000 el IAIM para el Municipio de Acajete fue de 4.737 clasificado con un grado absoluto de intensidad migratoria medio ocupando el lugar 65 en el contexto estatal; para el año 2010 el IAIM fue de 4.010 con un grado de intensidad migratoria medio con el lugar 73 a nivel estatal. La migración hacia Estados Unidos ha disminuido según los datos presentados, sin embargo, la población del Municipio de Acajete ha encontrado en el municipio de Puebla oportunidades de mejorar las condiciones económicas, de ahí que haya un flujo constante de migración hacia la ciudad.

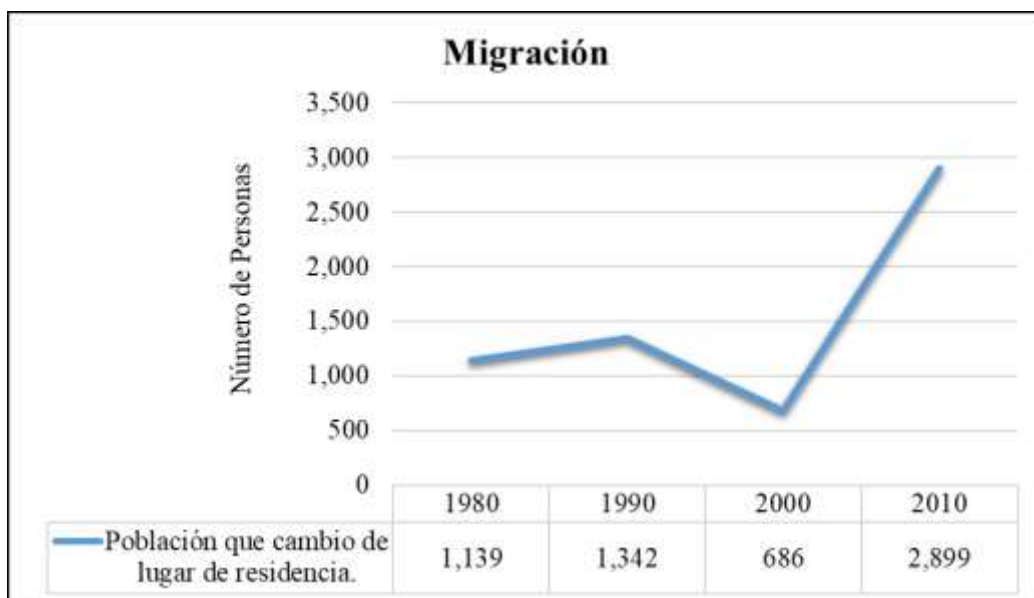


Figura 16. Población que cambio de lugar de residencia.

Fuente: INEGI. Censos de Población y Vivienda, Tabulados.

La migración en el Municipio de Acajete no solo es hacia Estados Unidos, la población cambia de residencia hacia otros Estados del País (Figura 16), del año 1990 al 2000 la población que emigró fue menor comparada con el periodo 2000 y 2010.

6.3.4 Características Económicas

En el municipio de Acajete la Población Económicamente Activa (PEA) para el año 1980 era del 32 % del total de la población y predominaban las actividades del sector primario principalmente la agricultura y ganadería, seguida del sector secundario y terciario (Figura 17). En 1990 la disminución de la PEA quedo en 22 %, para este año el sector primario y secundario fueron las principales actividades económicas, con respecto a la agricultura disminuyó la superficie destinada para este uso de acuerdo a la matriz de transición del periodo 1980-1990.

En el año 2000 la PEA representa el 27 % del total de la población tuvo una participación en los tres sectores con un porcentaje más equitativo, sin embargo, se observa que el sector terciario aumentó con respecto a los años anteriores. La PEA en el año 2010 fue de 33 % de la población total, el comercio y servicios (sector terciario) ocuparon el

primer lugar, seguido del sector secundario y por último el sector primario, lo que reafirma que la agricultura ha dejado de ser una actividad económica prioritaria ya que a partir de este año ha disminuido su superficie, para el año 2018 la agricultura ocupó el 43.5 % de la superficie que tenía con respecto al total de la superficie del municipio en el año 1980 la cual correspondía al 67.2 %.

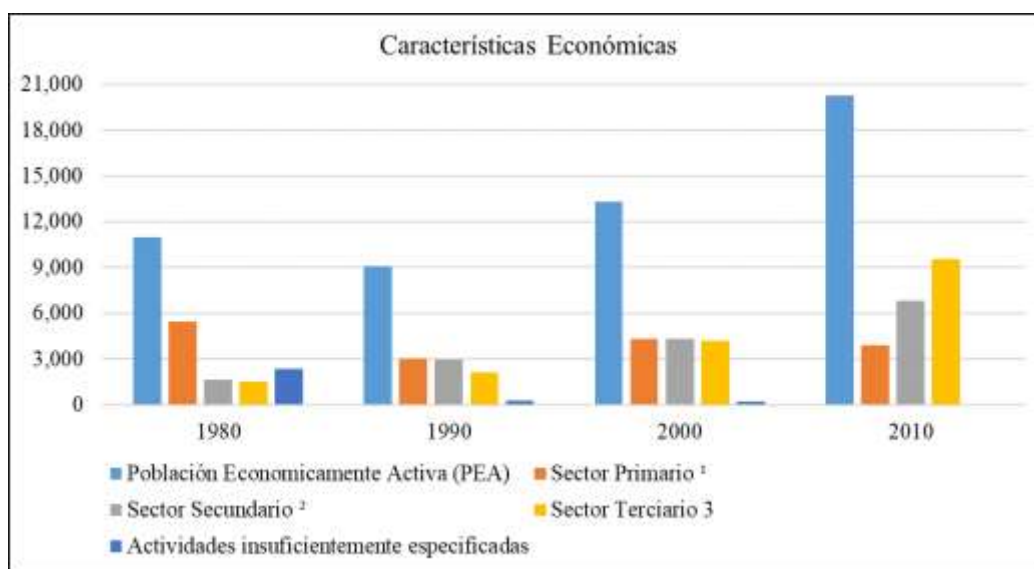


Figura 17. Características económicas en el Municipio de Acajete, Puebla.

Fuente: INEGI. Censos de Población y Vivienda, Tabulados.

Nota: 1 Agricultura, ganadería, silvicultura, caza y pesca; 2 Minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción; 3 Transporte, gobierno y otros servicios.

6.4 Otros problemas ambientales y sociales.

6.4.1 Contingencias climáticas registradas en el Municipio de Acajete, Puebla.

En el Municipio de Acajete han ocurrido algunas contingencias climáticas, que han sido declaradas por petición escrita de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, por parte del C. Gobernador del Estado que en su momento desarrollaba funciones.

En el año 2003 a consecuencia de la sequía atípica e impredecible que ocasionó daños en la población rural de bajos ingresos se hizo la declaratoria de Contingencia Climatológica para Efectos de las Reglas de Operación del Fondo para Atender a la

Población Rural Afectada por Contingencias Climatológicas (FAPRACC) vigentes, en virtud de los daños provocados que afectaron a 28 municipios del estado de Puebla entre los que se encontraba el Municipio de Acajete. Esta sequía ocurrió en los meses de junio, julio y agosto del mismo año.

En el año 2005 se volvió a dar la Declaratoria de Contingencia Climática por sequía atípica acontecida en los meses de abril y mayo. En el atlas de riesgos del municipio de Acajete del año 2012 se consideran las sequías en el nivel de peligro bajo, ya que por su localización geográfica la sequía meteorológica es baja, se expresa en un porcentaje del 5 y el 10% de años secos y secos en extremo.

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), en su resumen-reporte de contingencias climatológicas 2009, precisa que el gran total de hectáreas afectadas por heladas, granizadas y sequías en el estado de Puebla, es de 32 mil 455 ha en 20 municipios poblanos, de enero al 22 de julio próximo pasado. Afectando al Municipio de Acajete en un total de 12 ha de durazno por helada.

En septiembre del año 2011 una helada atípica afectó 118 mil 298 hectáreas de maíz, cebada, frijol y haba en 55 municipios del Estado de Puebla, entre los que se encontraba el Municipio de Acajete, y a pesar de las indemnizaciones que se realizaron por parte del Gobierno del estado de Puebla y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), los daños afectan los ingresos de los agricultores por medio de la disminución en la producción de productos agrícolas.

Para el año 2013 se registraron un total de 7 mil 800 hectáreas con afectaciones por las heladas registradas entre el 3 y el 7 de marzo, según la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), dicho fenómeno afectó 62 los municipios entre los que se encontraba el Municipio de Acajete.

La Comisión Nacional del Agua (CNA), a través del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) dio a conocer que se registraron temperaturas de -7° centígrados en el

Estado Puebla y en Acajete se llegó a -5 grados centígrados. Estas heladas afectaron cultivos maíz y huertas frutales, hasta hortalizas, haba y frijol.

Otro fenómeno climatológico que afecto al Municipio Acajete fue el registro de una granizada en el año 2014 que afectó 434 hectáreas de durazno esta tromba atípica acompañada de granizo afecto principalmente las comunidades de San Juan Tepulco y Santa Isabel Tepetzala del Municipio de Acajete.

A pesar de que los registros de las estaciones meteorológicas sobre granizadas atípicas sean de una al año, este es un fenómeno que se ha presentado con mayor frecuencia en los últimos 15 años y trae como consecuencias la pérdida, obstrucción del agua e inundaciones por horas que afectan a las viviendas y comercios en las zonas urbanas, techados de viviendas y la pérdida de las cosechas agrícolas.

Las heladas atípicas son otro fenómeno meteorológico que tiene afectación directamente en los cultivos agrícolas en la región, de acuerdo con el atlas de riesgos del municipio de Acajete, se registran al norte del municipio de 25 a 50 heladas anuales, mientras que al sur se observa un decremento donde se alcanzan entre 10 a 25 heladas anuales. Con base en la información de las estaciones meteorológicas se identificó que durante los meses de noviembre a febrero se presenta este fenómeno, siendo también durante este periodo cuando se experimentan las temperaturas diarias más bajas que llegan a descender hasta -4.5°C .

A continuación, se presentan los climogramas de los años 1980, 1990, 2000, 2010 y 2016 con el fin de ver la variación de precipitación y temperatura en el periodo que se analizó el cambio del uso del suelo e inferir sobre la afectación de cambios climatológicos sobre el uso del suelo.

En el **año 1980** la precipitación total fue de 653 mm y la temperatura media anual de 15.7°C , el periodo de lluvia se concentra del mes junio a octubre, los meses más secos son de noviembre a mayo (Figura 18). El climograma de 1990, muestra que la precipitación

para este año aumento hasta 920.3 mm y la temperatura se mantuvo en promedio de 15.6 °C, fue un año con mayor humedad, sin embargo, los meses con lluvia se concentraron del mes de abril al mes de julio, el mes de octubre presenta lluvias extraordinarias.

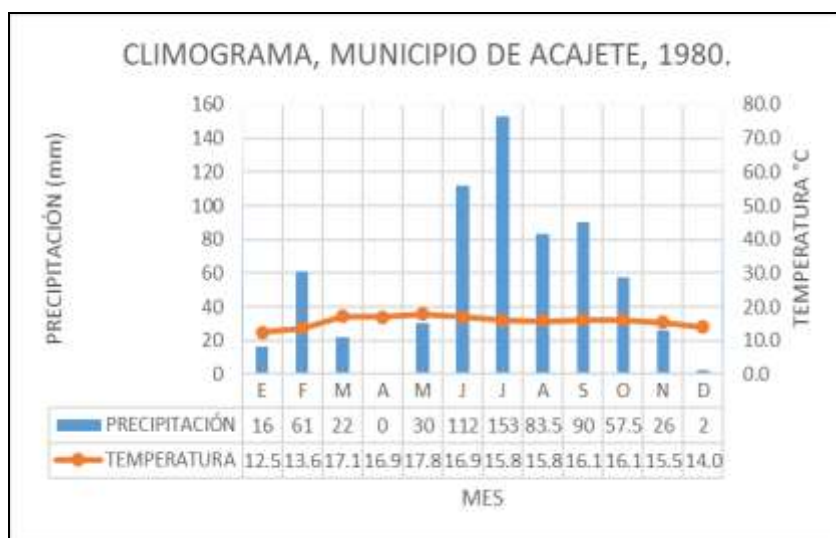


Figura 18. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 1980.

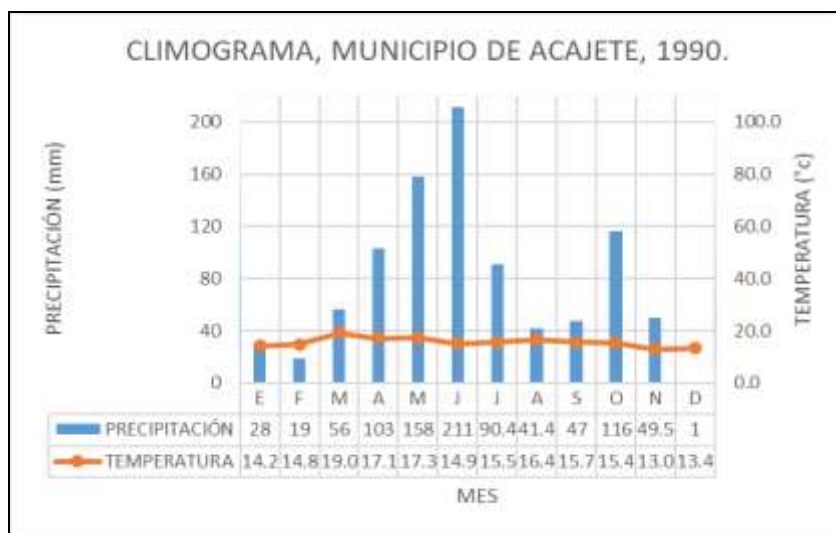


Figura 19. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 1990.

El climograma del año 2000 presento la concentracion de temporada de lluvia desde el mes de abril a septiembre, con temporada seca dede octubre a febrero. Para este año la precipicacion total anual fue de 723.7 mm y la temperatura de 15.1 °C, se nota una canicula

en los meses de julio a agosto (Figura 20). Para el año 2010 la precipitación anual total fue de 963.5 mm y la temperatura promedio de 10.9 °C, cinco grados menos que los años 1980, 1990 y 2000. El periodo de lluvia estuvo concentrado en los meses de julio a septiembre, por lo tanto, tuvieron un periodo de sequia durante 9 meses, que sin duda tuvo afectaciones sobre la siembra y cosecha de productos agrícolas en el municipio (Figura 21).

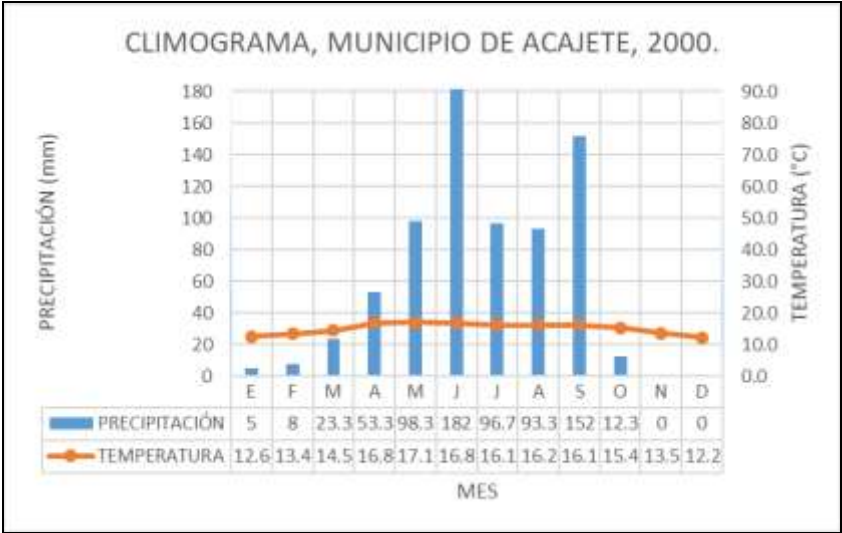


Figura 20. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 2000.

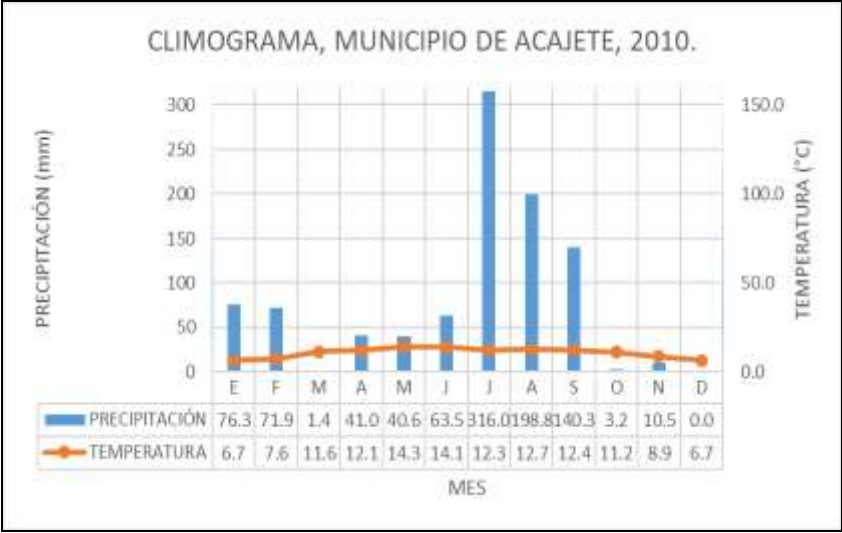


Figura 21. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 2010.

El climograma del año 2016 muestra que el periodo de lluvia inicio desde el mes de marzo a octubre, sin embargo, en el mes de abril, mayo y julio se disminuyó la cantidad de mm de lluvia, los meses secos fueron de noviembre a febrero (Figura 22). La precipitación

total fue de 763 mm y la temperatura 16.7 °C, caracterizando por un alta en la temperatura promedio, incluso un grado más que lo reportado en 1980, 1990 y 2000.

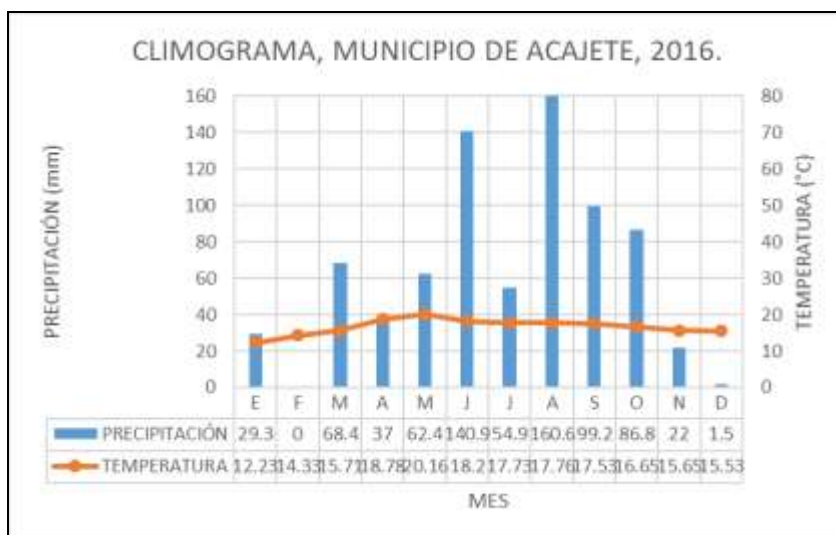


Figura 22. Climograma del municipio de Acajete con datos meteorológicos de 2016.

Los climogramas del año 2010 y 2016 muestran que el cambio de los eventos climatológicos ha sido drástico, causando inclemencias como sequías, heladas y granizadas en la última década, mismas que han sido reportadas como contingencias ambientales en el municipio de Acajete.

6.4.2 Actividades Ilícitas

A continuación, se hace una referencia a actividades ilícitas que se desarrollan en el municipio de Acajete que, si bien no son atribución de esta investigación, es de suma importancia mencionarlas ya que tienen repercusión sobre los factores bióticos y abióticos de la región, así la ruptura del tejido social y las actividades económicas.

En la última década la extracción de hidrocarburos se ha convertido en una actividad ilícita que ha afectado al municipio de Acajete, ya que está considerado dentro del llamado “Triángulo Rojo” donde también se encuentran municipios aledaños como (Figura 23): Tepeaca, Quecholac, Acatzingo, Tecamachalco y Palmar de Bravo del estado de Puebla. En el año 2000 se reportaron apenas 15 tomas clandestinas en la entidad, sin embargo, estas cifras fueron creciendo y para el año 2016 el número de tomas clandestinas

en la entidad era de 1,533 de acuerdo con información de Pemex entregada al sitio de noticias Lado B, entre las principales causas del crecimiento de este delito se encuentran la corrupción, la pobreza y la influencia de grupos criminales organizados (Rivera, 2017).



Figura 23. Triangulo rojo en el estado de Puebla.
Fuente: El UNIVERSAL Online, 2017.

Con el combate al huachicol por parte del gobierno federal, las tomas clandestinas disminuyeron en un 80 %, pero a consecuencia se dispararon actividades delincuenciales como el robo a transporte en carretera, secuestro y robo a trenes. Una actividad en auge es el robo de gas LP, considerado como el nuevo gran negocio de los huachicoleros.

El diario MUNICIPIOS señala que en municipios de Puebla como Acatzingo, Amozoc, Acajete, Quecholac, Cañada Morelos, Esperanza, Los Reyes de Juárez, Huixcolotla, Palmar de Bravo, Tepeaca, Tecamachalco y Tochtepec se mantienen en operación las bandas huachicoleras con el cobro por derecho de piso, robo a transporte, que ha afectado la provisión a las tiendas de abarrotes por miedo de los proveedores a ser asaltados, aumentaron los secuestros y el robo de gas LP.

De acuerdo con el diario central el estado de Puebla es el tercer estado con mayor número de hectáreas contaminadas por la extracción de hidrocarburos, proveniente de derrames en las tomas clandestinas según datos de la Procuraduría Federal del Medio Ambiente (Profepa) (Velázquez, 2018).

De acuerdo a la información entregada a la plataforma Gobierno Fácil, en el año 2017, los tres municipios con más tomas clandestinas fueron Texmelucan con 303, Tepeaca con 221 y Quecholac con 115; en el año 2016, los municipios punteros fueron Tepeaca con 352; Palmar de Bravo con 283 y Acajete con 180.

Los daños ambientales por derrame de hidrocarburos no han sido dimensionados en el país. Los derrames han contaminado el suelo, los residuos pasan a los mantos acuíferos, y afectan a los microorganismos, flora y fauna del suelo, también se destacó que existe la probabilidad de bioacumulación de los contaminantes, afectando en la cadena trófica y a la salud de los seres humanos. Los compuestos orgánicos de la gasolina, afectan la atmosfera (Machorro, 2019).

VII. CONCLUSIONES

- La dinámica del cambio en el uso del suelo en el municipio de Acajete está asociada a componentes demográficos y de crecimiento urbano, procesos de deforestación y forestación y actividades económicas que se desarrollan, como fue planteado en la hipótesis de la investigación.
- El aumento del 52.2 % de la población con respecto a la población total al inicio del periodo de estudio, ha demandado superficie para establecer asentamientos humanos que incrementaron de 1.5 % al 9.1 % de ocupación de la superficie total municipal.
- Los procesos de deforestación en el bosque de encino-pino fueron notorios del año 1990 al 2000 con una pérdida anual de 5.2 %, en los últimos 18 años comenzaron a reforestar con especies de pinos y encinos, lo cual es visible en los recorridos de campo y en el aumento de la superficie de bosque de pino-encino en los mapas de uso de suelo y vegetación.
- Las actividades económicas contribuyen al cambio en el uso del suelo, con respecto a la agricultura se tiene que al inicio del periodo ocupaba el 67.2 % del total de la superficie municipal y para el año 2018 termina con 43.7 % de ocupación, esta actividad puede estar sustituida por actividades del sector secundario y terciario.
- En 1980 el sector secundario estaba representado por el 15 % de la PEA y para el 2010 con 34 %; la actividad del sector terciario en 1980 con el 14 % y para el 2010 la PEA era de 47%, ambos sectores tuvieron un aumento en la actividad económica desarrollada en el municipio.
- La investigación plantea escenarios futuros en el Municipio de Acajete del Estado de Puebla respecto a los cambios de uso de suelo, donde la agricultura es la

actividad que ocupa mayor territorio. El ordenamiento territorial, es recomendable para lograr el aprovechamiento sustentable y conservación del suelo de acuerdo a su vocación natural.

- Durante el periodo de estudio (1980-2018), la agricultura continúa prevaleciendo en el paisaje del municipio. Para el año 2018 ocupó el 43.7% del total de la superficie municipal. Sin embargo, se observó que esta actividad económica ha sido sustituida por actividades del sector terciario y secundario.
- A partir del año 2003 la actividad agrícola se ha visto afectada por inclemencias climatológicas que azotan el municipio como sequías, heladas y granizadas, lo cual se puede constatar en las Declaratorias por Contingencias Climáticas emitidas por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y los climogramas de la estación meteorológica del municipio de Acajete.
- En las áreas agrícolas abandonadas se inician procesos de sucesión secundaria, por lo que el desarrollo de pastizales tiene una probabilidad de transición 72 %.
- El sector terciario tuvo un aumento del 84 %, seguido del sector secundario con el 74 %, en cambio, el sector primario constituido por la agricultura tuvo un decremento del 29 %, lo anterior argumenta el hecho de que la agricultura dejó de ser una actividad principal y por ello ha tenido una dinámica constante y en decremento de su superficie ocupada.
- En la última década se han desarrollado actividades ilícitas en la región que por seguridad no se pudieron documentar, y que sin duda tienen y tendrán consecuencias sobre el cambio del uso del suelo, la contaminación del suelo y agua y pérdida de la biodiversidad.

VIII. LITERATURA CITADA

- Aspinall, Richard J., Michael J., Hill, 2008, Basic and applied land use science, Land use change science, policy and Management, U.S.A: CRC. 185 p.
- Briceño Valera, F. (2005). Las cadenas de Markov en el análisis de cambios y asignación de usos de la tierra. *Revista Geográfica Venezolana*, 46 (1), 35-45.
- Camacho, S. J. M., Juan, P. J. I., Pineda, J. N. B., Cadena, V. E. G., Bravo, P. L. C., y Sánchez, L. M. (2015) Cambios de cobertura/uso del suelo en una porción de la Zona de Transición Mexicana de Montaña. *Madera y Bosques* 21(1): 93-112.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2013. Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del Estado de Puebla. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Puebla. México.
- Escandón, C. J., Ordóñez, D. J., Nieto, P. C. y Ordóñez, D. M. (2018). Cambio en la cobertura vegetal y uso del suelo del 2000 al 2009 en Morelos, México. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales*, 9(46): 27-56
<https://doi.org/https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.135>
- García, R. (2006). Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria. (Ed.). 1a ed. Barcelona, España: Gedisa, S.A.
- García, O. J. A., Cedillo, G. J. G. Juan P. J. I. y Balderas, P. M. Á. (2012). Procesos de cambio en el uso del suelo de una microcuenca en el Altiplano Mexicano. El caso del Río San José en el Estado de México. *Papeles de Geografía*, (55-56): 63-73, ISSN: 0213-1781

Gordillo, R. M. C. y Castillo, S. M. A. (2017). Cambio de uso del suelo en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4 (10), 39-49. DOI: 10.19136/era.a4n10.803

Hernández, S. R., Fernández, C. C., y Baptista, L. P. (2014). *Metodología de la Investigación*. 6ta ed., México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V. ISBN: 978-1-4562-2396-0

Hernández, M. Abelardo, El estudio del crecimiento de las poblaciones humanas. *Papeles de Población [en línea]* 1996, (enero-marzo): [Fecha de consulta: 3 de mayo de 2019] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11201002>> ISSN 1405-7425

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2014. *Sistema de Información Geográfica*. México. Disponible en: www.inegi.org.mx

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Acajete, Puebla. Clave geoestadística 21001. Disponible en: www.inegi.org.mx

Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección Al Ambiente. Última Reforma DOF 24-01-2017

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable. Última Reforma DOF 26-03-2015

López, M. T, y Gentile, N. (2008). Sistema de indicadores económicos y sociales: la importancia del análisis integrado. Comunicación presentada en IX Encuentro Nacional de la Red de Economías Regionales en el Marco del Plan Fénix y II Jornadas Nacionales de Investigadores de las Economías Regionales, Tandil [ARG], 18-19 septiembre 2008.

- López, V. V. H., Balderas, P. M. A., Chávez, M. M. C., Juan, P. J. I. y Gutiérrez C. J. G. (2015). Cambio de uso de suelo e implicaciones socioeconómicas en un área mazahua del altiplano mexicano. *CIENCIA Ergo Sum*, 22 (2): 136-144. ISSN 1405-0269
- Macedo, C. A., Pajares, M. G. y Santos, P. M. (2010). Clasificación no supervisada con imágenes a color de cobertura terrestre. *Agrociencia* 44: 711-722.
- Machorro, J. C. 2019. Expertos dicen que el impacto ambiental por huachicol no es tomado en cuenta en México. SinEmbargo. Recuperado en: <https://www.sinembargo.mx/02-02-2019/3530849>
- Mas, J. F., Velázquez, A. y Couturier, S. (2009). La evaluación de los cambios de cobertura/uso del suelo en la República Mexicana. *Investigación ambiental*. 1(1): 23-39
- Millington, A. y R. Alexander. 2000. Vegetation mapping in the last three decades of the twentieth century. In: A. Millington y R. Alexander, eds. *Vegetation mapping*. John Wiley y Sons, Chochester, Inglaterra. p:321-331.
- Moreno, J. J. M., Aguarón, J. J. y Escobar, U. M. T. (2001). Metodología científica en valoración y selección ambiental. *Pesquisa Operacional* – 3, 21(1), 0101-7438.
- Olaya, V. 2014. *Sistemas de Información Geográfica*. Disponible en: <http://volaya.es/writing>
- Padrón, J. (2007). Tendencias Epistemológicas de la Investigación Científica en el Siglo XXI. *Cinta de Moebio* 28: 1-28
- Palacio, P. J.L., Sánchez, S. M.T., Casado, I. J.M., Propin, F. E., Delgado, C. J., Velázquez, M. A., Chias, B. L., Ortiz, A. M.I., González, S. J., Negrete, F. G., Gabriel, M. J., Márquez, H. R., Nieda, M. T., Jiménez, R. R., Muñoz, L. E., Ocaña, N. D., Juárez,

- A. E. Anzaldo, G. C., Hernández, E. J.C., Valderrama C. K., Rodríguez C. J., Campos, C. J.M., Vera, L.C.H., Camacho, R. C.G. (2004). Indicadores para la caracterización y el ordenamiento territorial. (Ed.). 1a ed. México. ISBN 970-32-1885-7
- Platt, H. R. 2004. Land use and society: geography, law and public policy. Island Press.
- Rivera, O. 2017. Puebla. La génesis del Huachicol. EL UNIVERSAL Online S.A. de C.V. Recuperado de: <http://interactivo.eluniversal.com.mx/2017/puebla-huachicol/>
- Ramos, R. R., Palma, L. D., Ortiz, S. C., Ortiz, G. C. y Díaz, P. G. (2004). Cambios de uso de suelo mediante técnicas de sistemas de información geográfica en una región cacaotera. *Terra Latinoamericana*, 22 (3): 267-278, E-ISSN: 2395-8030
- Sahagún, S. F. J y Reyes, H. H. 2018. Impactos por cambio de uso de suelo en las áreas naturales protegidas de la región central de la Sierra Madre Oriental, México. *Biología y ciencia*. ISSN 2007-7521. 12(2): 06-21
- Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2014. Diagnóstico del Programa de Manejo de Tierras para la Sustentabilidad Productiva. Dirección General del Sector Primario y Recursos Naturales Renovables, Ciudad de México, México.
- Semarnat. 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. México.
- Torres, J. M., Magaña, O. S., y Moreno, S. F. (2016). Predicción del cambio de uso/cobertura arbolada en México a través de probabilidades de transición. *Agrociencia*, 50(6); 769-785.

Vargas, S. D. y Campos, V. C. (2018) Sistema multi-algoritmo para la clasificación de coberturas de la tierra en el bosque seco tropical del Área de Conservación Guanacaste, Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 31(1); 58-69.

Velázquez, E. 2018. Puebla, el tercer estado con más daño ambiental provocado por el huachicol. *Central. Periodismo irreverente*. Recuperado en: <https://www.periodicocentral.mx/2018/pagina-negra/huachicol/item/21215-puebla-el-tercer-estado-con-mas-dano-ambiental-provocado-por-el-huachicol#ixzz5oaDJQTPo>

Velázquez, A., Bocco G., y Siebe, C. (2014). Cambio de uso del suelo. Red Temática de CONACYT sobre Medio Ambiente y Sustentabilidad. Compilada por M. Maass y M. Equihua. 1. 1-4.