



Universidad Autónoma del Estado de México



Facultad de Planeación Urbana y Regional



CIRA Centro Interamericano de Recursos del Agua

TESIS

Estimación del cambio de uso de suelo en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México, y la influencia de dicho cambio por la expansión de invernaderos en el periodo 1989-2014, a través de la percepción remota.

Presenta: Marcos Eduardo Martínez Valencia

Para obtener el grado de: Licenciado en Ciencias Ambientales

Directora de tesis: Dra. Marivel Hernández Téllez

2015



Agradecimientos

A cada una de las personas que con su participación única e inigualable hicieron posible el llegar hasta este punto.

A la Secretaría de Educación Pública, a través de la Dirección General de Educación Superior Universitaria, y la Dirección de Superación Académica, en el Programa de Mejoramiento del Profesorado , por el proyecto "ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL DESARROLLO FLORÍCOLA EN LA SALUD, EL AGUA Y EN EL CAMBIO DE USO DE SUELO, EN EL MUNICIPIO DE VILLA GUERRERO, ESTADO DE MÉXICO" con clave UAEM-CA-21 del cuerpo académico GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA en el Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA).



Contenido

1	Introducción	1
1.1.	Antecedentes	2
1.1.1	Cambios de Uso de suelo utilizando SIG	2
1.1.2	Floricultura en Villa Guerrero.....	5
1.2.	Justificación.....	7
1.3.	Hipótesis.....	8
1.4.	Objetivos	8
2	Marco teórico	9
2.1	Cambio de Uso de Suelo	9
2.2	Tasa de cambio de uso de suelo	10
2.3	Percepción remota.....	11
2.3.1	Ventajas de la observación espacial.....	14
2.4	Clasificación de imágenes satelitales	15
2.4.1	Fase de entrenamiento	16
2.4.2	Fase de asignación.....	17
2.4.3	Comprobación y verificación de resultados.	18
2.5	Valor de Cramérs.....	19
2.6	Cadenas de Markov.....	20
2.7	Cultivos en Invernaderos	20
3	Materiales y métodos.....	24
3.1	Metodología general.....	24
3.2	Materiales	26
3.3	Métodos	28
3.3.1	Clasificación de imágenes satelitales	28
3.3.2	Análisis del cambio de uso de suelo.....	31
3.3.3	Predicción de crecimiento para el año 2025.....	32
4	Área de Estudio	34
4.1	Localización Geográfica.....	34
4.2	Fisiografía	35
4.3	Áreas Naturales Protegidas.....	37
4.4	Clima.....	39
4.5	Edafología.....	41



4.6	Hidrografía	44
4.7	Uso de suelo y vegetación.....	46
4.8	Análisis Socioeconómico	53
4.8.4	Población total y densidad poblacional	53
4.8.5	Población indígena	55
4.8.6	Niveles de marginalidad	55
4.8.7	Población económicamente activa y ocupada.....	56
4.8.8	Seguridad social.....	58
4.8.9	Vivienda.....	60
4.8.10	Vías de comunicación.....	61
5	Resultado y discusión	62
5.1	Coberturas utilizadas	62
5.1.4	Bosque.....	63
5.1.5	Cuerpos de Agua	64
5.1.6	Cultivos a cielo abierto	65
5.1.7	Invernaderos	66
5.1.8	Suelo	67
5.1.9	Zonas Urbanas.....	68
5.1.10	Bosque poco denso	69
5.2	Usos de suelo para los años de 1989 y 2014	70
5.2.4	Uso de suelo para el año de 1989	71
5.2.5	Uso de suelo para el año de 2014	74
5.3	Cambios por cobertura	77
5.3.4	Bosque.....	77
5.3.5	Cuerpos de Agua	78
5.3.6	Cultivos a cielo abierto	79
5.3.7	Invernadero	80
5.3.8	Suelo	83
5.3.9	Zonas Urbanas.....	84
5.3.10	Bosque poco denso	85
5.4	Cambios en el uso de suelo de 1989 al 2014	86
5.4.4	Tasa de Cambio de uso de suelo	87
5.5	Predicción para el año 2025.....	88



6	Conclusiones y recomendaciones	92
7	Bibliografía.....	95

Índice de Tablas

Tabla 1	Características de las imágenes LANDSAT.	26
Tabla 2	Numero de bandas y descripción del Satélite LANDSAT 4 y 8.....	28
Tabla 3	Coordenadas extremas del municipio de Villa Guerrero	34
Tabla 4	grupos florísticos y su porcentaje de ocupación	46
Tabla 5	Localidades con más de 2, 500 habitantes	53
Tabla 6	Población total 1990-2010	54
Tabla 7	Población inmigrante de Villa Guerrero 1990-2010.....	54
Tabla 8	Población ocupada por sector de actividad económica	57
Tabla 9	Servicios de salud del municipio de Villa Guerrero	59
Tabla 10	Disponibilidad de servicios en las viviendas	60
Tabla 11	Coberturas de suelo consideradas y su ID.....	62
Tabla 12	Usos de suelo para 1989.....	71
Tabla 13	Usos de suelo para 2014.....	74
Tabla 14	Comparación de los usos de suelo de 1989 y 2014.....	86
Tabla 15	Tasa de Cambio de uso de suelo	87
Tabla 16	Usos de suelo para 2025.....	89

Índice de Figuras

Figura 1	Participación de los estados productos de Ornamentos en 2012	6
Figura 2	Componentes de un sistema de Percepción remota	13
Figura 3	Cultivos en micro túnel en Villa Guerrero	21
Figura 4	Cultivos semitecnificados en Villa Guerrero	22
Figura 5	Empresa con cultivos tecnificados en Villa Guerrero.....	23
Figura 6	Metodología general de la investigación	24
Figura 7	algunos recursos digitales para realizar la investigación.	27
Figura 8	Localización del municipio de Villa Guerrero	35
Figura 9	Mapa Base de Villa Guerrero	36
Figura 10	Áreas Naturales Protegidas de Villa Guerrero	38
Figura 11	Climas de Villa Guerrero.....	40
Figura 12	Edafología de Villa Guerrero	43



Figura 13 Rio en Villa Guerrero, Estado de México.....	44
Figura 14 Hidrología de Villa Guerrero.....	45
Figura 15 Uso de Suelo y Vegetación de Villa Guerrero.....	52
Figura 16 Evolución histórica de la población total 1990-2010	54
Figura 17 Población económicamente activa por género.....	56
Figura 18 Población ocupada por sector de actividad	58
Figura 19 Condición de derechoahabiciencia de la población	59
Figura 20 Vivienda típica de Villa Guerrero.....	60
Figura 21 Entrada a Villa Guerrero.....	62
Figura 22 Cobertura Bosque en Villa Guerrero	64
Figura 23 Cobertura Cuerpos de agua en Villa Guerrero	65
Figura 24 Cobertura Cultivos a cielo abierto en Villa Guerrero	66
Figura 25 Cobertura Invernaderos en Villa Guerrero.....	67
Figura 26 Cobertura Suelo en Villa Guerrero	68
Figura 27 Cobertura Zona urbana en Villa Guerrero.....	69
Figura 28 Cobertura Bosque poco denso en Villa Guerrero	70
Figura 29 Porcentajes de los usos de suelo para 1989	72
Figura 30 Distribución espacial de los usos de suelo para 1989	73
Figura 31 Porcentajes de los usos de suelo para 2014	75
Figura 32 Distribución espacial de los usos de suelo para 2014	76
Figura 33 Contribuciones al cambio neto en Bosque.....	77
Figura 34 Contribuciones al cambio neto en Cuerpos de agua.....	78
Figura 35 Contribuciones al cambio neto en la cobertura Cultivos a cielo abierto	79
Figura 36 Contribuciones al cambio neto en Invernaderos.	81
Figura 37 Distribución espacial de los Cambios de las coberturas a invernaderos	82
Figura 38 Contribuciones al cambio neto en Suelo.....	83
Figura 39 Contribuciones al cambio neto en Zonas Urbanas.....	84
Figura 40 Contribuciones al cambio neto de Bosque poco denso.....	85
Figura 41 Cambios netos entre 1989 y 2014.....	87
Figura 42 Porcentajes de los usos de suelo para el año 2025.....	90
Figura 43 Distribución espacial de los usos de suelo para 2025	91



1 Introducción

La acelerada actividad antrópica ha modificado sustancialmente la cobertura de la vegetación natural del país. El crecimiento de las zonas urbanas y rurales, el cambio de uso del suelo para actividades productivas (principalmente para la agricultura y la ganadería) y el crecimiento de la infraestructura (caminos y carreteras, tendidos eléctricos y presas) han sido los principales factores de reducción de la cobertura vegetal (SEMARNAT, 2008).

El incremento en la demanda de la floricultura ha traído como consecuencia que los espacios que se destinan a esta actividad se vayan incrementando y expandiendo en el territorio o bien que se modifiquen las técnicas utilizadas para su aprovechamiento.

La presente investigación es un estudio para estimar el cambio de uso de suelo y su influencia en la expansión de invernaderos, en el municipio de Villa Guerrero, en el periodo 1989-2014. El análisis se realizó con los métodos de Percepción remota y las imágenes tipo LANDSAT para estos años. El software de apoyo fue IDRISI Selva y los insumos cartográficos complementarios se obtuvieron del portal del INEGI.

A las imágenes satelitales se les aplicó una clasificación supervisada, en la cual se consideraron seis coberturas para clasificar los usos o coberturas del suelo, a las cuales se les asignó un identificador (ID) para poder realizar el análisis espacial, estas fueron: Bosque, Cuerpos de agua, Cultivos a cielo abierto, Invernaderos, Suelo, Zonas Urbanas y Bosque poco denso.

Los resultados obtenidos muestran que el mayor crecimiento se identificó en la cobertura de Invernaderos, la cual registró un incremento del 9.51% del total municipal, seguido por los cultivos a cielo abierto con un crecimiento de 6.01%. Las coberturas de Bosque, cuerpos de agua y zonas urbanas tuvieron un crecimiento menor al 1% y las coberturas de Bosque poco denso y Suelo son quienes presentaron disminución de sus coberturas, siendo la cobertura de Suelo la más significativa con la pérdida del 14.22% del total municipal.



1.1. Antecedentes

1.1.1 Cambios de Uso de suelo utilizando SIG

México alberga una de las biotas más diversas del planeta. Por ello se ubica en el grupo de países llamados “megadiversos”, que en conjunto agrupan entre 60% y 70% de la diversidad biológica conocida en el mundo (Mittermeier, et al., 1997). Ante esto se posee un extenso conocimiento sobre su biodiversidad, producto de contribuciones importantes de diversas instituciones académicas y de investigación, así como del conocimiento histórico tradicional proveniente de grupos indígenas y rurales, aunque este último se encuentra escasamente documentado (CONABIO y SEMARNAT, 2009). Sin embargo a pesar de esto pierde constantemente parte de su capital natural, ya sea por procesos de deforestación, incendios, desastres naturales, expansión de la frontera agrícola, crecimiento de las zonas urbanas, entre otras.

Los cambios en la cobertura y el uso del suelo han sido reconocidos a nivel internacional como uno de los temas más importantes a atender, ya que este conlleva directamente al deterioro ambiental. Esto ha provocado que este tópico este entre los temas de mayor relevancia para la investigación en la comunidad científica, ya que a su vez se ha convertido en una importante e indispensable herramienta para la toma de decisiones, la gestión del territorio, el cuidado y uso sustentable de los recursos naturales de cualquier población, dirigente o gobierno (González, 2010).

Actualmente hay estudios tanto a nivel nacional, estatal y regional que nos permiten calcular o estimar cuales han sido estos cambios en los usos y cobertura del suelo en un tiempo determinado y de esta forma analizar y predecir cuales serían los posibles sitios que se verán afectados y las problemáticas a las que nos tendríamos que enfrentar en un futuro si no se realizan acciones correspondientes (Lambin, et al., 2000).

Algunos ejemplos de estudios para cuantificar el uso de suelos son las series de cartas de Uso de suelo y Vegetación, que ha publicado el Instituto Nacional



de Estadística y Geografía (INEGI) publicando la primera en 1980 y su última versión en 2011, en un total de cinco series, en las escalas 1:1'000,000, 1:250,000 y 1:50,000 (Villarreal Hernández , et al., 2011). Por otro lado la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), ha elaborado el Inventario Nacional Forestal y de Suelos los cuales han sido elaborados desde 1961 y se han hecho actualizaciones periódicas, siendo la más reciente la que se publicó en el 2014 y que corresponde al periodo 2009-2014 (SNIF, 2015).

Para la realización de este tipo de estudios resulta inminente el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y los métodos de Percepción Remota, que son herramientas que nos permiten realizar este tipo de análisis, facilitando la obtención de información, el procesamiento de datos y la presentación de los resultados así como las propuestas generadas.

Estudios relacionados con los procesos de cambio de uso de suelo se tienen: A nivel nacional el Consejo Nacional de Población (2005) realizó el estudio de la "Situación actual y prospectivas del cambio de la cubierta vegetal y usos de suelo en México", en el cual se calculó la tasa de deforestación en un periodo de 24 años y con el cual se pudo hacer predicciones para ver qué pasaría con las regiones del país, en estas estimaciones se encontró que para el año 2020 las coberturas de vegetación solo ocuparan cerca de la mitad del país y en su mayoría estarían en estados secundarios y con fragmentación. Como consecuencia de esto es probable el incremento del deterioro ambiental y la alteración de algunos servicios ambientales (Velázquez, et al., 2005).

Estudios a nivel regional se tienen: "La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación", este trabajo contribuyó a mejorar la comprensión de los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo a nivel regional. Se obtuvo que en 18 años se perdieron en Michoacán 513,644 ha de bosque templados y 308,292 ha de selvas, correspondientes a tasas de deforestación de 1.8% y 1% anual respectivamente. Adicionalmente, 20% de la superficie con bosques y selvas sufrió un proceso de degradación (Bocco, et al., 2001). Otro trabajo es "La



evaluación del cambio de uso de suelo en la cuenca del río Atoyac de Oaxaca, a través de un SIG", en donde se empleó la Percepción remota para identificar las áreas en las que los procesos de cambio de uso de suelo han influido en las dinámicas de los escurrimientos de agua en la cuenca, en un periodo de 15 años, teniendo como resultado una reducción de 11.29% de bosque dentro de la cuenca y un crecimiento de 6.85% de la marcha urbana (Villarreal Hernández, et al., 2011). También a nivel de cuenca se cuenta con el estudio "Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit" en el cual se realizó un análisis de cambios de cobertura y uso del suelo en un periodo de 10 años, obteniendo que el 83.01% de la cuenca la conforma la vegetación natural y las tierras de cultivo, y que su tasa de deforestación anual para bosques y selvas es de 0.1 y 0.36% respectivamente, la cual es menor a las reportadas por las autoridades a nivel nacional y estatal (González, 2010).

A nivel estatal se tienen trabajos donde se describen los cambios en la cobertura y el uso del suelo, como es el caso del trabajo realizado por Pineda en el periodo 1993-2002 en el cual identifica cuales han sido los cambios en los usos de suelo, específicamente los relacionados a los bosques y como se relacionan con variables socio-económicas que propician la deforestación en el estado de México (Pineda Jaimes, et al., 2008).

Para el caso de la zona de estudio se cuenta con el trabajo lleva por nombre "Análisis de cambios de Usos de Suelo para los años 1984, 2000 y 2008 de la cuenca del río Tenancingo, Estado de México", en el cual se describen cambios de usos de suelo con la información obtenida del INEGI con la cartografía escala 1:250000 para la cuenca del río Tenancingo (Reyes Anistro, 2014).



1.1.2 Floricultura en Villa Guerrero

Hay elementos del ambiente que han estado presentes durante la historia de la humanidad, uno de ellos es la relación del hombre con las flores.

La floricultura es una rama de la horticultura orientada al cultivo de flores y plantas ornamentales en forma industrializada para uso decorativo (ASERCA, 2008). El inicio de la actividad florícola en el municipio de Villa Guerrero data de mediados del siglo pasado, donde un grupo de inversionistas extranjeros se asentaron en las localidades de San Francisco y Santiago Oxtotitlán, donde extranjeros instalaron los primeros cultivos florícolas, y posteriormente las localidades de Buenavista, San José y Zacango y más tarde San Mateo Coapexco, en la cuales probaron esta actividad en territorios mexiquenses con buenos resultados y que más tarde fue adoptada como un estilo de vida y una característica de la región (Lara, 1999) (Ruiz Torres & Salome Castañeda, 2008).

Aunque la actividad surgió a mitad de siglo, no fue hasta comienzo de los años 80's cuando se dio un cambio en las técnicas de producción al recibir capital financiero de inversionistas privados, que buscaban aprovechar las bondades climáticas y edáficas de la zona para una producción más intensa y que pudiera cumplir con las normas de calidad para la exportación, es por esto que se inició con las instalaciones de grandes viveros, que más tarde se convertirían en naves de producción donde se pueden aplicar métodos más tecnificados para el cultivo de la flor (Fenner, 1992).

Las características físicas y naturales (como el clima, suelo, relieve) junto con las condiciones socio-económicas (como la disponibilidad de mano de obra, la organización y la tecnología) son cualidades que permiten la producción y el desarrollo de actividades económicas en una zona (Orozco Hernández, 2003). Para el caso del municipio de Villa Guerrero, y sus vecinos en el Estado de México, por sus características reunidas y cualidades únicas se han podido especializar en la producción, comercialización y exportación de la flor, convirtiéndose en la región florícola más importante.



De acuerdo a la Secretaría de Desarrollo Agropecuario al conjunto de municipios en esta zona se le conoce como la delegación regional de Ixtapan de la Sal que integra a municipios circundantes como Villa Guerrero, Tenancingo, Zumpahuacán, Malinalco e Ixtapan de la Sal, entre otros, los cuales se caracterizan por ser los mayores productores de flor a nivel nacional, ya que aquí se produce el 80 % de las flores que exporta México. Solamente Villa Guerrero genera el 56 % de la producción total estatal (Gomora Jiménez, et al., 2005).

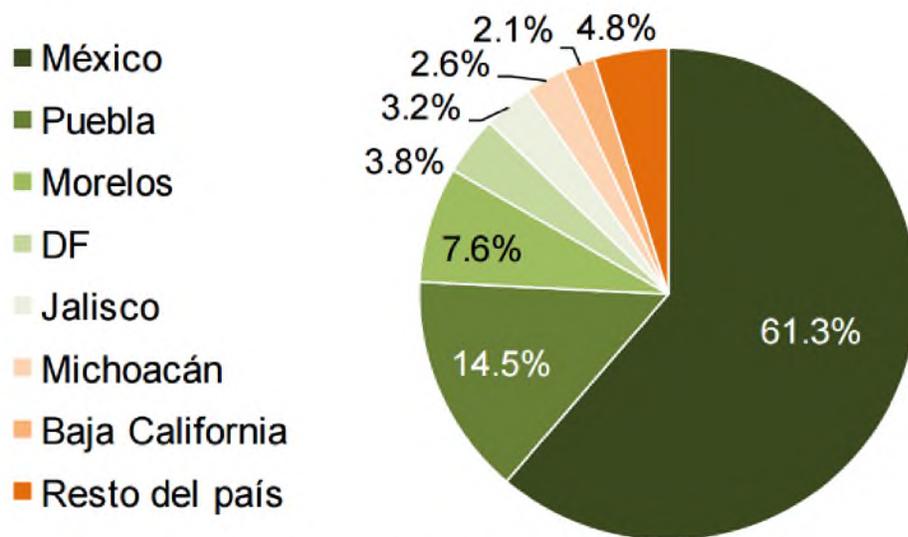


Figura 1 Participación de los estados productos de Ornamentos en 2012

Fuente: Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario Rural Forestal y Pesquero



1.2. Justificación

Pese a que pudiera parecer evidente los cambios en las dinámicas territoriales y para casos tan específicos como el municipio de Villa Guerrero con la presencia de la floricultura, resulta imprescindible no solo el conocimiento de que existe un crecimiento constante, sino que, es importante conocer donde se están presentando y hacia donde se está dirigiendo estos crecimientos. La floricultura trae consigo distintos impactos ambientales, de los cuales los más significativos son: el Cambio de Uso de Suelo, la erosión y pérdida de productividad del suelo, el alto consumo y deterioro de la calidad del agua, el uso de plaguicidas altamente tóxicos para procurar y proteger los cultivos a costa de las implicaciones a la salud humana y la fauna local (Gomora Jiménez, et al., 2005).

Actualmente para la zona de estudio solo se cuenta con el trabajo de Reyes Anistro (2014) el cual trata de describir las dinámicas en los Cambios de Uso de Suelo en la cuenca del río Tenancingo, sin embargo, este solo abarca una parte del municipio de Villa Guerrero y utiliza solo la información procedente del INEGI en su carta de uso de suelo y vegetación, sin generar alguna adicional que permita generar análisis más a detalle. Dicho esto, el aporte de la presente investigación se enfoca a la estimación de los cambios en los usos del suelo para el municipio de Villa Guerrero.

La delimitación temporal del proyecto comprende un periodo de 25 años, que va del año de 1989 al año 2014, este periodo fue retomado de la investigación previa que indica que el crecimiento de la actividad florícola empieza a mediados del siglo pasado y la instalación de invernaderos años después, siendo la fecha seleccionada quien mejor representa a estos, ya que la superficie es lo suficientemente considerable para poder realizar la clasificación. Para el año 2014 se seleccionó considerando trabajar con una imagen reciente que permitiera contrastar la información con la imagen inicial.

Otra aportación que se obtiene a partir de la presente investigación, es la predicción que se realiza para el año 2025, esto para prever o predecir el



impacto generado por la expansión de invernaderos como parte de la floricultura, la actividad económica más importante del municipio al uso del suelo, así como la formulación de algunas recomendaciones y propuestas que puedan orientar las políticas del uso del suelo y la organización de territorio ante el inminente crecimiento que se espera en los próximos años.

Finalmente, esta investigación sirve como un antecedente para un futuro análisis que permitan realizar otro tipo de estimaciones, ya que es parte del proyecto de investigación *"ESTIMACIÓN DEL IMPACTO DEL DESARROLLO FLORÍCOLA EN LA SALUD, EL AGUA Y EN EL CAMBIO DE USO DE SUELO, EN EL MUNICIPIO DE VILLA GUERRERO, ESTADO DE MÉXICO"* del cuerpo académico GESTIÓN INTEGRADA DEL AGUA del Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA).

1.3. Hipótesis

La instalación de invernaderos para la floricultura ha propiciado el Cambio de Uso de Suelo en el municipio de Villa Guerrero, Estado de México, en los últimos 25 años.

1.4. Objetivos

General

Estimar el cambio de uso de suelo en el municipio de Villa Guerrero en el periodo 1989-2014 y la influencia de dicho cambio por la expansión de invernaderos, utilizando la percepción remota.

Específicos

- Dar un sustento teórico-conceptual al trabajo de investigación.
- Calcular el uso del suelo a partir de imágenes de satélite LANDSAT en los años de 1989 y 2014.
- Calcular la tasa de cambio de uso de suelo del municipio en el periodo de estudio en base a las coberturas utilizadas.
- Predecir el posible crecimiento de las áreas a ocupar por la expansión de invernaderos en el año 2025.



2 Marco teórico

2.1 Cambio de Uso de Suelo

Se le llama "uso de suelo" a los diferentes usos que el hombre asigna a la tierra en función de su uso y cubierta vegetal. La alteración, modificación, transición o perturbación de estos usos y cubiertas a alguna diferente, ya sea por medios antropogénicos o naturales se le conoce como "Cambio de uso de suelo". (Reyes Anistro, 2014)

Desde la perspectiva del cuidado del medio natural, al cambiar las coberturas del terreno, principalmente los cambios de cubiertas forestales a algún otro uso, en los que destacan los agrícolas, traen consigo una serie de problemas ambientales, tales como la erosión, desertificación, alteración al balance hídrico, pérdida de biodiversidad, contaminación en cuerpos de agua, entre otras, dando una aceleración como nunca antes a los cambios en los usos de suelo. Teniendo que, cualquier cambio en las coberturas de vegetación tiene una serie de implicaciones ambientales, y en caso de ser "negativas" o tendientes al deterioro pueden repercutir directa o indirectamente ante la calidad de vida de la población (Velázquez, et al., 2005).

De esta forma, los estudios para el análisis del cambio de uso de suelo constituye una herramienta eficaz para las organizaciones, gobiernos, organismos responsables de un determinado territorio en cuanto al manejo de los recursos naturales ya que describe el escenario a la cual está sometida un área determinada con lo que se genera información básica para el desarrollo de planes, programas o proyectos económicos, sociales, políticos y ambientales, tales como son: la distribución del crecimiento poblacional, construcción de infraestructura, generación de carreteras, actividades económicas, entre otras (Villarreal Hernández, et al., 2011).



Una herramienta que con la que se cuenta para cuantificar el cambio de uso de suelo es a través de la “tasa de cambio de uso de suelo”, la cual estima el cambio de una determinada cobertura en un periodo de tiempo.

2.2 Tasa de cambio de uso de suelo

Una tasa de cambio de uso de suelo nos expresa el crecimiento o disminución de cierta cobertura de un territorio en específico, durante un periodo determinado, el resultado es expresado generalmente como porcentaje de la cobertura al inicio de cada periodo o año.

Las tasas de cambio de uso de suelo se calculan con la fórmula propuesta por la FAO (1996), para calcular la deforestación, la cual expresa el cambio en porcentaje de la superficie al inicio de cada año. A pesar de que la formula este diseñada para calcular la deforestación es aplicable para todas la cubiertas y nos permite describir las transiciones de cada una (Velázquez, et al., 2002). La fórmula es la siguiente:

$$\delta_n = \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^{1/n} - 1$$

Donde δ es la tasa de cambio (para expresar en % hay que multiplicar por 100)

S_1 Superficie en la fecha 1

S_2 Superficie en la fecha 2

n es el número de años entre las dos fechas

La información que se requiere para la aplicación de la fórmula es la superficie todas las coberturas a trabajar para las dos superficies en ambas fechas en las que se realizara el análisis y el número de años entre las dos fechas. Esta información para nuestro caso de estudio no existe, por lo que se tiene que generar con la aplicación de la metodología para el cálculo de uso de suelo utilizando la Percepción remota.



2.3 Percepción remota

La Percepción remota o teledetección se define como aquella técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores aéreos o espaciales, se asume que entre el suelo y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial. A su vez, es preciso que ese haz energético recibido por el sensor sea almacenado convenientemente, bien a bordo del satélite o de las estaciones receptoras, para que se le pueda dar una determinada aplicación (Jensen, 2007).

Esta técnica nos permite generar información espacial de la superficie terrestre en distintas temporalidades, lo cual es de gran utilidad para la presente investigación, ya que con ella podemos calcular los usos de suelo y las superficies de las distintas coberturas para los años de interés a través de la clasificación de imágenes satelitales, facilitando la obtención de la información y a su vez nos permite realizar cálculos con modelos matemáticos para realizar una predicción de las dinámicas del territorio.

De acuerdo a Chuvieco, 2008 el proceso de la percepción remota incluye los siguientes elementos:

- **Fuente de energía:** que supone el origen de la radiación electromagnética que detecta el sensor. La fuente más importante es el Sol, pero también puede realizarse Percepción remota a partir de energía emitida por los mismos objetos observados, o desde fuentes artificiales.
- **Cubierta terrestre:** formada por distintas masas de vegetación, suelo, agua o construcciones humanas, que reciben la señal energética procedente de la luz solar, y la reflejan o emiten de acuerdo a sus características físicas.



- **Sistema sensor:** compuesto por el sensor y la plataforma que lo alberga, Tiene como misión captar la energía procedente de las cubiertas terrestres, codificarla y grabarla o enviarla directamente al sistema de recepción.
- **Sistema de recepción-comercialización:** en donde se recibe la información transmitida por la plataforma, se graba en un formato apropiado y tras las correcciones se distribuye a los interesados.
- **Interprete:** que convierte esos datos en información temática de interés, ya sea visual o digitalmente, de cara a facilitar la evaluación del problema en estudio.
- **Usuario final:** encargado de analizar el documento fruto de la interpretación, así como de dictaminar sobre las consecuencias que de él se deriven.

Este proceso se muestra de forma gráfica en la siguiente imagen:

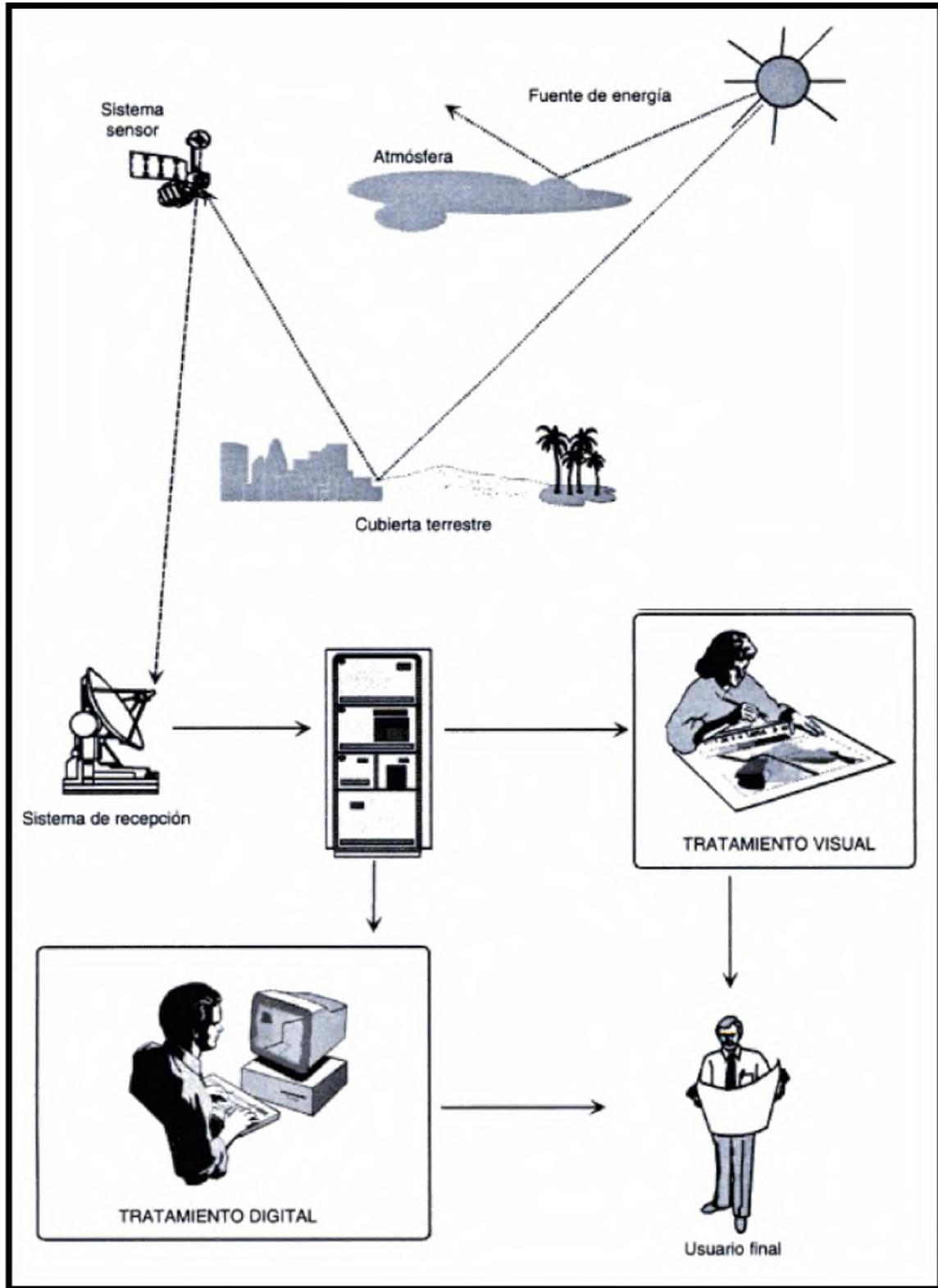


Figura 2 Componentes de un sistema de Percepción remota

Fuente: (Chuvieco Salinero, 2008)



2.3.1 Ventajas de la observación espacial

La Percepción remota desde satélite cuenta con numerosas aplicaciones, gracias a las ventajas que ofrece frente a otros medios de observación, más convencionales, como la fotografía aérea o los trabajos de campo, aunque más que sustituirlos los complementa. De acuerdo a Chuvieco, 2008 algunas de las ventajas de la observación espacial son las siguientes:

- I. **Cobertura global y exhaustiva de la superficie terrestre:** La Percepción remota es una de pocas fuentes de información propiamente globales, ya que los sistemas orbitales permiten tomar información de la totalidad del planeta en condiciones comparables.
- II. **Perspectiva panorámica:** La altura orbital del satélite permite realizar tomas de la superficie terrestre con una amplia cobertura.
- III. **Observación multiescala y no destructiva:** Los sistemas de Percepción remota desde satélites actuales ofrecen un amplio rango de cobertura espacial y nivel de detalle, desde los sensores de ámbito local, hasta los de ámbito global.
- IV. **Información sobre regiones no visibles del espectro:** Los sensores óptico-electrónicos facilitan imágenes sobre tipos de energía que no son accesibles al ojo humano o a la fotografía convencional como es el caso del infrarrojo medio y térmico o las microondas.
- V. **Cobertura repetitiva:** Los satélites de observación terrestre nos permiten adquirir imágenes repetidas de toda la tierra, en condiciones comparables de observación, lo que resulta idóneo para abordar estudios multitemporales.
- VI. **Transmisión inmediata:** La mayor parte de los sistemas de Percepción remota graban las imágenes en formato digital, lo que permite transmitir las a las estaciones terrestres en tiempo real.



- VII. **Formato digital:** Como se mencionó antes, el tratamiento digital de las imágenes agiliza el proceso de interpretación, permite generar modelos cuantitativos e integrar los resultados con otro tipo de información geográfica.

2.4 Clasificación de imágenes satelitales

La clasificación digital es un proceso de generalización temática que, mediante categorización, convierte la información cuantitativa de una imagen en una información cualitativa. Como resultado de una clasificación digital obtenemos una nueva imagen que comparte las mismas propiedades (dimensiones, tamaño de pixel, resolución, ubicación geográfica, etc) que la imagen original de la cual se partió, pero con la importante diferencia de que en ND¹ que define cada pixel no tiene relación con la radiancia detectada por el sensor, sino que se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese pixel. A partir de una imagen como esta puede fácilmente generarse cartografía temática, así como un inventario estadístico del número de pixeles – y por tanto de la superficie- asignados a cada categoría.

De acuerdo a Cihlar et al (1998) un método de clasificación debería contar con las siguientes características:

- I. Exacto
- II. Reproducible por otros, dadas las mismas variables de entrada
- III. Robusto (no sensible a pequeños cambios en las condiciones de entrada)
- IV. Exhaustivo, que cubra todo el territorio de estudio
- V. Objetivo, que no esté marcado por las decisiones del intérprete.

En esta técnica, en primer lugar el intérprete identifica el patrón visual asociado a cada cubierta, de acuerdo a una serie de criterios: tono, textura, forma, contexto, disposición, etc., tal y como aparece en unos fotogramas tipo.

¹ Abreviatura de Nivel Digital. Se trata del valor numérico discreto asignado por el sistema formador de imágenes a cada celda en respuesta a la irradiancia recibida sobre el sensor.



Posteriormente, delimita sobre el resto de las fotografías las zonas que se corresponden con ese modelo previamente definido. En otras palabras, asigna a cada categoría unas determinadas superficies, en función de la semejanza de estas con el patrón-tipo identificado previamente. Por último, verifica sobre el terreno la interpretación realizada.

El esquema de clasificación digital se distingue las siguientes fases:

- 1) Definición digital de las categorías (fase de entrenamiento)
- 2) Agrupación de los píxeles de la imagen en una de esas categorías (fase de asignación)
- 3) Comprobación y verificación de resultados (Chuvieco Salinero, 2008)

2.4.1 Fase de entrenamiento

Se trata de definir con rigor cada una de las categorías que pretendan discriminarse, teniendo en cuenta su propia variabilidad de la zona de estudio. Esto se logra seleccionando una muestra de píxeles de la imagen, que representa adecuadamente las categorías de interés. La asignación de las categorías se puede realizar por el Método supervisado, el no supervisado y el mixto.

- I. **Método supervisado:** Parte de un cierto conocimiento de la zona de estudio, adquirido por experiencia previa o por trabajos de campo.
- II. **Método no supervisado:** Se dirige a definir las clases espectrales presentes en la imagen. No implica ningún conocimiento del área de estudio, por lo que la intervención humana se centra en la interpretación de los resultados.
- III. **Método el mixto:** Los métodos anteriormente mencionados se pueden combinar para evitar errores que pudieran surgir, el uso de estos métodos de asignación estarán en función del objeto de estudio (Chuvieco Salinero, 2008)



2.4.2 Fase de asignación

Se trata de adscribir cada uno de los píxeles de la imagen a una de las categorías previamente seleccionadas. Fruto de esta fase será una nueva imagen, cuyos ND expresen la categoría temática a la que se ha adscrito cada uno de los píxeles de la imagen original.

Los criterios más comunes para establecer las fronteras estadísticas bajo las cuales se agrupan los píxeles son: mínima distancia, paralelepípedos y máxima probabilidad, estos se describen a continuación.

I. Clasificador de mínima distancia

El criterio más sencillo para asignar un píxel a una de las categorías consiste en incluirlo en la más cercada, esto es, en aquella que minimice la distancia entre ese píxel y el centro de la clase. Dicho de otra forma los píxeles se agrupan con aquellos que tengan una firma espectral similar para formar un grupo de los mismos, siendo este el algoritmo más rápido y fácil de utilizar.

II. Clasificador de paralelepípedos

En este método el usuario fija un área de dominio para cada categoría, teniendo en cuenta sus valores de centralidad y disposición. Posteriormente, un píxel es asignado a dicha clase si sus ND están dentro del área de dominio en todas las bandas consideradas.

Los principales problemas para utilizar este método parten del diseño de las áreas de dominio, ya que algunos píxeles pueden encontrarse en zonas de dos o más categorías o bien se queden sin clasificar.

III. Método de la máxima probabilidad

Este método considera que los ND en el seno de cada clase se ajustan a una distribución normal. Esto nos permite describir esa categoría por una función de probabilidad, a partir de su vector de medias y matriz de varianza-covarianza. En pocas palabras, esta función asemeja la distribución real de los ND en esa



categoría, por lo que nos sirve para calcular la probabilidad de que un pixel (con determinado ND) sea miembro de ella. El Cálculo se realiza para todas las categorías que intervienen en la clasificación, asignando el pixel a aquella que maximice la función de probabilidad.

El clasificador de máxima probabilidad es el más complejo y el que demanda mayor volumen de cálculo. Sin embargo, es el más empleado en la percepción remota, por su robustez y por ajustarse con más rigor a la disposición original de los datos.

Esto quiere decir que con este método se crea una función para calcular la probabilidad de que un pixel con un determinado ND pertenezca a cada una de las categorías que se han considerado en la fase de asignación. El método crea las funciones para cada formula y contempla todos los pixeles de la imagen, garantizando así el procesamiento total de la imagen (Chuvienco Salinero, 2008).

2.4.3 Comprobación y verificación de resultados.

Independientemente del método empleado para la clasificación, los resultados se almacenan en una nueva imagen, similar a las originales, en cuanto a estructura y tamaño, pero con la importante diferencia de que el ND de cada pixel no corresponde a un valor de reflectividad, sino a la categoría a la que se asignó.

Esta nueva imagen puede ser el producto final del trabajo, o servir como estadio intermedio de un proyecto mucho más amplio, en donde la percepción remota se combine con otro tipo de variables espaciales.

Así mismo esta nueva imagen nos permite obtener dos tipos de productos, por un lado tenemos los cartográficos, ya que esta imagen se encuentra georreferenciada y puede convertirse en un mapa y por el otro lado es una fuente de consulta de datos estadísticos, ya que se pueden cuantificar el número de pixeles de la imagen pertenecientes a cada categoría y así poder calcular superficies y porcentajes de ocupación para cada una (Chuvienco Salinero, 2008).



2.5 Valor de Cramér

El *valor de Cramér* es uno de los coeficientes usados para ver la asociación de las variables nominales cuando sus categorías son de dos o tres clases. Se denomina así en honor del matemático y estadístico sueco Harald Cramér.

El *valor de Cramér* es un valor de medida independiente del tamaño de la muestra. El *valor de Cramér* es una medida simétrica para la intensidad de la relación entre dos o más variables de la escala nominal, cuando (por lo menos) una de las dos variables tiene por lo menos dos formas (valores posibles). En una tabla de 2x2 el *valor de Cramér* corresponde al Coeficiente phi (TIEG38, 2015). Este valor se calcula con la siguiente formula:

$$V = \sqrt{\frac{X^2}{n(\min[r, c] - 1)}}$$

Donde:

n : Total de casos (volumen de la muestra)

$\min[r, c]$ es el menor entre ambos valores «número de filas» (rows)" y "número de columnas (columns)"

Interpretación

En cualquier tabla de contingencia – independientemente de la cantidad de filas y columnas – el *valor de Cramér* está entre 0 y 1. Puede usarse para tablas de contingencia de cualquier tamaño.

Rango de valores [0 hasta 1]

Valor de Cramér = 0: no hay relación entre X e Y

Valor de Cramér = 1: hay una relación perfecta entre X e Y

Valor de Cramér = 0,6: hay una correlación relativamente intensa entre X e Y



Dado que Cramér's V es un número siempre positivo, no se pueden hacer afirmaciones acerca de la dirección de la relación (TIEG38, 2015).

2.6 Cadenas de Markov

Una cadena de Markov es una serie de eventos, en la cual la probabilidad de que ocurra un evento depende del evento inmediato anterior. En efecto, las cadenas de este tipo tienen memoria, "Recuerdan" el último evento y esto condiciona las posibilidades de los eventos futuros. Esta dependencia del evento anterior distingue a las cadenas de Markov de las series de eventos independientes, como tirar una moneda al aire o un dado. (del Valle , 2015)

El análisis de Markov, llamado así en honor de un matemático ruso que desarrollo el método en 1907, permite encontrar la probabilidad de que un sistema se encuentre en un estado en particular en un momento dado. Algo más importante aún, es que permite encontrar el promedio a la larga o las probabilidades de estado estable para cada estado. Con esta información se puede predecir el comportamiento del sistema a través del tiempo.

Cualquier problema para el que puede obtenerse un diagrama de transición de estado y que usa el enfoque dado puede analizarse (del Valle , 2015).

2.7 Cultivos en Invernaderos

De acuerdo con la norma mexicana NMX-E-255-CNCP-2008, para la construcción de invernaderos los podemos definir como *"Un invernadero es una construcción agrícola de estructura metálica usado para el cultivo y/o protección de plantas, con cubierta de película plástica traslúcida que no permite el paso de la lluvia al interior y tiene por objetivo reproducir o simular las condiciones más adecuadas para el crecimiento y desarrollo de las plantas cultivadas establecidas en su interior, con cierta independencia del medio exterior, y cuyas dimensiones posibilitan el trabajo de las personas en el interior. Los invernaderos pueden contar con un cerramiento total de plástico o plástico en la parte superior y mallas en las laterales"* (Cedillo Portugal, 2012).



Para la actividad agrícola se utilizan invernaderos de distintas características, de acuerdo al tipo de cultivo y nivel de tecnificación en la producción, teniendo así una variedad de los mismos dentro del territorio. Algunas de las variedades que existen son las siguientes:

- **Cultivos en túnel o micro túnel:** se consideran aquellos cultivos donde la infraestructura utilizada es mínima. Por ejemplo, para microtúnel se utilizan varilla y plástico, sistemas que se caracterizan por la obtención de un producto de mayor calidad que a cielo abierto y con una inversión mínima. Las especies más cultivadas son: clavel, crisantemo, solidago, alstroemeria y aster, entre otras.



Figura 3 Cultivos en micro túnel en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

- **Cultivos semitecnificados:** son aquellos que se realizan en túnel o bajo invernadero, en los que se aplican sistemas de riego y de ventilación a base de cortinas abatibles. Bajo este sistema se cultivan las rosas, gerbera, lillium, limonium, solidago, aster, gypsophylia, lisianthus, leather, etc.



Figura 4 Cultivos semitecnificados en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

- **Cultivos tecnificados:** Es un sistema con infraestructura bajo invernadero donde se utilizan sistemas de riego, calefacción, ventilación, fértiliriego, malla ground cover, acolchado, malla antiafidos, y malla sombra. Aquí se cultivan especies como: rosas, gerbera, lillium, limonium, solidago, aster, orquídea, callas, hypericum, snap dragon, ruscus y gypsophyllia, entre otras (ITESM, 2011).



Figura 5 Empresa con cultivos tecnificados en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

Estas variedades invernaderos comparten características en común, al potenciar la productividad de los terrenos de cultivo y a nivel espectral difractan la luz a una longitud de onda que permite separarlos del resto de las coberturas en el territorio con las técnicas de percepción remota.



3 Materiales y métodos

3.1 Metodología general

Para la realización de la presente investigación se diseñó una metodología que nos permitiera realizar el análisis requerido y aplicar los métodos adecuados de forma ordenada y sistemática, esto se logró con la organización del proyecto en cinco etapas de ejecución, estas etapas se muestran en la figura 6.

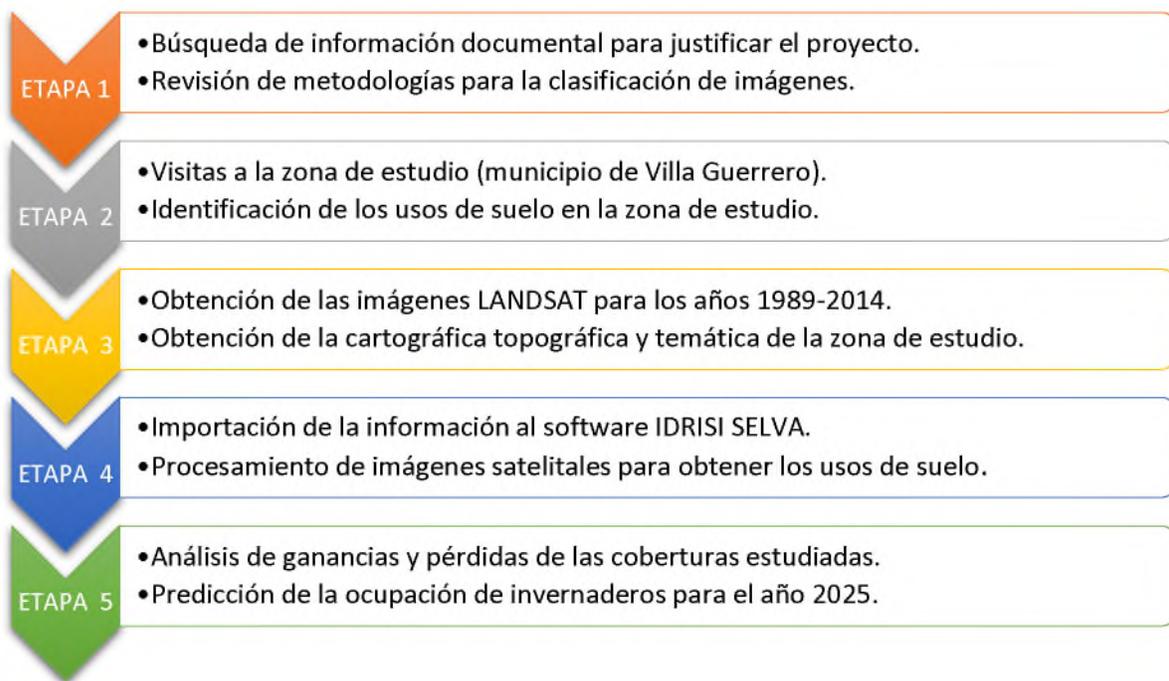


Figura 6 Metodología general de la investigación

ETAPA 1. Se buscó información documental que permitiera justificar el proyecto de investigación y que a su vez proporcionara las fuentes bibliográficas para definir los conceptos y teorías que se utilizaron, para consolidar un marco teórico-referencial que explicara el enfoque bajo el cual se trabajó. También se hizo una revisión de los diferentes tipos o formas de clasificación digital de imágenes satelitales para poder utilizar la que mejor se ajustara al objetivo, esto con el fin de poder calcular uso y el cambio de uso de suelo del área de estudio.



ETAPA 2. En esta etapa se realizaron visitas de campo para identificar las características propias de la zona de estudio. Se documentó los usos de suelo con los que cuenta el municipio y se georeferenciaron con GPS. Se generó un registro de las condiciones naturales, sociales, culturales y económicas, así como su dinámica y las interacciones existentes entre estos elementos.

ETAPA 3. Se buscaron las imágenes satelitales a utilizar, para este caso se optó por trabajar con imágenes LANDSAT² para los años de 1989 y 2014. De acuerdo a las fechas de las imágenes, hay una diferencia de 25 años entre las tomas de cada una, por lo que este es considerado el periodo de estudio.

De igual forma se adquirió información cartográfica topográfica y temática del municipio de Villa Guerrero para su caracterización y para el procesamiento de las imágenes satelitales.

ETAPA 4. El software que se utilizó fue "IDRISI SELVA", este es un software de para la elaboración de Sistemas de Información Geográfica (SIG), el cual está integrado con un sistema de procesamiento de imágenes para el análisis y visualización de datos espaciales. En dicho software se realiza el procesamiento de imágenes satelitales con gran facilidad y precisión, comparado con otros softwares, en los cálculos y gracias a los módulos desarrollados, los cuales hacen más eficiente el trabajo de análisis (Eastman, 2012).

ETAPA 5. Finalmente para el análisis de cambios se utilizó el módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability*, el cual es un módulo integrado en IDRISI, este permite analizar los cambios en la cubierta de terreno, proyectar su curso en el futuro y evaluar sus implicaciones en el cambio del hábitat y la biodiversidad. El panel de Análisis de Cambio proporciona un conjunto de herramientas para la comprensión de la naturaleza y el alcance del cambio de cobertura terrestre, incluyendo gráficos de ganancias y pérdidas, cambios netos y contribuciones experimentados por cualquier categoría (Clark Labs, 2013).

² LANDSAT (LAND=tierra y SAT=satélite) fue el primer satélite enviado por los Estados Unidos para el monitoreo de los recursos terrestres. En tanto que la producción y comercialización de las imágenes depende del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).



También con el este módulo fue posible realizar una predicción del comportamiento que tendrá la cobertura de invernaderos específicamente para el año 2025.

3.2 Materiales

Para el presente trabajo de investigación se utilizaron imágenes tipo LANDSAT con fechas que fueran próximas a lo arrojado por la investigación previa del crecimiento más significativo del sector florícola y otra que fuera actual, quedando los años de 1989 y 2014. Los meses de selección que se eligieron fueron de finales del invierno o principios de año, esto debido a que en esta época se encuentran más marcados las diferencias de los tipos de vegetación, favoreciendo así los procesos de clasificación. Los detalles de las imágenes utilizadas son los siguientes:

Tabla 1 Características de las imágenes LANDSAT.

NS	P	R	FI	RE	DH	PC	F
4	26	47	Archivo GeoTIFF	28.5 metros	WGS84	UTM (Universal Transversa de Mercator)	martes, 07 de marzo de 1989
8	26	47	Archivo GeoTIFF	30 metros	WGS84	UTM (Universal Transversa de Mercator)	domingo, 16 de febrero de 2014

*Número de satélite (NS), Path (P), Row (R), Formato de Imagen (FI), Resolución espacial (RE), Datum Horizontal (DH), Proyección Cartográfica (PC) y Fecha de toma (F).

Fuente: (USGS, 2015)

Estas imágenes fueron adquiridas desde el servidor USGS Global Visualization Viewer, el cual se encuentra disponible en el sitio (<http://glovis.usgs.gov/>).

También se utilizó el límite Municipal de Villa guerrero, el cual fue obtenido del Marco Geoestadístico Nacional, perteneciente al INEGI. Se adquirió la versión 6.0-2013. Este se obtuvo en formato Shapefile (shp) y posteriormente para su uso se requirió convertirlo en formato Raster.

Se requirió de información cartográfica adicional de la zona de estudio, esto incluyó la adquisición de los archivos digitales de calles, caminos, carreteras, ríos, manantiales, cuerpos de agua, Modelo Digital de Elevación (MDE) y las

pendientes del terreno. Esta información se obtuvo en formato Shapefile (shp) del portal del INEGI, y posteriormente fueron convertidos a formato Raster para su uso.

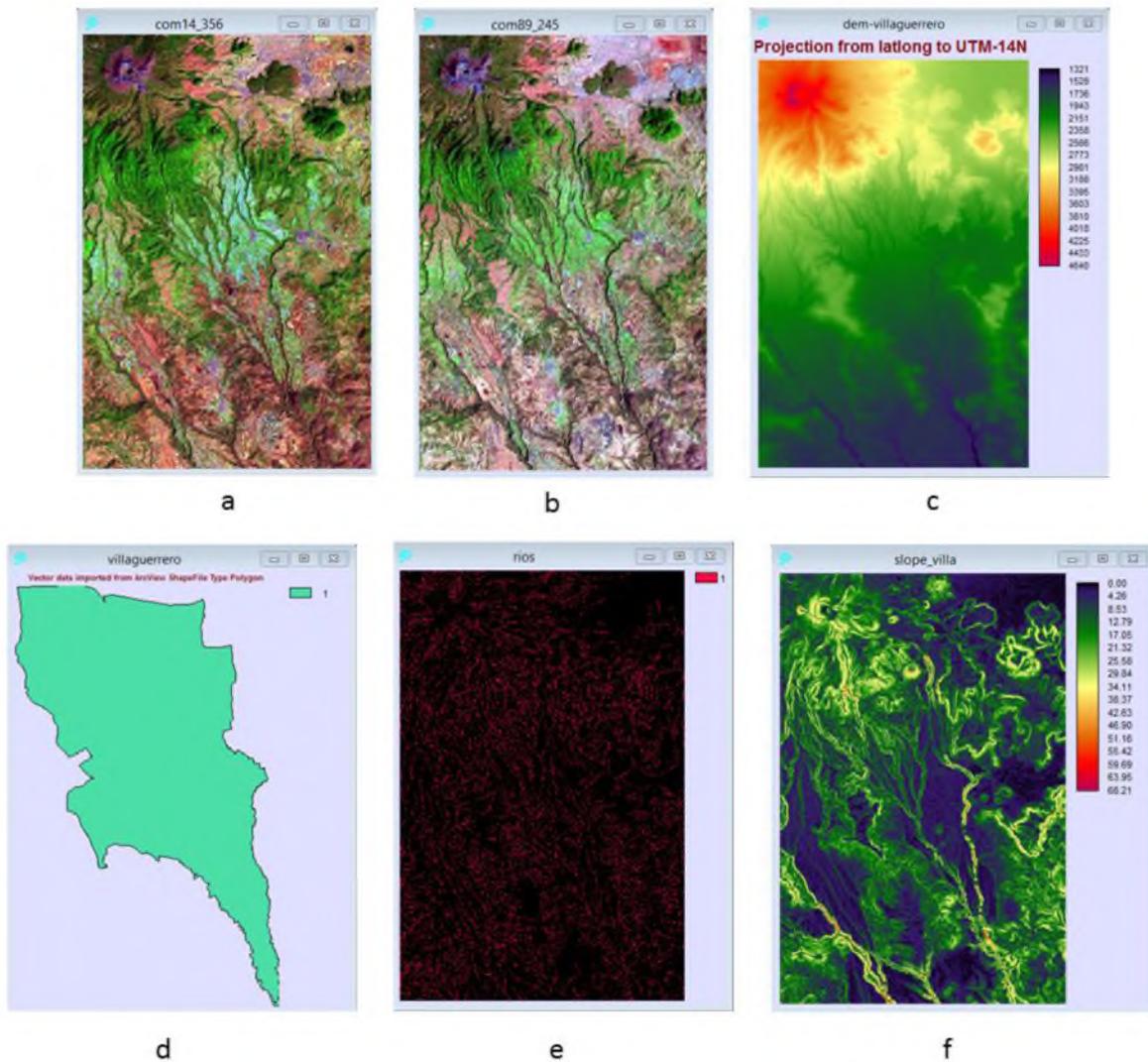


Figura 7 algunos recursos digitales para realizar la investigación.

a) Imagen LANDSAT 8 en infrarrojo medio para el año 2014. b) Imagen LANDSAT 4 en infrarrojo medio para el año 1989. c) Modelo Digital de Elevación para el municipio de Villa Guerrero. d) Limite municipal de Villa Guerrero. e) Red hidrográfica del municipio de Villa Guerrero. f) Pendientes en el municipio de Villa Guerrero.



3.3 Métodos

3.3.1 Clasificación de imágenes satelitales

Las imágenes satelitales previamente obtenidas fueron importadas al software IDRISI, se utilizó el módulo LANDSAT, en el cual se seleccionan las bandas que se importan, en este caso, como las imágenes obtenidas corresponden a dos versiones de satélite diferente se tuvo que hacer una equivalencia de las bandas, en las siguiente tabla (Tabla 10), se muestran el número de banda de cada satélite y la descripción de cada una.

Tabla 2 Numero de bandas y descripción del Satélite LANDSAT 4 y 8

Descripción de la banda LANDSAT 4	# de Referencia de la banda	Descripción de la banda LANDSAT 8
Azul	1	Aerosol Costero
Verde	2	Azul
Rojo	3	Verde
Infrarrojo cercano 1	4	Rojo
Infrarrojo cercano2	5	Infrarrojo cercano (NIR)
Infrarrojo medio	6	Infrarrojo de onda corta (SWIR) 1
Infrarrojo térmico	7	SWIR 2
	8	Pancromático
	9	Cirrus
	10	Sensor Infrarrojo térmico (TIRS) 1
	11	TIRS2

Fuente: (INEGI, 2010) (Ariza, 2013)

Para el caso de la imagen de LANDSAT 8 no se importaron todas sus bandas, solo aquellas que coincidieran con la imagen de LANDSAT 4.

Una vez importadas las imágenes satelitales, junto con sus bandas, se realizó un acercamiento “zoom” a la zona de estudio, delimitando un área que cubriera el municipio de forma total, posteriormente se utilizó el módulo WINDOW para recortar solo esta área, evitando así el procesamiento innecesario en toda la imagen. Este recorte fue aplicado a las dos imágenes y en todas sus bandas, con



el propósito de que las dimensiones (píxeles, filas y celdas) sean exactamente iguales, para poder realizar el análisis espacial.

Resulta importante mencionar que la imagen obtenida para el año de 1989 tenía una resolución espacial de 28.5 m y no de 30 m que comúnmente tienen las imágenes LANDSAT, este detalle pudo generar un error al momento de hacer coincidir ambas imágenes, ya que no tendrían las mismas dimensiones. Ante esta contrariedad se utilizó el módulo RESAMPLE para hacer una corrección geométrica de la imagen para tener las mismas dimensiones que LANDSAT 8.

Para obtener el uso de suelo en ambas imágenes se les aplicó una Clasificación Supervisada de Máxima Probabilidad, los pasos a seguir fueron:

1. Una vez que se realizó el recorte de las bandas, se concentraron las imágenes en un grupo de acuerdo al año al que pertenecen. Consecutivamente se utilizó el módulo COMPOSITE, para obtener una imagen en color compuesto, se utilizó la combinación RGB 6-5-3 o llamada "Infrarrojo medio" para la imagen de LANDSAT 8 y la 5-4-2 para LANDSAT 4. Esta combinación de bandas nos permite distinguir los elementos del territorio con colores lo más próximos a la Percepción del ojo humano (Rial & Gonzalez, 1999).
2. Para la fase de asignación se requirió el aplicar el módulo SEGMENTATION con una tolerancia de similaridad de 5, este es un proceso por el que los píxeles de una o más imágenes se agrupan en segmentos, u objetos, que comparten una similitud espectral homogénea. Se obtuvo un archivo en formato "Vector Features (*.vtc)" el cual contenía pequeños polígonos que compartían características similares y que fueron retomados para utilizarlos como campos de entrenamiento. Esto se realizó con el módulo SEGTRAIN el cual nos permite crear de forma interactiva los campos de entrenamiento, asignándoles su identificador (ID) y el nombre de la cobertura a la que pertenecen.



3. Una vez que se digitalizaron los campos de entrenamiento, se generan las firmas espectrales de cada una de las cubiertas, para esto se utilizó el módulo MAKESIG, es importante mencionar que el tamaño de muestra debe tener un mínimo de 10 píxeles por banda para cada cobertura, si consideramos que utilizamos 7 bandas entonces el valor mínimo debe ser de 70 píxeles para cada cubierta (Chuvienco., 2006). Una vez que se generan las firmas se corroboran utilizando el módulo SIGCOMP, mediante el cual es posible identificar, si las firmas espectrales de las diferentes coberturas son diferentes ya que si se detecta que las firmas espectrales tienen mayor semejanza, implicaría un posible desacierto al momento de realizar la clasificación.
4. Finalmente, cuando ya se han comprobado las firmas espectrales se pasa a la parte final de la clasificación supervisada, para el presente trabajo de investigación se optó por usar el Clasificador de Máxima Probabilidad o bien el módulo MAXLIKE, con el cual se generan las imágenes del uso de suelo a través de los campos de entrenamiento previamente diseñados, teniendo como resultado final una imagen temática.
5. Este proceso se tiene que aplicar para ambas imágenes y al concluirlo se pasa al el módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability*.
6. Debido a que las imágenes resultantes mostraban pequeñas áreas de coberturas muy aisladas o bien dentro de coberturas más grandes (efecto conocido como sal y pimienta), se optó por utilizar el módulo FILTER el cual simplifica las coberturas obtenidas, disminuyendo este fenómeno. Se aplicó el filtro moda a una distancia de 3x3 a ambas imágenes resultantes de la clasificación supervisada.
7. El límite municipal se importó al software, utilizando el módulo SHAPEIDR, después se tuvo que convertir a formato Raster, para su procesamiento con las demás imágenes, para esto primero se utilizó el módulo INITIAL, el cual nos permite crear un archivo Raster con las mismas proporciones que los recortes de las imágenes, para que puedan empatar.



Consecutivamente se realizó la conversión del archivo Vector a un Raster con el módulo RASTERVECTOR, teniendo como resultado final una imagen booleana con valor de "1" en el área perteneciente al municipio y "0" al resto de la imagen.

8. Ya que se tienen las dos imágenes resultantes de aplicar el Clasificador de Máxima Probabilidad en cada año y el Raster del límite municipal, se utiliza el módulo OVERLAY, en el cual se utilizó el álgebra de mapas, para multiplicar el límite con cada una de las imágenes, para así depurar información innecesaria que teníamos incluso después de nuestro primer recorte.

Hasta aquí es el procesos para calcular el uso de suelo de las imágenes satelitales, posteriormente se aplicó un segundo proceso, en el cual se realiza el análisis del cambio de uso de suelo y la predicción de crecimiento para el año 2025.

3.3.2 Análisis del cambio de uso de suelo

Para realizar el análisis del cambio de uso de suelo en el municipio de Villa Guerrero se utilizó en siguiente método.

1. Una vez que ya se aplicó el recorte de las imágenes con el límite municipal, se procedió a utilizar el módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* en el cual se introdujeron las imágenes de las clasificaciones en ambos años, para obtener los datos de cambios en los usos del suelo.
2. El módulo *Land Change Modeler* nos permite crear imágenes para analizar las pérdidas y ganancias de cada una de las cubiertas frente a las demás, ya sea de forma particular con alguna cobertura o bien con todas las coberturas utilizadas
3. Los resultados obtenidos se presentan en unidad de superficie o bien en porcentaje, y pueden ser procesados cartográfica o estadísticamente.



3.3.3 Predicción de crecimiento para el año 2025.

Para realizar las proyecciones de crecimiento de la cobertura INVERNADEROS, que es nuestro objeto de estudio para el año 2025³, se tiene que seguir el siguiente proceso.

1. Se tuvo que crear un mapa de transiciones en el *Land Change Modeler*, pasando de todas las coberturas a la de interés, esto es de "ALL" to "INVERNADEROS", una vez que se tuvo se utilizó el módulo RECLASS para convertir la imagen resultante en una de tipo booleana (0 y 1).
2. Se importaron los archivos de calles, caminos, carreteras, ríos, manantiales y cuerpos de agua utilizando el módulo SHAPEIDR, después se tuvo que convertir a formato Raster, esto se realizó con el módulo INITIAL, el cual nos permitió crear un archivo Raster con las mismas proporciones que los recortes de las imágenes. Consecutivamente se realizó la conversión del archivo Vector a un Raster con el módulo RASTERVECTOR, teniendo como resultado final una imagen a la cual se le aplico el módulo DISTANCE.
3. Se importó el Modelo Digital de Elevación (MDE) obtenido del INEGI y se recortó a la medida de nuestra zona de estudio, una vez que se hizo esto se le aplico el módulo SLOPE y se generó una nueva imagen con las pendientes del terreno.
4. Dentro del módulo *Land Change Modeler*, se pasó a la pestaña "TRANSITION POTENTIALS", en el primer submenú "Transition Sub-Models: Status" se seleccionó las coberturas que cambiaron a la floricultura, en el segundo submenú "Variable Transformation Utility" se incorporó la imagen booleana obtenida del paso 1, el uso de suelo en el periodo 1 (1989) y un nombre de salida. Consecutivamente en el submenú "Test

³ Para la predicción para el año 2025, el módulo *Land Change Modeler* solo considera las variables del medio físico, por esta razón no se incluyen los datos sociodemográficos del municipio para la misma.



and Selection of Site and Driver Variables" se introdujeron las imágenes obtenidas en el paso 2 y 3 una por una, aplicando del "test Explanatory Power", en el cual aquellas que tuvieran un una calificación mayor a 0.15 del valor de Cramér podrían ser añadidas al siguiente paso utilizando el botón "Add to Model", para este caso todas las variables utilizadas contaron con un valor aceptable. En el siguiente submenú "Transition Sub-Model Structure" se incluyen las capas que añadimos en el submenú anterior y finalmente en el submenú "Run Transition Sub-Model" se ejecuta el Sub-modelo de tal forma que la precisión nos acerque lo mayor posible al 100 %, una vez que se haya ejecutado se termina con "Create Transition Potential" en el que nos genera nuevas imágenes con las posibles transiciones para nuestra cobertura de interés.

5. Como último paso se abrió la pestaña "Change Prediction" en la cual se trabajó en el submenú "Change Demand Modeling" seleccionando la creación de una cadena de Markov (Markov chain) la cual haría una predicción para un año establecido, en este caso se optó por el año 2025. Se pasó al submenú "Change Allocation" en el cual se seleccionó la opción "Run Model" y el modulo creo una predicción del crecimiento de la cobertura florícola para el año 2025.

Finalmente de acuerdo a lo obtenido en el siguiente apartado se describen los resultados posteriormente las conclusiones a las que se llegaron con el presente trabajo de investigación, así mismo se plantearan algunas las propuestas que se consideren pertinentes.



4 Área de Estudio

4.1 Localización Geográfica

El municipio de Villa Guerrero se encuentra en la parte sur-oriente del Estado de México, al sur de la ciudad de Toluca, colinda con Tenango del Valle al Norte, con Ixtapan de la Sal al Sur, con Tenancingo y Zumpahuacán al Este y con Coatepec Harinas al Oeste. Las coordenadas extremas que lo delimitan son las siguientes:

Tabla 3 Coordenadas extremas del municipio de Villa Guerrero

latitud norte	18° 48' 58"	19° 03' 34"
longitud oeste	99° 36' 28"	99° 45' 17"

Fuente: (Ayuntamiento de Villa Guerrero, 2015)

La curva de nivel más alta que tiene el municipio se encuentra en la zona montañosa correspondiente al Área de protección de Flora y Fauna "Nevado de Toluca", en la parte Norte a 3, 760 metros sobre el nivel del mar (msnm). Por otra parte la curva de nivel más baja se encuentra al Sur del municipio y es de apenas 1, 600 msnm.

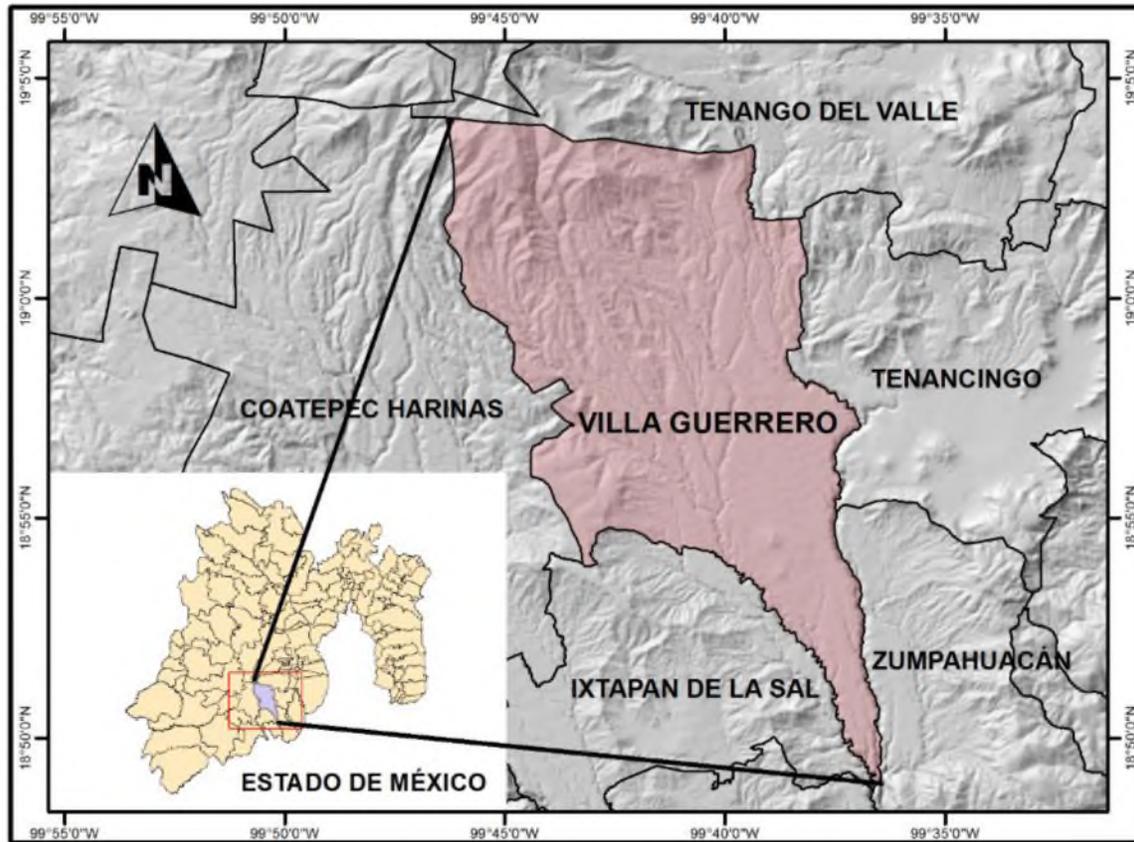
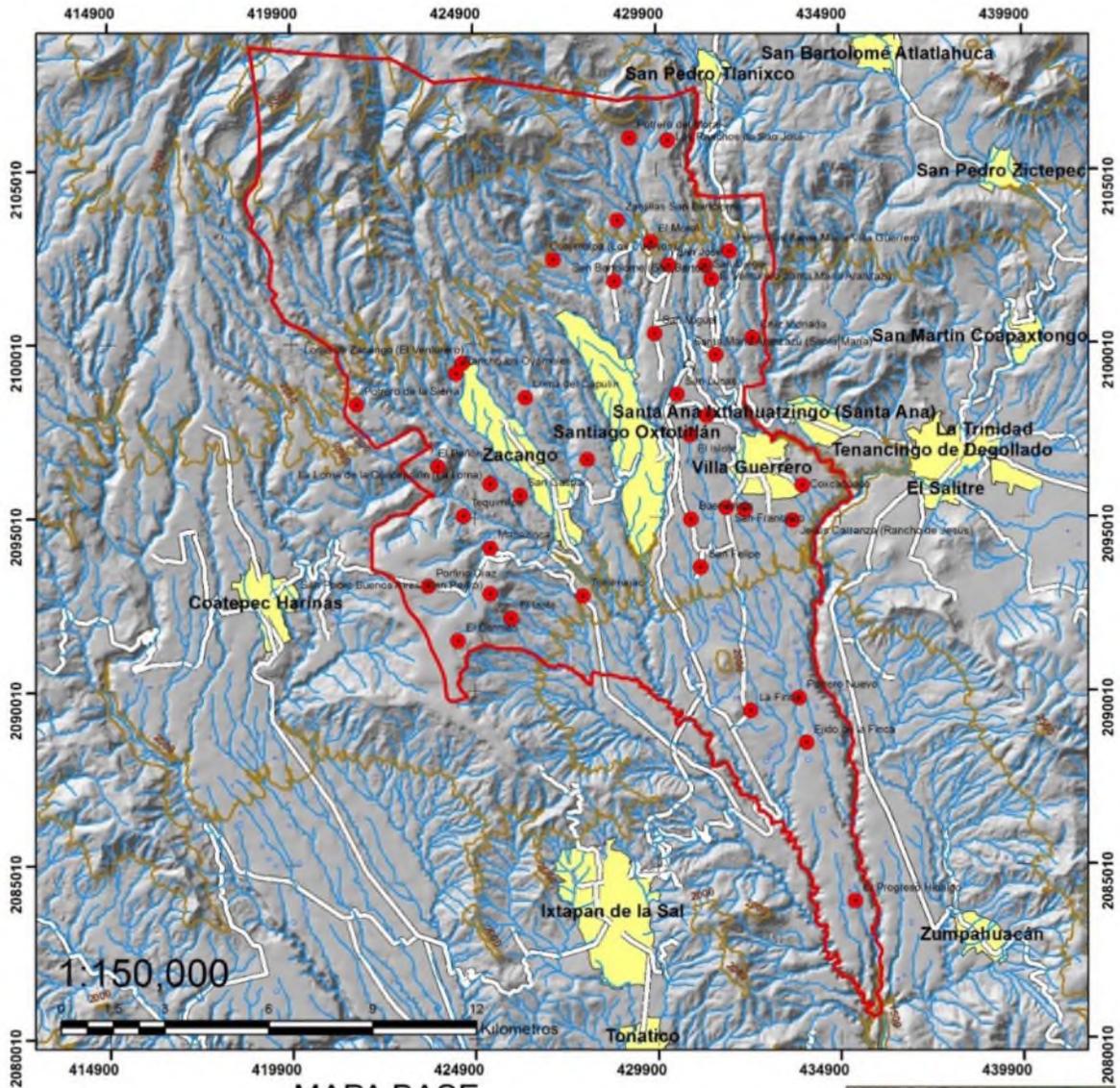


Figura 8 Localización del municipio de Villa Guerrero

Fuente: (INEGI, 2015)

4.2 Fisiografía

El municipio se ubica en las provincias fisiográficas del Eje Neovolcánico un 79.92% y un 20.08% en la sierra Madre del Sur, en las subprovincia Lagos y Volcanes de Anáhuac (75.99%), Sierras y Valles Guerrerenses (20.08%) y Mil cumbres (3.93%). Los sistemas de topofomas que predominan son lomeríos y Sierra Volcánica, lo que significa que el relieve es muy accidentado en la mayor parte del municipio y que las zonas planas son escasas, sin embargo existen pendientes suaves en las partes altas de las lomas, que es donde se encuentran principalmente los cultivos (INEGI, 2009).



Simbología

- Localidades rurales
- Ríos
- Carreteras
- Pavimentada
- Curvas de nivel
- Cuerpos de agua
- Localidades urbanas
- Villa Guerrero

Proyección: Transverse_Mercator
 Unidad Linear: Metros
 Sistema de Coordenadas Geográficas:
 GCS_WGS_1984
 Datum: WGS_1984_UTM_Zone_14N
 Distancia entre curvas: 500 metros
 Fecha: Febrero de 2015
 Fuente: Archivos vectoriales INEGI 2015
 Marcos Eduardo Martínez Valencia



Figura 9 Mapa Base de Villa Guerrero

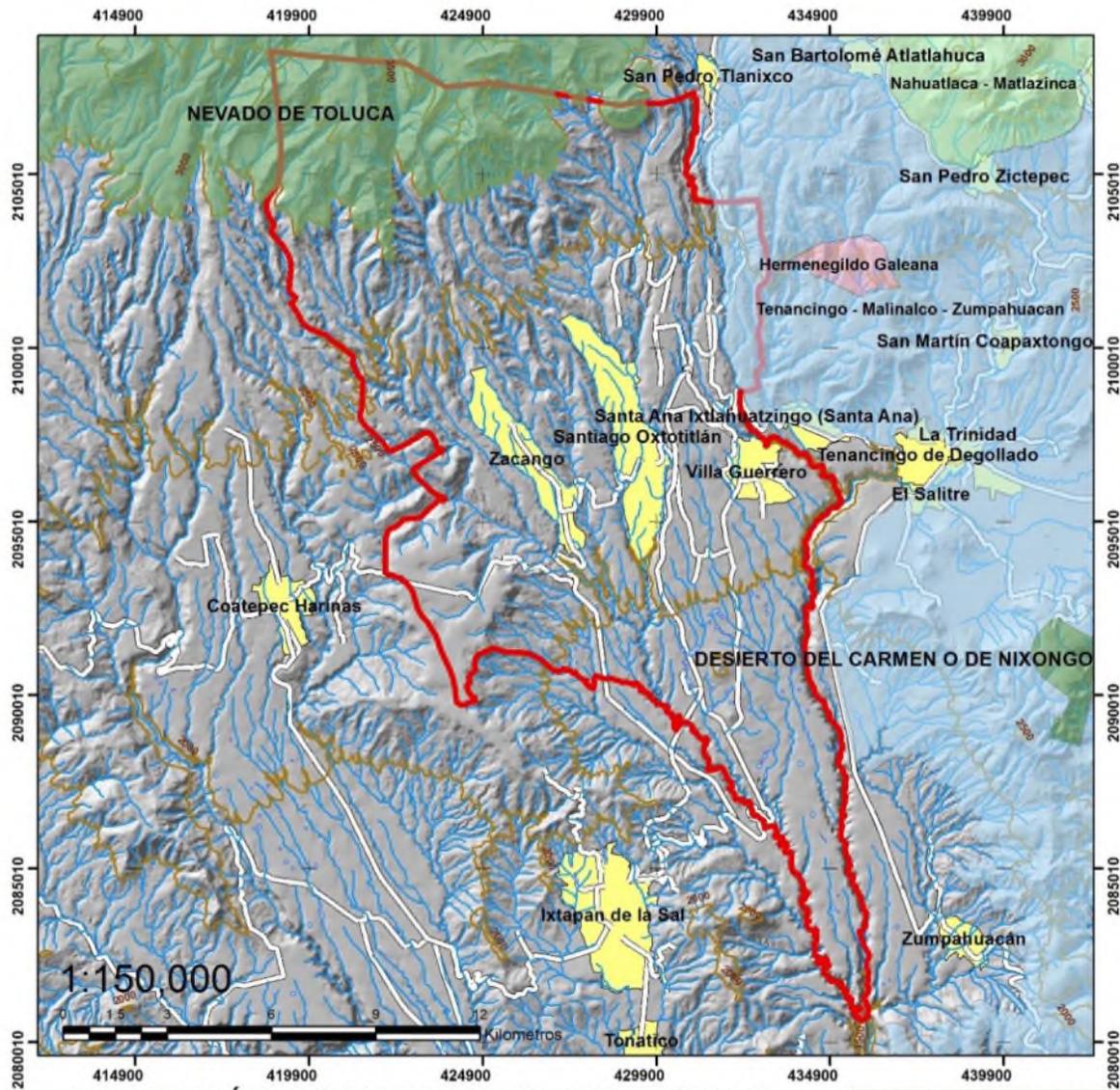


4.3 Áreas Naturales Protegidas

México es un claro ejemplo de los países cuentan con una gran diversidad biológica, y en respuesta a esto y a los compromisos internacionales del gobierno ante los problemas ambientales globales, durante las últimas décadas se ha promovido una imprecendente creación de ANP (CONANP 2005, citado por Velázquez, et al., 2005) En el municipio de Villa Guerrero se encuentran dos Áreas Naturales Protegidas, una de carácter estatal, la cual es el "Parque Ecológico Recreativo Tenancingo - Malinalco – Zumpahuacan" y otra de carácter federal el "Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca".

El Parque Ecológico Recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán (PERTMZ) se localiza al sureste del Estado de México, presenta una extensión de 25,625 hectáreas de acuerdo al decreto emitido por el Ejecutivo del Estado, Dr. Jorge Jiménez Cantú, Gobernador Constitucional del Estado de México, publicado en Gaceta de Gobierno en fecha 18 de Julio de 1981, abarca los municipios de: Joquicingo, Malinalco, Ocuilan, Tenancingo, Tenango del Valle, Villa Guerrero y Zumpahuacán, Su creación consideró la riqueza natural de las zonas montañosas de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacán, además de reconocer su importancia como un gran pulmón al Sur del Estado de México y por su capacidad para la recarga de los mantos acuíferos de la región (GEM, 2010). Esta ANP solo cubre 586 ha que representa el 2.56 % del total municipal, estas se encuentran del lado Este, en su colindancia con Tenancingo.

El Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca es una de las Áreas Naturales Protegidas con más antigüedad en nuestro territorio mexicano, decretado inicialmente como Parque Nacional el 25 de enero de 1936, y modificado por decreto del presidente Lázaro Cárdenas el 19 de febrero de 1937 para establecer una reserva forestal nacional dentro del parque. Nuevamente se modificó el decreto presidencial del Nevado de Toluca, el 1 de octubre de 2013, para establecerla como Área de Protección de Flora y Fauna (CONANP, 2015). Esta ANP cubre una extensión de 3,103.63 ha las cuales representan el 13.56% del total municipal y se ubica en la zona norte.



MAPA DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

Simbología

- Pavimentada
- Curvas de nivel
- Rios
- Cuerpos de agua
- Localidades urbanas
- Villa Guerrero

Simbología Temática

- ANP Federal**
- DESIERTO DEL CARMEN O DE NIXONGO
- NEVADO DE TOLUCA
- ANP Estatales**
- Hermenegildo Galeana
- Nahuatlaca - Matlazinca
- Tenancingo - Malinalco - Zumpahuacán

Proyección: Transverse_Mercator
 Unidad Linear: Metros
 Sistema de Coordenadas Geográficas:
 GCS_WGS_1984
 Datum: WGS_1984_UTM_Zone_14N
 Distancia entre curvas: 500 metros
 Fecha: Febrero de 2015
 Fuente: Archivos vectoriales INEGI 2015
 Marcos Eduardo Martínez Valencia

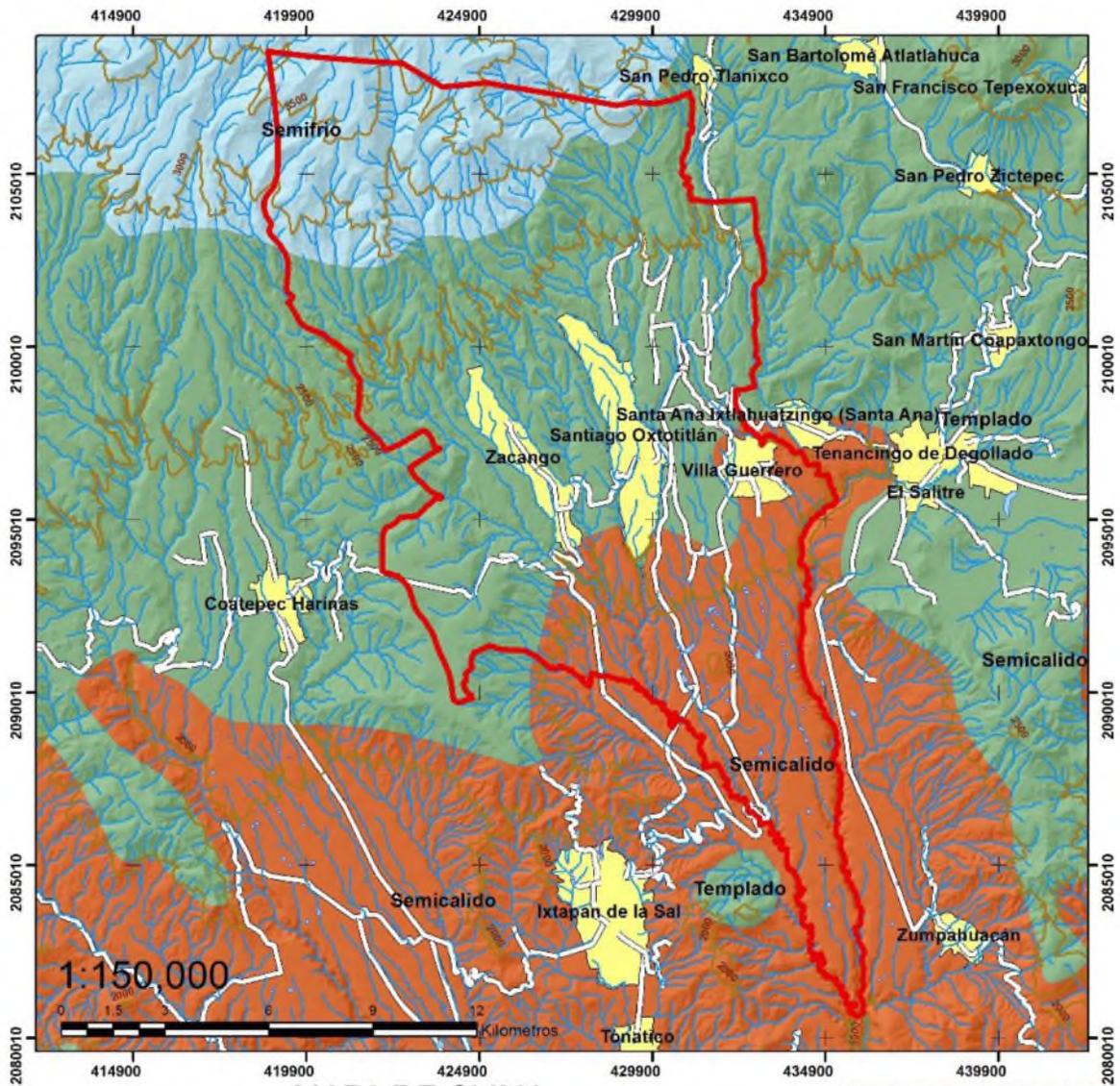


Figura 10 Áreas Naturales Protegidas de Villa Guerrero



4.4 Clima

El municipio de Villa Guerrero tiene tres tipos de climas en su territorio, siendo el predominante el Templado Subhúmedo (C(w2)(w)b(i)g) con un porcentaje de cobertura del 55 % del total de territorio, y se encuentra en la parte media del municipio, seguido de este se encuentra el Semicálido Subhúmedo ((A)C(w2)(w)(i')g) el cual cubre el 27 % del municipio y se encuentra principalmente en la parte sur del municipio, finalmente se tiene el Semifrío Subhúmedo (C(E)(w2)(w)b(i)g) el cual cubre el 18 % del total municipal y cubre la parte norte del municipio (INEGI, 2005). El rango de temperatura es de 6 a 22° C y el de precipitación va de los 1, 000 a 1, 500 mm (INEGI, 2009).



MAPA DE CLIMA

Simbología

- Pavimentada
- Curvas de nivel
- Rios
- Cuerpos de agua
- Localidades urbanas
- Villa Guerrero

Simbología Temática

- Semicálido
- Semifrio
- Templado

Proyección: Transverse_Mercator
 Unidad Linear: Metros
 Sistema de Coordenadas Geográficas: GCS_WGS_1984
 Datum: WGS_1984_UTM_Zone_14N
 Distancia entre curvas: 500 metros

Fecha: Febrero de 2015
 Fuente: Archivos vectoriales INEGI 2015
 Marcos Eduardo Martínez Valencia



Figura 11 Climas de Villa Guerrero



4.5 Edafología

El suelo dominante es el Andosol con un 37.35%, seguido por el Vertisol con un 20.39%, el Cambisol con un 15.44%, el Phaeozem con un 7.97%, el Regosol con un 6.43%, el Luvisol con un 6.3% y por último el Leptosol con un 2.31% (INEGI, 2009).

Andosol: De las palabras japonesas an: oscuro; y do: tierra. Literalmente, tierra negra. Suelos de origen volcánico, constituidos principalmente de ceniza, la cual contiene alto contenido de alófono, que le confiere ligereza y untuosidad al suelo. Son generalmente de colores oscuros y tienen alta capacidad de retención de humedad. En condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva. Tienen también uso pecuario especialmente ovino; el uso más favorable para su conservación es el forestal. Son muy susceptibles a la erosión eólica (INEGI, 2004).

Cambisol: Del latín cambiare: cambiar. Literalmente, suelo que cambia. Estos suelos son jóvenes, poco desarrollados y se pueden encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en los de zonas áridas.

Se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. Son muy abundantes, se destinan a muchos usos y sus rendimientos son variables pues dependen del clima donde se encuentre el suelo. Son de moderada a alta susceptibilidad a la erosión (INEGI, 2004).

Luvisol: Del latín luvi, luo: lavar. Literalmente, suelo con acumulación de arcilla. La vegetación es generalmente de bosque o selva y se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo. Son frecuentemente rojos o amarillentos, aunque también presentan tonos pardos, que no llegan a ser oscuros.

Se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados. En algunos cultivos de café y frutales en zonas tropicales, de aguacate en zonas templadas, donde registran rendimientos muy favorables. Con pastizales



cultivados o inducidos pueden dar buenas utilidades en la ganadería. Los aserraderos más importantes del país se encuentran en zonas de Luvisoles, sin embargo, debe tenerse en cuenta que son suelos con alta susceptibilidad a la erosión. En México 4 de cada 100 hectáreas está ocupada por Luvisoles (INEGI, 2004).

Phaeozem o Feozem: Del griego phaeo: pardo; y del ruso zemljá: tierra. Literalmente, tierra parda. Suelos que se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima, excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas. Es el cuarto tipo de suelo más abundante en el país. Se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes. Los Feozems son de profundidad muy variable.

Cuando son profundos se encuentran generalmente en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal, de granos, legumbres u hortalizas, con rendimientos altos. El uso óptimo de estos suelos depende en muchas ocasiones de otras características del terreno y sobretodo de la disponibilidad de agua para riego (INEGI, 2004).

Regosol: Del griego reghos: manto, cobija o capa de material suelto que cubre a la roca. Suelos ubicados en muy diversos tipos de clima, vegetación y relieve. Tienen poco desarrollo y por ello no presentan capas muy diferenciadas entre sí. En general son claros o pobres en materia orgánica, se parecen bastante a la roca que les da origen.

En México constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%). Muchas veces están asociados con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad (INEGI, 2004).

Vertisol: Del latín vertere, voltear. Literalmente, suelo que se revuelve o que se voltea. Suelos de climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa.



Su color más común es el negro o gris oscuro en la zona centro a oriente de México y de color café rojizo hacia el norte del país. Su uso agrícola es muy extenso, variado y productivo. Son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza. Tienen baja susceptibilidad a la erosión y alto riesgo de salinización (INEGI, 2004).

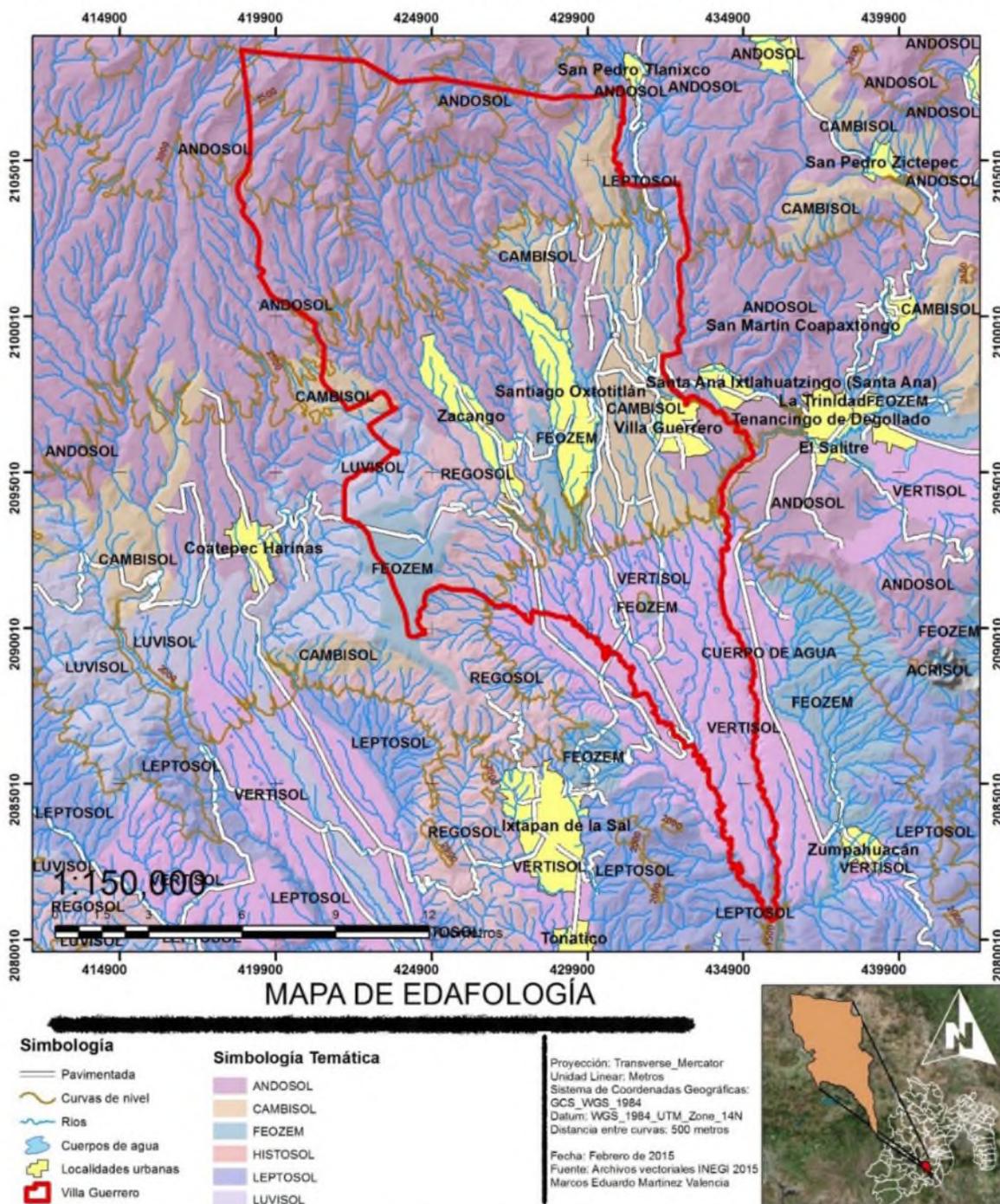


Figura 12 Edafología de Villa Guerrero

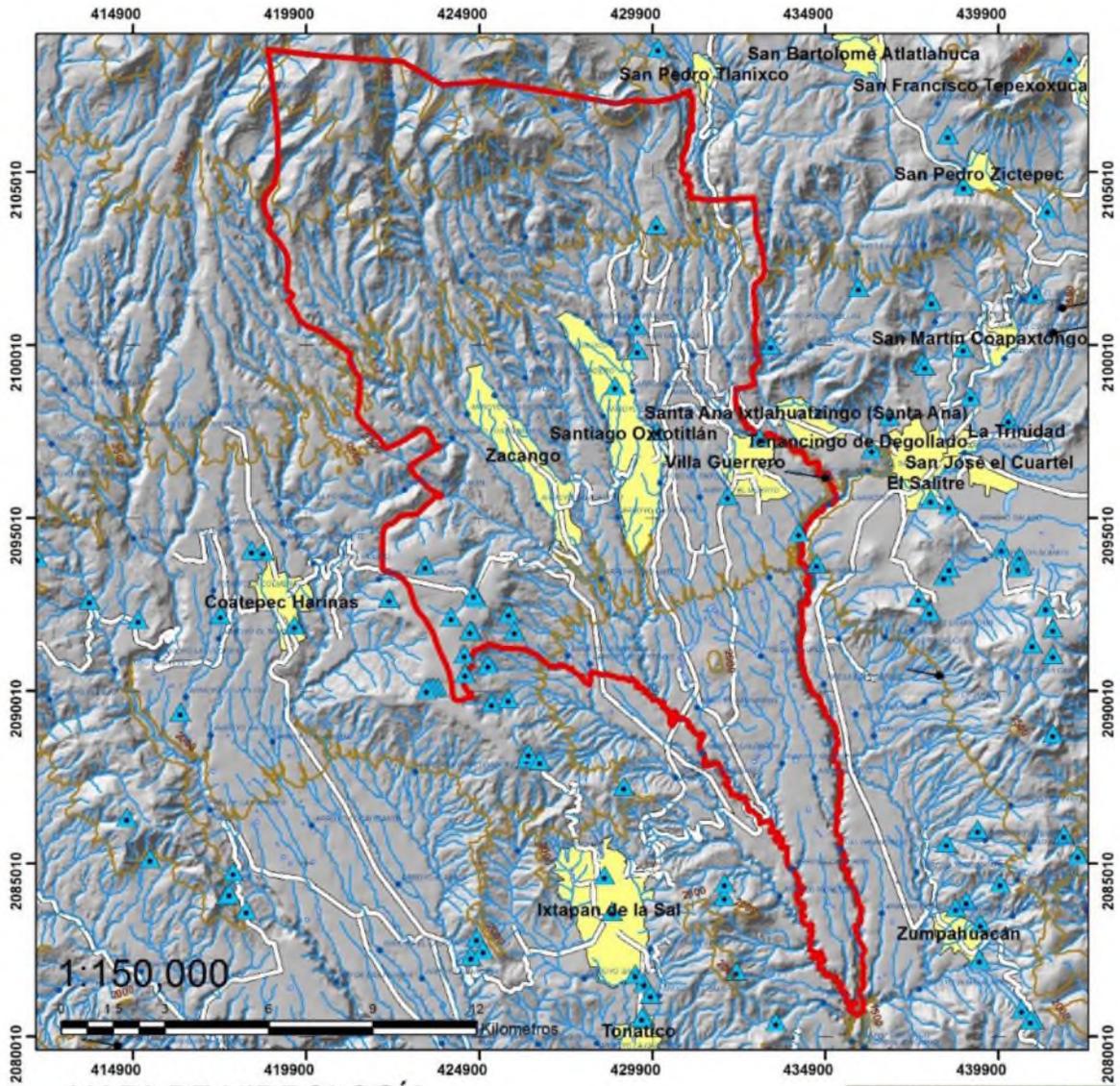


4.6 Hidrografía

Pertenece totalmente a la región hidrológica del Balsas, a la cuenca del Río Grande de Amacuzac y a la subcuenca del Río Alto Amacuzac, Los ríos principales con los que cuenta el municipio son: Calderón, Cuajimalpa, El Santo, Grande, Los Ocotes, Los Reyes, Los Sabinos, Los Tizantes, Nenetzingo, San Gaspar, San Jerónimo, San Mateo, Tenancingo y Tintojo, estos a su vez representan un atractivo visual para las personas debido a las cascadas y saltos que en él se encuentran, entre los principales pueden mencionarse a: El Salto de Candelitas, El Salto del Río Grande de San Gaspar y Salto de la Neblina en la localidad de Zacango (Ayuntamiento de Villa Guerrero, 2015). Cabe destacar que el municipio no cuenta con extensos cuerpos de agua, solo con algunos bordos (INEGI, 2009).



Figura 13 Río en Villa Guerrero, Estado de México



MAPA DE HIDROLOGÍA

Simbología

- Pavimentada
- Curvas de nivel
- Ríos
- Cuerpos de agua
- Localidades urbanas
- Villa Guerrero

Simbología Temática

- Manantiales

Proyección: Transverse_Mercator
Unidad Linear: Metros
Sistema de Coordenadas Geográficas:
GCS_WGS_1984
Datum: WGS_1984_UTM_Zone_14N
Distancia entre curvas: 500 metros
Fecha: Febrero de 2015
Fuente: Archivos vectoriales INEGI 2015
Marcos Eduardo Martínez Valencia



Figura 14 Hidrología de Villa Guerrero



4.7 Uso de suelo y vegetación

El municipio de Villa Guerrero cuenta con un total de 22.9 kilómetros cuadrados, esta superficie a su vez se divide entre las diferentes coberturas, teniendo como resultado que la mayor parte de su territorio lo ocupa la agricultura, la cual abarca el 46.03 %, casi la mitad de su extensión. Y quien le sigue en ocupación es el bosque, que ocupa el 51.30 % del total municipal, la selva con el 2.23 %, seguido por las áreas urbanas con el 0.26%, y por último los pastizales con un 0.18 %.

Los principales grupos florísticos y su porcentaje de ocupación del territorio de Villa Guerrero de acuerdo a los Datos vectoriales de Uso de suelo y vegetación escala 1:250 000 serie V del INEGI, son los presentados en la siguiente tabla.

Tabla 4 grupos florísticos y su porcentaje de ocupación

#	Vegetación	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
1	Agricultura De Riego Anual	2463.92	10.48%
2	Agricultura de Riego Anual y Permanente	4592.36	19.53%
3	Agricultura de Riego Anual y Semipermanente	1407.89	5.99%
4	Agricultura de Temporal Anual	2028.55	8.63%
5	Agricultura de Temporal Anual y Permanente	328.65	1.40%
6	Bosque de Encino-Pino	8.11	0.03%
7	Bosque de Oyamel	800.47	3.40%
8	Bosque de Pino-Encino	1231.63	5.24%
9	Bosque Mesófilo de Montaña	425.75	1.81%
10	Pastizal Inducido	42.66	0.18%
11	Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Pino	5736.22	24.40%
12	Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Pino-Encino	1170.56	4.98%
13	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Encino	1441.65	6.13%
14	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Pino	226.36	0.96%
15	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Pino-Encino	247.58	1.05%
16	Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Baja Caducifolia	524.65	2.23%
17	Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Oyamel	772.23	3.28%
18	Zona Urbana	61.98	0.26%

Fuente: elaboración propia



Estos usos de suelo y tipos de vegetación se describen a continuación puntualmente.

Agricultura De Riego Anual

Estos agrosistemas utilizan agua suplementaria para el desarrollo de los cultivos durante el ciclo agrícola, por lo que su definición se basa principalmente en la manera de cómo se realiza la aplicación del agua, por ejemplo la aspersión, goteo, o cualquier otra técnica, es el caso del agua rodada (distribución del agua a través de surcos o bien tubería a partir de un canal principal y que se distribuye directamente a la planta), por bombeo desde la fuente de suministro (un pozo, por ejemplo) o por gravedad cuando va directamente a un canal principal desde aguas arriba de una presa o un cuerpo de agua natural (INEGI, 2012).

Agricultura de Temporal Anual

Se clasifica como tal al tipo de agricultura de todos aquellos terrenos en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, por lo que su éxito depende de la precipitación y de la capacidad del suelo para retener el agua, su clasificación es independiente del tiempo que dura el cultivo en el suelo, que puede llegar a más de diez años, en el caso de los frutales, o bien son por periodos dentro de un año como los cultivos de verano. Incluye los que reciben agua invernal como el garbanzo.

Estas zonas, para ser clasificadas como de temporal deberán permanecer sembradas al menos un 80% del ciclo agrícola.

Pueden ser áreas de monocultivo o de policultivo y pueden combinarse con pastizales o bien estar mezcladas con zonas de riego, lo que conforma un mosaico complejo, difícil de separar, pero que generalmente presenta dominancia de los cultivos cuyo crecimiento depende del agua de lluvia.



Por su temporalidad, los cultivos se clasifican en:

- **Anuales:** Son aquellos cuyo ciclo vegetativo dura solamente un año, por ejemplo, maíz, trigo, sorgo.
- **Semipermanentes:** Su ciclo vegetativo dura entre dos y diez años, como el caso de la papaya, la piña y la caña de azúcar.
- **Permanentes:** La duración del cultivo es superior a diez años, como el caso del agave, el coco y frutales como el aguacate (INEGI, 2012).

De esta clasificación surgen las variedades restantes que se encuentran en la zona de estudio, estas son:

- Agricultura de Riego Anual y Permanente
- Agricultura de Riego Anual y Semipermanente
- Agricultura de Temporal Anual y Permanente

Bosque de Encino-Pino

Esta comunidad se caracteriza por la dominancia de encinos (*Quercus* spp), sobre los pinos (*Pinus* spp.). Se desarrolla principalmente en áreas de mayor importancia forestal, en los límites altitudinales inferiores de los bosques de pino-encino. Estas comunidades muestran menor porte y altura que aquellos donde domina el pino sobre el encino. Las especies más representativas en estas comunidades son encino laurelillo (*Quercus laurina*), encino (*Q. magnoliifolia*), encino blanco (*Q. candicans*), roble (*Q. crassifolia*), encino quebracho (*Q. rugosa*), encino tesmilillo (*Q. crassipes*), encino cucharo (*Q. urbanii*), charrasquillo (*Q. microphylla*), encino colorado (*Q. castanea*), encino prieto (*Q. laeta*), laurelillo (*Q. mexicana*), *Q. glaucoides*, *Q. scytophylla*, pino chino (*Pinus leiophylla*), pino (*P. hartwegii*), ocote blanco (*P. montezumae*), pino lacio (*P. pseudos-trobus*), pino (*P. rudis*), pino escobetón (*P. michoacana*), pino chino (*P. teocote*), ocote trompillo (*P.*



oocarpa), pino ayacahuite (*P. ayacahuite*), pino (*P. pringlei*), *P. duranguensis*, *P. chihuahuana*, *P. engelmannii*, *P. lawsoni*, y *P. oaxacana* (INEGI, 2012).

Bosque de Oyamel

Este tipo de vegetación se caracteriza por la presencia de árboles principalmente del género *Abies* como: oyamel, pinabete (*Abies religiosa*), abeto (*A. duranguensis*) y *Abies* spp., además de pino u ocote (*Pinus* spp.), encino o roble (*Quercus* spp.) y aïle (*Alnus firmifolia*), que a veces sobrepasan los 30 m de altura y que se desarrollan en clima semifrío y húmedo, entre los 2 000-3 400 m de altitud.

Las masas arboladas pueden estar conformadas por elementos de la misma especie o mixtos (*Abies-Pinus*, por ejemplo), acompañados por diferentes especies de coníferas y latifoliadas; algunos bosques son densos sobre todo en condiciones libres de disturbio, pero debido al fuerte impacto que provocan las actividades (INEGI, 2012).

Bosque de Pino-Encino

Esta comunidad, junto con los bosques de encino-pino se consideran fases de transición en el desarrollo de bosques de pino o encino puros, sin embargo Challenger afirma que muchos de ellos se consideran vegetación clímax de muchas zonas de México.

Este tipo de bosque se distribuye ampliamente en la mayor parte de la superficie forestal de las partes altas de los sistemas montañosos del país, la cual está compartida por las diferentes especies de pino (*Pinus* spp.) y encino (*Quercus* spp.); siendo dominantes los pinos (INEGI, 2012).

Bosque Mesófilo de Montaña

Este tipo de vegetación es fisonómicamente denso, que se distribuye en zonas de clima templado húmedo de altura, ocupa zonas más húmedas que los bosques de pino y de encino; se localiza en las laderas montañosas que se



encuentran protegidas de los fuertes vientos y de excesiva insolación donde se forman las neblinas durante casi todo el año, también crece en barrancas y otros sitios resguardados en condiciones más favorables de humedad.

En el bosque mesófilo es notable la mezcla de elementos arbóreos con alturas de 10 a 25 m o aún mayores, es denso y la mayoría de sus componentes son de hoja perenne, también se encuentran los árboles caducifolios que en alguna época del año tiran sus hojas, es común la presencia de plantas trepadoras y epífitas debido a la alta humedad atmosférica y abundantes lluvias (INEGI, 2012).

Pastizal Inducido

Es aquel que surge cuando es eliminada la vegetación original. Este pastizal puede aparecer como consecuencia de desmonte de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia (INEGI, 2012).

Desarrollo de la vegetación

Al igual que para la agricultura, en las variedades de las cubiertas forestales existen clasificaciones que dependen de otros factores como los estados de sucesión de la vegetación original o bien por los estratos de la misma. Ante esto del INEGI presenta estas categorías y considera las siguientes:

- **Vegetación primaria:** es aquella en la que la vegetación no presenta alteración.
- **Vegetación secundaria:** es el estado sucesional de la vegetación en el que hay indicios de que ha sido eliminada o perturbada a un grado que ha sido modificada sustancialmente.

Fase de la vegetación secundaria: Se identifica la fase sucesional que se presenta cuando la vegetación es removida o perturbada, es de los siguientes tipos:



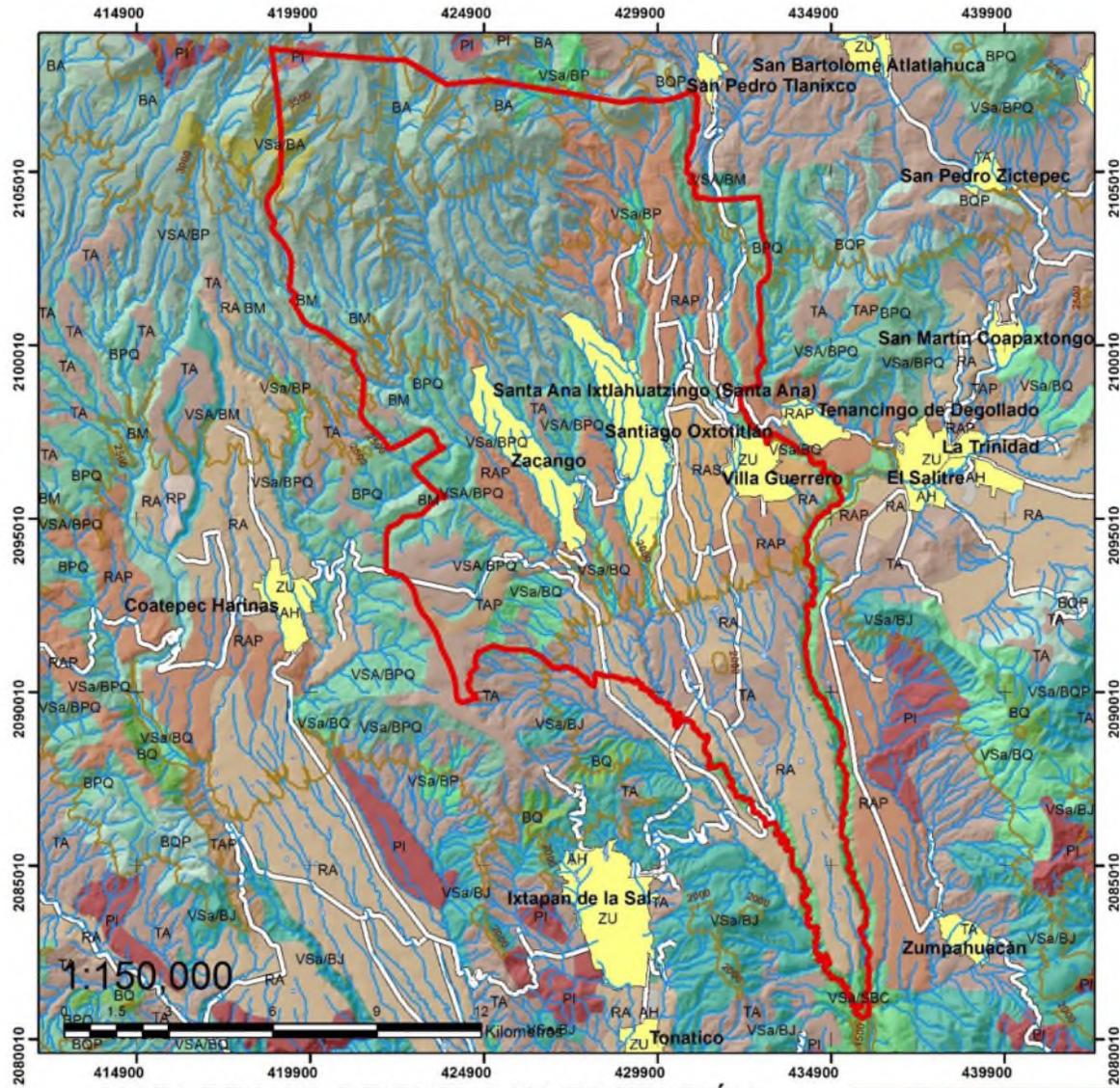
- Arbórea
- Arbustiva
- Herbácea

Estas subdivisiones dan origen a las coberturas que se reportan para el municipio de Villa Guerrero, las cuales son variaciones de las descritas anteriormente y que son.

- Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Pino
- Vegetación Secundaria Arbórea de Bosque de Pino-Encino
- Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Encino
- Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Pino
- Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Pino-Encino
- Vegetación Secundaria Arbustiva de Selva Baja Caducifolia
- Vegetación Secundaria Arbustiva de Bosque de Oyamel

Zona Urbana

Se denomina zona urbana a aquella porción geográfica altamente poblada, característica de las grandes ciudades acompañadas del comercio y la tecnología, el turismo y muchas veces, las desigualdades sociales. Pero el criterio para considerar a una zona, como zona urbana, es variable; aunque podemos hablar de a partir de unos 2500 habitantes de acuerdo al INEGI (Sobre Conceptos, 2015).



MAPA DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

<p>Simbología</p> <ul style="list-style-type: none"> Pavimentada Curvas de nivel Rios Cuerpos de agua Localidades urbanas Villa Guerrero <p>Simbología Temática</p> <ul style="list-style-type: none"> BA, BOSQUE DE OYAMEL BM, BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA BPO, BOSQUE DE PINO-ENCINO BQ, BOSQUE DE ENCINO BQP, BOSQUE DE ENCINO-PINO PI, PASTIZAL INDUCIDO RA, AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL RAP, AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE RAS, AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMIPERMANENTE RP, AGRICULTURA DE RIEGO PERMANENTE TA, AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL TAP, AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE VSA/BA, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE OYAMEL VSA/BP, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO VSA/BPO, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO VSA/BQ, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBÓREA DE BOSQUE DE ENCINO VSA/BA, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE OYAMEL VSA/BP, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO VSA/BPO, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO-ENCINO VSA/BQ, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO VSA/BBC, VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA ZU, ZONA URBANA 	<p>Proyección: Transverse_Mercator Unidad Linear: Metros Sistema de Coordenadas Geográficas: GCS_WGS_1984 Datum: WGS_1984_UTM_Zone_14N Distancia entre curvas: 500 metros</p> <p>Fecha: Febrero de 2015 Fuente: Archivos vectoriales INEGI 2015 Marcos Eduardo Martínez Valencia</p>	
---	---	--

Figura 15 Uso de Suelo y Vegetación de Villa Guerrero



4.8 Análisis Socioeconómico

4.8.4 Población total y densidad poblacional

El municipio cuenta con 44 localidades, de los cuales cinco tienen categoría de pueblos, 36 tienen categoría de ranchería y los últimos tres son zonas urbanas, destacando la cabecera municipal, la cual tiene el mismo nombre que el municipio, Villa Guerrero. De las localidades que cuenta solo 6 tienen una población mayor a 2, 500 habitantes, que es el número mínimo de requerido para ser considerada como una localidad urbana, esto de acuerdo a INEGI, aquellas que cumplen con estas características son:

Tabla 5 Localidades con más de 2, 500 habitantes

LOCALIDAD	POBLACIÓN TOTAL
Villa Guerrero	9,509
Santiago Oxtotitlán	3,853
Zacango	3,586
San Francisco	3,165
San Mateo Coapexco	2,965
Santa María Aranzazú (Santa María)	2,633

Fuente: Censo de población y vivienda 2010, INEGI

De acuerdo al Censo de población y vivienda 2010 del INEGI, el municipio de Villa Guerrero tenía una población de 59, 991 habitantes, de los cuales 29. 293 habitantes es población masculina y 30, 698 habitantes son población femenina. El municipio cuenta con un área total de 22.9 kilómetros cuadrados, el cual representa el 0.94% del total estatal, y que se puede interpretar como que existe una densidad de población de 262 habitantes por kilómetro cuadrado (INEGI, 2015).

Históricamente el municipio ha ido creciendo en población como un fenómeno natural (Tabla 6), sin embargo cabe resaltar que en el periodo de estudio se ha identificado un incremento en la población de otras entidades que se mueven al municipio de Villa Guerrero, debido a la oferta laboral que presenta el lugar (Tabla 7).



Tabla 6 Población total 1990-2010

Año	1990	1995	2000	2005	2010
Población total	39233	43283	50829	52090	59991

Fuente: Series históricas 1990 - 2010, INEGI

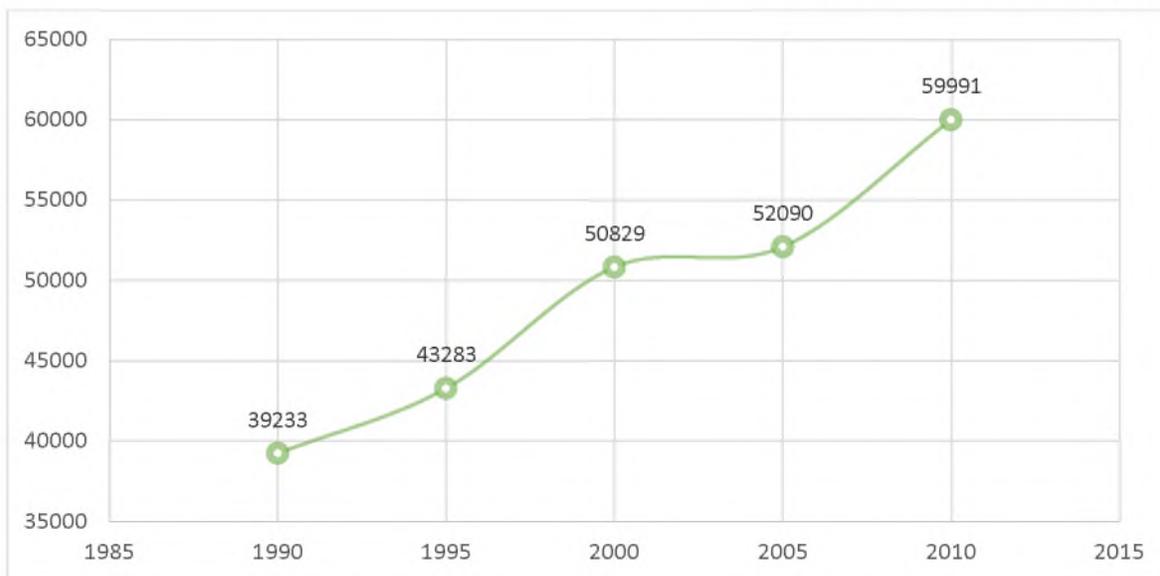


Figura 16 Evolución histórica de la población total 1990-2010

Fuente: Series históricas 1990 - 2010, INEGI

El incremento en la población inmigrante es un indicador de crecimiento en el municipio, ya que este es de mayor atracción para los habitantes de otras entidades, cabe resaltar que para el año 2010 se registró un total de 1,659 inmigrantes en el municipio, de los cuales 803 es población masculina y 856 población femenina, teniendo que las mujeres tienen una pequeña predominancia en los fenómenos migratorios (INEGI, 2015).

Tabla 7 Población inmigrante de Villa Guerrero 1990-2010

Año censal	1990	2000	2010
Villa Guerrero	785	888	1,659

Fuente: Series históricas 1990 - 2010, INEGI

La inmigración de estos nuevos ciudadanos en el municipio viene con una necesidad de crear espacios para que puedan residir y dotarlos de los bienes y servicios necesarios para su óptimo desarrollo, esto conlleva a la expansión de las zonas urbanizadas para satisfacer este fin y por consiguiente a cambios en los usos del suelo.



4.8.5 Población indígena

Respecto a los asuntos indígenas el municipio tiene una baja predominancia de población hablante de alguna lengua indígena, ya que del total de población solo 73 habitantes hablan una lengua nativa que es el nahua, la cual representa apenas el 0.12% del total municipal.

4.8.6 Niveles de marginalidad

Los índices e indicadores nos permiten entender los fenómenos sociales, naturales, económicos o de cualquier tipo, a que hace una comparación de todos los elementos y nos proporciona un parámetro con el cual nosotros podemos interpretar el estado del arte de algún fenómeno. *“Los índices de marginación dan cuenta de las carencias de la población asociadas a la escolaridad, la vivienda, los ingresos y otros aspectos sociodemográficos; reflejan la diversidad de situaciones de la población de las entidades federativas, municipios, localidades y zonas urbanas del territorio nacional en tanto el acceso a estos derechos, servicios e infraestructura básica. El índice de marginación en sus diferentes desagregaciones geográficas, se agrupa en cinco grados: muy bajo, bajo, medio, alto y muy alto”* (CONAPO, 2012).

El cálculo del índice de marginación es realizado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO)⁴, el cual retoma datos proporcionados por el INEGI para calcular este índice, los cuales son los siguientes:

- Población total
- Porcentaje de Población de 15 años o más analfabeta
- Porcentaje de Población de 15 años o más sin primaria completa
- Porcentaje Ocupantes en viviendas sin drenaje ni excusado
- Porcentaje Ocupantes en viviendas sin energía eléctrica
- Porcentaje Ocupantes en viviendas sin agua entubada
- Porcentaje Viviendas con algún nivel de hacinamiento
- Porcentaje Ocupantes en viviendas con piso de tierra
- Porcentaje Población en localidades con menos de 5 000 habitantes
- Porcentaje Población ocupada con ingreso de hasta 2 salarios mínimos

⁴ Para una información más detallada del cálculo del índice de marginalidad consultar en la página web del CONAPO <http://www.conapo.gob.mx/>



Para el caso de Villa Guerrero se obtuvo que el municipio cuenta con un grado de marginación "Medio", ya que si lo comparamos en una escala de 0 a 100 tendría una calificación de "25.9498". Esto posiciona al municipio en el lugar 1324 de 2456 a nivel nacional, donde 1 es el municipio con mayor marginación de todo el país y 2456 el de menor marginación.

4.8.7 Población económicamente activa y ocupada

Para entender mejor estos conceptos retomamos la definición proporcionada por el INEGI quien describe a la Población económicamente activa como "Personas de 12 y más años de edad que tuvieron vínculo con la actividad económica o que lo buscaron en la semana de referencia, por lo que se encontraban ocupadas o desocupadas." De lo cual se puede interpretar que son aquellas personas mayores de 12 años que están en condiciones de laborar, pero que no necesariamente lo estuvieron haciendo cuando se aplicó la encuesta, por lo que dividen a esta población en ocupada y desocupada.

Para el año 2010 la Población económicamente activa fue de 24,860 habitantes, de los cuales 17,396 son población masculina y 7,464 son femenina, mostrando así una predominancia del género masculino en las actividades económicas del municipio con el 70 % de participación y dejando a las mujeres con solo el 30 %.

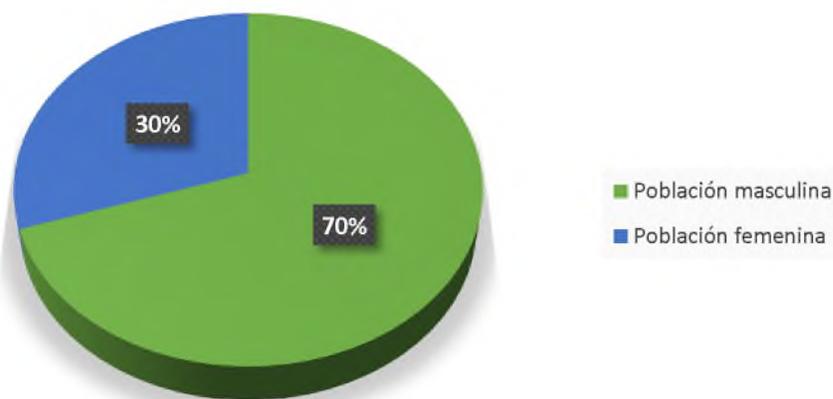


Figura 17 Población económicamente activa por género

Fuente: Censo de Población y vivienda INEGI, 2010



La población ocupada, el INEGI la define como *“Personas de 12 y más años de edad que en la semana de referencia realizaron alguna actividad económica durante al menos una hora. Incluye a los ocupados que tenían trabajo, pero no lo desempeñaron temporalmente por alguna razón, sin que por ello perdieran el vínculo con este; así como a quienes ayudaron en alguna actividad económica sin recibir un sueldo o salario.”* Esta población es la que se encontraba en laborando de alguna forma en el momento que se aplicó la encuesta. La población ocupada reportada para el año 2010 fue de 24,801 habitantes, de los cuales 17,332 habitantes son del género masculino y 7,469 femenino.

El Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) es instrumento encargado de realizar una clasificación de actividades económicas en México, Estados Unidos y Canadá, esto como mutuo acuerdo por el Tratado de Libre comercio de América del Norte (TLCAN). Es este instrumento nos menciona que *“los conceptos de actividad económica y de unidad económica son básicos para comprender mejor al clasificador. Una unidad económica es una entidad productora de bienes o servicios. Y una actividad económica es un conjunto de acciones realizadas por una unidad económica con el propósito de producir o proporcionar bienes y servicios”* (SCIAN, 2013).

Con el uso de este instrumento el INEGI ha clasificado las actividades económicas en función al sector que se destine, siendo estos el Primario⁵, Secundario⁶, Comercio, Servicios⁷ y No especificado. En la siguiente tabla se desglosa la población ocupada por sector de actividad en el total de habitantes para cada una y el porcentaje que representa.

Tabla 8 Población ocupada por sector de actividad económica

Municipio	Población ocupada	Sector de actividad económica					
		Tipo	Primario ³	Secundario ⁴	Comercio	Servicios ⁵	No especificado
Villa Guerrero	24,801	Habitantes	16,527	1,381	3,131	3,696	66
		Porcentaje	66.64 %	5.57%	12.62%	14.90%	0.27%

⁵ Agricultura (incluye floricultura), ganadería, silvicultura, caza y pesca.

⁶ Minería, extracción de petróleo y gas, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción.

⁷ Transporte, gobierno y otros servicios. (INEGI, 2015)



Fuente: Censo de población y vivienda, INEGI 2010

Se observa una alta predominancia del sector primario en las actividades económicas, lo cual es congruente con la participación social y económica al destacarse por la producción de flor, en segundo término se encuentra el sector de servicios, el cual va de la mano a la administración y promoción de la floricultura ya sea por particulares o por parte del gobierno, continuamente se encuentra el comercio, que es una de las partes más importantes pues en ella recae la venta de los productos y finalmente y en menor medida un sector secundario escaso, el cual apenas es básico para abastecer al municipio. En la siguiente grafica se observa la distribución porcentual de las actividades por sector económico del municipio de Villa Guerrero.

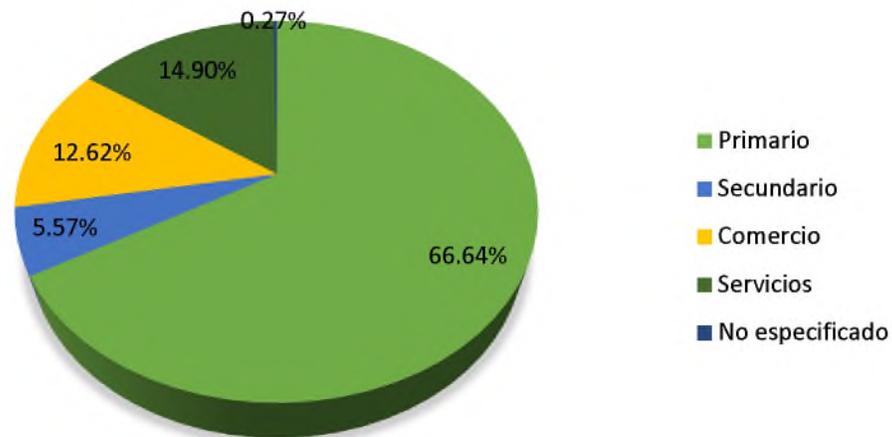


Figura 18 Población ocupada por sector de actividad

Fuente: Censo de Población y vivienda INEGI, 2010

4.8.8 Seguridad social

Respecto a los servicios de salud que cuenta la población, en el municipio de Villa Guerrero se tiene que de los 59,991 habitantes el 68 % es derechohabiente de algún servicio de salud, el 31 % carece del derecho a estos servicios y el 1% restante no se tiene especificado. La población con un servicio de salud se clasifica de acuerdo a la institución que presta estos servicios, siendo la más



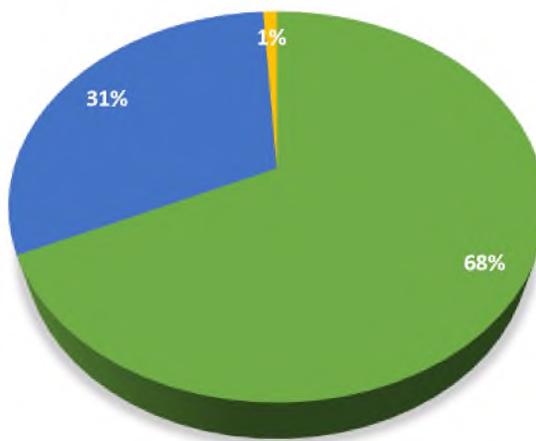
importante el seguro popular ya que atiende a 36,893 habitantes que representa el 61% del total municipal y los otros en menor medida.

Tabla 9 Servicios de salud del municipio de Villa Guerrero

Tipo de servicio	Total habitantes	% municipal
Población derechohabiente por el Seguro Popular	36893	61%
Población derechohabiente del ISSSTE estatal	1389	2%
Población derechohabiente del ISSSTE	356	1%
Población derechohabiente del IMSS	1522	3%
Población derechohabiente a servicios de salud	40975	68%
Población sin derechohabiencia a servicios de salud	18721	31%
No especifico	295	1%

Fuente: Censo de Población y vivienda INEGI, 2010

En el municipio de Villa Guerrero se tiene un porcentaje alto de la población de derechohabientes a servicios de salud, esto se muestra de mejor forma en la Figura 13.



- Población derechohabiente a servicios de salud
- Población sin derechohabiencia a servicios de salud
- No especifico

Figura 19 Condición de derechohabiencia de la población

Fuente: Censo de Población y vivienda INEGI, 2010



4.8.9 Vivienda

De acuerdo al INEGI, el municipio de Villa Guerrero reporto para el año 2010, un total de 16,488 viviendas, de las cuales 16,455 son viviendas particulares y de esas mismas 13,884 son viviendas particulares habitadas. Del total de viviendas que hay en el municipio 13,439 cuentan con el servicio de energía eléctrica representando el 96.8 %, 11,307 disponen de drenaje representando el 81.4 %, 11,077 disponen de agua entubada en la vivienda representando el 79.8 %. Aunque la disponibilidad de servicios es alta, solo 9,452 viviendas, que representan el 68.1 % cuentan con todos los anteriores.

Tabla 10 Disponibilidad de servicios en las viviendas

Viviendas particulares	Habitantes	Porcentaje
Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje	9452	68.1%
Viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje	11307	81.4%
Viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje	2435	17.5%
Viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	2726	19.6%
Viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda	11077	79.8%
Viviendas particulares habitadas que disponen de luz eléctrica	13439	96.8%
Viviendas particulares habitadas que no disponen de luz eléctrica	365	2.6%

Fuente: Censo de Población y vivienda INEGI, 2010



Figura 20 Vivienda típica de Villa Guerrero



4.8.10 Vías de comunicación

El municipio está comunicado por las siguientes vías: la carretera federal número 55 procedente de Palmillas, Toluca y Tenancingo, la cual se interna en el municipio por el lado oriente, pasa por la cabecera a través de un libramiento y continúa hacia Ixtapan de la Sal y Tonalico.

La autopista de cuota Tenango - Ixtapan de la Sal, la cual llega al municipio por el norte y lo atraviesa de norte a sur. Tiene dos entronques principales, el primero en el paraje conocido como Los Reyes para comunicar a la cabecera municipal a la altura del kilómetro 19, y el segundo a la altura del kilómetro 23, para desviar hacia Zacango, Totolmajac, Porfirio Díaz y Coatepec Harinas.

Existen otras vías secundarias pavimentadas. La primera comunica a la cabecera municipal con las localidades de San Miguel, San José, El Moral y San Bartolomé.

Una más comunica a la cabecera con las comunidades de La Joya, San Lucas y San Miguel, además de la carretera estatal que comunica a la cabecera con Santiago Oxtotitlán, San Mateo Coapexco y Zacango (Ayuntamiento de Villa Guerrero, 2015).



Figura 21 Entrada a Villa Guerrero

5 Resultado y discusión

5.1 Coberturas utilizadas

Para el presente trabajo de investigación se establecieron siete cubiertas para clasificar los usos de suelo en las imágenes satelitales de ambos años. Los criterios para la selección de estas coberturas fueron de acuerdo a la diferencia de reflectancia entre los píxeles en la imagen, dando prioridad a la discriminación de la cobertura “Invernaderos” del resto. A estas cubiertas se les asignó un identificador (ID) para diferenciar a cada una, en la siguiente tabla se muestran las coberturas con su respectivo ID.

Tabla 11 Coberturas de suelo consideradas y su ID

ID	Cobertura
1	Bosque
2	Cuerpos de Agua
3	Cultivos a cielo abierto
4	Invernaderos
5	Suelo
6	Zonas Urbanas
7	Bosque poco denso

Fuente: Elaboración propia



5.1.4 **Bosque**

Como se mencionó anteriormente el municipio de Villa Guerrero cuenta con una extensa diversidad de bosques, los cuales incluyen los bosques de Pino, Encino, Oyamel, Mesófilo de montaña, entre otros, sin embargo el presente estudio no tiene como objetivo el análisis de cada una de estas, sino en su conjunto y así poder estimar cual ha sido el impacto de los invernaderos en esta cobertura. De ahí que se hayan agrupado todas estas para crear una sola cobertura.



Figura 22 Cobertura Bosque en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

5.1.5 Cuerpos de Agua

A pesar de que el municipio no cuenta con cuerpos de agua muy extensos, si cuenta con una gran cantidad de pequeños bordos esparcidos a lo largo y ancho del municipio, los cuales tienen una relevancia en el territorio, ya que estos han sido construidos recientemente y de ahí que no deben ser excluidos entre las coberturas de análisis.



Figura 23 Cobertura Cuerpos de agua en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

5.1.6 Cultivos a cielo abierto

Esta cobertura incluye aquellos cultivos anuales y de riego que se encuentran sin ningún tipo de protección superficial, no incluye necesariamente la tecnificación de los mismos. Está cubierta incluye los cultivos de hortalizas, frutales y floricultura, sin embargo resulta complejo el poder separar estas variedades en la imagen satelital, por lo que se decidió agruparlas en una sola.



Figura 24 Cobertura Cultivos a cielo abierto en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

5.1.7 Invernaderos

Para esta cobertura se consideran la superficie del municipio que se estuviera cubierta por invernaderos, sin diferenciar en ningún momento la tecnificación que pudieran tener de los mismos, ni el tipo de cultivo al que se destine.



Figura 25 Cobertura Invernaderos en Villa Guerrero

5.1.8 Suelo

En esta cobertura se incluyen los pastizales y zonas de cultivo que en el momento que se realizó la toma de la imagen satelital no contaban con algún tipo de cubierta vegetal. También incluye zonas de selva baja caducifolia, ya que por la temporalidad de las imágenes, este tipo de vegetación ha perdido su follaje, y se es difícil diferenciar del entorno. Esta cobertura incluye espacios destinados a la agricultura, sin embargo por la diferencia de reflectancia de la



cobertura se optó por realizar una clasificación por separado de la cobertura “Cultivos a cielo abierto”.



Figura 26 Cobertura Suelo en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

5.1.9 Zonas Urbanas

Incluye las principales áreas urbanas dentro del municipio, siendo las más representativas la cabecera municipal y la localidad de Santiago Oxtotitlán, aunque algunas localidades sean importantes productoras florícolas, su estructura



urbana no es muy grande, por lo que su representatividad desde el punto de vista de las imágenes satelitales es relativamente baja.



Figura 27 Cobertura Zona urbana en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

5.1.10 **Bosque poco denso**

Esta cobertura incluye aquellas zonas con cubierta forestal menos densa, principalmente la cobertura florística del Bosque de Pino, también incluye algunas zonas de reforestación y a las orillas de las cubiertas forestales con una



degradación moderada que causa una menor densidad de árboles. Por su diferencia en reflectancia que presenta la cual se encuentra muy marcada en las imágenes satelitales no se incluyó en la cobertura "Bosque" por lo que se asignó a una cobertura a parte.



Figura 28 Cobertura Bosque poco denso en Villa Guerrero

Fuente: Toma propia en recorrido de campo

5.2 Usos de suelo para los años de 1989 y 2014

De acuerdo a los la metodología antes descrita y las coberturas mencionadas se calculó el uso de suelo para el municipio de Villa Guerrero para los años de 1989 y 2014, obteniéndose lo siguiente



5.2.4 Uso de suelo para el año de 1989

Para el año de 1989 en el municipio de Villa Guerrero se observó que la predominancia de su territorio la tenía la cobertura forestal (Bosque y Bosque poco denso), ya que esta ocupaba el 57.06 % del total municipal. Consecutivamente se tenía la cobertura de "Suelo" la cual ocupaba casi una cuarta parte del municipio con el 24.32 % de total de este. Se destinaba un importante porcentaje a los cultivos a cielo abierto ya que el 16.43 % del total municipal se dedicaba a esta actividad. Las zonas urbanas apenas ocupaba el 1.56 % del total municipal, resaltando principalmente la cabecera municipal. Siendo que la instalación de invernaderos se comenzaba a propagarse por el municipio apenas ocupaba el 0.48 % del municipio. Y finalmente los cuerpos de agua que representaban el 0.16 %. Estos datos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 12 Usos de suelo para 1989

ID	Cobertura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque	9814.86	42.82%
2	Cuerpos de Agua	36.09	0.16%
3	Cultivos a cielo abierto	3765.42	16.43%
4	Invernaderos	109.08	0.48%
5	Suelo	5574.51	24.32%
6	Zonas Urbanas	356.85	1.56%
7	Bosque poco denso	3263.49	14.24%

Fuente: elaboración propia

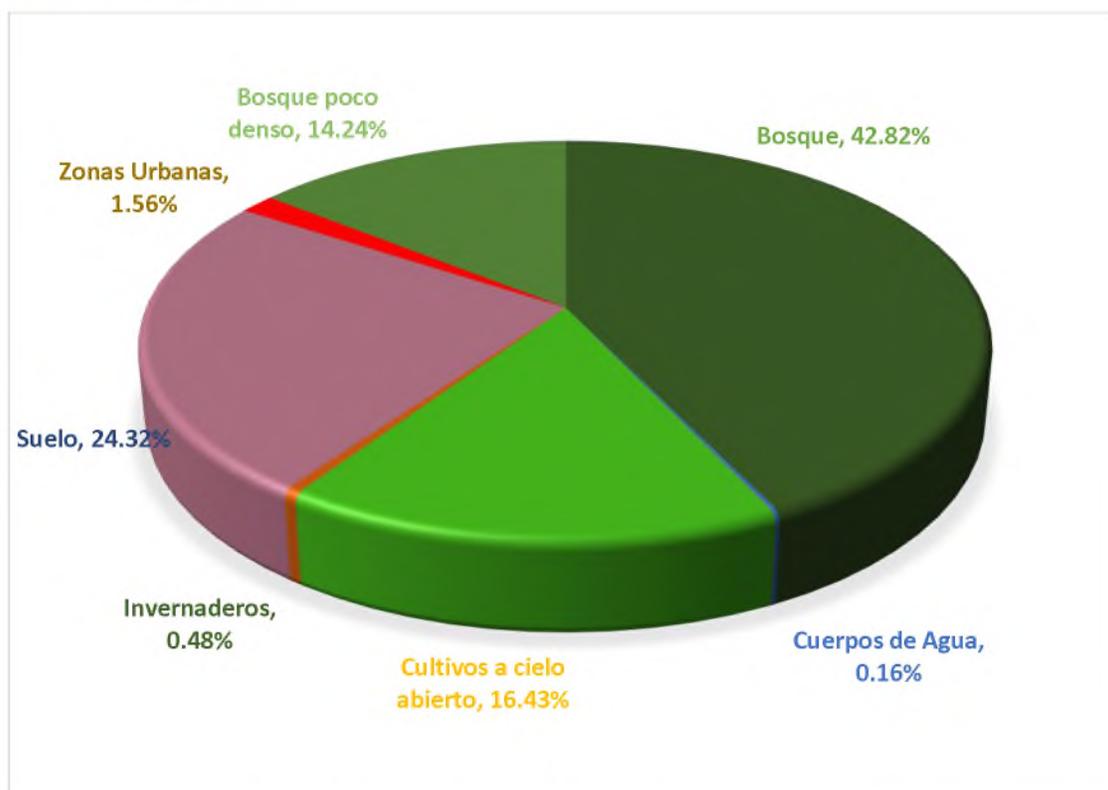
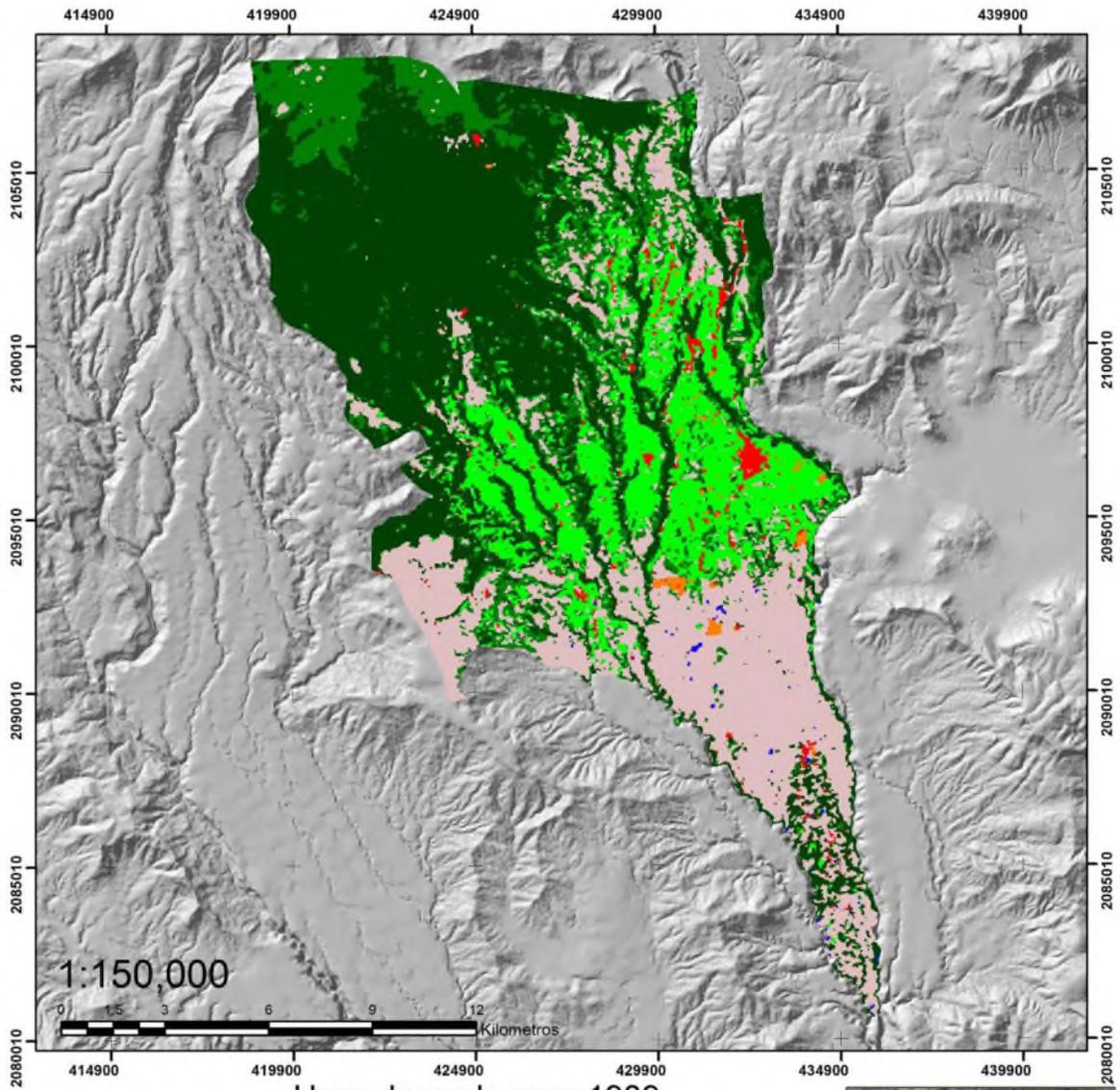


Figura 29 Porcentajes de los usos de suelo para 1989

Fuente: elaboración propia

En la siguiente imagen se muestran los usos de suelo a través de las cubiertas utilizadas para realizar la clasificación, se observa que a predominancia de los cultivos a cielo abierto se encuentra en la parte central del municipio, la principal zona urbana y que sobresale de entre las demás es la cabecera municipal, la parte norte del municipio lo predomina el uso forestal.



Usos de suelo para 1989

Simbología

-  Bosque
-  Cuerpos de Agua
-  Cultivos a cielo abierto
-  Invernaderos
-  Suelo
-  Zonas Urbanas
-  Bosque poco denso

Proyección: Transverse_Mercator
Unidad Linear: Metros
Sistema de Coordenadas Geográficas:
GCS_WGS_1984
Datum: WGS_1984_UTM_Zone_14N
Distancia entre curvas: 500 metros

Fecha: Febrero de 2015
Fuente: Archivos vectoriales INEGI 2015
Marcos Eduardo Martínez Valencia

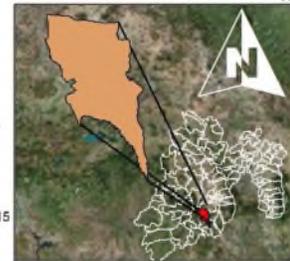


Figura 30 Distribución espacial de los usos de suelo para 1989

Fuente: elaboración propia



5.2.5 Uso de suelo para el año de 2014

Para el caso del año 2014 el municipio de Villa Guerrero mostro que mantiene una alta predominancia de la cubierta forestal (Bosque y Bosque poco denso), ocupando el 55.60 % de su territorio. Seguido por la predominancia de los cultivos a cielo abierto, los cuales representaron el 22.44 % del total municipal. La disponibilidad de suelo es del 10.10 % muy similar al área ocupado por los invernaderos que es de 9.99 %. Las zonas urbanas representan el 1.64 % del total municipal y los cuerpos de agua 0.22%. Estos datos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 13 Usos de suelo para 2014

ID	Cobertura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque	9884.07	43.12%
2	Cuerpos de Agua	51.12	0.22%
3	Cultivos a cielo abierto	5143.95	22.44%
4	Invernaderos	2288.61	9.99%
5	Suelo	2315.52	10.10%
6	Zonas Urbanas	376.92	1.64%
7	Bosque poco denso	2860.11	12.48%

Fuente: elaboración propia

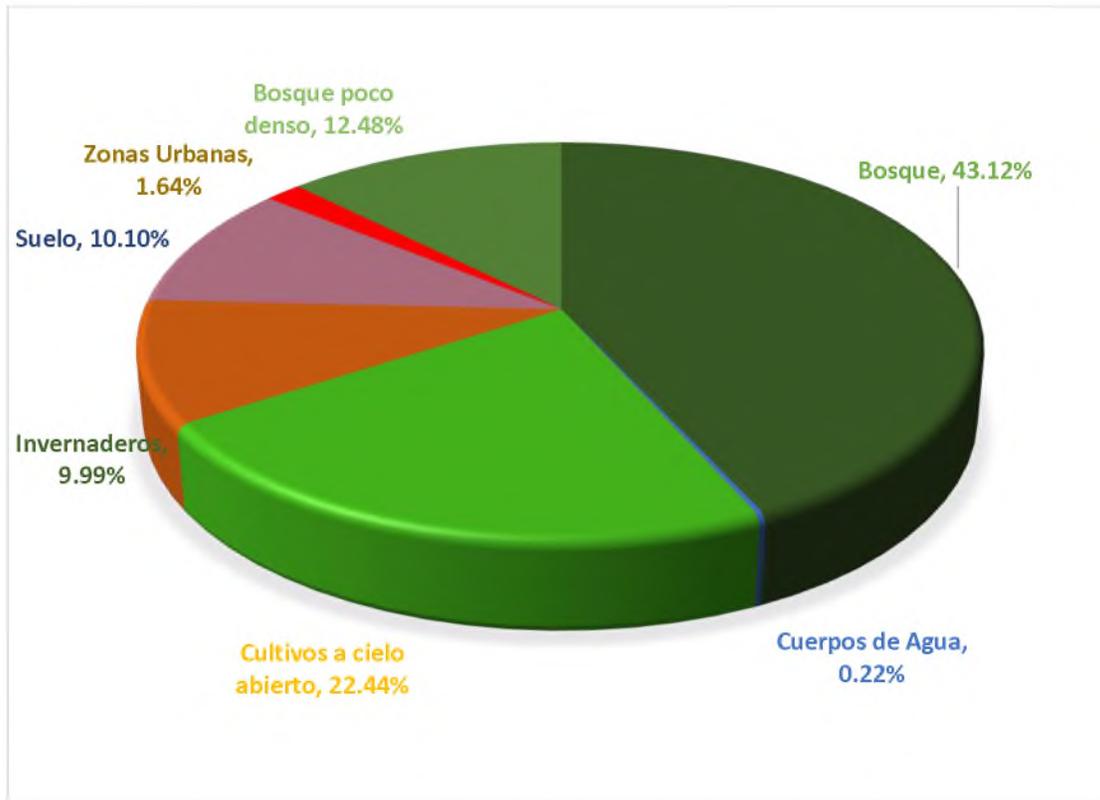
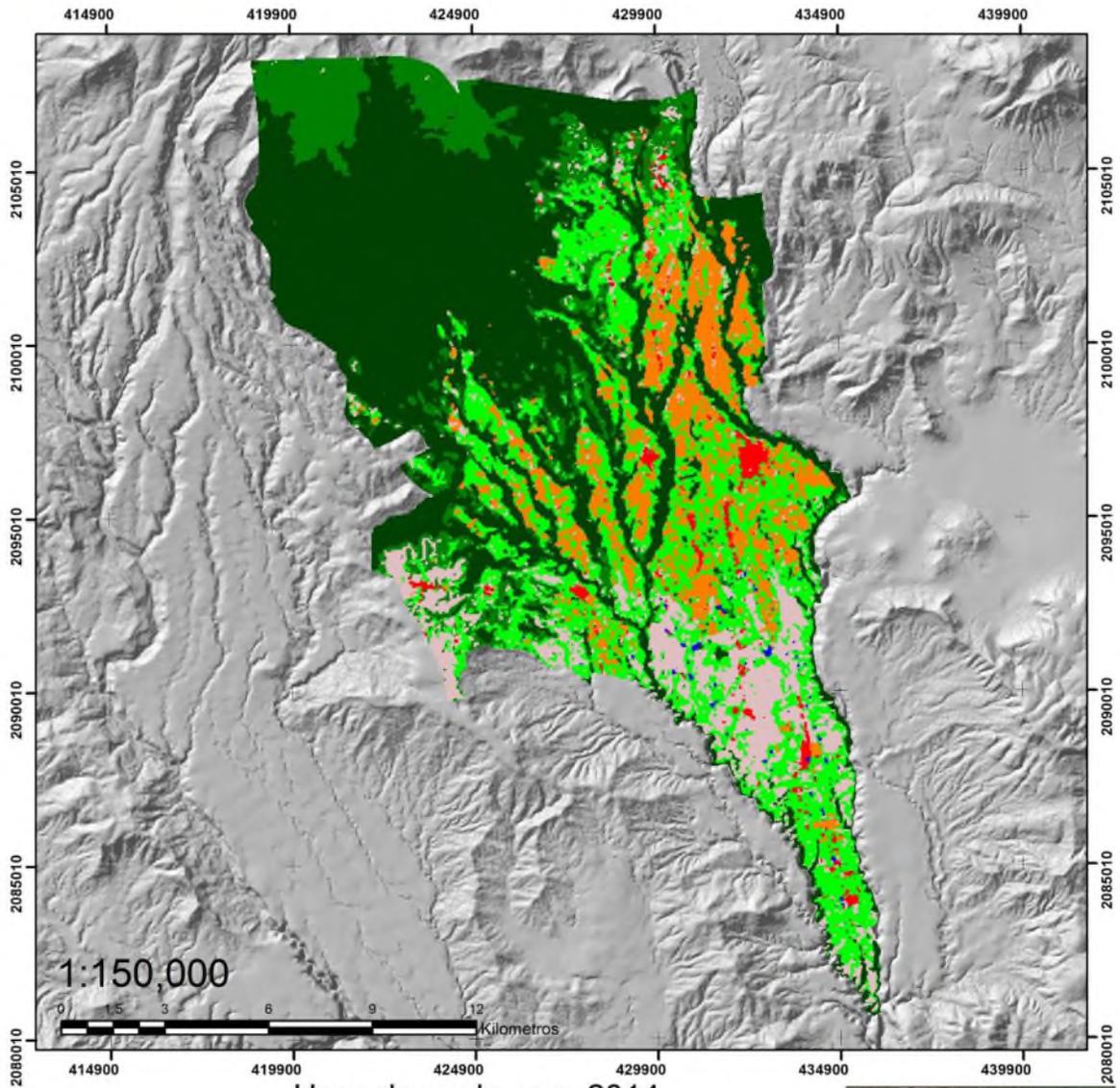


Figura 31 Porcentajes de los usos de suelo para 2014

Fuente: elaboración propia

En la siguiente imagen se observa que la predominancia de los bosques se encuentra en la parte norte, los cultivos a cielo abierto se han expandido por todo el municipio. Los invernaderos muestran una importante representatividad en la parte centro. La cabecera municipal sigue siendo la principal zona urbana.



Usos de suelo para 2014

Simbología

-  Bosque
-  Cuerpos de Agua
-  Cultivos a cielo abierto
-  Invernaderos
-  Suelo
-  Zonas Urbanas
-  Bosque poco denso

Proyección: Transverse_Mercator
Unidad Linear: Metros
Sistema de Coordenadas Geográficas:
GCS_WGS_1984
Datum: WGS_1984_UTM_Zone_14N
Distancia entre curvas: 500 metros
Fecha: Febrero de 2015
Fuente: Archivos vectoriales INEGI 2015
Marcos Eduardo Martínez Valencia



Figura 32 Distribución espacial de los usos de suelo para 2014

Fuente: elaboración propia



5.3 Cambios por cobertura

5.3.4 Bosque

De acuerdo al comportamiento que tuvo la cobertura que se identificó como Bosque en este periodo, se tiene que: Se tuvo una ganancia de 7 ha de la cobertura de Cuerpos de Agua, esto pudo haber sido por el crecimiento de vegetación alrededor del bordo o bien el desecamiento del mismo y los procesos sucesión natural. Se tuvo un desplazamiento de 96 ha hacia la cobertura de los Cultivos a cielo abierto, esto principalmente en las periferias de los bosques. Respecto a la relación con la cobertura de "Invernaderos" se observa un desplazamiento de 87 ha, estos cambios en el uso de suelo se ubican principalmente en los límites de la cobertura "Bosque". Por otro lado se tuvieron ganancias respecto a la cubierta suelo, en la cual se apropió de 143 ha. De igual forma se obtuvieron ganancias de las Zonas urbanas, esto se dio principalmente por árboles junto a las carreteras que minimizan la visualización de las mismas y por las reforestaciones en zonas urbanas, ya sea para ornato o en terrenos baldíos. Finalmente se registraron ganancias sobre los Bosque de poca densidad, lo cual indica zonas de regeneración de bosques y el desarrollo de las plantas producto de reforestaciones. En la siguiente imagen se muestra cuáles fueron las contribuciones al cambio neto en la cobertura bosque en forma gráfica.

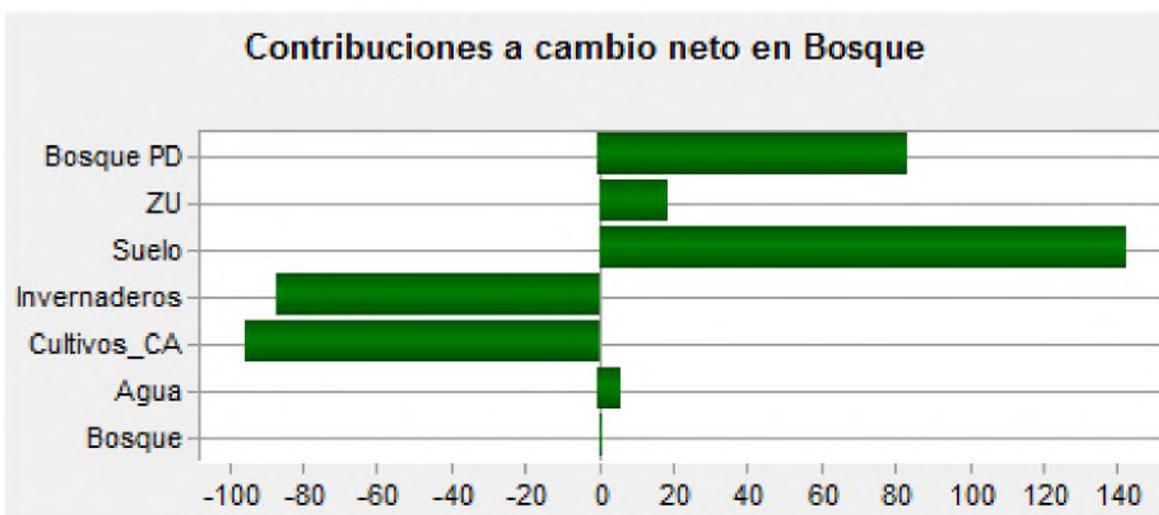


Figura 33 Contribuciones al cambio neto en Bosque

Fuente: elaboración propia



5.3.5 Cuerpos de Agua

En lo correspondiente a la cobertura para los Cuerpos de Agua se obtuvo que: Hubo un desplazamiento de 7 ha por parte de la cobertura bosque, esto como se mencionó anteriormente se pudo deber a múltiples factores como el crecimiento de vegetación a las orillas de los bordos. Se tuvo un cambio de 7 ha a los Cultivos a cielo abierto, esta se dio principalmente por deslices en la clasificación debido a la cercanía de ambas coberturas. Se tuvo una ganancia de 28 ha de la cobertura Suelo, por la creación de nuevos bordos para retener el agua en el municipio. Finalmente de tuvo una ganancia de una hectárea de la zona urbana producto principalmente de una variante en la clasificación. El cambio neto para esta clasificación fue una ganancia de 15.03 ha. En la siguiente imagen se muestran las contribuciones al cambio neto en la cobertura Cuerpos de agua.

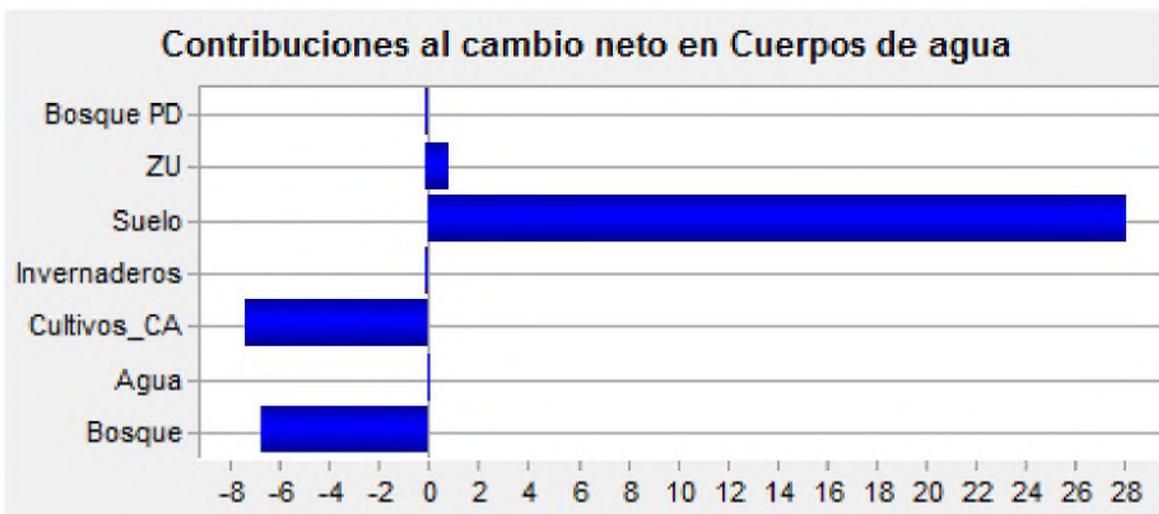


Figura 34 Contribuciones al cambio neto en Cuerpos de agua

Fuente: elaboración propia



5.3.6 Cultivos a cielo abierto

Para el caso de la cobertura de Cultivos a cielo abierto se obtuvo que hubo una ganancia de 96 ha procedentes de la cobertura Bosque, esta principalmente de las zonas de transición entre estas coberturas. Se obtuvo una ganancia de 7 ha de la cobertura de Cuerpos de agua, esta producto de deslices en la clasificación debido a la cercanía de ambas coberturas. Un cambio importante para esta clasificación se tuvo respecto a la cobertura de Invernaderos, ya que deplaso 1325 ha. Por otro lado se obtuvo una ganancia respecto a la cobertura suelo, de la cual de añadieron 1969 ha. Respecto a las Zonas urbanas se ganaron 7 ha, estas producto de las asociaciones entre ambas coberturas. Finalmente se obtuvieron 625 ha procedentes de los Bosque de poca densidad, por la expansión de los cultivos a cielo abierto hacia las periferias. El cambio neto para esta cobertura fue de 1378.53 ha, los cuales representan un incremento en la actividad productiva del municipio. En la siguiente imagen se ilustran las contribuciones al cambio neto en la cobertura Cultivos a cielo abierto.

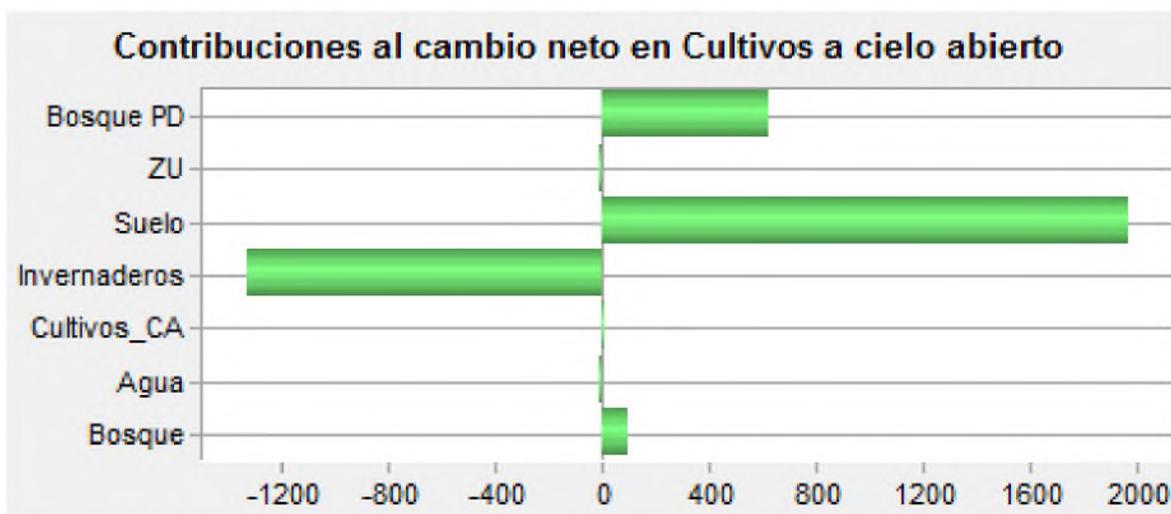


Figura 35 Contribuciones al cambio neto en la cobertura Cultivos a cielo abierto

Fuente: elaboración propia



5.3.7 Invernadero

El caso de la cobertura invernaderos, que es el objeto principal de la presente investigación, se identificó que obtuvo ganancia de casi todas las coberturas, siendo la única clasificación que mostro esta cualidad, los cambios obtenidos son los siguientes:

- Hubo una ganancia de 87 ha por parte de la cubierta Bosque, las cuales representan la expansión hacia estas zonas, principalmente en las periferias de las localidades cercanas a las masas forestas y zonas agrícolas.
- Respecto a la cobertura de Cuerpos de agua no hubo ninguna influencia.
- La principal cobertura a la que desplazo los invernaderos fue a los Cultivos a cielo abierto, ya que de esta cobertura se obtuvieron 1325 ha, la mayor ganancia en comparación con las demás coberturas.
- De la cobertura Suelo también se obtuvo una cantidad importante, ya que de apropió de 502 ha para la instalación de invernaderos.
- Las Zonas urbanas contribuyeron a la instalación de invernaderos, principalmente en las viviendas próximas a estas, la ganancia que tuvo la cobertura de Invernaderos fue de 59 ha.
- Finalmente respecto a la cobertura de Bosque de poca densidad se desplazaron 207 ha para la instalación de invernaderos, esto principalmente en las zonas aledañas a los centros poblacionales.
- Los cambios netos para la cobertura de Invernaderos fueron de una ganancia de 2179.53 ha, la más alta de todas las coberturas. En la siguiente imagen se muestran las contribuciones al cambio neto en la cobertura Invernaderos.

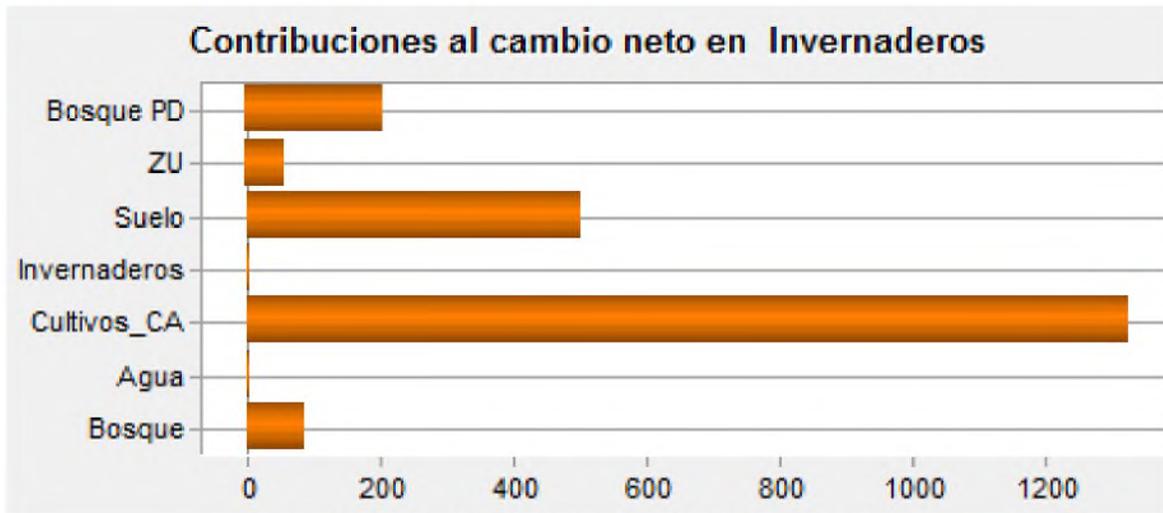
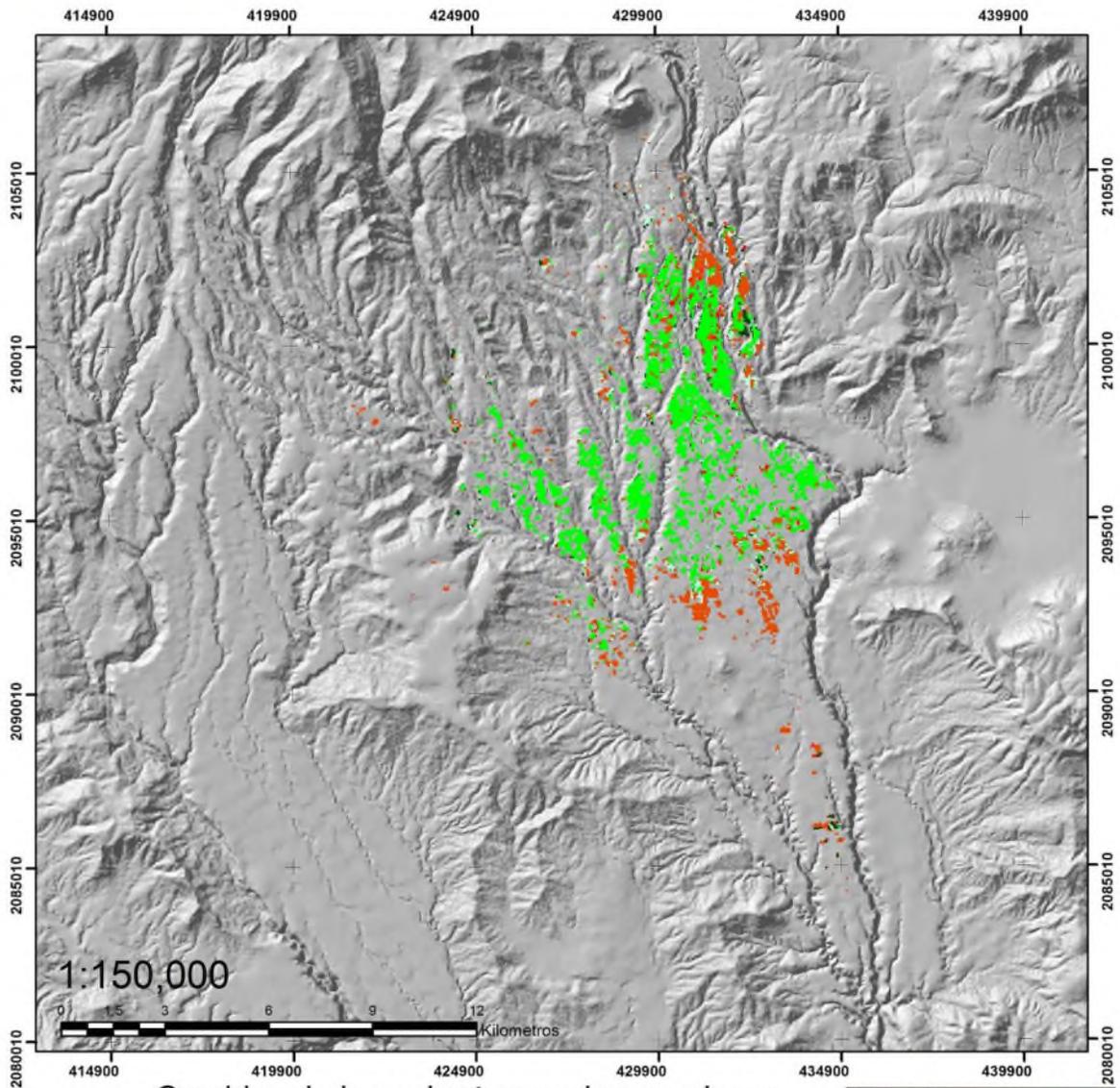


Figura 36 Contribuciones al cambio neto en Invernaderos.

Fuente: elaboración propia

La distribución espacial de estos cambios los podemos identificar en la siguiente imagen, es muy notable la zona de cambios, la cual se ubica en la parte centro del municipio y el cambio que sobresale es el de Cultivos a cielo abierto a Invernaderos.



Cambios de las coberturas a invernaderos

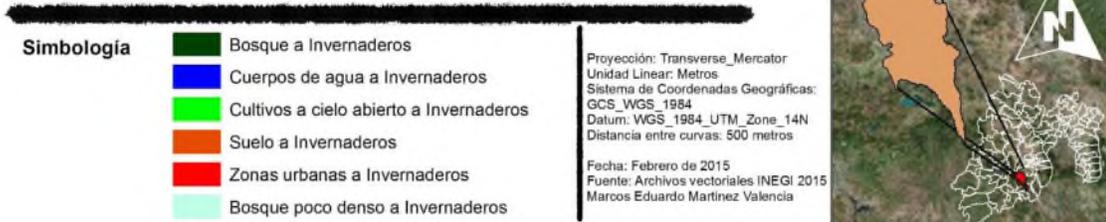


Figura 37 Distribución espacial de los Cambios de las coberturas a invernaderos

Fuente: elaboración propia



5.3.8 Suelo

El caso de la cobertura también es muy peculiar, ya que muestra una tendencia contraria a la descrita anteriormente para los invernaderos, de modo que esta solo registra desplazamientos en su ocupación del territorio, siendo estas las siguientes.

En primer término hubo un desplazamiento respecto a la cobertura Bosque de 143 ha, esto bien podría ser una ventaja ya que aporta a la restauración forestal. En cuanto a la cobertura de Cuerpos de Agua fueron desplazadas 28 ha, para la construcción de nuevos bordos. La cobertura de los Cultivos a cielo abierto es quien mayormente ha desplazado a esta cobertura, con un total de 1969 ha. Otra contribución importante en el desplazamiento de esta cobertura ha sido la construcción de Invernaderos, ya que estos se han apropiado de 502 ha. Para el caso de las Zonas Urbanas hubo una expansión de estas en 110 ha que pertenecían a la cobertura Suelo. Finalmente la cobertura Suelo fue desplazada por el Bosque de poca densidad con 507 ha. Los cambios netos no favorecen a esta cubierta, ya hubo un desplazamiento de 3258.99 ha. En la siguiente imagen se muestran las contribuciones al cambio neto en la cobertura Suelo.

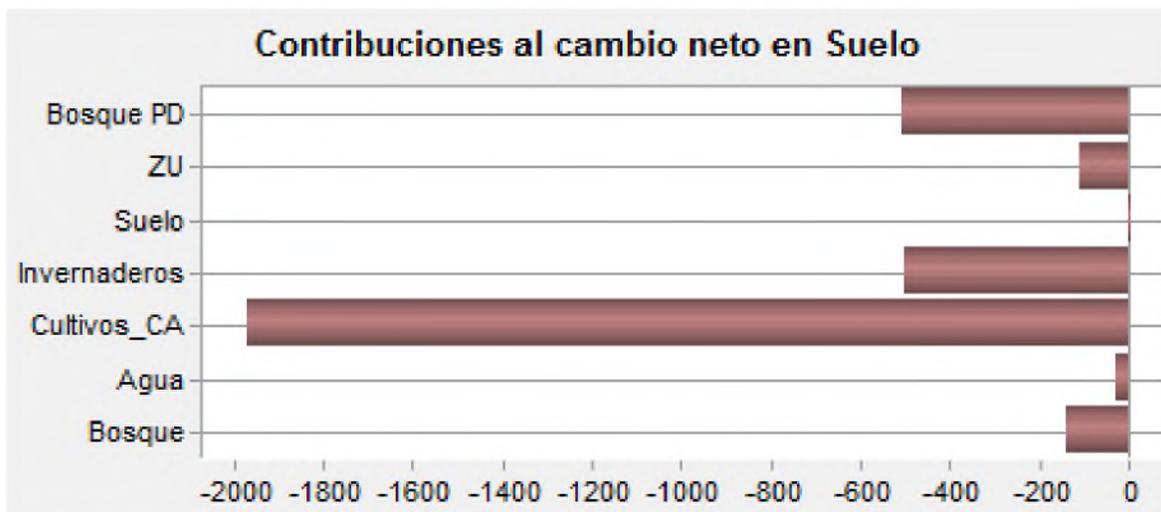


Figura 38 Contribuciones al cambio neto en Suelo

Fuente: elaboración propia



5.3.9 Zonas Urbanas

La cobertura de Zonas urbanas ha mostrado cambios favorable a través del tiempo y un inminente crecimiento, sin embargo también se adapta a las necesidades sociales, económicas y ambientales que requiera su población. Ante esto se obtuvo que al compararlas con las coberturas se registró un desplazamiento de 19 ha frente a la cobertura de Bosque, esto debido a la readaptación de espacios públicos, el crecimiento de árboles en los hogares y la sucesión natural en algunos terrenos baldíos por mencionar algunas posibles causas. Se registró la pérdida de una hectárea frente a la cobertura de Cuerpos de agua, sin embargo esta se debe a confusiones de los pixeles al realizar la clasificación. Se tuvo un cambio de 7 ha frente a los Cultivos a cielo abierto. Se perdieron 59 ha por la conversión de espacios urbanos a invernaderos, esto a la practicidad de poder atenderlos si se encuentran junto a la vivienda. Una de las más importantes ganancias se tuvo frente a la cobertura de Suelo, la cual aportó 110 ha. Finalmente se tuvo un desplazamiento de 5 ha frente al Bosque de poca densidad. Los cambios netos de las Zonas urbanas son de una ganancia de 20.07 ha, la cual sustenta la primera afirmación del crecimiento inminente de estos espacios. En la siguiente imagen se muestra las contribuciones de las coberturas al cambio neto de las Zonas Urbanas.

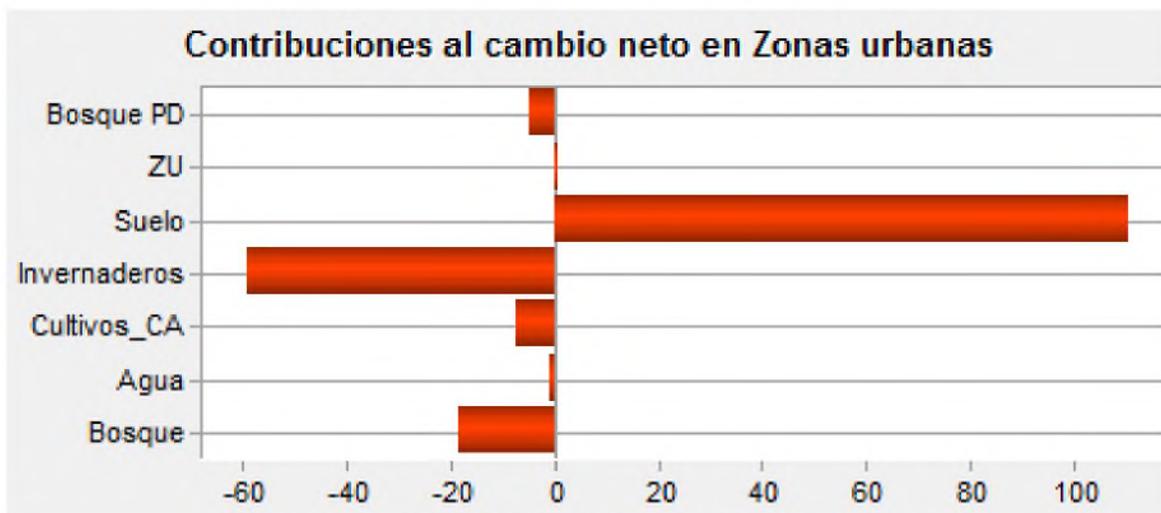


Figura 39 Contribuciones al cambio neto en Zonas Urbanas



Fuente: elaboración propia

5.3.10 Bosque poco denso

Para el caso del Bosque poco denso se registró un desplazamiento por parte de cobertura Bosque, este indicador es favorable ya que se relaciona con la restauración forestal de 84 ha. No hubo ninguna interacción con la cobertura de Cuerpos de agua. Un cambio significativo se tubo respecto a la cobertura de Cultivos a cielo abierto, la cual desplazo al Bosque poco denso en 625 ha. De similar forma, por la expansión de las actividades productivas, en este caso Invernaderos se desplazaron 207 ha. A pesar de las tendencias la cobertura de Bosque poco denso tuvo ganancias frente a la cobertura de Suelo por 507 ha. Finalmente hubo una ganancia respecto a la Zonas urbanas, esto debido a las reforestaciones para mejorar los espacios públicos, la creación de parque y jardines, entre otros. Los cambios netos para la cubierta de Bosque poco denso representan un desplazamiento de 403.38 ha. En la siguiente imagen se muestran las contribuciones al cambio neto de las coberturas para el Bosque poco denso.

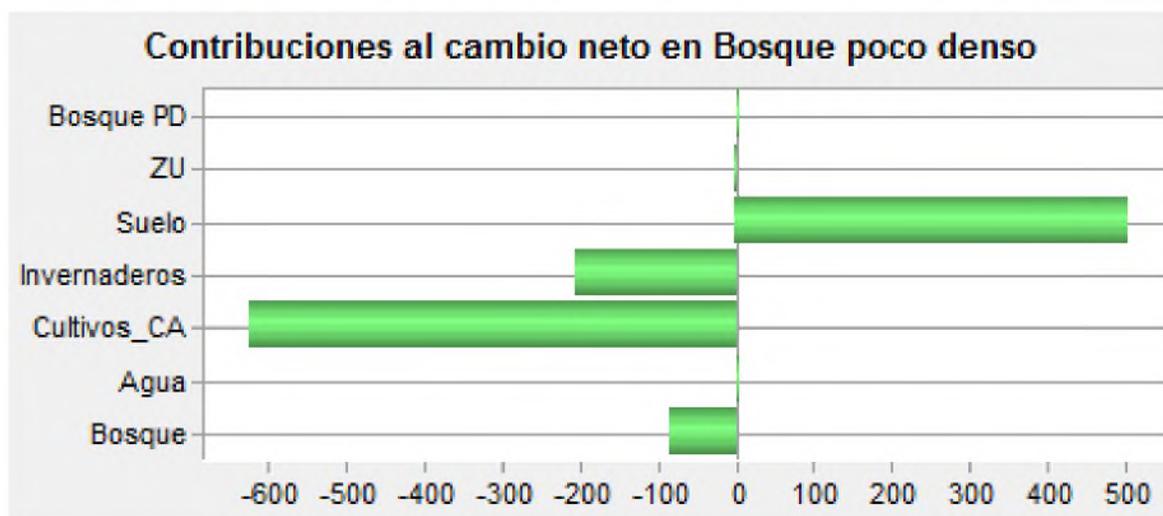


Figura 40 Contribuciones al cambio neto de Bosque poco denso

Fuente: elaboración propia



5.4 Cambios en el uso de suelo de 1989 al 2014

Los cambios en los usos de suelo de cada una de las coberturas de estudio para el periodo que comprende de 1989 al año 2014 en el municipio de Villa Guerrero se presentan en la siguiente tabla 14.

Tabla 14 Comparación de los usos de suelo de 1989 y 2014

ID	Cobertura	1989 (ha)	2014 (ha)	Diferencia (ha)	1989 (%)	2014 (%)	Diferencia (%)
1	Bosque	9814.86	9884.07	69.21	42.82%	43.12%	0.30%
2	Cuerpos de Agua	36.09	51.12	15.03	0.16%	0.22%	0.07%
3	Cultivos a cielo abierto	3765.42	5143.95	1378.53	16.43%	22.44%	6.01%
4	Invernaderos	109.08	2288.61	2179.53	0.48%	9.99%	9.51%
5	Suelo	5574.51	2315.52	-3258.99	24.32%	10.10%	-14.22%
6	Zonas Urbanas	356.85	376.92	20.07	1.56%	1.64%	0.09%
7	Bosque poco denso	3263.49	2860.11	-403.38	14.24%	12.48%	-1.76%

Fuente: Elaboración propia

Se observa que en general las coberturas tuvieron ganancias, a excepción de dos de ellas. La cobertura de Bosque en términos netos tuvo una ganancia de 69.21 hectáreas, la cobertura de Cuerpos de Agua ganó 15.03 hectáreas, los Cultivos a cielo abierto incrementaron en 1378.53 hectáreas, los Invernaderos tuvieron una ganancia de 2179.53 hectáreas, la cobertura Suelo es quien registró un desplazamiento por 3258.99 hectáreas, las Zonas urbanas crecieron en 20.07 hectáreas y el Bosque poco denso disminuyó en 403.38 hectáreas. Los cambios netos en el periodo de estudio se muestran en la siguiente imagen.

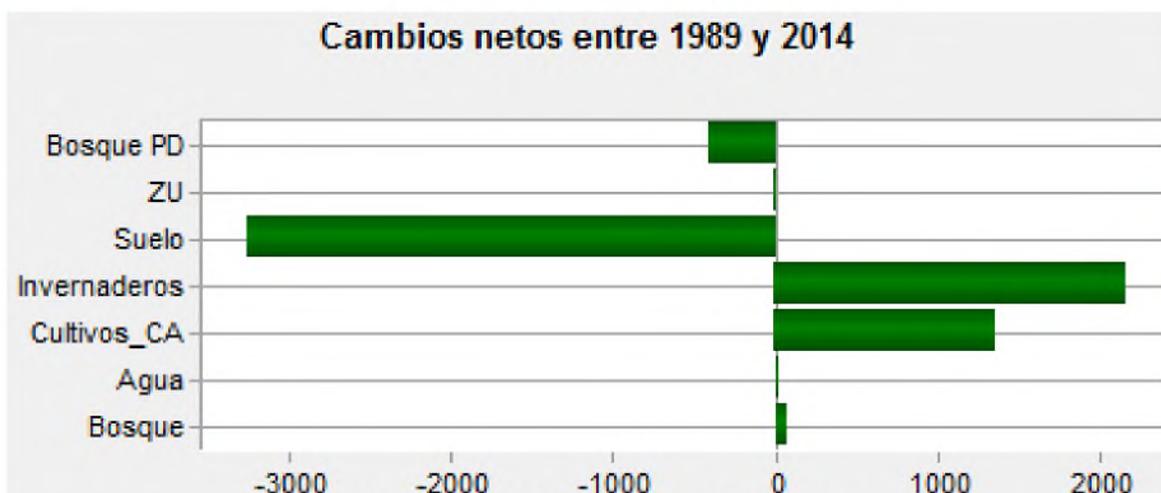


Figura 41 Cambios netos entre 1989 y 2014

Fuente: Elaboración propia

5.4.4 Tasa de Cambio de uso de suelo

Para cada una de las cubiertas se ha calculado la tasa de cambio de uso de suelo para en un periodo de 25 años, que es la diferencia entre la toma de cada una de las imágenes. Esta tasa se expresa en porcentaje y es el cambio en cada cobertura para cada año respecto a su cobertura inicial. Si la tasa es negativa significa que la cobertura disminuyó su ocupación y es positiva significa que ha aumentado.

Tabla 15 Tasa de Cambio de uso de suelo

ID	Cobertura	Tasa de Cambio de uso de suelo
1	Bosque	0.03%
2	Cuerpos de Agua	1.40%
3	Cultivos a cielo abierto	1.26%
4	Invernaderos	12.95%
5	Suelo	-3.45%
6	Zonas Urbanas	0.22%
7	Bosque poco denso	-0.53%

De lo anterior se tiene que la cobertura de Bosque tuvo un cambio del 0.03 % anual incrementando de forma positiva, la cobertura Cuerpos de Agua cambio a una tasa positiva de 1.4 % anual. La cubierta de Cultivos a cielo abierto tuvo un cambio positivo a una tasa de 1.26 % anual. El cambio más significativo ha sido el de la cobertura Invernaderos, ya que este ha incrementado su



ocupación a una tasa de 12.95 % anual, siendo así la cobertura con el incremento más significativo del municipio. La cobertura Suelo disminuyó su ocupación del territorio a una tasa negativa del -3.45 % anual, siendo esta la tasa negativa más alta. Las coberturas de Zonas urbanas cambiaron de forma positiva a una tasa de 0.22 % anual y finalmente el Bosque poco denso tuvo reducción de su cobertura a una tasa negativa del -0.53 % anual.

5.5 Predicción para el año 2025

Con los datos obtenidos anteriormente de los usos de suelo, el módulo *Land Change Modeler for Ecological Sustainability* y la metodología planteada, se realizó una predicción para el año 2025 con el fin de predecir un escenario tendencial de seguir con las condiciones actuales de crecimiento, específicamente para la cobertura de "Invernaderos". Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

- Se observa que se mantiene la predominancia forestal del municipio (Bosque y Bosque poco denso), ya que el 51.19 % del total de su territorio se encuentra cubierto.
- Los Cuerpos de agua siguen incrementándose, sin embargo solo representan el 0.33 % del total municipal.
- Los espacios de cultivo sin protección superficial (Cultivos a cielo abierto y Suelo) son desplazados por la cobertura de "invernaderos" disminuyendo su ocupación del territorio, sin embargo ocupan un importante porcentaje municipal con el 27.69 % de la ocupación del mismo.



- Los Invernaderos se muestran favorables al crecimiento, ya que crece la superficie de ocupación de estos y abarca el 19.15 % del total municipal.
- Finalmente a pesar del crecimiento de las Zonas urbanas esta se mantiene en un bajo porcentaje de ocupación con el 1.64 % del total municipal.

Tabla 16 Usos de suelo para 2025

ID	Cobertura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
1	Bosque	6665.58	29.08%
2	Cuerpos de Agua	75.96	0.33%
3	Cultivos a cielo abierto	4039.02	17.62%
4	Invernaderos	4389.66	19.15%
5	Suelo	2308.14	10.07%
6	Zonas Urbanas	375.3	1.64%
7	Bosque poco denso	5066.64	22.11%

Fuente: elaboración propia

En la siguiente grafica se muestra la distribución porcentual de las distintas coberturas a nivel municipal, destaca la presencia de los invernaderos ocupando casi una quinta parte del municipio.

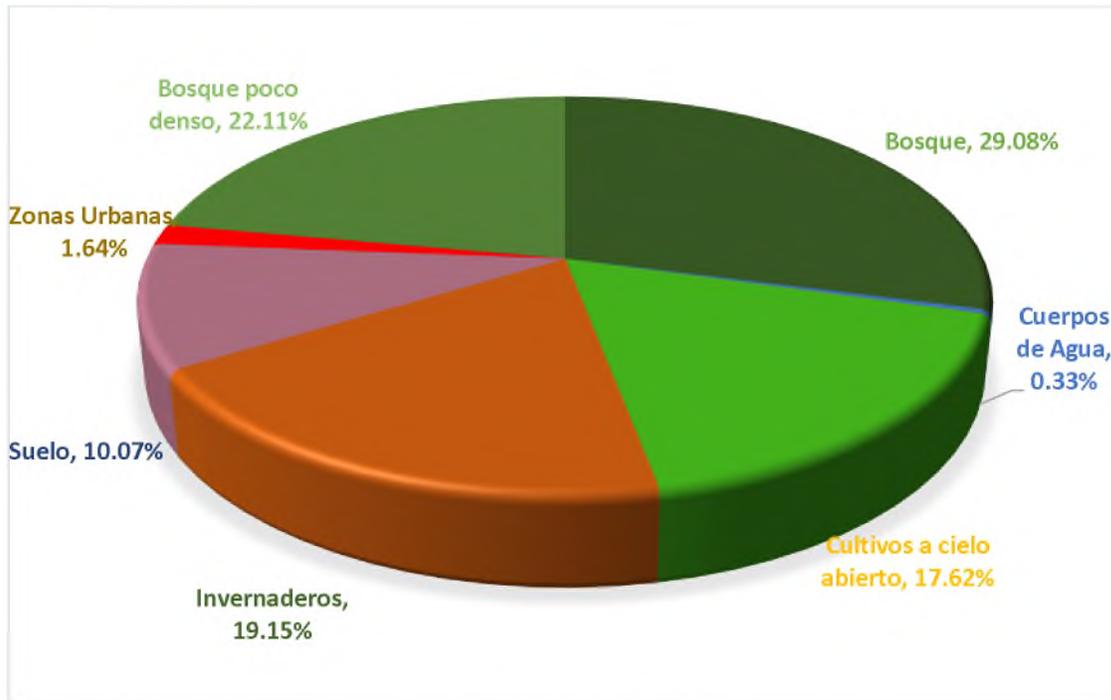
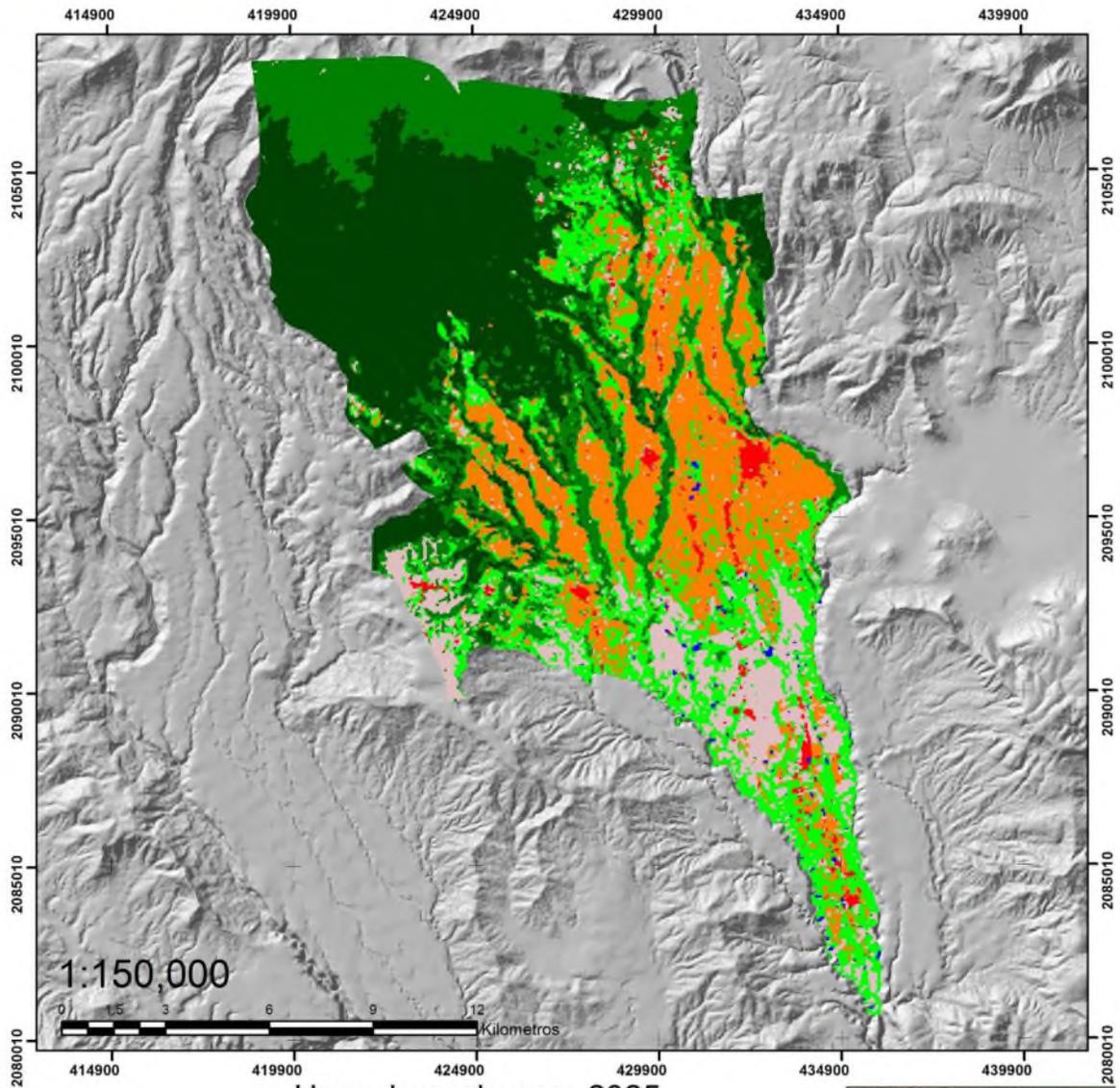


Figura 42 Porcentajes de los usos de suelo para el año 2025

Fuente: elaboración propia

En la siguiente imagen se observa la distribución espacial de las coberturas dentro del municipio de Villa Guerrero. Resalta la presencia de los Invernaderos, los cuales cubren una quinta parte del municipio. Los Cultivos a cielo abierto se expanden por todo el municipio desde el norte hasta el sur. La parte noroeste del municipio mantiene su uso forestal. Las zonas urbanas no muestran cambios evidentes, sin embargo su crecimiento es constante. Finalmente los espacios ocupados por la cobertura de suelo se encuentran bajo la parte centro del municipio.



Usos de suelo para 2025

Simbología

- Bosque
- Cuerpos de Agua
- Cultivos a cielo abierto
- Invernaderos
- Suelo
- Zonas Urbanas
- Bosque poco denso

Proyección: Transverse_Mercator
Unidad Linear: Metros
Sistema de Coordenadas Geográficas:
GCS_WGS_1984
Datum: WGS_1984_UTM_Zone_14N
Distancia entre curvas: 500 metros
Fecha: Febrero de 2015
Fuente: Archivos vectoriales INEGI 2015
Marcos Eduardo Martínez Valencia

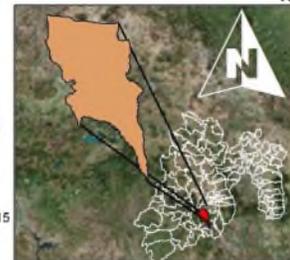


Figura 43 Distribución espacial de los usos de suelo para 2025

Fuente: elaboración propia



6 Conclusiones y recomendaciones

En la presente investigación y de acuerdo a los resultados obtenidos se ha podido concluir que: Se ha validado la hipótesis planteada al inicio de la investigación, ya que se ha demostrado que la instalación de invernaderos en el municipio de Villa Guerrero es un agente que propicia el cambio de uso del suelo.

Se cumplieron los objetivos planteados, se elaboró un sustento teórico-conceptual que permitió definir los conceptos y técnicas empleadas para el proceso de investigación. Se calcularon los usos de suelo para los años 1989-2014, teniendo que, la cobertura de invernaderos tenía una ocupación del 0.48 % del total municipal en 1989 y una ocupación del 9.99 para el año 2014. Se obtuvo la tasa de Cambio de uso de suelo, en los invernaderos hubo un cambio positivo con una tasa de 12.95 % anual. Finalmente realizando una predicción para el año 2025 de la ocupación de invernaderos, teniendo que para este año ocupara el 19.15% del total municipal.

Los invernaderos han incrementado su ocupación dentro del municipio, ya que para el año 2014 abarcan una décima parte del territorio municipal y la tendencia indica que seguirá en aumento la ocupación de los mismos, requiriendo más espacios para su instalación.

En el municipio se ha conservado su área forestal (coberturas de Bosque y Bosque poco denso) con la que cuenta, ya que en el periodo de estudio se ha observado que ha mantenido poco más del 50 % del territorio municipal con este uso, siendo la topografía accidentada del terreno uno de los factores que más ha influido para esto.

Las coberturas utilizadas permitieron agrupar en su totalidad los píxeles de las imágenes satelitales de forma que todos han podido asignarse a alguna de las coberturas utilizadas.



La percepción remota es una técnica eficiente a la hora de generar estudios territoriales y ambientales a gran escala y con gran facilidad, como es el caso de la presente investigación, ya que la información que se requiere se encuentra disponible para su uso. Algunas ventajas que ofrece la metodología son: que no es necesario visitar en su totalidad la zona de estudio, solo es necesario un muestreo en áreas homogéneas y se puede tomar como base para la clasificación. Se pudo realizar un estudio multitemporal, ya que se tuvo disponible la información de la zona para ambos años. El software con el que se trabajó permite procesar las imágenes satelitales de forma eficiente ya que cuenta con los módulos requeridos para realizar el análisis. Con la información generada se pudo realizar una predicción de la ocupación de los invernaderos en un futuro.

Algunas de las limitantes que ha tenido la metodología han sido las siguientes: El tamaño del pixel o la resolución espacial de las imágenes satelitales no ha coincidido en ambas imágenes, por lo que se tuvo que realizar un ajuste para homogeneizarlas. La diferencia de reflectancia en los pixeles de una misma cobertura requirió que se incluyera otra clasificación para poderse agrupar correctamente en la imagen, como por ejemplo la cobertura de "Bosque" se complementó con la cobertura de "Bosque poco denso" y la cobertura de "Cultivos a cielo abierto" se complementó con la cobertura de "Suelo". Existe cierta incertidumbre en los resultados de la clasificación, ya que por el tamaño de pixel se homogenizan algunas áreas afectando los datos de superficie de las coberturas.

Recomendaciones

Este es un primer acercamiento a las condiciones en las que se encuentra el municipio respecto al cambio de uso de suelo propiciado por la instalación de invernaderos, por lo que los datos sirven como antecedente y abre líneas de investigación para complementar el presente.

Esta investigación aporta de forma cuantitativa la superficie del municipio cubierta por invernaderos, sin embargo para complementar la información de los



mismos habría que hacer una caracterización que permitiera clasificar los tipos de producción, la tecnificación con la que cuentan y las características específicas de estos sistemas de producción.

Desde el punto de vista ambiental y con los datos de superficie se recomienda realizar estimaciones de la cantidad de agroquímicos requeridos para la producción, residuos sólidos generados, impactos sociales, económicos y ambientales relacionados con la instalación de invernaderos, también se tendrían que realizar estudios de la calidad del suelo, el agua y el aire para elaborar un diagnóstico del municipio acerca del impacto ambiental que genera el uso de los invernaderos.

Respecto a la metodología de la investigación se recomienda lo siguiente:

Se recomienda realizar una predicción del incremento en la ocupación por invernaderos considerando los datos demográficos y socioeconómicos, para buscar una correlación de estas variables en las dinámicas territoriales.

Para obtener resultados con una menor incertidumbre se recomienda en uso de imágenes satelitales con una mejor resolución espacial, ya que estas permitirán realizar una clasificación más precisa de los elementos del territorio en el municipio.

Se recomienda el realizar más predicciones del incremento en la ocupación por invernaderos en el municipio, con el fin de poder realizar validaciones en campo de los datos obtenidos, para disminuir la incertidumbre de los datos y así poder justificar futuros trabajos y propuestas para la gestión del territorio.



7 Bibliografía

Ariza, A., 2013. *Descripción y Corrección de Productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission)*. Primera ed. Bogotá. Colombia: INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.

ASERCA, A. y. S. a. l. C. A., 2008. *La floricultura*. Merida: SAGARPA.

Ayuntamiento de Villa Guerrero, 2015. *Honorable Ayuntamiento de Villa Guerrero*. [En línea] Available at: <http://www.villaguerrero.gob.mx/web/> [Último acceso: 16 Enero 2015].

Bocco, G., Mendoza, M. & Maser, O. R., 2001. La dinámica del cambio del uso del suelo en Michoacán. Una propuesta metodológica para el estudio de los procesos de deforestación. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Issue 44, pp. 18-38.

Cedillo Portugal, E., 2012. La horticultura protegida en México, situación actual y perspectivas. *Encuentros UNAM*, pp. 1 - 10.

Chuvieco Salinero, E., 2008. *Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio..* Tercera ed. Madrid: Ariel Ciencia.

Clark Labs, 2013. *IDRISI Spotlight, Land Change Modeler*. Worcester, Massachusetts, Estados Unidos: Clark University.

CONANP, C. N. d. Á. N. P., 2015. *Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca*. [En línea] Available at: <http://nevadodetoluca.conanp.gob.mx/index.php#.VUh23RhFazI> [Último acceso: 27 Enero 2015].

CONAPO, C. N. d. P., 2012. *Índices de Marginación*. Quinta ed. México: CONAPO.

C. y. S., 2009. *Cuarto Informe Nacional de México al Convenio sobre Diversidad Biológica (CDB)*. Primera ed. Mexico D.F.: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

del Valle , J. A., 2015. *Introducción a las Cadenas o Procesos de Markov*. [En línea] Available at: http://www.ingenieria.unam.mx/javica1/ingsistemas2/Simulacion/Cadenas_de_Markov.htm [Último acceso: 28 Mayo 2015].

Eastman, J. R., 2012. *IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de Imágenes*. 17 ed. Estados Unidos: IDRISI Production.

Fenner, J., 1992. *Las flores de la muerte: ensayo sobre la floricultura mexicana*. México: Grupo de Estudios Ambientales, A.C..

FND, F. N. d. D. A. R. F. y. P., 2014. *Panorama de Ornamentos*, México: Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de la Información.



GEM, G. d. E. d. M., 2010. Resumen ejecutivo del Programa de conservación y manejo parque ecológico y recreativo de Tenancingo, Malinalco y Zumpahuacan. *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de México*, Volumen 1, pp. 1-15.

Gomora Jiménez, J. A. y otros, 2005. *Integración de indicadores de desempeño ambiental para la producción florícola*. Toluca: Fundación PRODUCE-ICAMEX.

González, N., 2010. Cambio de cobertura y uso del suelo en la cuenca del río Mololoa, Nayarit. *Biociencias*, 1(1), pp. 19-29.

INEGI, 2004. *Guías para la Interpretación de Cartografía Edafología*. Aguascalientes: INEGI.

INEGI, 2005. *Guía para la interpretación de Cartografía Climatológica*. Aguascalientes: INEGI.

INEGI, 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. México: s.n.

INEGI, 2012. *Guía para la interpretación de cartografía. Uso del suelo y vegetación Escala: 1: 250 000 Serie IV*. Cuarta ed. Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI, 2015. *Censo de Población y Vivienda. Series Históricas*. [En línea]

Available at: <http://www.inegi.org.mx/>

[Último acceso: 10 Enero 2015].

INEGI, 2015. *Marco Geoestadístico Municipal*. 3.1 ed. s.l.:s.n.

INEGI, D. G. d. G. y. M. A., 2010. *Aspectos Técnicos de las imágenes LANDSAT*. Primera ed. México: INEGI.

ITESM, 2011. *Estudio Sectorial Flores y Horticultura Ornamental*. Mexico: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Jensen, J. R., 2007. *Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective*. Second ed. USA: Pearson Education Inc.

Lambin, E. F. y otros, 2000. The causes of land.use and land.cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, Issue 11, pp. 261-269.

Lara, S. M., 1999. Flexibilidad productiva y trayectorias laborales: la floricultura de exportación en México. En: J. P. Ed, ed. *Agricultura de exportación en tiempos de globalización. El caso de las hortalizas, frutas y flores..* México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Robles Gil, . P. & Wilson, . E. O., 1997. *Megadiversity: Earth's Biologically Wealthiest Nations*. USA: Cemex.

Orozco Hernández, M. E., 2003. Competitividad local de la agricultura ornamental en México. *Ciencia Ergo Sum*, 10(1).

Pineda Jaimes, N. B., Bosque Sendra, J., Gómez Delgado, M. & Plata Rocha, W., 2008. Análisis de cambio del uso del suelo en el Estado de México mediante sistemas de información geográfica y técnicas de regresión multivariantes. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Issue 69, pp. 33-52.



Reyes Anistro, G. I., 2014. *Análisis de cambios de Usos de Suelo para los años 1984, 2000 y 2008 de la cuenca del río Tenancingo, Estado de México*. Primera ed. México: Facultad de Planeación Urbana y Regional, UAEMex.

Rial, P. E. & Gonzalez, L., 1999. *Manual de practicas con IDRISI*. Caleta Olivia, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Ruiz Torres, M. E. & Salome Castañeda, X., 2008. ¿Cómo abordar temas interdisciplinarios a partir de la Ecología Cultural?. *Investigaciones Geográficas (Mx)*, Issue 66, pp. 105-115.

SAGARPA, 2005. *Plan Rector Sistema Nacional Ornamentaltales*. MÉXICO D.F.: SAGARPA.

SAGARPA, 2013. La floricultura, actividad con gran potencial en Edomex. *BOLETÍN DE PRENSA*, 14 Noviembre.

S. C., 2015. *Sobre Conceptos*. [En línea]
Available at: <http://sobreconceptos.com/zona-urbana>
[Último acceso: 03 Abril 2015].

SCIAN, 2013. *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía .

SNIF, S. N. d. I. F., 2015. *Comisión Nacional Forestal*. [En línea]
Available at: <http://www.cnf.gob.mx:8080/snif/portal/infys>
[Último acceso: 17 Enero 2015].

TIEG38, T. d. I. E. G., 2015. *3.6 Coeficiente V de Cramer*. [En línea]
Available at: <https://sites.google.com/site/tecnicasdeinvestigaciond38/estadisticas-no-parametricas/3-6-coeficiente-v-de-cramer>

USGS, U. G. S., 2015. *U.S. Geological Survey*. [En línea]
Available at: <http://www.usgs.gov/>
[Último acceso: 17 02 2015].

Velázquez, A., Durán, E., Mas David Bray, J. F. & Bocco, G., 2005. Situación actual y prospectiva del cambio de la cubierta vegetal y usos del suelo en México. En: *México, ante los desafíos de desarrollo del milenio*. México, D. F.: Consejo Nacional de Población, pp. 391-416.

Velázquez, A. y otros, 2002. *Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México*. Primera ed. México: s.n.

Villarreal Hernández , D. R., Belmonte Jiménez , S. I. & Ladrón de Guevara , M., 2011. *Evaluación del cambio de uso de suelo en la cuenca del río Atoyac de Oaxaca, a través de un SIG*. Oaxaca: Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional.