



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DESARROLLO DE UN MODELO DE  
GEOPROCESAMIENTO PARA LA  
GENERACIÓN DE INFORMACIÓN  
SOBRE EL CAMBIO DE PROPIEDAD  
SOCIAL FORESTAL EN MÉXICO**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Geomático**

**P R E S E N T A**

Alonso Adrián Reyo López

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. Juan Manuel Núñez Hernández



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Enero 2018**

# INDICE

PREFACIO.....	6
INTRODUCCIÓN.....	8
ANTECEDENTES.....	8
PROPIEDAD SOCIAL FORESTAL EN MÉXICO.....	12
OBJETIVOS.....	17
OBJETIVO GENERAL.....	17
OBJETIVOS PARTICULARES.....	17
1. MARCO TEÓRICO.....	18
1.1 NATURALEZA DE LOS DATOS GEOESPACIALES.....	18
1.2 INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DE DATOS ESPACIALES.....	27
1.3 MODELOS DE GEOPROCESAMIENTO.....	32
1.4 GEOPROCESAMIENTO A PARTIR DE SECUENCIA DE COMANDOS.....	39
2. INSUMOS.....	44
2.1 CARTA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN DE INEGI.....	44
2.2.1 CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN SERIE III.....	46
2.2.2 CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN SERIE IV Y V.....	52
2.3 DATOS ESTADÍSTICOS OFICIALES DEL REGISTRO AGRARIO NACIONAL.....	57
3. METODOLOGÍA.....	62
3.1 CONTEXTO.....	62
3.2 MANEJO DE INSUMOS.....	64
3.3 PROCESAMIENTO DE DATOS.....	66
4. RESULTADOS.....	69
4.1 CUBIERTA FORESTAL EN MÉXICO.....	70
4.2 PROPIEDAD SOCIAL FORESTAL NACIONAL.....	76
4.3 EJIDOS Y COMUNIDADES.....	82
5. CONCLUSIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	87

## ÍNDICE DE FIGURAS, TABLAS Y GRÁFICAS

### Figuras

Figura 1. Representación azteca de su organización social Calpulli que significa “grandes casas” .....	9
Figura 2. Representación gráfica de un cálculo secuencial en “cadena simple” .....	30
Figura 3. Componentes básicos de un modelo de geoprocésamiento simple .....	33
Figura 4. Componentes del modelo de geoprocésamiento de cadena en paralelo .....	34
Figura 5. Modelo de geoprocésamiento complejo para el análisis de localización de una escuela .....	35
Figura 6. Anatomía de elementos del gui3n estándar de secuencia de comandos en Python .....	42
Figura 7. Diferencias de escalas de representaci3n cartogr3fica .....	49
Figura 8. Estructura del RAN para la obtenci3n y actualizaci3n de informaci3n .....	60
Figura 9. N3cleos agrarios que contienen incongruencias de informaci3n geoespacial .....	63
Figura 10. Ejemplo de la secuencia de comandos para la obtenci3n de la propiedad social forestal de Coahuila en base a la serie V del Conjunto de Datos Vectoriales de INEGI .....	67
Figura 11. Superficie forestal estatal .....	70
Figura 12. Porcentaje de superficie forestal estatal con respecto a la superficie estatal total .....	71
Figura 13. Superficie de bosques y selvas a nivel estatal .....	72
Figura 14. Porcentaje de bosques y selvas a nivel estatal .....	73
Figura 15. Superficie de OTVF a nivel estatal .....	74
Figura 16. Porcentaje de otro tipo de vegetaci3n forestal a nivel estatal .....	75

## Tablas

Tabla 1. Estructura de los formatos digitales de información de la serie III .....	48
Tabla 2. Capas que conforman los datos del uso del suelo y vegetación serie III .....	48
Tabla 3. Diseño del sistema de clasificación de la información de Uso de Suelo y Vegetación serie III.....	51
Tabla 4. Estructura de los formatos digitales de información series IV y V .....	53
Tabla 5. Capas que conforman los datos del Uso del Suelo y Vegetación, series IV y V .....	54
Tabla 6. Diseño del sistema de clasificación de la información de Uso de Suelo y Vegetación serie IV y V .....	56
Tabla 7. Valores de las cuatro tipificaciones utilizadas como insumos para el desarrollo de este trabajo .....	65
Tabla 8. Datos a nivel Nacional de la cubierta forestal contenida en la propiedad social en México .....	69
Tabla 9. Datos de los estados con mayor pérdida de hectáreas de cubierta forestal en el país .....	70
Tabla 10. Datos de los estados con incremento de hectáreas de cubierta forestal en México .....	71
Tabla 11. Datos de los estados con mayor pérdida de hectáreas de bosque y selva a nivel federal .....	72
Tabla 12. Datos de los estados con incremento de hectáreas de bosque y selva en el país .....	73
Tabla 13. Datos de los estados con mayor pérdida de hectáreas de otro tipo de vegetación forestal en el territorio mexicano .....	74
Tabla 14. Datos de estados con aumento de hectáreas de otro tipo de vegetación forestal en el país .....	75
Tabla 15. Datos a nivel Nacional de la distribución de la propiedad social por Entidad Federativa .....	76
Tabla 16. Estados con mayor pérdida de hectáreas de bosque y selva dentro de la propiedad social en México .....	78

Tabla 17. Estados con incremento de hectáreas de bosque y selva dentro de la propiedad social .....	79
Tabla 18. Estados con mayor pérdida de hectáreas de OTVF dentro de la propiedad social en el país .....	80
Tabla 19. Estados con incremento de hectáreas de OTVF dentro de la propiedad social en México .....	81
Tabla 20. Dinámica de cambio de la propiedad social forestal de bosques y selvas .....	82
Tabla 21. Dinámica de cambio de la propiedad social forestal de otro tipo de vegetación forestal .....	83

### **Gráficas**

Gráfica 1. Entidades con mayor proporción de territorio en propiedad social .....	77
Gráfica 2. Estados con mayor porcentaje de bosques y selvas dentro de la propiedad social .....	79
Gráfica 3. Estados con mayor porcentaje de OTVF dentro de la propiedad social .....	81

## PREFACIO

Me resulta inconcebible comenzar el registro de las actividades para desarrollar este trabajo, sin darle el crédito que se merece y una debida mención, a las enseñanzas que marcaron el rumbo final de mi etapa como estudiante de la carrera de Ingeniería Geomática de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En la materia de *Recursos y Necesidades de México*, a cargo del ing. Héctor González Reza, pude comprender la función que desempeña un ingeniero dentro de la sociedad mexicana, y el juramento profesional que con el desarrollo del presente deseo realizar.

El programa de estudio institucional de la materia previamente referida describe puntualmente la importancia de la misma aseverando lo siguiente; “El alumno conocerá las necesidades sociales, económicas y políticas del país, así como los recursos humanos, materiales y financieros con que cuenta la Nación, con objeto de determinar la participación del ingeniero en el desarrollo integral de México, y además situar el país al nivel global y del continente americano”.

No obstante, el profesor durante el curso haría más énfasis en esa “participación del ingeniero”, al asegurar que el ingeniero es de los pocos profesionistas capaces de obtener, manipular y transformar los diversos recursos que nos proporciona el territorio mexicano, y con ellos, satisfacer las necesidades que la Sociedad requiere y demanda. Siempre con un espíritu de proceder de la manera más eficiente y productiva, como marca nuestra Institución.

Esa premisa dio un giro a mi comprensión de la Ciencia de la Ingeniería al demostrar que nuestra obligación es y será, corresponder íntegramente nuestros conocimientos técnicos especializados a cubrir y resolver esas exigencias que ayudan al progreso y la visualización del México próspero y desarrollado.

Asimismo, dentro del índice de esta materia, hay una sección que tengo guardada en mi mente que se llama “Desarrollo Agropecuario”. En ella se analiza la productividad y evolución del sector primario, la situación actual y deterioro del campo nacional. Se estudian las causas que originaron este daño y el análisis de las múltiples alternativas para darle una solución tangible y concreta a este sector para resanarlo y que siga siendo de suma importancia para el crecimiento del país.

Creo y sin desmentirme, fue el primer acercamiento al tema en cuestión y que pretendo desarrollar para poder proveer de información relevante y conclusiones que ayuden al proceso de rehabilitación e incremento de los recursos de uso común que nuestra abundante tierra proporciona.

## INTRODUCCIÓN

### ANTECEDENTES

México y su amplia extensión territorial, es considerado uno de los doce países megadiversos del mundo. En conjunto estos países acumulan entre el 60 y 70 por ciento de la biodiversidad de la superficie terrestre. La riqueza de la diversidad biológica y genética del país se encuentra contenida en una amplia variedad de ecosistemas, específicamente en los de ámbito forestal: bosques templados de pino, pino-encino y oyamel, bosques tropicales húmedos y secos, bosques mesófilos, manglares y vegetación de zonas áridas (Merino *et al.*, 2014).

Las regiones forestales mexicanas, tienen una larga tradición de ser habitadas y utilizadas. Eso ha traído consigo una controversia histórica generada alrededor de los sistemas de la tenencia de la tierra en relación con los problemas agrarios y que ha sido objeto de muchos estudios por parte de científicos sociales (Velázquez *et al.*, 2002). La discusión es ocasionada principalmente por las medidas regulatorias al asignar los derechos de propiedad de la tierra y que determinan quién puede utilizar qué recursos, durante cuánto tiempo y bajo qué circunstancias.

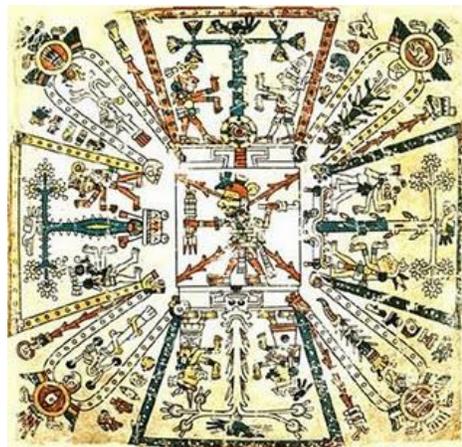
La tenencia de la tierra es una institución formada entre personas, en cuanto a individuos o grupos, con respecto a la tierra. Una de sus particularidades es su carácter multidimensional, donde interactúan factores sociales, técnicos, económicos, jurídicos y políticos. Las relaciones de tenencia de la tierra suelen estar definidas y son exigibles ante un tribunal judicial oficial o mediante estructuras consuetudinarias ubicadas dentro de una comunidad (FAO, 2003). No obstante, términos mal definidos y con ambigüedades, en ciertos casos permiten la alteración de acuerdos o dictámenes.

Dentro de la sociedad mexicana se establecen la mayor parte de las formas de propiedad, como los derechos comunes de pastoreo, propiedades privadas

residenciales, de aspecto agrícola y propiedad estatal de los bosques (FAO, 2003). La tenencia consuetudinaria implica comúnmente los derechos comunales a los pastizales y derechos privados asignados de forma exclusiva a las parcelas agrícolas y residenciales.

Al ser la propiedad, un derecho humano natural e irrenunciable desde hace varios siglos, con el paso del tiempo, ha sufrido de diversos matices que se ven proyectados en el plano social y político, lo que ha dado origen a mecanismos jurídicos para regular estos matices y las diversas modalidades de la propiedad en si (García Mares, 2003).

Los antecedentes lejanos del concepto de propiedad comunal, incluido dentro del Sistema Agrario Mexicano, se remontan a la época prehispánica, en la estructura social azteca llamada Calpulli y de organizaciones homólogas de la cultura maya (Figura 1).



**Figura 1.** Representación azteca de su organización social Calpulli que significa “grandes casas” ([https://blogs.ua.es/losaztecas/files/2011/12/fejervary\\_mayer\\_sm.jpg](https://blogs.ua.es/losaztecas/files/2011/12/fejervary_mayer_sm.jpg)).

En los sistemas de las culturas de Mesoamericanas, ya había una separación del terreno de las poblaciones agrícolas. Se dividían en las tierras de las comunidades, las de carácter público y las que se daban en calidad de ofrendas en beneficio de señores con un distinguido linaje o por su distinción en guerra (González Navarro, 1969).

Con la llegada de los españoles, el concepto de posesión comunal se adjuntó al marco jurídico colonial, en la cual, se les concedía a los indígenas beneficios sobre las tierras, dando por resultado las bases históricas de los dos núcleos agrarios constituidos en la propiedad social; el *ejido* y la *comunidad agraria* (García Tirado, 2006).

El *ejido*, fue un término introducido por los conquistadores, pero asociado a la forma comunal de explotación prehispánica, tanto en el dote para los pueblos ya establecidos, como en el término reducciones, que se formaron al ir reubicando indígenas (González Navarro, 1969). La *comunidad agraria* son las tierras que fueron reconocidas o restituida y de las que se tiene posesión desde tiempo muy remotos como la Colonia.

Desde entonces, la institución de la propiedad comunal se mantiene, inclusive cuando los poblados sufrieron despojos masivos con la aparición del liberalismo a mediados del siglo XIX, y el surgimiento del capitalismo a principios del siglo XX (Sánchez-Noriega, 2011). Se generó entonces un “ensamble de intereses”, donde tanto el orden social como el económico necesitaba controlar la tierra, la fuerza de trabajo de los campesinos para vender sus productos y trabajo para sobrevivir.

Bajo esas condiciones se acarrearía una sobreexplotación en los campesinos, tanto en el mercado de trabajo, como en la adquisición de las materias primas, particularmente el de alimentos básicos y en dinero, mediante la utilización del crédito, haciendo el trabajo de la tierra improductivo (Bojórquez,

2000). El suelo agrícola se vería empobrecido debido a esa producción intensiva a la que fue sometido por la falta de rotación de cultivos, la disminución de la superficie cosechada y la obligación del uso de semillas, fertilizantes y pesticidas para poder ser sujetos de crédito.

El abuso al que estaba sometido el campesino mexicano, aunado a la situación económica, cultural y social del país, generó la concentración de la riqueza y de la tierra en manos de una oligarquía acaudalada (Travecera Peralta, 2012). En un entorno donde incrementaba la insatisfacción por el autoritarismo; la enorme represión que emitían los órganos del Gobierno y por la promesa de recuperar las tierras que les fueron arrebatadas injustamente, llevó al campesino a simpatizar e intervenir activamente en el movimiento revolucionario de 1910 (Sánchez-Noriega, 2011).

Derivado de los principios que se obtuvieron de la Revolución Mexicana de 1910, se buscó un marco legal que permitiera un régimen de propiedad y que materializara las demandas e ideales que emanaron del campo mexicano. Si bien se contemplaron incipientemente algunas demandas en la Ley Agraria del 6 de enero de 1915, solo se hizo hincapié en la restitución a la dotación, dejando sin resolver el carácter comunal de las tierras restituidas de ejidos y comunidades (Hinojosa, 1981).

No obstante, dos años después de expedir Venustiano Carranza la Ley Agraria, en la Constitución se consagró en su artículo 27 un nuevo concepto como lo es la Propiedad Originaria de la Nación. La nación sería entonces titular de tierras y aguas de nuestro país, pudiéndola derivar a los particulares y modificarla como propiedad privada y además puede imponer las modalidades o las diversas especies de la propiedad, según lo determine el interés público (Estebanell, 2017). Conjuntamente adicionó principios que rigen la existencia y funcionamiento de los núcleos agrarios con un espíritu que privilegiaba el interés social por encima del individual, a diferencia de la constitución de 1857.

Tuvieron que transcurrir casi 80 años para que el día 6 de enero de 1992, se llevara una Reforma Constitucional con una magnitud social al artículo 27 de nuestra Carta Magna y la consecuente promulgación de la Ley Agraria el 26 de febrero del mismo año. Los motivos para llevar a cabo esta labor fueron esencialmente buscar opciones para el desarrollo del campo de acuerdo con la realidad económica, demográfica y social actual de México (García Mares, 2003).

Se oficializó el reparto agrario con la intención de posibilitar la prosperidad y otorgar una merecida justicia social a los campesinos. Estos eventos son el resultado de un cúmulo de circunstancias sociales, económicas y culturales influenciadas por una Política Gubernamental con tendencias liberales (García Tirado, 2006).

El marco legal reformado sobre el artículo 27 constitucional y la Ley Agraria, da por hecho la existencia de tres tipos de propiedad sobre las tierras y aguas:

- Propiedades públicas.
- Privadas.
- Sociales.

## **PROPIEDAD SOCIAL FORESTAL EN MÉXICO**

Dentro de la propiedad social, por mandato Constitucional, se establece que los ejidos y comunidades agrarias son los dos núcleos agrarios existentes en el territorio nacional.

La propiedad social enmarcada como propiedad ejidal es de carácter inalienable, imprescriptible e inembargable, por lo que únicamente el Gobierno

Federal, y en ciertos supuestos, puede proceder a afectar parte o la totalidad de este tipo de propiedad (Gómez, 2004).

La propiedad ejidal define a los dos núcleos agrarios de la siguiente manera; el ejido es una porción de tierras, bosques o aguas que el mismo gobierno entregó a un núcleo de población campesina para su explotación (Barrientos, 2015). La comunidad es, por ende, el núcleo de población que habita dentro de ese conjunto de tierras, bosques o aguas que fueron reconocidos o restituidos a dicha comunidad, y que presuntamente han tomado posesión de esa zona desde tiempo inmemorial, con costumbres y practicas comunales (González Romero, 2015).

De acuerdo con datos oficiales obtenidos del IX Censo Ejidal 2007, levantado cada 10 años por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), el 54.1 por ciento del total del territorio nacional se encuentra bajo un esquema de la propiedad social. Del mismo Censo, se encontró que el ejido era el núcleo agrario de la propiedad social preponderante, ya que representaban 91.9% de los 31,518 núcleos agrarios que existían en el país.

Sin embargo, las tierras que no han sido parceladas legalmente y que son definidas como de uso común, constituyen un 65.4% de las tierras ejidales y comunales. Esas tierras de uso común contienen el 85.8% de vegetación forestal, y de esa diversidad forestal solo el 31% corresponde a bosques y selvas.

La administración de los ejidos y comunidades en México se ha implementado y se encuentra en funcionamiento principalmente a tres factores; la política de la reforma agraria que enmarca las bases del manejo de los recursos por parte de la propiedad comunitaria, la lucha por la permanencia y control de las comunidades forestales para sus bosques, y por último, a la voluntad política de funcionarios y consultores convencidos de la viabilidad de un adecuado uso de los bosques y selvas por parte del manejo comunitario (Pinacho, 2009).

El manejo forestal comunitario y su debido proceso de apropiación de la producción forestal, ha traído consigo un incremento notable en la participación del sector social en esa actividad (Gasca Moncayo, 2004). De acuerdo con estudios sobre la productividad biológica en los bosques, en los estados del norte presentan un crecimiento anual de 5 m<sup>3</sup>/ha, mientras que los bosques del Eje Neovolcánico y de la Sierra Madre del Sur alcanzan crecimientos por encima de 15 m<sup>3</sup>/ha (Valenzuela, 2001).

En el año de 1992, más del 40% de la producción nacional de materias primas y el 15% de los 5.5 millones de metros cúbicos rollo (m<sup>3</sup>r) de madera aserrada nacional, se obtenía de la producción de las empresas forestales comunitarias (Cruz *et al.*, 2017). De acuerdo con el “Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2015” elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), durante el período de 2006-2015 la producción forestal maderable ha sufrido variaciones, iniciando con 6.5 millones de m<sup>3</sup>r en 2006 y finalizando en 2015 con 6.1 millones de m<sup>3</sup>r, del cual se estima que un alto porcentaje del volumen total fue producido por las comunidades forestales.

Para el año 2017, la población que habita en zonas forestales es de 14 millones de habitantes, distribuidas en 8,500 comunidades. “Cabe destacar que más de 80% de la población que habita en los territorios de los núcleos agrarios de la muestra vive en localidades de menos de 2,500 habitantes” (Merino *et al.*, 2014). Solamente en el 10% de estos poblados viven entre 2,500 y 5,000 habitantes y el 4% habita en pueblos de más de 15,000 habitantes.

La presencia indígena en estas comunidades es considerable ya que en el 28% de ellas se habla una lengua indígena. Por medio del “Sujetos de Núcleos Agrarios Certificados y No Certificados 2016” elaborado por el Registro Agrario Nacional (RAN), sin importar su condición de ejidatarios, comuneros, posesionarios o vecindados, la cantidad de hombres y mujeres que están

vinculados directamente y con derechos de concesión para la explotación y administración de recursos forestales en México es mayor a 5 millones de personas (RAN, 2016).

Sin embargo, el resultado de la nueva Ley Agraria donde los bosques y las áreas silvestres se entregaron a ejidos y comunidades para que los adquirieran y emplearan de manera colectiva, ha mantenido en suspenso por los últimos 30 años a sectores académicos y de administración pública (López Ramírez, 2001). Dichos sectores, han puesto en tela de juicio, la capacidad de las organizaciones rurales colectivas para garantizar a la sociedad mexicana, el flujo de bienes y servicios convencionales y ambientales que se requiere.

Asimismo, se duda de la capacidad para resguardar la diversidad biológica, recarga de acuíferos, refugio de la fauna silvestre, captura de carbono, regulación hidrológica que incluyen las materias primas para las industrias pesadas (química, petroquímica, construcción, etc.), ligeras (textil, farmacéutica, alimentaria, etc.) y de punta (robótica, mecánica, astronáutica e informática) (Bray *et al.*, 2005).

Del mismo modo, diversos especialistas en temas ambientales, a través de análisis empíricos en varios países, han demostrado que existe una tendencia para inhibir las oportunidades del manejo colectivo, a través de la privatización o nacionalización de la propiedad social (Madrid *et al.*, 2009). Señalan que, en muchos casos, los recursos de uso común han sido administrados de forma sustentable, brindando diversos beneficios económicos, sociales y ambientales a las poblaciones de esos países y en particular, a las personas más vulnerables.

Otras teorías basadas en metáforas de elección racional y con tintes más pesimistas, sostienen que estos recursos de uso común tienen una tendencia a ser sobreexplotados y que esta actividad terminará con los recursos generando una serie de problemas ambientales, económicos y desde luego, sociales (Preciado, 2001).

Teniendo en cuenta estos estudios, se desarrolló una nueva doctrina que esta denominada como Teoría de los Comunes, que incluye los estudios de los arreglos institucionales y los factores económicos, sociales, ambientales y culturales que influyen en el manejo colectivo de los recursos. Partiendo del hecho que, si los recursos son compartidos y solo se utilizan para explorarlos, alguien debe ocuparse de que también sean preservados (Madrid *et al.*, 2009).

El análisis de las vertientes económicas basadas en las teorías previamente mencionadas y en otras más que existen, son una pauta para la resolución de dudas que puedan ayudar a la implementación y reformatión de políticas públicas que acerquen al Desarrollo Sostenible para el Sector Rural Mexicano.

Debido a la complejidad que conlleva la administración adecuada de los recursos de uso común en la República Mexicana, las interrogantes sobre la pertinencia de la propiedad y la estructura apropiada de las organizaciones rurales colectivas, es que me dispongo por medio de actividades profesionales, a generar datos que permitan cuantificar de forma eficaz y fiable, las dimensiones de la Propiedad Social en las áreas forestales de México.

En este trabajo se utilizarán como parámetros, un lapso definido del 2000 al 2010 y tomando como base la información pública disponible sobre la superficie forestal del país y la superficie de la propiedad social. Asimismo, el estudio tiene como finalidad de motivar el desarrollo de nuevos proyectos que permitan ampliar la comprensión de la situación de los recursos forestales de nuestro país.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un modelo de geoprocesamiento mediante el uso de secuencia de comandos (*Script*) para generar información sobre el cambio de los bosques, selvas, y demás tipos de vegetación forestal contenidos en la propiedad social en México, así como evaluar los resultados empleando información geoespacial sobre el uso de suelo y vegetación y la tenencia de la tierra.

### **OBJETIVOS PARTICULARES**

- Desarrollo del planteamiento metodológico para el modelo de geoprocesamiento que arroje información sobre los cambios en bosques, selvas y otros tipos de vegetación forestal contenidos en la propiedad social de nuestro país.
- Obtención de resultados sobre el cambio de la propiedad social forestal en México y la comprobación de la importancia de un modelo de geoprocesamiento para el desarrollo de estudios que permitan incluir la dimensión temporal en la comprensión de la situación de los recursos forestales.
- Evaluación de resultados de cambios de la propiedad social forestal por entidad federativa.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 NATURALEZA DE LOS DATOS GEOESPACIALES

Los datos geoespaciales o conocidos simplemente como datos espaciales; son un “registro digital con combinaciones de valores de atributos que lo hacen único e inconfundible respecto a otros, debe estar georreferenciado y contener un atributo que lo relacione con el tiempo para fines de comparación” (CP-IDEA, 2013).

Un dato geoespacial corresponde a una ocurrencia de un objeto geoespacial, lo cual da como resultado una abstracción a partir de un elemento del espacio geográfico. Estas abstracciones se representan por medio de valores numéricos que corresponden a elementos de la naturaleza, los inducidos por la mano del hombre o aquellos derivados de ambos. “Su característica intrínseca es la referencia geoespacial en dos o tres dimensiones expresada dentro de un sistema de coordenadas geográficas o cartesianas” (Buzai, et al., 2011).

La aplicación de datos geoespaciales enfocados a los sectores de información privado, gubernamental y académico, son un componente cada vez más importante en los procesos de planificación y toma de decisiones (Paucar Espinoza, 2014). A su vez, los datos geoespaciales heredan los desafíos de preservación inherentes a toda la información digital.

La cantidad y variedad de este tipo de datos que se actualizan y almacenan constantemente, son una herramienta que permite examinar los procesos y cambios sociales, ambientales, culturales y económicos que ocurren con el tiempo (Totolhua Ramírez, 2007). La adecuada preservación de datos geoespaciales depende de varias cuestiones que son:

- La complejidad, variedad de formatos y estructuras de datos.
- La abundancia en el contenido de los formatos propietarios.
- Valorizar contextos técnicos y sociales que existen en los datos.
- La creciente importancia de los servicios *web* y datos dinámicos.

Otros puntos adicionales en la preservación de datos geoespaciales comprenden; los sistemas de coordenadas de referencia, las representaciones cartográficas, la topología, archivos de proyecto y el empaquetamiento de datos.

La cobertura geoespacial se caracteriza por englobar una amplia variedad de información y contenidos, como los SIG (Sistemas de Información Geográfica), imágenes de percepción remota, representaciones tridimensionales y la que está basada en la localización. Los datos geoespaciales bidimensionales son aquellos que normalmente se proyectan en mapas o gráficos de papel, y están presentes en diferentes formas, ya sea como datos vectoriales, datos ráster, bases de datos espaciales o datos dinámicos que interactúan a través de servicios por internet (Pato Gándaras, 2015).

Los SIG y diversas aplicaciones de *software* especializado son herramientas idóneas para acceder, visualizar, manipular y analizar los datos geoespaciales para posteriormente, poder combinar esos datos de múltiples fuentes, con diferentes niveles de precisión y basados en diferentes sistemas de coordenadas de referencia (Zhiwei Cao, 2016). Los datos geoespaciales regularmente almacenan atributos como coordenadas, topologías, o datos asignados que proporcionan más información sobre la entidad que está siendo representada. Estos atributos se encuentran divididos en tres grupos que son:

#### 1) **Atributos cartográficos**

Son atributos afines entre diferentes tipos de datos geoespaciales, por ejemplo; los sistemas de coordenadas de referencia que establecen la descripción de

ubicaciones en la Tierra y la representación cartográfica de los datos donde por medio de mapas se puede dar una idea clara del área geográfica de estudio (Buzai, et al., 2011).

#### Sistema de coordenadas de referencia

“Es un medio que, con la ayuda de las coordenadas, define el mapa bidimensional proyectado en un SIG en relación con lugares reales en la Tierra” (Lawhead, 2017). Las coordenadas se expresan como valores de latitud y longitud en un sistema de coordenada geográfica como ITRF92 (*The International Terrestrial Reference Frame*) o en valores de falso este y falso norte de un sistema de coordenadas cartesiana como la Proyección Transversa de *Mercator* (Furones, 2010). El sistema de coordenadas de referencia contiene elementos tales como un elipsoide de referencia, un *datum* geodésico y un sistema de coordenadas proyectado.

Existen datos geoespaciales (ráster y vector) que contienen información sobre el sistema de coordenadas de referencia sobre el cual se basan, ya sea incorporado al propio archivo GeoTIFF (*Georeferenced Tagged Image File Format*) o como archivo adicional con extensión .prj (*projection metadata file*) (Poma et al., 2011). Existen formatos que contiene una referencia espacial pero no cuenta con información del sistema de coordenadas de referencia, como los archivos de imagen TIFF (*Tagged Image File Format*). Sin importar el formato utilizado para especificar un sistema de coordenadas de referencia, esta información debe incluirse en el registro de metadatos del conjunto de datos geoespaciales, principalmente en el formato del conjunto de datos que no proporciona claramente esa información (Pérez, 2013).

#### Representación cartográfica

Son el resultado habitual de los datos geoespaciales, tomando la forma de mapas digitales en un formato de imagen. Dichos mapas a veces son georreferenciados para permitir el uso de superposición para aplicaciones geoespaciales (Correa Rivadeneira, 2010). Los mapas digitales resultantes no incluyen datos reales que

se utilizaron para hacer el documento, aunque algunos formatos, como PDF (*Portable Document Format*) o GeoPDF (*Geospatial Portable Document Format*), admiten la retención de una cierta cantidad de información de datos derivados de los datos originales y opciones avanzadas para la interacción con el usuario SIG. La conservación de los datos y de documentos derivados de los datos geoespaciales permiten la recreación de análisis previos o incorporan los datos de un proyecto nuevo. El producto de información final (mapa, gráfico, etc.) es información diferente de los datos geoespaciales porque incluye información sintetizada que no forma parte de los datos subyacentes (Pérez, 2013).

## **2) Representación del espacio geográfico**

Existen dos tipos de datos asociados con los datos geoespaciales: los datos vectoriales que tienen semejanzas con los datos de diseño asistido por ordenador CAD (*Computer Aided Design*); y los datos ráster que tienen similitudes con datos de imagen (Niu et al., 2013). La mayoría de los SIG incorporan ambas formas de datos en mayor o menor medida y la interacción entre ellos genera un mayor valor a los datos geoespaciales.

### **Dato vectorial**

Son datos que modelan características de la superficie terrestre por medio de figuras geométricas como puntos, líneas y polígonos. Las características del mundo real que están representadas a partir de datos vectoriales están sujetas a cambios o actualizaciones (Poma et al., 2011). El conjunto de datos actualizado reemplaza a la versión anterior y como generalmente solo se almacena la versión nueva, resulta imposible ver los cambios históricos en los datos. Los datos vectoriales contienen datos de atributos que permiten llevar valores para las características individuales dentro de las características de los datos (Villajos, 2004). Los datos de los atributos pueden ser almacenados directamente dentro del conjunto de datos vectoriales o almacenados externamente sobre una hoja de cálculo o base de datos.

Los formatos de datos vectoriales geoespaciales son específicos, complejos y extremadamente sensibles tanto a la migración de formatos como a los cambios en el entorno del *software* (Rivera, 2004). Existen formatos de datos vectoriales comerciales (o de propiedad) y aquellos de carácter libre. El formato comercial está directamente asociado con un entorno de *software* comercial particular, por ejemplo; ESRI *Shapefile*, ESRI *Coverage File*, formatos *MapInfo* TAB y MIF/MID, y formatos de *Autodesk* DXF/DWG. La migración de un formato de datos propietario hacia un formato de soporte insuficiente o menos amigable con la preservación de datos geoespaciales puede provocar distorsiones inaceptables o pérdida de ellos (Furones, 2010).

Los formatos de datos vectoriales libres son una alternativa para la creación, administración y distribución de datos vectoriales en un mercado global dominado por los comerciales. Los ejemplos más populares de este tipo de formatos son; el formato SDTS (*Spatial Data Transfer Standard*), creado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (*U.S. Geological Survey "USGS"*), el formato GML (*Geography Markup Language*) desarrollado por la OGC (*Open Geospatial Consortium*), el formato NTF (*Electronic transfer of geographic information*) administrado por la Institución Británica de Normas (*British Standards Institution "BSI"*) y el formato OS *MasterMap* GML utilizado por la Agencia Cartográfica Nacional del Reino Unido (*Ordnance Survey "OS"*) (Díaz Fouces, 2007).

#### Dato ráster

“Son datos geoespaciales contenidos en una cuadrícula multidimensional de celdas (o píxeles) organizadas en filas, columnas, o puntos de retícula, donde cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura” (Huang et al., 1997). Cada celda guarda un valor temático y coordenadas de localización que se someten a un proceso de georreferenciación y rectificación para llevar los datos a un sistema de coordenadas conocido (proyección y *datum*). La localización de cada celda es implícita, dependiendo del orden que ocupa en la celda (Rivera, 2004). Los datos ráster se obtienen a partir de fotografías aéreas digitales, imágenes de satélites, imágenes digitales o mapas escaneados, que al

realizarle el proceso de ortorrectificación, se corrigen las diferencias de escala debido a la topografía de superficie y se obtiene un modelo de elevación digital. Los datos ráster están estrechamente relacionados con los datos de imagen y los problemas asociados con el uso y la preservación de las mismas (Villajos, 2004). Los datos ráster se identifican por el espacio bidimensional o tridimensional en el que se encuentra por el número de bandas o capas coincidentes y el tipo de datos de los valores de las celdas en cada capa, sea por extracción de un dominio continuo o discreto, o de naturaleza categórica. Las bandas espectrales de los datos ráster contienen información colorimétrica, como radiaciones de longitud de onda visible y la no visible (Correa Rivadeneira, 2010). Cuando los tipos de datos son continuos y discretos, el rango o profundidad es una característica adicional en los valores de los datos. Los tipos de datos categóricos contienen una semántica en las categorías dentro de los metadatos crucial porque de lo contrario los datos pierden sentido (Niu *et al.*, 2013). La topología no es una preocupación con los datos ráster, ya que las relaciones entre las celdas son inherentes a la misma trama.

Los formatos de uso común para los datos del tipo ráster varían dependiendo de la complejidad del manejo en la información. Para los datos ráster de una sola banda espectral, los formatos *ARC/INFO ASCII* (*American Standard Code for Information Interchange*) *GRID36* y *USGS DEM37* (*Digital Elevation Model*) son sencillos de uso, abiertos e ideales porque enlistan los valores de las celdas a lo largo y ancho del raster e incluyen información de georreferenciación en los registros del encabezado o al final de la estructura del dato (Díaz Fouces, 2007). Cuando se trabaja con datos ráster de bandas multiespectrales, los formatos más comunes son; *TIFF* y *GeoTIFF* que permiten almacenar y entregar datos raster debido a su estándar abierto, la flexibilidad en la descripción de múltiples bandas y tipos de datos, su marco extensible para Metadatos incrustados y su popularidad en el mundo de la edición digital (Pérez, 2013). Otro formato menos utilizado por su considerable número de patentes es *JPEG 2000* (*Joint Photographic Experts Group*) que soporta compresión progresiva basada en wavelets (transformada de ondícula). El formato permite incrustar metadatos XML

(*Extensible Markup Language*) y poder seleccionar un "área de interés", evitando transmitir detalles de toda la extensión en los archivos de imagen.

Existen otros formatos de datos raster que tienen por función el representar datos geoespaciales para entornos de visualización y son creados mediante la transformación de datos geoespaciales existentes, tales son el caso de KML (Keyhole Markup Language), PDF y GeoPDF.

### **3) Obtención y calidad de la información geoespacial**

Hablamos de bases de datos espaciales (o *spatial database* en inglés) cuando se requiere almacenar y administrar múltiples conjuntos de datos con sus respectivas relaciones de esos conjuntos y modelos de datos, comportamientos, y anotaciones alojados en un sistema de base de datos relacional. Las bases de datos espaciales por lo general tienen en común que reúnen diversos conjuntos de datos continuos de gran extensión geográfica, volúmenes de datos (ráster y vector), modelos de datos complejos (datos espaciales y modelos de negocio), transacciones largas, edición multiusuario y control de versiones (Furones, 2010). El acceso a los datos geoespaciales en estas bases de datos puede ser directamente a través de la misma o por medio de una conexión a un escritorio o un cliente en internet. Dichas extensiones espaciales permiten normalmente al usuario almacenar y consultar datos geoespaciales añadiendo tipos de datos a la base de datos espaciales (Pérez, 2013).

En la actualidad existen una variedad de sistemas que gestionan bases de datos comerciales, sea por medio de extensiones espaciales, y que tienen la capacidad de almacenar grandes cantidades de datos geoespaciales, incluyendo: *Oracle Spatial*, *IBM Informix Spatial DataBlade* y *Microsoft SQLServer* (Fernández-Santa Cruz, 2013). También existe una opción de código abierto de base de datos espacial llamada *PostGIS* basada en *PostgreSQL*. En el entorno del *software* ArcGIS, hay una base de datos espaciales completa llamada *ESRI Geodatabase* que permite guardar un amplio rango de tipo de datos que incluyen características geográficas, información de atributos, imágenes satelitales y aéreas, datos del modelado de superficies, etc (Zhiwei Cao, 2016). Por si fuera poco, también

permite modelar las relaciones entre los datos, manejar la validación y el control de versiones de los datos geoespaciales.

Los servicios geoespaciales en internet, como *Google Maps*, son una manera dinámica de obtener datos geoespaciales ya que permiten al usuario o aplicaciones de un servidor, realizar solicitudes de conjuntos de datos o conocer determinados procesos de esos datos, como encontrar una ruta o localizar una dirección por internet. Estos servicios extraen los datos geoespaciales de una o varias fuentes y se presentan en forma de mapa al usuario (Pato Gándaras, 2015). Normalmente es factible que el usuario guarde el estado del servicio, sea el área del mapa o vista, nivel de zoom, qué datos se muestran, etc. Pero no es posible guardar el estado de los datos dentro del servicio. De los servicios geoespaciales en internet más conocidos en el ámbito SIG, tenemos WMS (*Web Map Service*) que es un servicio ligero en su núcleo que permite recibir solicitudes la solicitud desde *software* SIG, navegadores *web*, y servidores de mapas que combinan fuentes de datos de varios servidores, todo para recibir una representación de imagen de una capa de datos específica. WFS (*Web Feature Service*), que manejan datos vectoriales, transmiten los datos reales en forma de GML. Este servicio tiene una escala menor a la WMS, debido a que requiere de un mayor nivel de complejidad (Fernández-Santa Cruz, 2013). Otro servicio geoespacial más enfocado en los datos ráster como imágenes satelitales, fotos aéreas digitales, datos de elevación digital, entre otras, es WCS (*Web Coverage Service*), que junto a la OGC pretenden conjuntar varias interfaces y codificar metadatos en tiempo real a través del internet (Villajos, 2004).

Una adecuada administración de los datos geoespaciales requiere de metadatos clave, como los sistemas de coordenadas y medidas de precisión, que estén registradas y puedan conservarse junto con los datos (San Pedro, 2014). Esa necesidad adicional de preservación surge de tres factores que se encuentran en la naturaleza inherente de los datos geoespaciales:

- 1) Los datos geoespaciales comprenden diversas estructuras de datos: vector y ráster, dominios discretos y continuos, no estructurados y topológicos.

Las aplicaciones geoespaciales y diferentes formatos de datos son capaces de soportar subconjuntos y otros aspectos de esas estructuras de datos, y en diversos grados (Wunderlich, 2008). Sin embargo, a la fecha no es posible hablar de "datos geoespaciales" como un tipo de información estandarizado o un modelo de datos de carácter universal.

- 2) Los datos geoespaciales se procesan normalmente en niveles variables de granularidad, a diferencia por ejemplo de la información textual, que puede ser modelada utilizando documentos de texto multipágina como un único tamaño. El tamaño de la granularidad varía significativamente desde "características individuales que tienen ubicación geográfica, la geometría y atributos relacionados; a la homogeneidad, capas temáticas y características; a bases de datos integradas y heterogéneas" (DPC Technology Watch Series Report, 2009). Cada tamaño de granularidad ofrece distintas funcionalidades, y plantea desafíos de preservación diferentes. Por lo que el primer paso del proceso para la identificación del grado de preservación consiste en elegir el tamaño o nivel de granularidad de los datos (Poma *et al.*, 2011).
- 3) La mayoría de los formatos geoespaciales tienen propietarios por lo que están estrechamente vinculados a las aplicaciones y, regularmente están sujetos a revisiones retroactivas que son incompatibles a través del tiempo.

En la actualidad, no existe una solución común, práctica o universal al problema de la preservación de los datos geoespaciales y que en poco tiempo generará un problema mayor debido a que diariamente se reciben mayores cantidades de datos producidos por sistemas de recolección como satélites y redes de sensores (San Pedro, 2014). Hay muchos formatos y aplicaciones, cada uno con diferentes capacidades superpuestas y que hacen que, al convertir datos geoespaciales de unos formatos, estructuras de datos y aplicaciones a otros, producen pérdidas o alteraciones de los datos y dificultan la automatización de procesos.

## 1.2 INTRODUCCIÓN AL PROCESAMIENTO DE DATOS ESPACIALES

En la medida que el mundo real se vuelve más complejo, surgen problemas sumamente complicados de índole nacional e internacional, que interaccionan mutuamente, y que es preciso abordar y resolver de manera precisa. Un ejemplo es el cambio climático y los riesgos ambientales, políticos, financieros y sociales que conlleva. Para ello, es esencial apoyarse en información útil para la toma de decisiones, “es necesario organizar, manipular y analizar grandes cantidades de datos utilizando diferentes herramientas de procesamiento de datos” (French 1996). Los Sistemas de Información Geográfica funcionan como una elección capaz de llevar procesos de administración de información espacial que permita evaluar e generar resultados al problema en cuestión (Zhiwei Cao, 2016).

Los SIG son “sistemas asistidos por ordenador para la captura, almacenamiento, recuperación, análisis y visualización de datos espaciales, dentro de una organización en particular” (Clarke, 1986). Una herramienta cuyo objetivo es administrar, categorizar y modelar dichos datos y así, poder resolver problemas geográficos. El proceso se realiza fundamentalmente por medio de mapas y ellos, a su vez, representan el modelado y la organización de colecciones lógicas de información geográfica en forma de capas de mapa (Williams *et al.*, 2013). Asimismo, los mapas interactivos SIG ofrecen la interfaz de usuario principal con la que se utiliza la información antes mencionada.

La finalidad de un SIG consiste en generar, compartir e implementar eficientes y precisos productos de información proyectada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y proveer de datos geográficos pertinentes. Últimamente los SIG son utilizados para el desarrollo de aplicaciones que van desde servicio de mapeo en plataformas web hasta el

modelado ambiental, dado que la variedad de conjuntos de funciones permite resolver diferentes problemas de carácter espacial (Correa Rivadeneira, 2010).

La metodología para el desarrollo de aplicaciones suele tener una estructura común que tiene como base la obtención de información a partir de un procesamiento de datos. “El procesamiento de datos implica la extracción de información significativa a partir de datos brutos, que luego se utiliza para el análisis de datos y la toma de decisiones” (French, 1996). Este procesamiento tiene varias aplicaciones, tanto en el análisis de datos, como el procesamiento de datos con fines comerciales.

El procesamiento de datos espaciales, conocido como geoprocésamiento, incluye diferentes tareas computacionales, tales como el análisis espacial, la visualización de datos SIG y geoestadística. “El objetivo del geoprocésamiento es la recolección y manipulación de datos espaciales para producir información útil y resolver complejos problemas espaciales” (Niu *et al.*, 2013).

A causa de un desarrollo acelerado en las tecnologías SIG, existen hoy en día varios enfoques de implementación y herramientas para el procesamiento de datos espaciales dentro del *software* SIG, teniendo al geoprocésamiento como uno de los más habituales. “Esto se basa en un marco de transformación de datos, que permite a los usuarios interpretar datos y funciones obtenidos de diferentes recursos” (Krivoruchko *et al.*, 2005). La capacidad de los usuarios SIG para realizar análisis fiables y efectivos es constantemente puesta a prueba por el conjunto de herramientas de análisis espacial utilizado para un determinado procesamiento de datos y que se ve reflejado en la calidad de la información.

La mayoría del *software* especializado en el manejo de datos SIG, funciona interactuando con el término de herramientas, estas permiten efectuar operaciones como; recorte, unión, reproyección, zonas de separación, mosaicos, extracción de un conjunto de datos, entre otras (Correa Rivadeneira, 2010). El

*software* organiza dichas herramientas es una metafórica caja de herramientas. De tal forma, que al escoger la herramienta necesaria y ejecutarla en un orden determinado, es posible tener un producto final.

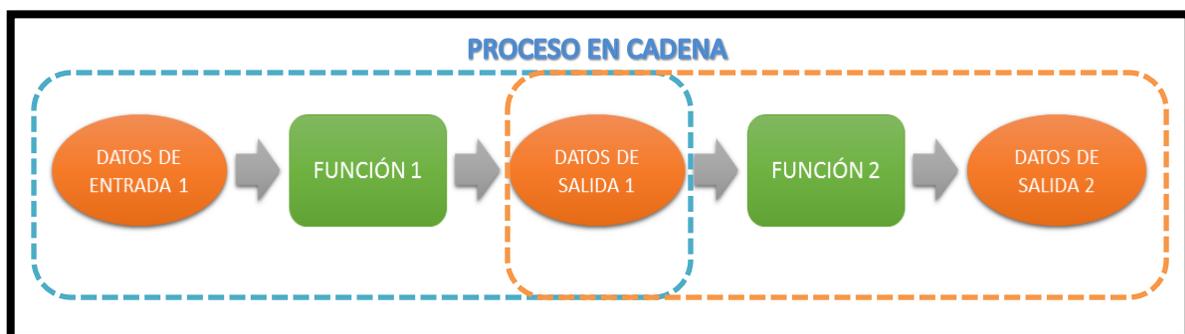
Las herramientas de geoprocésamiento contienen "un grupo de componentes interrelacionados que buscan el logro de un objetivo común al aceptar entradas y producir resultados en un proceso organizado" (O'Brien, 1986). Los sistemas de procesamiento de datos espaciales contienen tres componentes que proporcionan la estructura básica del marco de procesamiento de datos (Zhiwei Cao, 2016).

- 1) Entrada de datos: Son funciones que incluyen la captura y recopilación de datos previo al procesamiento de datos.
- 2) Procesamiento de datos: Funciones tales como clasificación de datos, interpolación, superponer y valoración. La clasificación organiza los artículos o datos en un orden específico o conjuntos para su procesamiento. La interpolación y superponer proveen una configuración para calcular información desconocida de los datos capturados y, por último; la evaluación procura garantizar que los datos manipulados sean acertados, confiables y útiles.
- 3) Salida de datos: Las funciones de procesamiento habituales incluyen la agregación de datos, presentación, resumen e informe. La agregación de datos integra diferentes salidas de datos en una definitiva. La validación de datos certifica que los datos finales sean correctos, confiables y útiles para la toma de decisiones. La presentación de datos visualiza los resultados del procesamiento de datos (Williams *et al.*, 2013). El resumen e informe capturan las principales características de los conjuntos de datos y resultados.

El geoprocesamiento es una alternativa que permite automatizar, documentar y compartir los procedimientos de flujos de trabajo. Cuando automatizamos los flujos de trabajo, ofrecemos un amplio conjunto de herramientas y mecanismos para combinar esas herramientas en una secuencia de operaciones que utilizan modelos de geoprocesamiento. Para un correcto análisis de SIG es preciso seleccionar adecuadamente las herramientas capaces de operar dichos datos (Wunderlich, 2008).

En la actualidad el geoprocesamiento tiene un enfoque popular en el entorno SIG por las diversas funciones que proporciona para la evaluación de riesgos y la toma de decisiones, “tales como la integración, selección y análisis de características geográficas, procesamiento de topología, procesamiento raster o la conversión de datos espaciales” (Sommer and Wade, 2006). Al vincular entre sí los componentes del procesamiento de datos espaciales, es posible generar análisis espaciales complejos como las redes de transporte, la planificación urbana, el modelado climático, y gestión de red de servicios públicos, entre otros.

El procesamiento de datos espaciales permite realizar detallados progresos computacionales, incluyendo los datos de entrada, el desarrollo de las funciones que se ejecutan en los datos de entrada y salida, y finalmente al desplegar la visualización de resultados (Villajos, 2004). Cuando ejecutamos una operación contenida en una herramienta, por ejemplo: recortar, reproyección de datos o agregar una columna a una tabla a un conjunto de datos (sea una clase de entidad, datos raster, o una tabla), se va a producir un nuevo conjunto de datos como el resultado de la herramienta, al hacer esto, se está generando un geoprocesamiento (Zhiwei Cao, 2016). Si a su vez ese resultado se utiliza para efectuar otra operación distinta que nos devuelva un producto final, ese cálculo secuencial de un modelo de geoprocesamiento se llama “cadena simple” (Figura 2).



**Figura 2.** Representación gráfica de un cálculo secuencial en “cadena simple”. Elaboración propia a partir de Tesis de Doctorado (Zhiwei Cao, 2016).

El enfoque tradicional del geoprocesamiento es originado por la manera en que fueron desarrollados varios paquetes de software SIG, mediante lenguajes de programación imperativos (Java y C ++), en consecuencia, una función necesita finalizar y devolver un valor antes de que pueda ser utilizado por la siguiente función y así continuamente (Zhiwei Cao, 2016).

El marco computacional en el cual se basa el geoprocesamiento consta de funciones espaciales y modelos. Este marco suele no contar con mecanismos para determinar el control sobre la calidad de los datos ni sobre la gestión eficaz del tiempo de cálculo secuencial (Niu *et al.*, 2013). Por si fuera poco, algunos métodos básicos del geoprocesamiento, tales como la representación de datos espaciales y el cálculo básico generan factores de incertidumbre, errores por medio de aproximaciones y la propagación de dichos errores.

Cabe mencionar que cuando un análisis o proyecto es delimitado a una zona relativamente pequeña o el número de datos tabulares es significativo, tiene sentido proceder de forma manual. Sin embargo, cuando el proceso requiere una dimensión con una cantidad de datos bastante amplia o implica la ejecución de la misma secuencia de herramientas para múltiples áreas de influencia, se recurre a la automatización (Huang *et al.*, 1997).

### 1.3 MODELOS DE GEOPROCESAMIENTO

La base del geoprocesamiento se encuentra en un marco de transformación de datos. Una característica representativa del enfoque geoprocesador tradicional se encuentra en el cálculo secuencial utilizado comúnmente para implementar un conjunto de funciones o un modelo de geoprocesamiento. Estos modelos permiten diseñar un flujo de trabajo con elementos que representan las entradas, las herramientas y las salidas (Krivoruchko *et al.*, 2005).

“Los objetivos de un modelo de geoprocesamiento son ayudar a las personas a entender un problema espacial, estudiar los efectos de diferentes factores en el mundo real, e identificar una solución o hacer una predicción” (Cao *et al.*, 2012). Generalmente las principales aplicaciones en desarrollo de un modelo de geoprocesamiento son tres y a continuación se describirán de forma breve:

- 1) Proyectar y describir una relación entre varios problemas espaciales.

Un modelo de geoprocesamiento utiliza herramientas para entender las relaciones entre los factores de un problema específico. El sobreponer datos de la misma área de influencia en cuestión ayuda a los usuarios SIG a entender las relaciones entre ellos (Pato Gándaras, 2015). Al llevar a cabo un análisis multicriterio, por ejemplo, requiere de evaluar la viabilidad de un sitio por medio de los diversos factores que actúan directa e indirectamente con él, tales como la elevación, pendiente, las vías terrestres cercanas, zonas urbanas, entre otras.

2) Localizar patrones potenciales y apoyar la toma de decisiones.

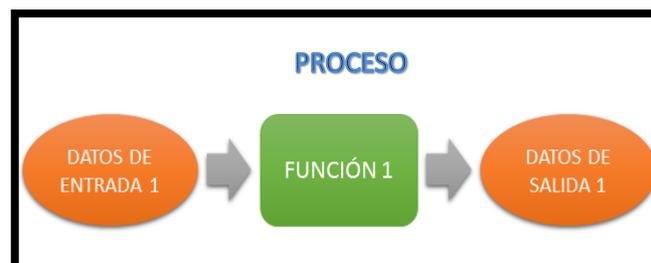
Una vez sobrepuesto los datos espaciales en un modelo de geoprocésamiento para encontrar soluciones, el modelo nos da funciones SIG para seguir analizando factores para más problemas. En pocas palabras, los resultados ayudan a los usuarios a entender los diferentes tipos de problemas en el mundo real.

3) Proporcionar una superposición o predicción.

Dentro del modelo de geoprocésamiento es posible involucrar diferentes tipos de datos y herramientas SIG para resolver múltiples problemas espaciales. Una herramienta de geoprocésamiento facilita la manera de implementar y manipular otros modelos de geoprocésamiento. Existen aplicaciones que modelan problemas ambientales para generar predicciones (Villajos, 2004). Por ejemplo, al predecir zonas de evacuación en caso de la erupción de un volcán activo, el usuario SIG evalúa las zonas urbanas y rurales del área de afectación, adquirir información sobre estudios geológicos específicos para determinar el riesgo, modelos de terreno, asignar rutas de evacuación, áreas de resguardo, etc.

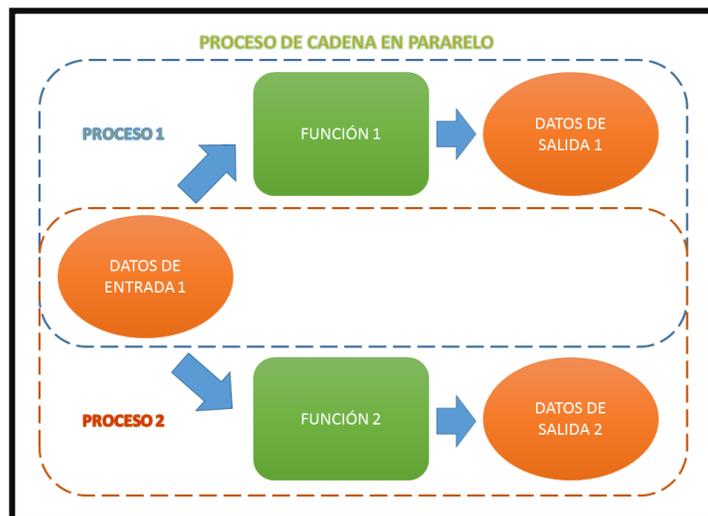
La mayoría de los modelos de geoprocésamiento tienen diferencias en cuanto a sus funcionalidades y aplicaciones, no obstante, las características para crear y calcular modelos de geoprocésamiento con el enfoque tradicional son iguales. Esas características dan un panorama detallado a la hora de generar un análisis de datos espaciales y saber si existe la propagación de un error en el desarrollo del mismo (Zhiwei Cao, 2016). Los modelos de geoprocésamiento se componen de las siguientes estructuras básicas:

El elemento más sencillo del cálculo secuencial de un modelo de geoprocésamiento simple comprende tres componentes: datos de entrada, la función SIG y la salida de datos (Figura 3).



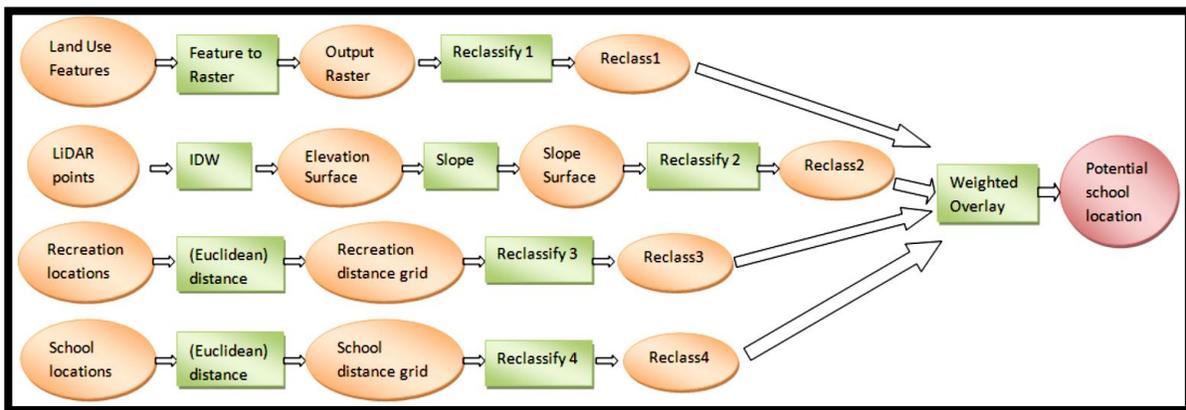
**Figura 3.** Componentes básicos de un modelo de geoprocesamiento simple. Elaboración propia a partir de Tesis de Doctorado (Zhiwei Cao, 2016).

El modelo de geoprocesamiento simple sirve como base para construir modelos más complicados, tales como modelos de cadena simple y paralelo. En la Figura 2 se visualiza un modelo de cadena simple, donde la 'salida de datos 1' de un modelo se convierte en la entrada de datos de la 'función 2' que da como resultado una 'salida de datos 2' definitiva. En el caso del modelo de geoprocesamiento de cadena en paralelo, la diferencia radica en que los datos de entrada para las dos funciones es el mismo, pero se producen dos datos de salida finales distintos (Figura 4). Cabe señalar que la dirección del modelo de cadena paralela podría ser invertida, de modo que se puede producir una sola salida de datos a partir de varias funciones y conjuntos de datos de entrada.



**Figura 4.** Componentes del modelo de geoprocesamiento de cadena en paralelo. Elaboración propia a partir de Tesis de Doctorado (Zhiwei Cao, 2016).

El último modelo de geoprocésamiento es el complejo, “basado en los modelos de cadena simple y paralela, se podría vincular gráficamente diferentes tipos de funciones, herramientas y guiones SIG para resolver problemas espaciales reales” (Bruns y Egenhofer, 1997). Por ejemplo, este modelo aplicado a un análisis de localización tendría que cumplir con que el modelo de geoprocésamiento complejo se implementaría usando varios submodelos que estarían enlazados entre sí. En tal caso será pertinente contar con una estrategia de cálculo para manejar y calcular los submodelos en el modelo (Figura 5).



**Figura 5.** Modelo de geoprocésamiento complejo para el análisis de localización de una escuela (Zhiwei Cao, 2016).

Contar con una estrategia para el cálculo secuencial de un modelo de geoprocésamiento con enfoque tradicional, es un complemento indispensable para comprender cómo se ejecutan los datos y funciones espaciales en un modelo de geoprocésamiento. “Una estrategia de cálculo es un plan para lograr una o más tareas computacionales” (Ansola *et al.*, 2006).

Las herramientas de geoprocésamiento populares en el entorno SIG se encuentran contenidas en el *software ArcGIS*. Estas emplean una estrategia de cálculo secuencial simple para calcular datos espaciales y funciones. “La herramienta de geoprocésamiento vinculan gráficamente datos espaciales y funciones basadas en un flujo de trabajo específico, que luego se implementa en una estrategia secuencial” (Krivoruchko *et al.*, 2005).

Teniendo nuevamente como ejemplo a la Figura 2, se visualiza la forma en que esta se implementada la estrategia secuencial de geoprocésamiento. El modelo de geoprocésamiento incluye dos funciones SIG, con cada función evaluada una tras otra hasta que se produce una 'salida de datos 2' final, creando un resultado intermedio 'salida de datos 1'. Los datos espaciales y las funciones utilizadas para una cadena simple, cadena paralela y modelo complejo se implementan de forma individual y secuencial en todas las funciones (Zhiwei Cao, 2016).

El cálculo secuencial debe de cumplir con dos características para que su desarrollo sea adecuado:

- 1) La entrada y salida de datos de una función siempre debe implicar un valor. Los valores son aquellos que se procesan en funciones SIG y que tienen una secuencia directa entre datos y funciones.
- 2) La programación secuencial implica una ejecución consecutiva y ordenada de estas funciones, de modo que el programa ejecutará una función que esperará la entrada de datos o salida de datos la función previa.

Para el caso del *software ArcGIS*, encontramos que ofrece tres formas con las cuales el usuario SIG puede automatizar sus tareas de geoprocésamiento (Ramos Gámez *et al.*, 2009). Las tres alternativas difieren en cuanto a la cantidad de habilidades imprescindibles para poder generar la solución automatizada en el rango de escenarios el cual cada uno afronta:

- *ModelBuilder.*
- *Script con Python.*
- *ArcObjects.*

La primera opción es desarrollar un modelo utilizando un generador de modelos (*ModelBuilder* en inglés). Este generador de modelos no es más que un programa interactivo y gráfico que permite al usuario que un conjunto de herramientas puedan utilizarse con las estructuras modelo de geoprocésamiento previamente mencionadas.

La singularidad del método es que los usuarios pueden automatizar fácilmente flujos de trabajo SIG con un nivel de complejidad bastante considerable. Por ejemplo; usar iteraciones (a menudo denominada bucles) de ciertas tareas repetitivas de geoprocésamiento para reducir tiempo y esfuerzo, sin necesidad de aplicar ningún comando de programación. La desventaja es que, al estar automatizando, se requiere de una mayor flexibilidad que la que ofrece este generador de modelos. Conviene entonces ejecutar algunas secuencias de comando o pequeños programas informáticos (Allen, 2016).

La segunda opción es la creación de herramientas en secuencia de comandos (*Script* en inglés) por medio del lenguaje de programación *Python*, que puede ejecutar las herramientas SIG de forma individual o ejecutar varias de forma secuencial. Es posible también, adicionar condicionales lógicas con la secuencia de comandos para manejar los casos en que diferentes herramientas se deben ejecutar en función del resultado de operaciones anteriores (Zandbergen, 2013). Existen formas de incluir iteraciones o bucles a la secuencia de comandos para poder repetir una sola acción las veces necesarias para realizar una tarea.

La última opción disponible para usuarios de SIG que trabajen en la plataforma *ArcGIS* y deseen llevara cabo automatización de geoprocésamiento es la generación de una solución utilizando *ArcObjects*. Son los bloques de construcción que implementaron los mismos desarrolladores de ESRI (*Environmental Systems Research Institute* por sus siglas en inglés) para construir los productos de *ArcGIS Desktop*. El método, permite hacer una personalización de la interfaz gráfica del usuario para incluir herramientas y

comandos específicos que pudieran sobrepasar las capacidades de las herramientas de *ArcGIS* o poder modificarlos y utilizados de forma excepcional. Cabe señalar que se requiere de conocimientos avanzados de programación con *Python* (Allen, 2016).

El objetivo final de utilizar cualquiera de las opciones para automatizar geoprocedimientos, es ejecutar una secuencia lógica del uso de múltiples herramientas para una tarea en particular de forma fácil y relativamente sencilla (Ramos Gámez *et al.*, 2009). Por ejemplo, al realizar un *Script*, no es necesario que el *software* gaste memoria *RAM* (*Random Access Memory* por sus siglas en inglés) en desplazar *display* gráfico y solo se enfoque en ejecutar las herramientas en la secuencia deseada.

Resulta entonces un trabajo con una precisión mayor considerando que al realizar procesos de forma manual existen posibilidades de cometer mayor número de errores al multiplicar el número y complejidad de los pasos en el análisis. Además de la fatiga relacionada a la repetición de una misma tarea determinado número de veces. Por ello conviene configurar una tarea de forma automatizada, donde se encomienda a una computadora la ejecución de la misma secuencia de pasos.

#### 1.4 GEOPROCESAMIENTO A PARTIR DE SECUENCIA DE COMANDOS

Mencionadas las razones y opciones para realizar la automatización de geoprocésamiento, hay que enfatizar que las herramientas empleadas en *ModelBuilder* como los *Script* en *Python* utilizan *ArcObjects* para poder ejecutar todas las operaciones para el manejo de datos SIG (Allen, 2016).

No obstante, una de las ventajas de la secuencia de comandos de *Python* con *ArcGIS*, es que no es necesario aprender toda la lógica detrás de las herramientas de *ArcObjects* para su manipulación geoprocésamiento (Ramos Gámez *et al.*, 2009). Basta con saber que herramientas son la apropiadas para el respectivo análisis SIG y como ejecutarlas.

Una secuencia de comandos se define como “un conjunto de instrucciones en texto plano, almacenados en un archivo y llevadas a cabo por un programa de *software*, específicamente un programa de aplicación de secuencias de comandos” (*Hunter College*, 2016). Cada aplicación de secuencias de comandos puede tener diferente lenguaje, y no todos funcionan para escribir en *ArcGIS* (McGavra *et al.*, 2009).

Existen diversos lenguajes de programación para la elaboración de esta secuencia de comandos, incluyendo *Python*, *JavaScript* y *Perl*. Estos lenguajes son conocidos por tener una sintaxis básica y accesible de aprender que otros

como, por ejemplo; *C*, *Java* o *Visual Basic*. Aunque *ArcGIS* es capaz de soportar varios lenguajes de *Script* para poder trabajar con sus librerías de herramientas. ESRI hace una pauta en usar *Python* para su documentación, de la manera, que se incluye dentro de la instalación de *ArcGIS*.

```
Py      if gp.Exists
thon    ("Roads_clip"):
        gp.Delete("Roads_cli
        p")

V      If
BScript gp.Exists("Roads_clip") then
        gp.Delete("Roads_cli
        p")

JS      If
cript   (gp.Exists("Roads_clip"))
        gp.Delete("Roads_cli
        p");
```

La practicidad que ofrece *Python* se debe a la filosofía que envuelve a este lenguaje de programación. Guido van Rossum, el creador de *Python*, lo concibió para que fuera sencillo e intuitivo, de código abierto, fácil de leer y comprender e ideal para resolver tareas comunes. “Lo que para un usuario SIG significa que podrá dedicar más tiempo a crear soluciones y mejorar el flujo de trabajo, que en aprender este lenguaje” (Allen, 2016).

*Python* y el marco de referencia (*Framework*) de geoprocesamiento se relacionan estrechamente ya que *Python* es por excelencia el lenguaje recomendado para la implementación de herramientas de secuencia de comandos. Como desarrollador, no requiere dedicarle mucho tiempo a la interfaz del usuario y si a codificar las funcionalidades de las herramientas a utilizar (Zandbergen, 2013). Dando por resultado, una velocidad en desarrollo en los periodos de entrega de un producto específico.

Al crear una herramienta usando el marco de referencia de geoprocesamiento, los procesos de validación, controles de interfaz de usuario y estilo de documentación predeterminados, son los que están contenidos en las

herramientas principales que ofrece *ArcGIS*, y que se pueden mezclar fácilmente en otras funcionalidades del *software* como el mismo *ModelBuilder* geoprocesamiento (Ramos Gámez *et al.*, 2009).

Otra ventaja y un rasgo muy notable de una solución *Python*, es su implementación. No es necesario instalar ejecutables o generar registros *.dll* (siglas en inglés de *dynamic-link library*). De hecho, con el código disponible, solo se requiere que el usuario agregue la caja de herramientas o compile el mismo código dentro de la ventana *Python* incluida en *ArcGIS Desktop* para acceder a esa funcionalidad (McGavra *et al.*, 2009).

La secuencia de comandos contiene las características de los modelos de geoprocesamiento, por esta razón los datos de entrada deberán estar unidos a una herramienta, solo así se puede ejecutar como una herramienta independiente o incorporada en los modelos. Sin embargo, el poder escribir ese conjunto de instrucciones en un texto, permite a la herramienta funcionar de forma práctica cuando se documenta y comparte la metodología con cualquier usuario (McGavra *et al.*, 2009). Los *scripts* son capaces de ejecutar múltiples conjuntos de datos que realizan la misma operación, sea la proyección de todos los archivos contenidos en una carpeta o todas las clases de entidad en una geodatabase.

Es posible escribir secuencias de comandos para procesar datos que cumplan con ciertas condiciones. Lo que significa que una secuencia de comandos puede comprobar si los datos de entrada corresponden a una clase de modelo vectorial para después procesar esos mismos datos.

La secuencia de comandos contiene una anatomía formada de elementos básicos (Figura 6) para generar un geoprocesamiento que, aunado a una buena documentación, sea compatible con un *script* que alguien más ha escrito e incluso adjuntarle una herramienta correctamente (Zandbergen, 2013).

```

#-----
# Regiones
# Creado el 22 / 02 / 16
#-----

# Import system modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

# Check out the ArcGIS Spatial Analyst extension license
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

# Set local variables
inRaster01 = "Regiones3"
inRaster02 = "Serie5"

# Set environment settings
env.workspace = "C:\Users\Desktop\insumos\Regiones.mdb"

# Execute Combine
outCombine = Combine([inRaster01,inRaster02])

# Save the output
outCombine.save("Regiones_COM")

# Set local variables
inRaster = "Regiones_COM"
outPolygons = "Regiones_S"
field = "VALUE"

# Execute RasterToPolygon
arcpy.RasterToPolygon_conversion(inRaster, outPolygons, "NO_SIMPLIFY", field)
#-----

```

Diagram annotations:

- Comentarios:** Points to the first three lines of comments.
- Código Estándar:** Points to the import and extension license lines.
- Argumentos del Script:** Points to the variable assignment lines.
- Área de trabajo:** Points to the workspace environment setting line.
- Herramienta:** Points to the RasterToPolygon\_conversion function call.

**Figura 6.** Anatomía de elementos del guión estándar de secuencia de comandos en Python. Elaboración propia a partir de *Geoprocessing with Scripts* (Jochen A., 2004).

### Comentarios.

La información proporcionada por los comentarios permite comprender lo que hace la secuencia de comandos y al ejecutarse esta, dichos comentarios son ignorados por el *software* SIG. En una o más líneas de escritura se documenta el código. Para escribir en *Python*, los comentarios comienzan con un signo (#) y de forma predeterminada se muestran en el texto de color verde.

Los comentarios ayudan a determinar cómo funciona el guión, y por lo tanto cómo se utilizan los argumentos. Después se tiene que comprender los tipos de datos y propiedades que se pueden establecer para los parámetros de la herramienta. Por último, la herramienta puede utilizarse sobre un modelo de geoprocesamiento,

para esto quizá habrá que configurar un parámetro adicional que no tiene un argumento en la escritura del guión de la secuencia de comandos.

### **Código estándar.**

Suelen ser una o dos líneas de código (o código similar) en la parte superior de la secuencia de comandos que permite establecer la interacción entre *ArcGIS* y *PythonWin*, la aplicación de programación utilizado para crear y ejecutar *scripts* de *Python*.

### **Argumentos del Script.**

También denominados argumentos del sistema, es el código que especifica los valores para variables de entrada y salida de datos del área de trabajo con las que interactúa la secuencia de comandos. Al adjuntar una herramienta en el script, los argumentos del script son los parámetros de la misma.

### **Área de trabajo.**

Es la ruta de acceso que tiene la secuencia de comandos para direccionar la entrada y salida de datos que se ejecutan en los procesos del guion del *Script*.

### **Herramienta.**

Es la herramienta del sistema que realiza todo el geoprocesamiento dentro del guión de la secuencia de comandos y para llevar esto a cabo necesita; el nombre de la herramienta, la caja de herramientas donde se ubica y los parámetros que requiere.

Con el propósito de tener una herramienta de secuencia de comandos personalizada que funcione eficientemente, es necesario que sus parámetros estén configurados correctamente. Para ello hay que saber cómo configurar correctamente los parámetros y ser capaz de determinar cómo se utilizan los argumentos correspondientes en el guión del *script* (Zandbergen, 2013).

## 2. INSUMOS

### 2.1 CARTA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN DE INEGI

Desde la década de 1980, el gobierno mexicano en coordinación con instituciones educativas e iniciativa privada, ha dado prioridad al registro y análisis de obtención de información de **Uso de Suelo y Vegetación**. Los datos son de suma utilidad para elaborar múltiples reportes sobre el estado de la cubierta vegetal a nivel nacional y representa una fuente de información que apoya los estudios temporales de las comunidades vegetales debido a la generación de información estadística de la situación actual de los recursos naturales (INEGI, 2009).

Este testimonio de conocimientos dio pauta a la realización de un monitoreo periódico de la cubierta vegetal de México y los principales usos del suelo. Se ha logrado la identificación; así como las características del sistema agrícola, tipos de ganadería, cultivos y las actividades forestales, entre otras opciones. Con la información generada, se pretende que se convierta en una fuente confiable y vigente de una parte de los recursos vegetales de México para los estudiosos del tema y para quienes toman decisiones sobre la legislación de políticas de planeación regional, y de los servicios que prestan a ella.

En un principio y con la tecnología con la que se disponía en ese tiempo (la década de 1980), se proyectó que la cartografía de Uso del Suelo y Vegetación fuera generada en formato analógico a escala 1:50,000. Pero la obligación de establecer un Marco Nacional para conocer el estado de la vegetación en la totalidad del territorio mexicano fue cambiada a una escala de mayor cobertura (1:250,000) para que fuera capaz de conservarse en un grado de detalle aceptable.

A partir de diciembre de 1999, toda la información fue convertida a formato digital, en el marco de un amplio proceso de conversión de la información generada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2000).

Una muestra de la confiabilidad de la información y su factibilidad de uso como marco base, es el conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI series I, II, III, IV y V. Un insumo básico para la realización de programas institucionales; como la generación del Inventario Nacional Forestal y de Suelos, realizado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), el mapa de Monitoreo de la Cobertura de la Tierra de América del Norte, donde el INEGI, CONAFOR y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) fueron las instituciones encargadas de la elaboración del territorio mexicano, en coordinación con instituciones de los gobiernos de Estados Unidos de América y Canadá, así como manifestaciones de Impacto Ambiental y los programas de Ordenamiento Territorial. De igual forma, fue un insumo para el desarrollo del mapa de Regiones Ecológicas de América del Norte, elaborado por la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) (INEGI, 2009).

Las cinco series previamente mencionadas, están elaboradas para cubrir la totalidad del territorio de la República Mexicana y con la presentación de nuevas series, se pretende lograr un mayor detalle y certeza de la cubierta vegetal existente y las modificaciones que por distintos factores (naturales, humanos, etc.) la aquejan. La serie I (elaborada en la década de 1980) desarrollada de manera analógica. La serie II (con tiempo comprendido de realización de febrero de 1993 a julio de 1997) fue el parteaguas para definir parámetros de interpretación digital.

Debido a que la serie II dispuso de varios años para tener el producto final, servían más como mapas de divulgación, porque al utilizarse para el monitoreo de

áreas de influencia o de todo el país, con un periodo de tiempo determinado, existía un porcentaje considerable de imprecisión (INEGI, 2000).

Con la digitalización de procesos y conversión de toda la información impresa con escala 1:250,000 y la escala 1:1'000,000, se logró de manera gradual, agilizar procesos de desarrollo e implementación las Series de Uso de Suelo y Vegetación. Aplicada a partir de la serie III, se pudieron obtener ese conjunto de datos vectoriales con la interpretación de imágenes *Landsat ETM (Enhanced Thematic Mapper)* de los años 2000 y 2002, y respaldada con trabajos de campo de 2002, 2003 y 2004 (INEGI, 2009).

La serie IV a partir de la aplicación de técnicas de fotointerpretación con imágenes de satélite *Spot (Satellite Pour l'Observation de la Terre)* de los periodos estacionales de primavera y otoño de 2007 y escenas complementarias de la primavera del año 2008. La interpretación está apoyada con trabajos de campo realizado en otoño de 2007 y primavera-verano de 2008.

Por último, la serie V, la más reciente elaborada por el INEGI, se obtuvo a partir de la interpretación visual de imágenes *Landsat TM5 (Thematic Mapper 5)* del año 2011, seleccionadas en época seca, multiespectrales y respaldada con los respectivos trabajos de verificación de campo (INEGI, 2015).

Para el desarrollo de este trabajo, se determinó que se utilizarían las series III, IV y V de Uso de Suelo y Vegetación, que son las más próximas a los límites del periodo de tiempo que se proyectó y que fueron interpretadas visualmente de imágenes del satélite *Landsat*, pero que en el caso de la serie IV, que contiene otras características y resoluciones al ser fotointerpretada desde imágenes de satélite *Spot*.

### **2.2.1 CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN SERIE III**

La serie III de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI, tiene como función actualizar la información de las dos series anteriores (I y II) que fueron publicadas en las décadas de 1980 y 1990 respectivamente. La información de la serie III fue generada en función de datos estructurados en formato vectorial y codificado con una Tabla de atributos que están entrelazados con la caracterización de los diferentes objetos geográficos contenidos en el Diccionario de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación con escala 1:250 000 e implementado desde 1997.

La serie III es el resultado de la etapa de digitalización de procesos y productos que previamente fueron señalados y que sentó las bases normativas sobre las que se establecen las acciones de integración de la información geográfica sobre recursos naturales producida en el INEGI y otras dependencias y entidades de la Administración Pública Federal en un Sistema Nacional de Información Geográfica. Una acción que logro implantar esta serie fue obtener información estadística sobre cobertura vegetal y el uso del suelo de México cada 5 años (INEGI, 2009).

Con ello se diseñaron inventarios forestales nacionales y estatales, además de disponer de un producto de calidad en un tiempo razonable, manipulando insumos como imágenes actuales de satélites, y apoyos tecnológicos (*software* y *hardware*) que permitieran producir información digital óptima.

Con el propósito de representar la distribución de los diferentes tipos de vegetación natural e inducida de nuestro país; la ubicación de las áreas agrícolas fue ineludible una organización de la información a partir de un sistema jerárquico. Integrando los datos de esta forma, es posible manipular por parte de los usuarios SIG complementándolos o modificándolos, lo que conlleva a estudios sobre un área específica (estado, municipio o región) (INEGI, 2000).

La ventaja al desplegar la información en cualquier visualizador de datos vectoriales es generar estadísticas con las diversas particularidades de la vegetación, como especies presentes, superficie, altura y cobertura de la

vegetación arbórea, entre otras. Todo esto al conjuntar los datos obtenidos en campo (información alfanumérica) con los datos vectoriales.

La información geográfica contenida en la serie III se encuentra integrada por 144 conjuntos de datos digitales y un continuo nacional en formato *shapefile* con *datum* geodésico *ITRF92* (*International Terrestrial Reference Frame 1992*) (Tabla 1).

**Tabla 1.** Estructura de los formatos digitales de información de la serie III (Fuente: INEGI, 2009).

	<b>Conjunto Nacional</b>	<b>Conjuntos Individuales</b>
<b>Escala Original</b>	1:250 000	1:250 000
<b>Resolución</b>	1 m	1 m
<b>Proyección Cartográfica</b>	Cónica Conforme de Lambert (CCL)	Universal Transversal de Mercator (UTM)
<b>Cubrimiento</b>	Nacional	1° de Latitud / 2° de Longitud
<b>Sistema Geodésico de Referencia</b>	<i>ITRF92</i>	<i>ITRF92</i>
<b>Referencia del Dato</b>	Imágenes <i>Landsat ETM</i> del 2002, 2003, 2004	Imágenes <i>Landsat ETM</i> del 2002, 2003, 2004
<b>Tipo de Datos</b>	Vectoriales	Vectoriales
<b>Formato de transferencia</b>	<i>Shapefile</i>	<i>Shapefile</i>

Todos los datos están contenidos dentro de una estructura de 14 capas de polígonos, puntos y líneas que, agrupados, representan diferentes características relacionadas a la cobertura vegetal, los usos a que se dedica, las actividades agrícolas y ganaderas y la ubicación de líneas y puntos de importancia ecológica.

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Clave</b>
<b>Vegetación</b>	Polígonos	Usvs3g
<b>Agricultura</b>	Polígonos	Usvs3v
<b>Erosión</b>	Polígonos	Usvs3r
<b>Aspecto matorral</b>	Polígonos	Usvs3a
<b>Nomadismo agrícola</b>	Polígonos	Usvs3n
<b>Altura de la vegetación</b>	Polígonos	Usvs3h
<b>Cobertura arbórea</b>	Polígonos	Usvs3d

**Tabla 2:** Capas los datos del uso vegetación, serie INEGI, 2009).

<b>Especies vegetales</b>	Puntos	Usvs3e
<b>Cultivos</b>	Puntos	Usvs3c
<b>Actividades pecuarias</b>	Puntos	Usvs3p
<b>Actividades forestales</b>	Puntos	Usvs3f
<b>Sitios de importancia ecológica</b>	Puntos	Usvs3i
<b>Otras actividades</b>	Puntos	Usvs3o
<b>Líneas de importancia ecológica</b>	Líneas	Usvs3l

que conforman del suelo y III (Fuente:

Uno de los objetivos planteados para la generación de la serie III, fue establecer la escala cartográfica que permitiera definir la relación entre la distancia real y la representada en el mapa. Al determinar el tipo de información que estaría incluido en cada carta, y al tener un marco de referencia cartográfica definido, se pudo favorecer el control del detalle de la información al encuadrarla en las diferentes escalas y a su vez relacionar los distintos datos entre sí (INEGI, 2009).

Entonces, cualquier dato que corresponde a una de las escalas sigue siendo el mismo, solo variando en el grado de detalle y en algunos casos, que algunas características puedan ser incluidas en unas escalas y en otras no pueda ser posible representarlas.



**Figura 7.** Diferencias de escalas de representación cartográfica (INEGI, 2009).

La información del conjunto de datos de Uso de Suelo y Vegetación de INEGI era aplicada para realizar diversas actividades relacionadas con la generación de información de recursos naturales. Diversas instancias de gobierno, como la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) desarrolló el Inventario Nacional de Humedales o la CONAFOR para el Inventario Nacional forestal.

Fue implementado durante el desarrollo de la serie III, un rediseño conceptual de los datos obtenidos, que implicó una adecuación y complementación del sistema de clasificación que se había aplicado en las dos primeras series de este tema. La reestructuración de la información se aplicó para el conjunto de datos y para el continuo nacional y que finalizó con 10 apartados. (Tabla 3)

**Tabla 3.** Diseño del sistema de clasificación de la información de Uso de Suelo y Vegetación serie III (Fuente: INEGI, 2009).

<p><b>Tipo de información.</b> Definen los grandes grupos de información de Uso del Suelo y Vegetación, de acuerdo a sus afinidades y similitud de usos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Información ecológica, florística y fisonómica.</li> <li>+ Información agrícola, pecuaria y forestal.</li> <li>+ Información complementaria.</li> </ul>
<p><b>Grandes grupos de vegetación.</b> Diferentes ecosistemas vegetales agrupados de acuerdo a las afinidades ecológicas de los diferentes tipos de vegetación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Bosque de coníferas.</li> <li>+ Bosque de encino.</li> <li>+ Bosque mesófilo de montaña.</li> <li>+ Selva perennifolia.</li> <li>+ Selva subcaducifolia.</li> <li>+ Selva caducifolia.</li> <li>+ Selva espinosa.</li> <li>+ Pastizal.</li> <li>+ Matorral xerófilo.</li> <li>+ Vegetación hidrófila.</li> <li>+ Vegetación inducida.</li> <li>+ Otros tipos de vegetación.</li> </ul>
<p><b>Agroecosistemas.</b> Los sistemas manipulados por el hombre y que constituyen una cubierta de vegetación manejada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Agrícola.</li> <li>+ Pecuario.</li> <li>+ Forestal.</li> <li>+ Acuícola.</li> </ul>
<p><b>Información complementaria.</b> Datos que no son parte de la cobertura vegetal ni de las áreas manejadas pero que incide sobre ellas</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Zonas urbanas.</li> <li>+ Cuerpos de agua.</li> <li>+ Áreas desprovistas de vegetación.</li> <li>+ Asentamientos humanos.</li> <li>+ País extranjero.</li> </ul>
<p><b>Tipo de vegetación.</b> Las diversas agrupaciones vegetales que se presentan en nuestro país, incluyendo las áreas sin vegetación.</p>	<p>La lista es una clasificación de 56 áreas vegetales e incluye las que no cuentan con vegetación. Hay diversos tipos de bosque, selva, matorral, pastizal, sabana, mezquital, pradera, chaparral, manglar, palmar, popal, tular, área sin vegetación, entre otras.</p>
<p><b>Tipo de agroecosistema.</b> Clasificación de los varios tipos de agricultura y actividades acuícolas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Agricultura de Temporal.</li> <li>+ Agricultura de riego.</li> <li>+ Agricultura de humedad.</li> <li>+ Pastizal cultivado.</li> <li>+ Bosque cultivado.</li> <li>+ Acuícola.</li> </ul>
<p><b>Desarrollo de la vegetación.</b> Los distintos estados sucesionales de la vegetación natural.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Vegetación primaria.</li> <li>+ Vegetación secundaria.</li> </ul>
<p><b>Tipo de plantación.</b> El tipo de plantación de especies arbustivas y arbóreas (especies que tienen insertadas en el sustrato una planta pequeña, no una semilla).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Plantación agrícola.</li> <li>+ Plantación forestal.</li> </ul>
<p><b>Fase de vegetación secundaria.</b> Identifica la fase sucesional que se presenta cuando la vegetación es removida o perturbada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Arbórea.</li> <li>+ Arbustiva.</li> <li>+ Herbácea.</li> </ul>
<p><b>Tipo de cultivo.</b> Es la naturaleza del cultivo respecto a su temporalidad.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Anual.</li> <li>+ Permanente.</li> <li>+ Semipermanente.</li> </ul>

## 2.2.2 CONJUNTO DE DATOS VECTORIALES DE LA CARTA DE USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN SERIE IV Y V

La serie IV y V de Uso de Suelo y Vegetación elaborada por el INEGI, es la actualización de las Series previas realizadas desde la década de 1980 y que ha sido perfeccionada al contar con herramientas e insumos tecnológicos de última generación, permitiendo cubrir la totalidad del territorio nacional con mayor precisión y menor tiempo para generar las estadísticas que permitan cuantificar el estado que guarda la cobertura vegetal y el uso del suelo en nuestro país (INEGI, 2015).

A diferencia de la Serie III, estas series presentan algunas incorporaciones técnicas que posibilitan de forma extendida la distribución de los diferentes tipos de vegetación natural e inducida de nuestro país. Se permite entonces, la ubicación de las áreas agrícolas a partir de un sistema jerárquico que podrá formar parte de un Sistema de Información Geográfica.

La información de los conjuntos de datos de la serie IV fue generada por medio de técnicas de fotointerpretación con imágenes de satélite *Spot (Satellite Pour l'Observation de la Terre)* de los periodos estacionales de primavera y otoño de 2007 y escenas complementarias de la primavera del año 2008. Por su parte, la serie V de Uso del Suelo y Vegetación, se logró a partir de la interpretación visual de imágenes *Landsat TM5* del año 2011 en época seca, con bandas multiespectrales y respaldadas con diversos trabajos de verificación de campo.

Ambas se encuentran establecidas por datos estructurados para su representación en forma vectorial y codificada de acuerdo con el Diccionario de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000 en su versión 2 (al igual que la serie III).

Las series IV y V de Uso del Suelo y Vegetación comparten especificaciones técnicas y de formato al estar los dos distribuidos en 149

conjuntos de datos digitales y un conjunto nacional en formato *shapefile* y con *datum* geodésico de referencia *ITRF92* (Tabla 4).

**Tabla 4.** Estructura de los formatos digitales de información series IV y V (Fuente: INEGI, 2015).

	<b>Conjunto Nacional</b>	<b>Conjuntos Individuales</b>
<b>Escala Original</b>	1:250 000	1:250 000
<b>Resolución</b>	1 m	1 m
<b>Proyección Cartográfica</b>	Cónica Conforme de Lambert (CCL)	Universal Transversal de Mercator (UTM)
<b>Cubrimiento</b>	Nacional	1° de Latitud / 2° de Longitud
<b>Sistema Geodésico de Referencia</b>	<i>ITRF92</i>	<i>ITRF92</i>
<b>Referencia del Dato</b>	Imágenes <i>Landsat ETM</i> del 2002, 2003, 2004	Imágenes <i>Landsat ETM</i> del 2002, 2003, 2004
<b>Tipo de Datos</b>	Vectoriales	Vectoriales
<b>Formato de transferencia</b>	<i>Shapefile / Geodatabase</i>	<i>Shapefile</i>

La estructura en la que fue compilada toda la información fue en 13 capas: 1 de líneas, 6 de puntos y 6 de polígonos, que dan particularidades a las diferentes características propias de la cobertura vegetal, los usos a que se dedica una vez transformada o eliminada, las principales actividades agrícolas y ganaderas, y la ubicación de líneas y puntos de importancia ecológica (INEGI, 2015).

Cada capa que conforma la información de las series está contenida en un grupo de archivos que representan la parte gráfica espacial y un componente tabular y que a su vez, se integra por una serie de tablas que describen su relación con el componente gráfico. Los datos de los productos presentan referencia geográfica y características topológicas que almacenan información y permite cuantificar sus áreas, longitudes y ubicación (Tabla 5).

**Tabla 5:** Capas que conforman los datos del Uso del Suelo y Vegetación, series IV y V (Fuente: INEGI, 2015).

<b>Nombre</b>	<b>Tipo</b>	<b>Clave</b>
Vegetación	Polígonos	Usvs5v
Agricultura	Polígonos	Usvs5g
Aspecto matorral	Polígonos	Usvs5a
Nomadismo	Polígonos	Usvs5n
Altura de la vegetación	Polígonos	Usvs5h
Cobertura arbórea	Polígonos	Usvs5d
Especies vegetales	Puntos	Usvs5e
Cultivos	Puntos	Usvs5c
Actividades pecuarias	Puntos	Usvs5p
Actividades forestales	Puntos	Usvs5f
Sitios de importancia ecológica	Puntos	Usvs5i
Otras actividades	Puntos	Usvs5o
Líneas de importancia ecológica	Líneas	Usvs5l

Una implementación que trae consigo la Serie V y actúa como producto precedente a la generación de las 13 capas que se ilustran en la Tabla 5 y que conforma esta Serie, es la **Capa Unión**.

Una versión sintética del conjunto nacional escala 1:250 000 generada durante el periodo 2011 – 2012. Se desarrolló con base en la información presentada en la Serie IV de Uso del Suelo y Vegetación y que fue actualizada con imágenes del satélite *Landsat* del 2011 (INEGI, 2015).

La Capa Unión tiene con las siguientes características técnicas con la que almacena la información:

- Proyección: Cónica Conforme de Lambert (CCL)

- *Datum* Geodésico: ITRF92
- Geoide de Referencia: GRS80
- Formato: *Shapefile*.
- Área mínima cartografiada:
- Agricultura: 25 ha (2 x 2 mm)
- Pastizal Inducido: 25 ha
- Comunidades vegetales: 50 ha (2.83 x 2.83 mm)

Nota: No se considera con este criterio de área mínima la información topográfica base (cuerpos de aguas, zonas urbanas, islas, litorales, etcétera).

El objetivo es proporcionar información actualizada para la obtención de estadísticas de parte de los diferentes usuarios de la información. Los datos se integran en una sola capa digital de las áreas agrícolas clasificadas de acuerdo con:

- La forma en que los cultivos reciben el agua.
- Por su ciclo agrícola.
- La distribución de la cubierta vegetal en su estado original.
- Sus fases sucesionales.
- La vegetación inducida de acuerdo con el sistema de clasificación de Uso del Suelo y Vegetación del INEGI.

El sistema conceptual de clasificación para las series IV y V del Uso del Suelo y Vegetación es jerárquico y permite realizar agrupaciones de acuerdo con los requisitos del trabajo y de los objetivos del análisis en cuestión. Se mantiene la estructura del Sistema Conceptual utilizado en la Serie IV para continuar cumpliendo con las necesidades de los diferentes usuarios de la información (Tabla 6).



### **2.3 DATOS ESTADÍSTICOS OFICIALES DEL REGISTRO AGRARIO NACIONAL**

El acceso a información relevante a los procedimientos de la actualización de indicadores básicos de la propiedad social, así como series de estadísticas anuales sobre el estado actual de los núcleos agrarios existentes dentro de nuestro país, es posible dentro del marco de renovación del RAN que data del año 2007 con el Programa de Modernización del Catastro Rural Nacional (RAN 2016).

El Centro Nacional de Información de la Propiedad Social (CNIPS) ubicado en las oficinas centrales del RAN y que fue inaugurado el 15 de diciembre del 2011, permitió concentrar los sistemas de información e infraestructura tecnológica para dar seguimiento a los más de 700 mil trámites y servicios que recibe el RAN cada año. Mayor velocidad y capacidad de procesamiento de grandes volúmenes de información, la seguridad y resguardo de infraestructura e información de registro catastral de la propiedad social a nivel nacional y del Archivo General Agrario (AGA) son algunos de los principales beneficios con los que cuenta este Centro (RAN 2017).

Toda la información que almacena el CNIPS está integrada por:

- Padrón e Historial de más de 31,800 Núcleos Agrarios.
- Mosaico catastral que comprende alrededor de 94 millones de hectáreas.
- 100 millones de fojas digitalizadas del acervo del Archivo General Agrario.
- Información digital de más de 50 millones de registros.
- Consulta de Planos, que involucra acciones expropiaciones y cambios de destino del Programa de Certificación de Derechos Ejidales y Titulación de Solares (PROCEDE).
- Sistema de Inscripciones del RAN (SIRAN).

El RAN puede compilar información en forma de series estadísticas y datos vectoriales (geoespaciales) de manera anual (desde el año 2010) o lo que se acumula en el periodo de cada 5 años, todo esto a partir de la información contenida en los sistemas denominados Padrón e Historial de Núcleos Agrarios (PHINA) y Sistema Integral de Modernización Catastral y Registral (SIMCR). Para que esto suceda, los datos deben de cumplir los siguientes requisitos (RAN 2016):

- Datos de registros administrativos que generan los sistemas PHINA y SIMCR.
- Núcleos agrarios seleccionados y que previamente están certificados.
- Propiedades sociales que contengan una superficie a la fecha de corte.
- Tipo de núcleo sea ejido o comunidad.
- Clasificados por entidad federativa.

El **PHINA** es una herramienta de apoyo en el control de la tenencia de la tierra social, reflejando la historia de cada ejido o comunidad en el país, desde el reparto agrario hasta nuestros días, para efectos de estadística, análisis, planeación y control en la propiedad social. La información estadística se plasma de todas las acciones y procedimientos agrarios que crean, modifican o extinguen la superficie de los núcleos agrarios (ejidos y comunidades), desde su creación, ya sea por cualquiera de los siguientes dictámenes (RAN 2017):

- Resolución Presidencial (1917-1992).
- Decretos de Expropiación (1934 a la fecha).
- Constitución y Acuerdos de Asamblea (del 1992 al día de hoy).
- Sentencia de Tribunal Agrario.

La actualización de información dentro del sistema PHINA es una responsabilidad que comparten Oficinas Centrales del RAN y las Delegaciones de la Estructura Territorial. El PHINA comprende modificaciones diarias a partir de la información publicada en el Diario Oficial de la Federación y de las inscripciones de acciones agrarias registradas tanto en libros como en el Sistema Integral de Modernización Catastral y Registral (SIMCR). Por lo tanto, toda la información que contiene el sistema se encuentra respaldada por un documento o acto jurídico, que requiere para ser integrada, que dicha información este validada conforme a las reglas definidas para cada caso (RAN 2016).

Dichas modificaciones en los datos de PHINA permiten generar mensualmente el reporte sobre la estructura de la propiedad social especificando, el número de ejidos y comunidades, así como la superficie que los comprenden. Adicionalmente, el sistema es la base para la actualización del catálogo de núcleos agrarios del SIMCR.

El **SIMCR** por su parte, es una herramienta permite atender las solicitudes de 52 tipos de trámites que presentan los usuarios ante las Delegaciones de la estructura territorial y servicios que proporciona el RAN. La información catastral, registral y de gestión contenida en la base de datos del sistema se actualiza a través de la inscripción de actos jurídicos que crean modifican o extinguen derechos respecto de la propiedad social (RAN 2017).

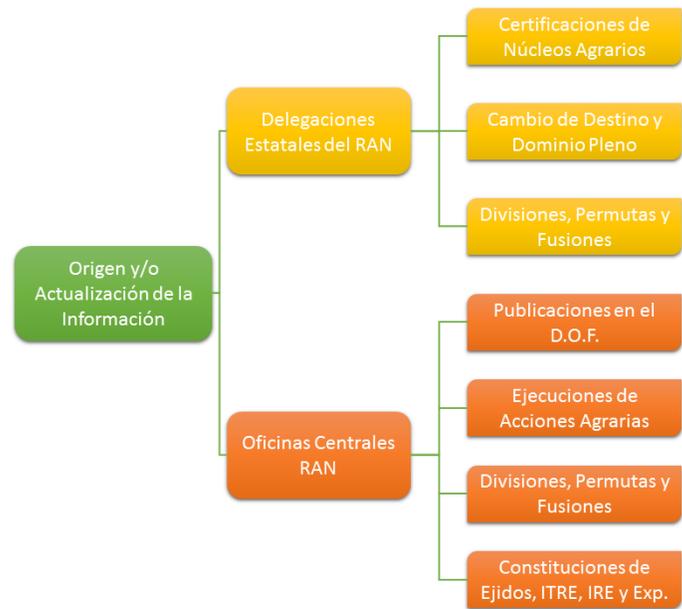
De los trámites que se pueden expedir a través del sistema SIMCR, destaca por su importancia el SEDATU-04-014, que es el “Acuerdo de Asamblea de Delimitación, Destino y Asignación de Tierras (ADDAT)”. El trámite esta cimentado en base a la reforma del artículo 27 constitucional de 1992, la expedición de la Ley Agraria y el Reglamento en materia del PROCEDE).

Se estableció el derecho para que los ejidos y comunidades, a través de acuerdos de asambleas adopten las condiciones más idóneas para el

aprovechamiento de sus recursos y, en consecuencia, “se les otorgó la facultad de delimitar, destinar y asignar las tierras que conforman su patrimonio, reconocer el parcelamiento económico y regularizar la tenencia de los poseionarios” (RAN, 2016).

Normalmente los datos contenidos en el SIMCR son modificados con base en la atención de las solicitudes que se reciben de los usuarios. En el caso del trámite del ADDAT, el insumo básico para la integración del Catastro de la Propiedad Social es toda la información registral y geográfica generada en la delimitación de la superficie de los núcleos agrarios en el proceso de certificación.

La información almacenada en el SIMCR tiene como soporte documentos como actas de asamblea, contratos y sentencias, entre otros, en los que constan los actos jurídicos que crean, modifican o extinguen derechos relativos a la propiedad social. El SIMCR opera de manera centralizada a partir de una base de datos geoespacial, por lo que se puede vincular y mantener actualizada información registral, catastral y de gestión (RAN 2017).



**Figura 8.** Estructura del RAN para la obtención y actualización de información. Elaboración propia a partir de Número de Ejidos Registrados (RAN, 2017).

Las estadísticas agrarias se encuentra dividida principalmente en 2 grupos que son: “Indicadores básicos de la propiedad social” y “Estadística con perspectiva de género”, de la cual este último esta generado básicamente con registros administrativos. A continuación, se presenta la forma en que estos grupos están desglosados (RAN 2017).

❖ **Indicadores básicos de la propiedad social.**

1. Número de Ejidos Registrados (ER).
2. Superficie Ejidal registrada (SER).
3. Ejidos registrados con Delimitación de Tierras (ERDT).
4. Superficie Ejidal Registrada con Delimitación de Tierras (SERDT).
5. Comunidades Registradas (CR).
6. Superficie Comunal Registrada (SCR).

❖ **Estadística con perspectiva de género.**

1. Sujetos de Núcleos Agrarios Certificados y no Certificados.
2. Beneficiados con la expedición de Documentos (Certificados y títulos).
3. Sujetos agrarios que han depositado su Lista de Sucesión.
4. Parcelas Certificadas e Inscripciones de acuerdos para constituir figuras organizativas al interior del ejido o comunidad y sus modificaciones relativas a la Unidad Agrícola Industrial de la Mujer (UAIM).

5. Integrantes de Órganos de Representación de Núcleos Agrarios inscritos en SIMCR.

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 CONTEXTO**

La República Mexicana, con su vasta y valiosa extensión territorial, se encuentra fraccionada en más de la mitad de la misma, por un término conocido como Propiedad Social y que se considera una de las instituciones agrarias, de carácter jurídico, económico, social y político, más importante y trascendente de México. Su relevancia se encuentra en la riqueza de los recursos de uso común que aporta generosos beneficios y servicios a todos los habitantes de nuestro país. Los recursos al ser propiamente administrados y protegidos por las políticas públicas son la clave para generar el bienestar económico e impulsar el desarrollo social y humano en el Sector Rural Mexicano, que ha sido el más perjudicado por las diversas políticas económicas.

Los cambios físicos que acontecen en los ecosistemas terrestres se deben en la mayoría de los casos, a procesos de deforestación o degradación forestal, como en el caso del cambio en el uso de terrenos en las regiones tropicales. Factores como el incremento poblacional o patrones de consumo global, generan sustanciales efectos negativos en los ecosistemas, siendo la biodiversidad, los regímenes de agua, de suelo y climático, unas de las principales consecuencias.

Este trabajo se desarrolló con ArcGIS de ESRI, por ser conocido y práctico para el manejo de datos por parte de los usuarios SIG y difiriendo de los demás procesos de obtención de información de la Propiedad Social. Todos los datos a nivel nacional fueron operados por una opción de automatización de procesos que tiene este programa llamada “secuencia de comandos” (*Script*) y que puede

fácilmente ser modificada para su utilización. Para más detalles de su funcionamiento, a continuación, se dará una breve explicación de lo antes dicho.

La definición metodológica planteada en este trabajo sobre la captura de información sobre el cambio de la propiedad social forestal de México para posteriormente desarrollar un modelo de geoprocésamiento que realice una evaluación periódica de la dinámica de cambio en bosques, selvas y otro tipo de vegetación forestal, están basadas en la identificación de estructuras arbóreas presentes en los dos núcleos agrarios constituidos en la propiedad social de nuestro país; el ejido y la comunidad agraria.

Cada entidad federativa de la República Mexicana tiene asignado un cierto número de terrenos ejidales y de comunidad agraria por Municipio, que puede estar dentro de los límites del mismo o colindando de forma parcial sobre él. La administración del control de la tenencia de la tierra ejidal y comunal, así como de brindar la seguridad jurídica documental (derivada de la aplicación de la Ley Agraria) es llevado a cabo por el Registro Agrario Nacional, órgano desconcentrado de la SEDATU.

El archivo en formato *shapefile* con datos oficiales generada por el RAN, con fecha de elaboración de enero del 2016, presentó 8 núcleos agrarios que tubularmente contenían datos que geográficamente no coincidían (ver Figura 9). Dicha información representa 2,227.71 hectáreas que se tuvieron que descartar dentro del análisis para no generar datos incorrectos.

IdNucleoAg	NombreNucl	TipoNucleo	IdMunicipi	NombreMuni	IdEntidadF	NombreEnti	Shape_Leng	Shape_Area	area
15	SANTIAGO OCIPACO	EJIDO	57	NAUCALPAN DE JUÁRE	15	MEXICO	4929.313503	1166393.13002	116.639313
7	FRANCISCO I MADERO	EJIDO	16	AXAPUSCO	15	MEXICO	2939.089961	496664.905679	49.666491
36	SAN GABRIEL	COMUNIDAD	155	TANTOYUCA	30	VERACRUZ DE LA LLAVE	13809.525763	6435187.08043	643.518708
38	ZAPOTAL SANTA CRUZ	EJIDO	175	TIHUATL N	30	VERACRUZ DE LA LLAVE	6234.362327	813016.475037	81.301648
38	ZAPOTAL SANTA CRUZ	EJIDO	175	TIHUATL N	30	VERACRUZ DE LA LLAVE	11586.408256	7765509.60877	776.550961
124	TIERRA Y LIBERTAD	EJIDO	30	SAN FELIPE	11	GUANAJUATO	10264.746529	1058114.81592	105.811482
13	SANTA MARIA TICOMAN	EJIDO	5	GUSTAVO A. MADERO	9	DISTRITO FEDERAL	5800.914651	1363533.22418	136.353322
13	SANTA MARIA TICOMAN	EJIDO	5	GUSTAVO A. MADERO	9	DISTRITO FEDERAL	9310.606764	3178716.02757	317.871603

**Figura 9.** Núcleos agrarios que contienen incongruencias de información geoespacial.

### 3.2 MANEJO DE INSUMOS

Los insumos empleados para desarrollar esta propuesta metodológica son por un lado las series III, IV y V del conjunto de datos vectoriales del Uso de Suelo y Vegetación de INEGI. Del RAN se obtuvieron y utilizaron los datos vectoriales de los perímetros de núcleos agrarios certificados con fecha de actualización de enero del 2016. Adicionalmente con fines de ilustrar y presentar de forma organizada los resultados se empleó el *shapefile* de las regiones del CONANP.

Todos los datos geoespaciales empleados fueron reproyectados a la proyección cartográfica Cónica Conforme de Lambert (CCL), con los siguientes parámetros:

Datum:	WGS 1984
Elipsoide:	WGS 1984
Falso Este:	2500000
Falso Norte	0.0
Primer paralelo estándar:	17.5
Segundo paralelo estándar	29.5
Latitud de origen:	12.0
Unidades:	metros

Teniendo como base el Diccionario de Datos Vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación escala 1:250 000 en su versión 2 del INEGI, a las series III, IV y V del conjunto de datos vectoriales del Uso de Suelo y Vegetación se les aplicó una reclasificación de la descripción uso de suelo y tipo de vegetación en cinco tipificaciones tomando como referencia la que realiza la FAO (*Food and*

*Agricultural Organization of the United Nations*) sobre bosques y selvas. En la

Valores	Descripción		
Bosques	Bosque de Ayarín. Bosque de Cedro. Bosque de Oyamel. Bosque de Encino.	Bosque de Pino-Encino. Bosque de Táscate. Bosque de Pino. Bosque Inducido.	Bosque de Encino-Pino. Bosque de Galería. Bosque de Mezquite. Bosque Mesófilo de Montaña.
Selvas	Selva de Galería. Selva Alta Perennifolia. Selva Alta Subperennifolia. Selva Mediana Caducifolia. Selva Mediana Subcaducifolia.	Selva Mediana Perennifolia. Selva Mediana Subperennifolia. Selva Baja Perennifolia. Selva Baja Subperennifolia. Selva Baja Caducifolia.	Selva Baja Subcaducifolia. Selva Baja Espinosa Caducifolia. Selva Baja Espinosa Subperennifolia.
Otro tipo de Vegetación Forestal	Todo tipo de vegetación y sus respectivas subclases: Matorral. Sabana. Sabanoide. Vegetación Halófila Hidrófila. Mezquital. Chaparral. Vegetación de Desiertos Arenosos Vegetación Halófila. Pastizal. Manglar. Vegetación Gipsófila. Vegetación de Dunas Costeras. Pradera. Popal. Vegetación de Galería. Tular. Palmar. Vegetación de Petén.		
Otros	Cuerpos de agua. Asentamientos humanos.	País extranjero. Zonas urbanas.	Área desprovista de vegetación. Nomadismo agrícola.

tabla siguiente se muestra los valores presentes en cada tipificación.

**Tabla 7.** Valores de las cuatro tipificaciones utilizadas como insumos para el desarrollo de este trabajo.

### 3.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

A partir de la propuesta metodológica planteada, los insumos seleccionados y las definiciones propuestas, se procede al desarrollo de un Modelo de Geoprocesamiento para la generación de información sobre el cambio de la Propiedad Social Forestal en México durante el periodo de tiempo del 2000 al 2010 y que generara datos confiables para establecer una valoración del estado que guardan los bosques y selvas en México. Para ello se procedió a administrar los siguientes procedimientos mediante la construcción de diversas geodatabases personales y la implementación de herramientas de procesamiento en ArcGIS a continuación descritos:

1. **Descarga de insumos.** De la página de internet del INEGI, se obtienen las series III, IV y V del Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación, y de los datos abiertos de datos.gob.mx se extrajo el archivo "RAN\_NACIONAL". Toda la información se encuentra en *shapefile*.
2. **Adecuación cartográfica.** Se realiza una homogeneización de la información cartográfica utilizando la Proyección CCL con parámetros definidos en las Normas Técnicas del Sistema Geodésico Nacional, emitidas por el INEGI.

Datum	International Terrestrial Reference Frame 1992 (ITRF92) (epsg:6651)
Elipsoide	GRS 1980 (epsg:7019)
Proyección	Lambert Conformal Conic 2SP (epsg:9802)
Falso este	2 500 000
Falso norte	0
Paralelo estándar 1	17° 30' 0.00" N
Paralelo estándar 2	29° 30' 0.00" N
Meridiano central	102° 00' 0.0" W
Latitud origen	12° 00' 0.0" N

Factor de escala	1
Unidad lineal	Metros

3. **Aplicación del modelo a los datos geoespaciales.** Teniendo los núcleos agrarios de la propiedad social en México clasificados de acuerdo a la entidad federativa a la que están adjudicados, la secuencia de comando se le asigna un estado y una Serie del Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación para cuando se ejecute el modelo, transforme toda la información de formato vectorial a ráster, se realice una combinación de datos a partir de una unión espacial y por ultimo al resultado del proceso anterior, transforme los datos de formato ráster a vectorial (ver Figura 10). Todos los procesos del modelo se generan y almacenan en la Geodatabase previamente vinculada y los resultados tabulares fueron incluidos a archivos de Excel. El modelo fue configurado para ejecutar los treinta y dos estados de la República Mexicana con cada una de las tres series de INEGI.

```
# Import system modules
import arcpy
from arcpy import env
from arcpy.sa import *

# Set environment settings
env.workspace = "C:\Users\Alonso\Desktop\Tesis\INSUMOS\RasterS5.mdb"

# Set local variables
inFeatures = "CoahuilaRAN"
valField = "TipoNucleo"
outRaster = "Coahuila"
assignmentType = "CELL_CENTER"
priorityField = "NONE"
cellSize = 30
# Execute PolygonToRaster
arcpy.PolygonToRaster_conversion(inFeatures, valField, outRaster,
assignmentType, priorityField, cellSize)

# Set local variables
inRaster01 = "Coahuila"
inRaster02 = "C:\Users\Alonso\Desktop\Tesis\INSUMOS\RasterS3.mdb\Serie3"
# Check out the ArcGIS Spatial Analyst extension license
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")

# Execute Combine
outCombine = Combine([inRaster01, inRaster02])
# Save the output
outCombine.save("Coahuila_COM3")

# Set local variables
inRaster = "Coahuila_COM3"
outPolygons = "Coahuila_F3"
field = "VALUE"
# Execute RasterToPolygon
arcpy.RasterToPolygon_conversion(inRaster, outPolygons, "NO_SIMPLIFY", field)

# Set local variables
inFeatures = "Coahuila_F3"
fieldName1 = "AREA"
fieldPrecision = 10
# Execute AddField for the new Field
arcpy.AddField_management(inFeatures, fieldName1, "DOUBLE", fieldPrecision, "", "",
"NULLABLE")

# Finaliza
Fin = 'A ver que tal'
print Fin
```

**Figura 10.** Ejemplo de la secuencia de comandos para la obtención de la propiedad social forestal de Coahuila en base a la serie V del Conjunto de Datos Vectoriales de INEGI.

4. **Construcción de definiciones para evaluación de procesos.** Mediante el cálculo de estadísticas de las entidades federativas en México, se construyen las definiciones de los procesos de la dinámica de cambio en bosques, selvas y otro tipo de vegetación forestal contenidas en la propiedad social.
  
5. **Obtención de resultados.** Se obtienen para cada uno de los treinta y dos estados en que está dividido México, los resultados de la evaluación de los procesos de conservación, deforestación, recuperación y degradación de la cubierta forestal comprendida en los núcleos agrarios que conforman la propiedad social del país durante el periodo del 2000 al 2010.

#### 4. RESULTADOS

La República Mexicana tiene una dimensión territorial aproximada de 195 millones de hectáreas, de las cuales, poco más del 70% de la superficie total (unos 138 millones de ha.) están cubiertas por vegetación forestal, dejando las hectáreas restantes que corresponden a un uso de suelo sin elementos forestales, como puede ser; asentamientos urbanos, agrícolas, ganaderos, entre otros. De esa superficie forestal, sólo 64.5 millones de hectáreas (una tercera parte del país) se componen de bosques y selvas. Lo que significa que más de la mitad de la superficie forestal está formada por otro tipo de ecosistemas como desiertos, matorrales, praderas naturales, manglares, etc.

El Modelo de Geoprocesamiento aplicado a las Series III, IV y V del Conjunto de Datos Vectoriales de la Carta de Uso de Suelo y Vegetación elaboradas por INEGI, nos permite tener una visión a nivel Nacional (ver Tabla 8) y por entidad, del cambio de la propiedad social forestal en México durante un periodo de tiempo aproximado del 2000 al 2010, en el cual, se observan reducciones significativas en las 3 tipificaciones de la cubierta forestal (bosque, selva, otro tipo de vegetación forestal) planteadas en la metodología, y un incremento en todo tipo de tierra no clasificada como bosques o como otras tierras boscosas.

**Tabla 8.** Datos a nivel Nacional de la cubierta forestal contenida en la propiedad social en México.

Clase	Serie III				Serie IV				Serie V			
	Nacional	%	P.S.	%	Nacional	%	P.S.	%	Nacional	%	P.S.	%
Bosque	34,153,660.4	17.46	18,016,218.8	9.21	34,137,255.8	17.45	17,987,166.6	9.19	34,120,205.9	17.44	17,966,751.7	9.18
Selva	31,478,092.2	16.09	17,949,263.4	9.18	30,766,103.7	15.73	17,486,987.0	8.94	30,393,504.7	15.54	17,297,508.9	8.84

OTVF	75,453,987.8	38.57	34,622,420.0	17.70	74,327,314.5	38.00	34,197,950.2	17.48	73,926,959.3	37.79	34,071,216.1	17.42
Otros	54,231,292.7	27.72	24,096,929.8	12.32	55,991,993.6	28.62	25,032,605.9	12.80	56,895,091.1	29.08	25,369,609.0	12.97
Total	195,317,033.3	99.84	94,684,832.0	48.40	195,222,667.7	99.79	94,704,709.7	48.41	195,335,761.0	99.85	94,705,085.6	48.41

\*OTVF= Otro tipo de vegetación forestal \*%=Porcentaje respecto a la superficie total de México \*P.S. = Propiedad Social

#### 4.1 CUBIERTA FORESTAL EN MÉXICO

De las 32 entidades federativas de los Estados Unidos Mexicanos, en Chihuahua, Sonora, Coahuila, Durango, Baja California Sur, Baja California, Oaxaca y Zacatecas se concentra casi el 62% de la superficie forestal del país (Figura 11). Ubicados todos con excepción de Oaxaca (al sureste) en la parte norte de México. La Ciudad de México es el estado con menor superficie forestal a nivel federal al solo contar con 43'960 ha.

Al desarrollar la dinámica de cambio en toda la cubierta forestal del país, tenemos que, veinticuatro estados presentan una pérdida de vegetación. El caso de Yucatán y Jalisco alcanzan valores porcentuales (respecto a la superficie total estatal) de disminución de áreas forestales de hasta 4.1 y 3.7 por ciento, respectivamente (Tabla 9).

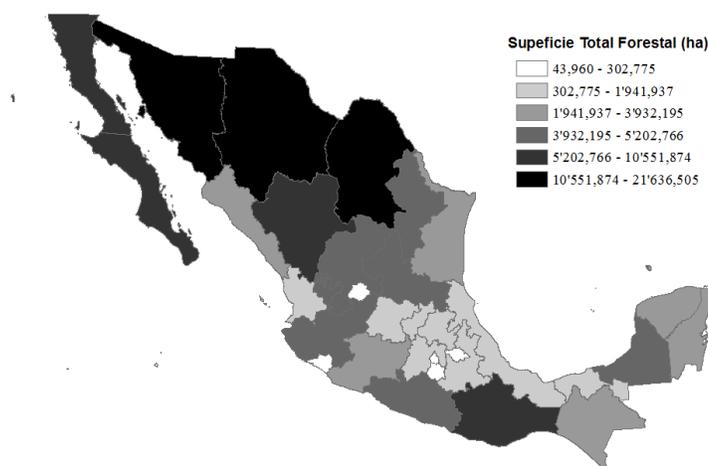


Figura 11. Superficie forestal estatal. Elaboración propia a partir de la propiedad social forestal en México (Madrid *et al.*, 2009).

Tabla 9. Datos de los estados con mayor pérdida de hectáreas de cubierta forestal en el país.

Estado	Superficie total	Serie III		Serie IV		Serie V		Dinámica de Cambio	
		Cubierta Forestal	%	Cubierta Forestal	%	Cubierta Forestal	%	Hectáreas	%
Yucatán	3953301.85	2946735.81	74.54	2834600.20	71.70	2784724.06	70.44	-162011.75	4.10
Jalisco	7796588.55	4936624.81	63.32	4679598.99	60.02	4648650.01	59.62	-287974.80	3.69
Sinaloa	5680289.37	3337255.81	58.75	3234638.59	56.94	3170803.90	55.82	-166451.90	2.93
Chiapas	7361194.55	3997588.80	54.31	3838727.50	52.15	3782186.31	51.38	-215402.49	2.93

Sonora	18084059.93	15724864.64	86.95	15528351.55	85.87	15309988.47	84.66	-414876.17	2.29
Oaxaca	9395977.73	6352410.93	67.61	6248093.93	66.50	6156202.36	65.52	-196208.58	2.09
Aguascalientes	555867.38	271698.69	48.88	261308.28	47.01	260381.32	46.84	-11317.37	2.04
Querétaro	1158926.75	683999.11	59.02	670412.95	57.85	661767.54	57.10	-22231.57	1.92
Zacatecas	7447970.73	5340481.49	71.70	5284794.43	70.96	5202766.38	69.85	-137715.10	1.85
Quintana Roo	4455628.53	4011865.77	90.04	3944008.57	88.52	3932195.21	88.25	-79670.56	1.79

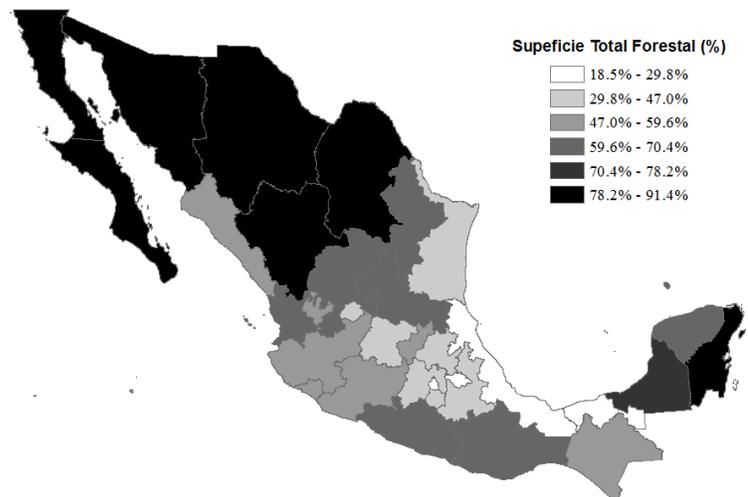
Los ocho estados restantes que presentan un incremento de su cubierta forestal dentro de la misma dinámica de cambio aplicada en la tabla anterior, tenemos que, la mayoría con excepción de Hidalgo, Tlaxcala y Estado de México tienen un aumento porcentual mayor al 0.5 por ciento con respecto al área total de cada estado (Tabla 10).

**Tabla 10.** Datos de los estados con incremento de hectáreas de cubierta forestal en México.

Estado	Superficie total	Serie III		Serie IV		Serie V		Dinámica de Cambio	
		Cubierta Forestal	%	Cubierta Forestal	%	Cubierta Forestal	%	Hectáreas	%
Morelos	485941.38	167637.02	34.50	182201.11	37.49	182686.92	37.59	15049.90	3.10
Nayarit	2781727.06	1896496.13	68.18	1942480.25	69.83	1941937.01	69.81	45440.88	1.63
Puebla	3415208.56	1493038.75	43.72	1521111.08	44.54	1526160.69	44.69	33121.94	0.97
Guerrero	6356487.02	4292496.53	67.53	4358552.25	68.57	4340593.09	68.29	48096.56	0.76
Tabasco	2469460.70	722883.34	29.27	715519.93	28.97	736715.79	29.83	13832.45	0.56
Hidalgo	2065454.57	884568.19	42.83	897967.65	43.48	893467.07	43.26	8898.88	0.43
Tlaxcala	397397.30	73282.39	18.44	73412.20	18.47	73524.12	18.50	241.73	0.06
Estado de México	2222657.67	767819.42	34.55	774723.96	34.86	768895.29	34.59	1075.86	0.05

La proporción del total de los territorios estatales ocupada por superficie forestal en el caso de los estados enlistados a continuación es mayor al 84% sin mencionar a Campeche. Los 24 estados restantes tienen una media aritmética no superior al 45% a la proporción antes referida. En el otro extremo, Tlaxcala es la Entidad Federativa con la menor proporción de superficie forestal al solo contener el 18.5% en comparación con la totalidad de su dimensión geográfica.

- Baja California Sur – 91.47%
- Coahuila – 91.08%
- Quintana Roo – 88.25%
- Chihuahua – 87.61%
- Baja California – 86.55%



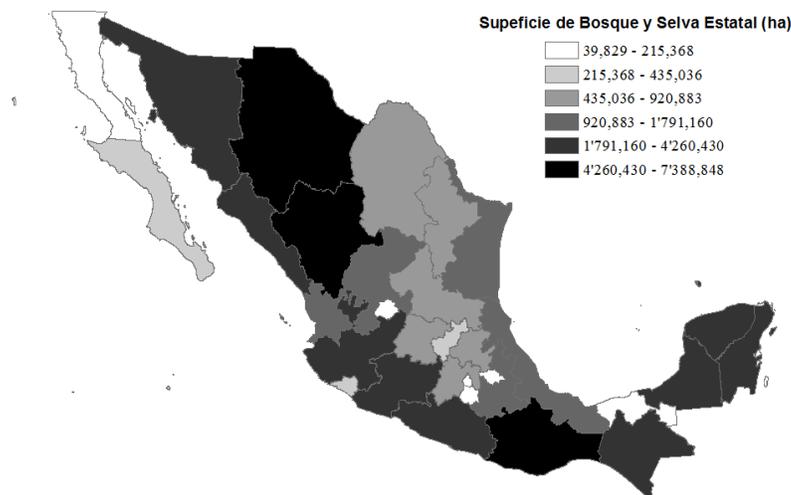
Durango – 86.40%  
 Sonora – 84.66%  
 Campeche – 78.23%

Haciend  
 o énfasis en la  
 cantidad de

bosque y selva contenida por delimitación geográfica estatal, tenemos que la suma de hectáreas de Chihuahua, Oaxaca, Durango, Guerrero, Jalisco, Campeche, Sonora y Chiapas cubren el 60% de este rubro. Por lo que estados que acumulan una mayor superficie forestal no son necesariamente los mismos que tienen una mayor cantidad de bosques y selvas.

La dinámica de cambio en la superficie de bosque y selva a nivel federal, tenemos que, diecinueve estados presentan una pérdida de vegetación. De nueva cuenta Yucatán, Chiapas y Jalisco alcanzan altos valores porcentuales (respecto a la superficie total estatal) de disminución de áreas forestales de hasta 4.2, 2.8 y 2.33 por ciento, respectivamente (Tabla 11).

**Figura 12.** Porcentaje de superficie forestal estatal con respecto a la superficie estatal total. Elaboración propia a partir de la propiedad social forestal en México (Madrid *et al.*, 2009).



**Figura 13.** Superficie de bosques y selvas a nivel estatal. Elaboración propia a partir de la propiedad social forestal en México (Madrid *et al.*, 2009).

**Tabla 11.** Datos de los estados con mayor pérdida de hectáreas de bosque y selva a nivel federal.

Estado	Superficie total	Serie III		Serie IV		Serie V		Dinámica de Cambio	
		Cubierta Forestal	%	Cubierta Forestal	%	Cubierta Forestal	%	Hectáreas	%
Yucatán	3953301.85	2800781.68	70.85	2692477.15	68.11	2641693.49	66.82	-159088.19	4.02
Chiapas	7361194.55	3820307.57	51.90	3666535.30	49.81	3614175.50	49.10	-206132.07	2.80

Jalisco	7796588.55	4316653.22	55.37	4143947.66	53.15	4135055.60	53.04	-181597.62	2.33
Sinaloa	5680289.37	2913602.31	51.29	2820691.96	49.66	2784274.06	49.02	-129328.25	2.28
Oaxaca	9395977.73	6125340.02	65.19	6039609.73	64.28	5948894.31	63.31	-176445.71	1.88
Quintana Roo	4455628.53	3595261.36	80.69	3526541.43	79.15	3516249.38	78.92	-79011.99	1.77
Campeche	5727733.03	4029121.38	70.34	3949865.29	68.96	3950682.48	68.97	-78438.90	1.37
Michoacán	5829628.83	3472003.49	59.56	3411590.73	58.52	3400362.40	58.33	-71641.09	1.23
Veracruz	7146136.04	1196956.79	16.75	1159312.92	16.22	1136030.69	15.90	-60926.10	0.85
Sonora	18084059.93	3868973.79	21.39	3840287.86	21.24	3744833.77	20.71	-124140.02	0.69

Trece entidades federativas presentan un incremento de su cubierta forestal dentro de la dinámica de cambio aplicada a bosque y selva. Por lo tanto, sin contar a San Luís Potosí, Chihuahua y Tlaxcala, todos muestran un aumento porcentual mayor al 0.5 por ciento con respecto al área total de cada estado (Tabla 12).

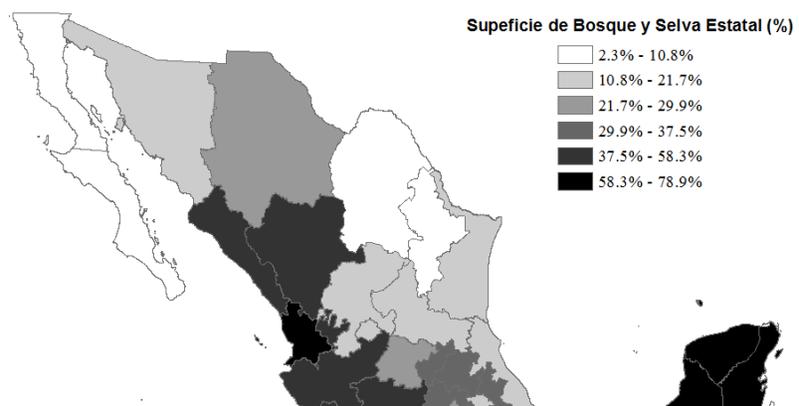
**Tabla 12.** Datos de los estados con incremento de hectáreas de bosque y selva en el país.

Estado	Superficie total	Serie III		Serie IV		Serie V		Dinámica de Cambio	
		Cubierta Forestal	%	Cubierta Forestal	%	Cubierta Forestal	%	Hectáreas	%
Morelos	485941.38	167361.70	34.44	181905.98	37.43	182391.61	37.53	15029.91	3.09
Hidalgo	2065454.57	616721.52	29.86	628171.46	30.41	662094.12	32.06	45372.60	2.20
Nayarit	2781727.06	1750519.39	62.93	1790598.87	64.37	1791160.81	64.39	40641.42	1.46
Querétaro	1158926.75	410939.72	35.46	409961.37	35.37	425008.78	36.67	14069.06	1.21
Puebla	3415208.56	1166685.51	34.16	1200172.26	35.14	1205815.16	35.31	39129.66	1.15
Guerrero	6356487.02	4208425.62	66.21	4277851.86	67.30	4260430.35	67.02	52004.73	0.82
Tabasco	2469460.70	202665.97	8.21	210869.60	8.54	215368.83	8.72	12702.86	0.51
San Luís Potosí	6049995.79	911826.84	15.07	919966.03	15.21	920883.51	15.22	9056.67	0.15
Chihuahua	24697336.00	7364189.26	29.82	7405185.36	29.98	7388848.63	29.92	24659.37	0.10
Tlaxcala	397397.30	63488.97	15.98	63743.42	16.04	63840.52	16.06	351.55	0.09

La proporción del total de los territorios estatales ocupada por superficie de bosque y selva en el caso de los estados enlistados a continuación es mayor al 63% sin mencionar a Michoacán y Jalisco. Estas ocho Entidades Federativas se ubican (exceptuando a Jalisco y Nayarit) geográficamente en el parte Centro-Sur (ver Figura 14) del país donde la selva húmeda y seca, así como los bosques de coníferas y encinos es predominante.

Quintana Roo – 78.92%

Campeche – 68.97%



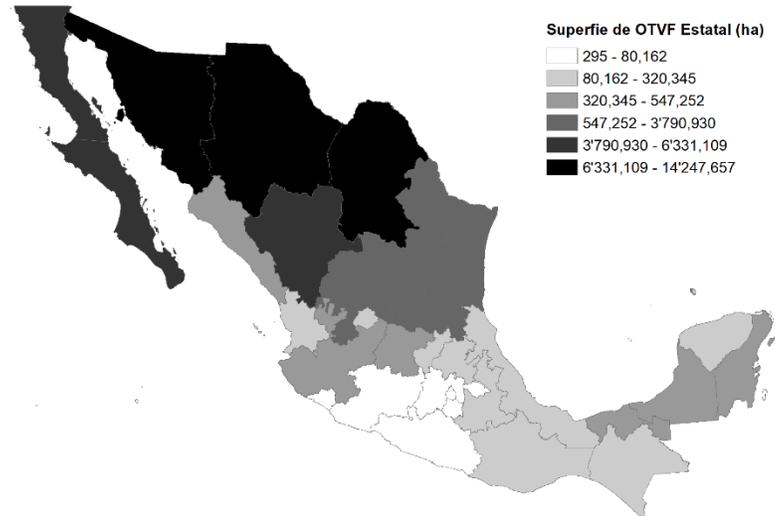
Guerrero – 67.02%  
 Yucatán – 66.82%  
 Nayarit – 64.39%  
 Oaxaca – 63.31%  
 Michoacán – 58.33%  
 Jalisco – 53.04%

**Figura 14.** Porcentaje de bosques y selvas a nivel estatal. Elaboración propia a partir de la propiedad social forestal en México (Madrid *et al.*, 2009).

La cantidad de cubierta forestal

que no se encuentra clasificada como bosque o selva, representa en México el 37.8% de la superficie total. En Chihuahua, Coahuila, Sonora, Baja California Sur, Baja California, Durango, Zacatecas y Nuevo León se concentran aproximadamente el 86% de este tipo de vegetación y al ubicarse todos en la parte norte del país, existe una preponderancia de matorral, chaparral, pastizal, y vegetación de suelos salinos (o halófila), entre otros.

La tipificación de otro tipo de vegetación forestal presenta una dinámica de cambio muy particular, esto ocasionado a que, veintiséis estados presentan una pérdida de vegetación considerable. En la tabla 13, con excepción de Colima, las nueve entidades restantes presentan valores porcentuales (respecto a la superficie total estatal) de disminución de áreas forestales de más de 1 por ciento de su superficie total.



**Figura 15.** Superficie de OTVF a nivel estatal. Elaboración propia a partir de la propiedad social forestal en México (Madrid *et al.*, 2009).

**Tabla 13.** Datos de los estados con mayor pérdida de hectáreas de otro tipo de vegetación forestal en el territorio mexicano.

Estado	Superficie Total	Serie III		Serie IV		Serie V		Dinámica de Cambio	
		OTVF	%	OTVF	%	OTVF	%	Hectáreas	%
Querétaro	1158926.75	273059.395	23.56	260451.58	22.47	236758.765	20.43	-36300.63	3.13
Hidalgo	2065454.57	267846.677	12.97	269796.19	13.06	231372.947	11.20	-36473.73	1.77
Nuevo León	6355885.39	3626760.66	57.06	3600003.13	56.64	3524311.32	55.45	-102449.34	1.61
Sonora	18084059.94	11855890.9	65.56	11688063.69	64.63	11565154.7	63.95	-290736.15	1.61
Aguascalientes	555867.38	147793.204	26.59	139645.69	25.12	139671.655	25.13	-8121.55	1.46
Chihuahua	24697336.00	14602683.7	59.13	14259753.03	57.74	14247657.1	57.69	-355026.61	1.44
Zacatecas	7447970.73	3893489.02	52.28	3870336.43	51.96	3790930.86	50.90	-102558.16	1.38
Jalisco	7796588.55	619971.585	7.95	535651.33	6.87	513594.408	6.59	-106377.18	1.36
Tamaulipas	7942605.71	2418973.97	30.46	2392780.87	30.13	2325396.28	29.28	-93577.69	1.18
Colima	575490.73	28443.0308	4.94	28092.83	4.88	22906.6469	3.98	-5536.38	0.96

Únicamente seis estados presentan un incremento de su cubierta forestal dentro de la dinámica de cambio aplicada a otro tipo de vegetación forestal. El aumento menor al 0.2 por ciento en todos los casos, no es considerable si lo comparamos con entidades que contienen una disminución de vegetación de OTVF.

**Tabla 14.** Datos de estados con aumento de hectáreas de otro tipo de vegetación forestal en el país.

Estado	Superficie Total	Serie III		Serie IV		Serie V		Dinámica de Cambio	
		OTVF	%	OTVF	%	OTVF	%	Hectáreas	%
Estado de México	2222657.67	42066.359	1.89	42444.87	1.91	46579.8029	2.10	4513.44	0.20
Nayarit	2781727.06	145976.736	5.25	151881.38	5.46	150776.194	5.42	4799.46	0.17
Veracruz	7146136.04	221747.742	3.10	228833.29	3.20	232628.589	3.26	10880.85	0.15
Campeche	5727733.03	521768.752	9.11	516186.82	9.01	530013.548	9.25	8244.80	0.14
Tabasco	2469460.70	520217.374	21.07	504650.33	20.44	521346.961	21.11	1129.59	0.05
Morelos	485941.38	275.325339	0.06	295.13	0.06	295.314207	0.06	19.99	0.00

La cantidad y proporción de otro tipo de vegetación forestal en México se encuentra presente en las mismas entidades de la clasificación anterior solo reemplazando Durango (39.60%) por San Luis Potosí (54.27%) al tener esta última una mayor proporción de la tipificación previamente mencionada. La proporción media de estos estados es de 66.9% respecto a la suma de la superficie total de ellos y esos ocho estados, contienen el 83.6% del total de otro tipo de vegetación forestal a nivel nacional.



Coahuila – 85.59%  
 Baja California Sur – 85.59%  
 Baja California – 84.20%  
 Sonora – 63.95%  
 Chihuahua – 57.69%  
 Nuevo León – 55.45%  
 San Luís Potosí – 54.27%  
 Zacatecas –  
 50.90%

**Figura 16.** Porcentaje de otro tipo de vegetación forestal a nivel estatal. Elaboración propia a partir de la propiedad social forestal en México (Madrid *et al.*, 2009).

## 4.2 PROPIEDAD SOCIAL FORESTAL NACIONAL

Los datos oficiales del RAN con fecha de modificación de enero del 2016, dan una visión detallada de la magnitud de la propiedad social en México. El 48.7 por ciento del total del territorio nacional se encuentra bajo un esquema de la propiedad social distribuidos en 54,659 núcleos agrarios y clasificados de la siguiente forma;

- 52,253 ejidos – 83'325,985.00 ha
- 2,394 comunidades agrarias – 11'978,838.08 ha
- 12 tierras de acción agraria sin certificar – 6,240.78 ha

**Tabla 15.** Datos a nivel Nacional de la distribución de la propiedad social por Entidad Federativa.

Estado	Superficie	RAN											
		N.A.	Ejidos	Ha	%	CA	Ha	%	S/D	Ha	%	Total (Ha)	%
Aguascalientes	555867.4	367	364	267629.4	48.15	3	13036.7	2.35	0	0.0	0.00	280666.1	50.49
Baja California	7355201.9	979	974	5553847.0	75.51	5	79579.7	1.08	0	0.0	0.00	5633426.6	76.59
Baja California Sur	7396898.5	199	199	4932480.2	66.68	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	4932480.2	66.68
Campeche	5727733.0	463	463	2914465.5	50.88	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	2914465.5	50.88
Chiapas	7361194.6	3931	3813	2953869.2	40.13	117	740165.7	10.05	1	1,389.5	0.02	3695424.3	50.20
Chihuahua	24697336.0	1566	1492	9341517.0	37.82	74	513357.9	2.08	0	0.0	0.00	9854874.8	39.90
Coahuila	15067122.3	1655	1653	6525784.1	43.31	2	11422.9	0.08	0	0.0	0.00	6537207.0	43.39
Colima	575490.7	329	327	329849.2	57.32	2	5985.7	1.04	0	0.0	0.00	335834.9	58.36
Distrito Federal	148646.0	35	35	4922.6	3.31	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	4922.6	3.31
Durango	12213120.5	1953	1822	5784261.4	47.36	131	2110392.7	17.28	0	0.0	0.00	7894654.1	64.64
Estado de México	2222657.7	2424	2239	834406.3	37.54	185	235220.1	10.58	0	0.0	0.00	1069626.3	48.12
Guanajuato	3033977.5	2871	2866	1214801.3	40.04	5	6830.6	0.23	0	0.0	0.00	1221631.9	40.27
Guerrero	6356487.0	1849	1646	3139794.7	49.40	203	1413596.7	22.24	0	0.0	0.00	4553391.4	71.63
Hidalgo	2065454.6	2170	2014	792101.1	38.35	156	108936.5	5.27	0	0.0	0.00	901037.6	43.62
Jalisco	7796588.6	3431	3361	2358004.3	30.24	68	365681.9	4.69	2	513.7	0.01	2724199.9	34.94
Michoacán	5829628.8	3608	3448	2350440.7	40.32	160	337632.1	5.79	0	0.0	0.00	2688072.9	46.11

Morelos	485941.4	396	372	312084.4	64.22	24	36662.5	7.54	0	0.0	0.00	348746.9	71.77
Nayarit	2781727.1	788	732	1136185.3	40.84	56	840061.4	30.20	0	0.0	0.00	1976246.7	71.04
Nuevo León	6355885.4	1175	1156	1949447.1	30.67	19	94003.1	1.48	0	0.0	0.00	2043450.2	32.15
Oaxaca	9395977.7	1836	1291	1453888.2	15.47	545	3368862.6	35.85	0	0.0	0.00	4822750.8	51.33
Puebla	3415208.6	2180	2061	1140213.6	33.39	119	221571.7	6.49	0	0.0	0.00	1361785.3	39.87
Querétaro	1158926.8	623	609	511894.4	44.17	14	33249.7	2.87	0	0.0	0.00	545144.1	47.04
Quintana Roo	4455628.5	328	328	2894356.9	64.96	0	0.0	0.00	0	0.0	0.00	2894356.9	64.96
San Luis Potosí	6049995.8	2081	1899	3800946.9	62.83	182	83268.0	1.38	0	0.0	0.00	3884214.9	64.20
Sinaloa	5680289.4	2641	2532	3300110.5	58.10	109	585769.1	10.31	0	0.0	0.00	3885879.6	68.41
Sonora	18084059.9	2158	2088	5288623.4	29.24	61	574065.8	3.17	9	4,337.6	0.02	5867026.9	32.44
Tabasco	2469460.7	1305	1304	1088793.3	44.09	1	1544.0	0.06	0	0.0	0.00	1090337.3	44.15
Tamaulipas	7942605.7	2189	2186	2462955.3	31.01	3	23266.3	0.29	0	0.0	0.00	2486221.6	31.30
Tlaxcala	397397.3	478	475	205341.2	51.67	3	190.1	0.05	0	0.0	0.00	205531.3	51.72
Veracruz	7146136.0	5904	5787	2791960.2	39.07	117	107805.3	1.51	0	0.0	0.00	2899765.4	40.58
Yucatán	3953301.9	1527	1526	2179260.1	55.13	1	1215.3	0.03	0	0.0	0.00	2180475.4	55.16
Zacatecas	7447970.7	1220	1191	3511750.3	47.15	29	65464.2	0.88	0	0.0	0.00	3577214.5	48.03
<b>Total</b>	<b>195623917.9</b>	<b>54659</b>	<b>52253</b>	<b>83325985.0</b>	<b>42.59</b>	<b>2394</b>	<b>11978838.1</b>	<b>6.12</b>	<b>12</b>	<b>6,240.8</b>	<b>0.00</b>	<b>95311063.9</b>	<b>48.72</b>

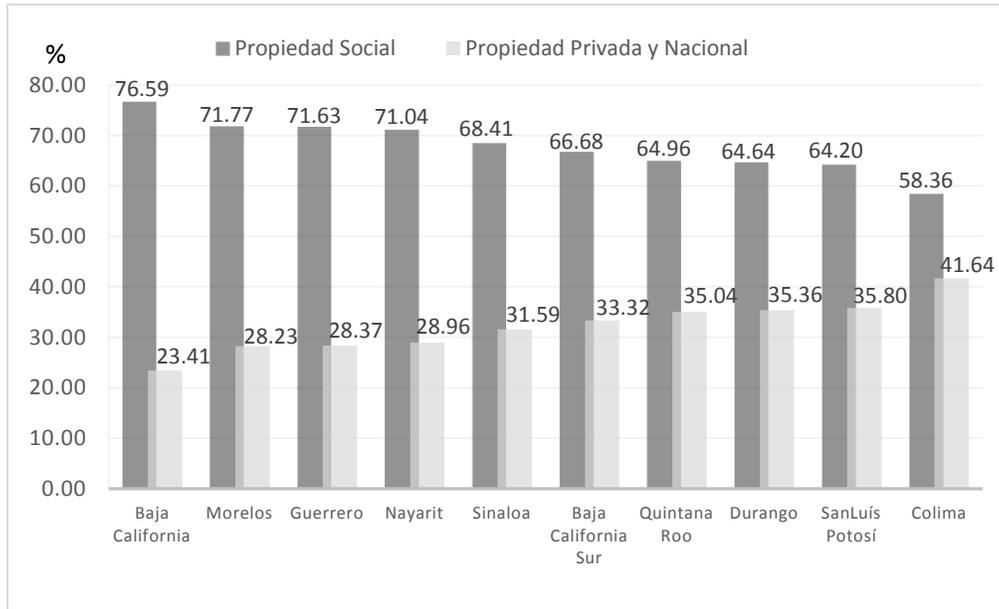
\*N.A.= Núcleos agrarios Ha= Hectáreas CA=Comunidades agrarias S/D= Sin definir

Los datos anteriores arrojan que más del 95% del número de núcleos agrarios corresponden a superficies ejidales y teniendo a Veracruz como el estado que contiene una mayor cantidad de ejidos a nivel Federal con 5,787. Por su parte, Oaxaca cuenta con la mayor cifra de comunidades agrarias en el país con 545.

En contraste, La Ciudad de México es la Entidad Federativa con el menor número de ejidos al solo contener 35, seguidos por Baja California Sur y Colima con 199 y 327 respectivamente. En el rubro de menor cantidad del otro núcleo agrario, son los estados de Baja California Sur, Campeche, y Quintana Roo que se agregan a la Ciudad de México al ser los únicos de los treinta y dos estados que conforman la República Mexicana que no tienen registrados ninguna comunidad agraria.

La referencia de estados que contienen una mayor proporción de hectáreas en calidad de propiedad social, estos los siguientes; Baja California 76.59%, Morelos 71.77%, Guerrero 71.63%, Nayarit 71.04%, Sinaloa 68.41%, Baja California Sur 66.68%, Quintana Roo 64.96%, Durango 64.64%, San Luis Potosí 64.20% y Colima con el 58.36 (ver Gráfica 1). La media geométrica de los 32 estados mexicanos es de casi el 46%.

**Gráfica 1.** Entidades con mayor proporción de territorio en propiedad social.



Dado que el 48.7% de la superficie total del territorio mexicano se encuentra bajo un esquema de propiedad social, se pudo comprobar que el 70.7% de los núcleos agrarios contienen ecosistemas forestales, y de esos, aproximadamente el 33% de la propiedad social está compuesto por bosques y selvas.

La dinámica de cambio de la superficie de bosque y selva contenida en la propiedad social por entidades arroja que, veintitrés estados presentan una pérdida de vegetación. Excluyendo a Michoacán y Colima (Tabla 16), los demás estados tienen valores porcentuales de disminución de áreas forestales de más del 0.5 por ciento con respecto a la superficie total de bosque y selva estatal.

**Tabla 16.** Estados con mayor pérdida de hectáreas de bosque y selva dentro de la propiedad social en México.

Estado	Serie III				Serie IV				Serie V				Dinámica de Cambio	
	PS	%	PPN	%	PS	%	PPN	%	PS	%	PPN	%	PS	%
Yucatán	1747081.71	62.38	1053699.97	37.62	1673856.09	62.17	1018621.06	37.83	1656608.22	62.71	985085.27	37.29	-90473.49	2.29
Chiapas	2047259.97	53.59	1773047.60	46.41	1953255.51	53.27	1713279.79	46.73	1913340.87	52.94	1700834.63	47.06	-133919.10	1.82
Sinaloa	2198516.76	75.46	715085.55	24.54	2134882.35	75.69	685809.61	24.31	2105894.16	75.64	678379.90	24.36	-92622.60	1.63
Quintana Roo	2573199.00	71.57	1022062.36	28.43	2512004.49	71.23	1014536.94	28.77	2505459.69	71.25	1010789.69	28.75	-67739.31	1.52

Oaxaca	3210770.16	52.42	2914569.86	47.58	3160348.92	52.33	2879260.81	47.67	3107550.33	52.24	2841343.98	47.76	-103219.83	1.10
Jalisco	1568575.98	36.34	2748077.24	63.66	1491965.82	36.00	2651981.84	64.00	1485401.31	35.92	2649654.29	64.08	-83174.67	1.07
Veracruz	499927.50	41.77	697029.29	58.23	459370.62	39.62	699942.30	60.38	444426.75	39.12	691603.94	60.88	-55500.75	0.78
Campeche	2281789.17	56.63	1747332.21	43.37	2237502.24	56.65	1712363.05	43.35	2249280.54	56.93	1701401.94	43.07	-32508.63	0.57
Michoacán	1446435.09	41.66	2025568.40	58.34	1428139.26	41.86	1983451.47	58.14	1426133.70	41.94	1974228.70	58.06	-20301.39	0.35
Colima	191949.57	67.95	90529.70	32.05	190288.44	67.98	89617.07	32.02	190201.59	67.96	89666.89	32.04	-1747.98	0.30

\*PS= Propiedad Social \*PPN= Propiedad privada y Nacional

Un dato más del aspecto demográfico indica que cerca de las áreas del trópico húmedo mexicano habitan alrededor de 6 millones de personas, de las cuales casi dos millones son indígenas y viven en las selvas o bosques tropicales (Merino *et al.*, 2014).

Por otro lado, solamente nueve estados presentan un incremento de su cubierta forestal dentro de la dinámica de cambio aplicada a bosque y selva dentro de la propiedad social (Tabla 17).

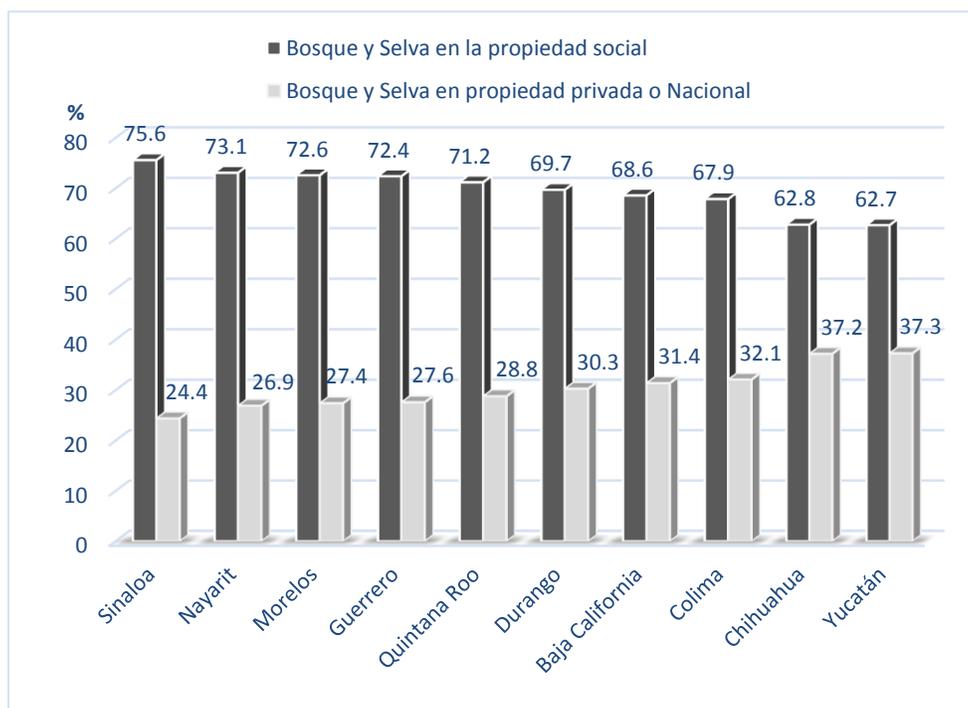
**Tabla 17.** Estados con incremento de hectáreas de bosque y selva dentro de la propiedad social.

Estado	Serie III				Serie IV				Serie V				Dinámica de Cambio	
	PS	%	PPN	%	PS	%	PPN	%	PS	%	PPN	%	PS	%
Morelos	120793.86	72.18	46567.84	27.82	132083.01	72.61	49822.97	27.39	132535.98	72.67	49855.63	27.33	11742.12	2.42
Nayarit	1280736.09	73.16	469783.30	26.84	1309538.61	73.13	481060.26	26.87	1309446.81	73.11	481714.00	26.89	28710.72	1.03
Hidalgo	247244.76	40.09	369476.76	59.91	250667.10	39.90	377504.36	60.10	261231.30	39.46	400862.82	60.54	13986.54	0.68
Puebla	432979.92	37.11	733705.59	62.89	448735.77	37.39	751436.49	62.61	448280.91	37.18	757534.25	62.82	15300.99	0.45
Querétaro	165591.54	40.30	245348.18	59.70	161097.48	39.30	248863.89	60.70	167554.89	39.42	257453.89	60.58	1963.35	0.17
Tlaxcala	29103.84	45.84	34385.13	54.16	29145.78	45.72	34597.64	54.28	29169.09	45.69	34671.43	54.31	65.25	0.02
Nuevo León	372227.85	54.20	314532.86	45.80	373092.84	54.07	316938.81	45.93	373262.85	54.08	316922.08	45.92	1035.00	0.02
Coahuila	244175.22	29.72	577382.75	70.28	256643.19	30.49	585191.28	69.51	245278.44	29.61	583187.87	70.39	1103.22	0.01
Distrito Federal	351.63	0.88	39417.45	99.12	356.85	0.90	39449.13	99.10	358.20	0.90	39470.82	99.10	6.57	0.00

\*PS= Propiedad Social \*PPN= Propiedad privada y Nacional

La Entidades Federativas con mayor porcentaje de bosques y selvas dentro de la propiedad social son los siguientes; Sinaloa 75.6%, Nayarit 73.1%, Morelos 72.6%, Guerrero 72.4%, Quintana Roo 71.2%, Durango 69,7%, Baja California 68.6%, Colima 67.9%, Chihuahua 62.8% y Yucatán 62.7%. La media nacional se encuentra en 49.12% (Gráfica 2).

**Gráfica 2.** Estados con mayor porcentaje de bosques y selvas dentro de la propiedad social.



En cuanto a la tipificación de otro tipo de vegetación forestal, la importancia radica en que ella contiene varios paisajes bioclimáticos de suma importancia en la cuantificación de la cobertura forestal en México. Algunos casos preponderantes son; pastizales, sabana, matorrales, chaparral, entre otros. Estas áreas ofrecen una amplia variedad de especies, muchas de ellas endémicas.

La tipificación de otro tipo de vegetación forestal presenta una particularidad en la dinámica de cambio de dicha superficie, contenida en la propiedad social. Veintiséis entidades federativas tienen una disminución gradual de cobertura vegetal (Tabla 18), pero solo Querétaro supera el 1 por ciento el valor porcentual con respecto a la superficie total de OTVF por estado.

**Tabla 18.** Estados con mayor pérdida de hectáreas de OTVF dentro de la propiedad social en el país.

Estado	Serie III				Serie IV				Serie V				Dinámica de Cambio	
	PS	%	PPN	%	PS	%	PPN	%	PS	%	PPN	%	PS	%
Querétaro	139645.17	51.14	133414.22	48.86	135127.17	51.88	125324.41	48.12	120235.32	50.78	116523.45	49.22	-19409.85	1.67
Aguascalientes	93814.20	63.48	53979.00	36.52	88971.12	63.71	50674.57	36.29	89028.72	63.74	50642.94	36.26	-4785.48	0.86
Zacatecas	2114318.34	54.30	1779170.68	45.70	2099356.02	54.24	1770980.41	45.76	2052835.02	54.15	1738095.84	45.85	-61483.32	0.83

San Luis Potosí	2279139.66	68.51	1047474.52	31.49	2272750.56	68.39	1050639.08	31.61	2239681.05	68.21	1043953.75	31.79	-39458.61	0.65
Hidalgo	124690.59	46.55	143156.09	53.45	124475.13	46.14	145321.06	53.86	111730.41	48.29	119642.54	51.71	-12960.18	0.63
Nuevo León	1239458.22	34.18	2387302.44	65.82	1230168.96	34.17	2369834.17	65.83	1204941.33	34.19	2319369.99	65.81	-34516.89	0.54
Durango	2846270.34	57.71	2086010.95	42.29	2712555.36	57.09	2039063.86	42.91	2786695.83	57.61	2050073.48	42.39	-59574.51	0.49
Sinaloa	220687.02	52.09	202966.48	47.91	211069.80	50.99	202876.82	49.01	193298.67	50.01	193231.18	49.99	-27388.35	0.48
Sonora	3911540.94	32.99	7944349.91	67.01	3870929.16	33.12	7817134.53	66.88	3824548.92	33.07	7740605.78	66.93	-86992.02	0.48
Chihuahua	3926826.54	26.89	10675857.15	73.11	3858548.67	27.06	10401204.36	72.94	3832437.69	26.90	10415219.39	73.10	-94388.85	0.38

\*PS= Propiedad Social \*PPN= Propiedad privada y Nacional

La suma de arbustos y matorrales de las zonas áridas y semiáridas del país cubren casi el 30% de la superficie arbolada del país. El uso maderable está restringido a algunas especies y prácticamente solo se destina a la elaboración de artesanías. La vegetación es utilizada para la recolección de productos forestales no maderables (PFNM) y leña para consumo local. “El potencial de los PFNM de estas áreas es alto, aunque hay escasa planificación y prácticamente nulo manejo, lo que ha conducido a una sobreexplotación regional de algunas especies” (FAO, 2003).

Únicamente seis entidades presentan un incremento de su cubierta forestal dentro de la dinámica de cambio aplicada a otro tipo de vegetación forestal dentro de la propiedad social (Tabla 19).

**Tabla 19.** Estados con incremento de hectáreas de OTVF dentro de la propiedad social en México.

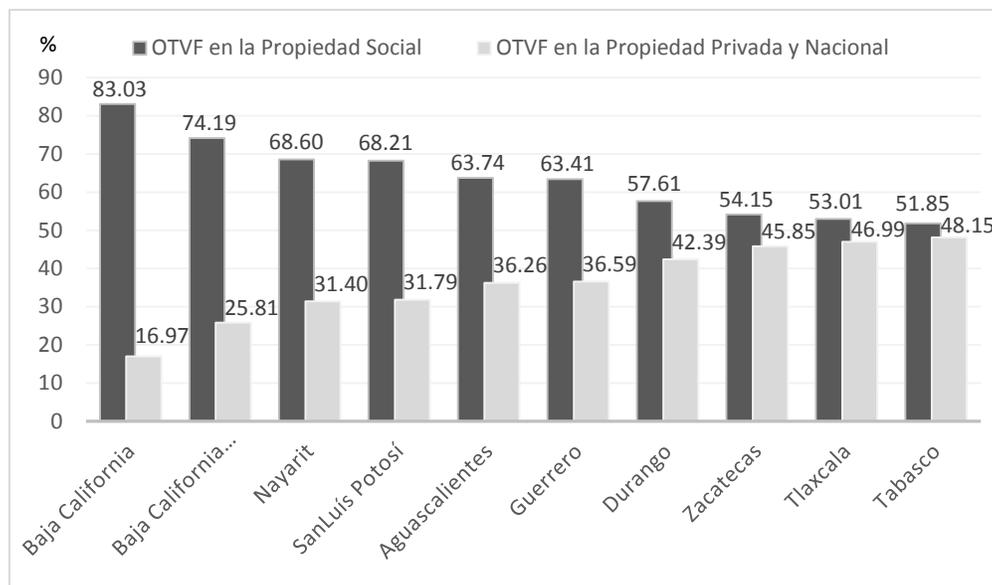
Estado	Serie III				Serie IV				Serie V				Dinámica de Cambio	
	PS	%	PPN	%	PS	%	PPN	%	PS	%	PPN	%	PS	%
Nayarit	97022.70	66.46	48954.04	33.54	104122.26	68.55	47759.12	31.45	103436.64	68.60	47339.55	31.40	6413.94	0.23
Veracruz	64047.33	28.88	157700.41	71.12	64828.35	28.33	164004.94	71.67	67097.16	28.84	165531.43	71.16	3049.83	0.04
Estado de México	18552.96	44.10	23513.40	55.90	18840.42	44.39	23604.45	55.61	19164.96	41.14	27414.84	58.86	612.00	0.03
Distrito Federal	8.91	0.19	4747.46	99.81	9.00	0.22	4143.81	99.78	9.00	0.22	4121.98	99.78	0.09	0.00
Morelos	0.00	0.00	275.33	100.00	0.00	0.00	295.13	100.00	0.00	0.00	295.31	100.00	0.00	0.00
Yucatán	17056.17	11.69	128897.96	88.31	16232.58	11.42	125890.47	88.58	16870.32	11.79	126160.25	88.21	-185.85	0.00

\*PS= Propiedad Social \*PPN= Propiedad privada y Nacional

La Entidades Federativas con mayor porcentaje de OTVF dentro de la propiedad social son los siguientes; Baja California 83.0%, Baja California Sur 74.2%, Nayarit 68.6%, San Luis Potosí 68.2%, Aguascalientes 63.7%, Guerrero

63.4%, Durango 57.6%, Zacatecas 54.1%, Tlaxcala 53.0% y Tabasco 51.8%. La media nacional se encuentra en 46.09% (Gráfica 3).

**Gráfica 3.** Estados con mayor porcentaje de OTVF dentro de la propiedad social.



### 4.3 EJIDOS Y COMUNIDADES

La dinámica de cambio forestal en los bosques y selvas contenida en la propiedad social, cuantificada por medio del análisis de las series III, IV y V del INEGI, presenta algunos datos característicos que involucran la disminución o aumento de cubierta forestal. En los ejidos, por ejemplo, la mayoría de los estados presentan una disminución de vegetación y para las comunidades agrarias de dichos estados, un aumento del mismo.

A través de las series previamente mencionadas que abarcan un periodo de tiempo aproximado de 2002, 2007 y 2011, se puede apreciar (Tabla 20) a entidades federativas como Chiapas, Durango, Guerrero y Jalisco donde existe una disminución de bosque y selva en ambos núcleos agrarios. El estado de Nayarit es el único que presenta un aumento considerable de cubierta vegetal en toda su propiedad social.

**Tabla 20.** Dinámica de cambio de la propiedad social forestal de bosques y selvas.

Serie III	Serie IV	Serie V	Dinámica de Cambio P.S.F.
-----------	----------	---------	---------------------------

Estado	Ejido	%	Comunidad	%	Ejido	%	Comunidad	%	Ejido	%	Comunidad	%	Ejido	%	Com.	%
AGS	20,017.8	21.83	8,578.5	9.36	20,484.7	22.30	8,375.7	9.12	20,311.7	22.34	8,310.9	9.14	293.8	0.05	-267.7	0.05
Chiapas	687,924.5	39.54	108,497.3	6.24	669,074.0	39.48	106,579.6	6.29	661,360.2	39.35	106,460.9	6.33	-26,564.3	0.36	-2,036.4	0.03
Chihuahua	3,974,663.6	58.13	336,177.7	4.92	3,972,555.4	57.79	345,007.8	5.02	3,968,504.1	57.78	342,621.6	4.99	-6,159.5	0.02	6,443.9	0.03
Durango	2,199,279.3	42.42	1,409,884.0	27.19	2,178,688.0	42.60	1,377,569.2	26.94	2,182,276.9	42.66	1,376,040.2	26.90	-17,002.4	0.14	-33,843.9	0.28
EDOMEX	185,910.6	30.52	102,919.9	16.90	184,420.7	29.98	107,077.8	17.41	184,825.2	30.39	104,850.7	17.24	-1,085.4	0.05	1,930.9	0.09
Guerrero	1,051,428.6	46.27	668,042.7	29.40	1,042,152.9	45.90	666,319.2	29.35	1,038,944.9	45.86	666,599.2	29.42	-12,483.7	0.20	-1,443.5	0.02
Hidalgo	150,762.7	30.09	40,204.9	8.02	150,636.3	29.74	40,393.3	7.98	161,451.9	29.87	40,160.1	7.43	10,689.2	0.52	-44.8	0.00
Jalisco	660,133.6	27.14	169,450.5	6.97	638,551.7	26.80	169,617.7	7.12	641,641.2	26.89	168,854.6	7.08	-18,492.4	0.24	-595.9	0.01
Michoacán	395,929.1	24.19	121,973.6	7.45	390,500.1	24.08	122,440.4	7.55	388,317.0	24.03	122,854.1	7.60	-7,612.1	0.13	880.6	0.02
Morelos	16,880.8	32.07	15,050.4	28.59	17,641.4	32.56	15,290.0	28.22	17,494.8	32.21	15,602.5	28.72	614.1	0.13	552.1	0.11
Nayarit	201,439.1	22.86	417,880.8	47.42	210,904.1	22.50	445,799.5	47.57	210,568.6	22.17	458,174.3	48.23	9,129.5	0.33	40,293.5	1.45
Oaxaca	172,326.5	5.15	1,549,805.7	46.30	172,972.4	5.11	1,570,357.9	46.40	171,221.0	5.10	1,557,297.6	46.38	-1,105.5	0.01	7,492.0	0.08
Querétaro	89,947.7	32.62	14,711.2	5.33	88,030.5	32.22	14,805.3	5.42	94,514.0	32.79	14,731.9	5.11	4,566.2	0.39	20.7	0.00
Sinaloa	591,506.6	67.24	91,818.6	10.44	590,330.6	67.24	93,950.3	10.70	589,740.9	67.35	93,245.1	10.65	-1,765.7	0.03	1,426.5	0.03

\*P.S.F.= Propiedad Social Forestal Ha= Hectáreas de bosque y selva Com.= Comunidad agraria AGS= Aguascalientes  
EDOMEX= Estado de México

Al desarrollar la dinámica de cambio forestal en la tipificación de otro tipo de vegetación forestal, planteada en la metodología con respecto al anterior de bosques y selvas, el resultado es un tanto desalentador. Esto es ocasionado a la ocurrencia de una pérdida significativa de cubierta forestal en todos los ejidos (ver Tabla 21) con excepción de Nayarit, y una mayoría de estados presentan disminución de vegetación dentro de sus comunidades agrarias.

**Tabla 21.** Dinámica de cambio de la propiedad social forestal de otro tipo de vegetación forestal.

Estado	Serie III				Serie IV				Serie V				Dinámica de Cambio P.S.F			
	Ejido	%	Comunidad	%	Ejido	%	Comunidad	%	Ejido	%	Comunidad	%	Ejido	%	Com.	%
AGS	91,588.90	61.97	2,225.20	1.51	86,542.90	61.97	2,428.20	1.74	86,540.10	61.96	2,488.60	1.78	-5,048.80	-0.91	263.3	0.05
Chihuahua	3,862,579.70	26.45	64,246.90	0.44	3,795,548.50	26.62	63,000.20	0.44	3,770,771.30	26.47	61,666.40	0.43	-91,808.40	-0.37	-2,580.50	-0.01
Durango	2,614,117.30	53	232,153.00	4.71	2,482,732.40	52.25	229,822.90	4.84	2,556,881.00	52.86	229,814.80	4.75	-57,236.30	-0.47	-2,338.20	-0.02
EDOMEX	17,669.90	42	883.1	2.1	17,958.30	42.31	882.1	2.08	16,444.80	35.3	2,720.20	5.84	-1,225.10	-0.06	1,837.10	0.08
Hidalgo	111,960.40	41.8	12,730.20	4.75	111,746.70	41.42	12,728.40	4.72	98,816.80	42.71	12,913.70	5.58	-13,143.60	-0.64	183.4	0.01
Nayarit	73,286.40	50.2	23,736.30	16.26	76,009.90	50.05	28,112.40	18.51	75,392.90	50	28,043.70	18.6	2,106.50	0.08	4,307.40	0.15
Nuevo León	1,191,780.50	32.86	47,677.70	1.31	1,182,486.50	32.85	47,682.50	1.32	1,158,060.60	32.86	46,880.70	1.33	-33,719.90	-0.53	-797	-0.01
Oaxaca	46,481.50	20.47	69,946.10	30.8	38,580.80	18.51	64,945.60	31.15	39,245.10	18.93	63,961.80	30.85	-7,236.40	-0.08	-5,984.30	-0.06
Querétaro	127,872.50	46.83	11,772.60	4.31	123,356.10	47.36	11,771.10	4.52	109,505.60	46.25	10,729.70	4.53	-18,366.90	-1.58	-1,042.90	-0.09
SLP	2,266,258.70	68.13	12,881.00	0.39	2,259,774.70	68	12,975.80	0.39	2,226,686.30	67.81	12,994.70	0.4	-39,572.40	-0.65	113.8	0
Sinaloa	216,983.50	51.22	3,703.50	0.87	205,989.50	49.76	5,080.30	1.23	190,931.70	49.4	2,367.00	0.61	-26,051.80	-0.46	-1,336.50	-0.02
Sonora	3,489,006.10	29.43	422,534.90	3.56	3,451,219.70	29.53	419,709.40	3.59	3,406,532.70	29.46	418,016.20	3.61	-82,473.40	-0.46	-4,518.60	-0.02

Tabasco	274,594.60	52.78	717.6	0.14	263,837.10	52.28	83.1	0.02	270,213.60	51.83	79.9	0.02	-4,381.00	-0.18	-637.6	-0.03
Zacatecas	2,096,829.50	53.85	17,488.90	0.45	2,081,878.10	53.79	17,477.90	0.45	2,036,041.00	53.71	16,794.00	0.44	-60,788.40	-0.82	-694.9	-0.01
Total	16,481,009.40	37.22	922,697.00	2.08	16,177,661.30	37.2	916,699.90	2.11	16,042,063.50	37.16	909,471.50	2.11	-438,945.90	-0.43	-13,225.50	-0.01

\*P.S.F.= Propiedad Social Forestal Ha= Hectáreas de bosque y selva Com.= Comunidad agraria AGS= Aguascalientes  
EDOMEX= Estado de México SLP= San Luís Potosí

## 5. CONCLUSIONES

Es evidente que un geoprocesamiento de datos de cobertura terrestre y tenencia de la tierra, con insumos que contengan datos confiables, son una fuente de información que puede servir de base para orientar la toma de decisiones para una administración colectiva y sustentable de los recursos de uso común que puedan brindar de diversos beneficios económicos, sociales y ambientales a las poblaciones más vulnerables.

La importancia de la información obtenida y plasmada en los resultados de este trabajo permite evaluar una tendencia temporal de la propiedad social forestal en México. La recopilación de dichos datos permitió representar por entidad federativa, el manejo del uso de suelo y vegetación, así como la degradación natural o inducida del mismo.

Respecto a la propiedad social y la tenencia de la tierra, temas que traen consigo una controversia histórica generada alrededor de los sistemas de la

tenencia de la tierra en relación con los problemas agrarios, es posible comprender las dificultades que generan los factores sociales, técnicos, económicos, jurídicos y políticos cuando se interrelacionan, y como al involucrarse términos mal definidos y con ambigüedades, se permite la alteración de acuerdos o dictámenes previamente establecidos.

Si bien los resultados sobre los cambios en la propiedad social forestal en México no muestran un descenso drástico del capital natural que otorga de riqueza en la diversidad biológica y genética del país englobada en una amplia variedad de ecosistemas de ámbito forestal y que están resguardados en ejidos y comunidades, los resultados obtenidos muestran una tendencia a la disminución de las coberturas forestales, principalmente en selvas y en otros tipos de vegetación forestal.

Las secuencias de comandos y los datos geospaciales oficiales empleados en el análisis de los cambios en la propiedad social forestal en México para los años 2002, 2007 y 2011, permiten distinguir a este trabajo en cuanto a metodología, desarrollo y en resultados a otros previamente elaborados.

La secuencia de comandos como modelo de geoprocésamiento permitió automatizar de manera sencilla y exitosa, una cantidad cuantiosa de datos del territorio nacional que derivó en la síntesis de información plasmada en este documento. Direccionar los archivos resultantes en una *Geodatabase* y ejecutar las herramientas de geoprocésamiento del *software* SIG sin necesidad de desplegar el *display* gráfico, ayudó significativamente al rendimiento de los procesos y al tiempo de desarrollo.

De igual forma, durante la ejecución de la metodología y teniendo en cuenta conceptos incluidos dentro del marco teórico, se pudo comprobar que la secuencia de comandos utilizados para este trabajo tiene un aspecto dinámico con el cual se puede modificar la cobertura geográfica de acuerdo con el alcance

con el que se utilice el modelo de geoprocésamiento, sea a nivel Nacional, Estatal, Municipal o Regional. Esto es posible a que solo basta tener bien delimitado el área de estudio para que funcione la secuencia de comandos.

Es pertinente mencionar que, aunque se redujo de manera importante el tiempo de desarrollo, se puede agregar líneas de comando en lenguaje *Python* a la secuencia de comandos elaboradas en este trabajo que permitan realizar la herramienta de “iteración” a un *Workspace* definido. Así no sería necesario tener que generar una secuencia de comando para cada área de estudio o según sea el caso, usar la misma secuencia de comando, pero tener que redireccionarle la ubicación del archivo dentro de la PC.

Toda la parte teórica del procesamiento de datos geoespaciales contenida en el marco teórico me ayudó a entender más detalladamente lo que es el marco computacional, la utilidad para el geoprocésamiento y en sus respectivas funciones espaciales y modelos de geoprocésamiento. La importancia que tiene generar mecanismos para determinar el control sobre la calidad de los datos y poder gestionar de forma eficaz el tiempo de cálculo secuencial. Aunque no es el enfoque de esta tesis, me hubiera gustado poder determinar los factores de incertidumbre, errores por medio de aproximaciones y la propagación de dichos errores que están en todos datos espaciales y los cálculos básicos que generaron las secuencias de comandos utilizadas.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Allen, D. W. (2016). GIS tutorial 2: Spatial analysis workbook. Esri Press.

Ansola, R., Canales, J. and Tárrago, J.A. (2006). An efficient sensitivity computation strategy for the evolutionary structural optimization (ESO) of continuum structures subjected to self-weight loads. *Finite elements in analysis and design*, 42(14), pp.1220-1230.

Barrientos Reyna, M., (2015). Cambio de uso de suelo forestal en México. Su legislación y gestión. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Bray, D. B., Merino-Pérez, L., & Barry, D. (Eds.). (2005). *The community forests of Mexico: Managing for sustainable landscapes*. University of Texas Press.

Bruns, H.T. and Egenhofer, M.J. (1997). User interfaces for map algebra. *URISA-WASHINGTON DC-*, 9, pp.44-55.

Bojórquez-Luque, J. (2000). Importancia de la tierra de propiedad social en la expansión de las ciudades en México. *Revista de Sociedad, Cultura y Desarrollo Sustentable*. 7 (2), 2011. Red Universidad Autónoma Indígena de México.

Buzai, G. D., Baxendale, C. A., Cacace, G., Caloni, N., & Cruz, M. R. (2011). Potencialidad de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la educación en Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en el aula. *Aportes desde la Geografía para la modelización espacial*. Anuario de la División Geografía 2010-2011.

Cao, Y. and Ames, D. P. (2012). A strategy for integrating open source GIS toolboxes for geoprocessing and data analysis. In *iEMSs 2012 - Managing Resources of a Limited Planet: Proceedings of the 6th Biennial Meeting of the International Environmental Modelling and Software Society* (pp. 1505–1511). Leipzig, Germany, July 1-5, 2012. iEMSs.

Cao, Z. (2016). Improving the accuracy and the efficiency of geo-processing through a combinative geo-computation approach (Doctoral dissertation, UCL (University College London)).

Correa Rivadeneira, M. C. (2010). La Infraestructura de Datos Espaciales, IDE y su Utilidad para Gestionar la Información de la Carta Geológica a través de Servicios en la Web (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2010).

CP-IDEA, G. (2013). Plano de Ação Conjunto 2013-2015 para Acelerar o Desenvolvimento da Infraestrutura de Dados Espaciais das Américas. Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), México.

Cruz, A. C. A., & Silveira, V. C. P. (2017). Dinámica de los núcleos agrarios en México. *Extensão Rural*, 24(1), 7-19.

Díaz Fouces, O. (2007). Creación de un entorno de trabajo para la formación de profesionales de los servicios lingüísticos con GNU/Linux. Universidad de Vigo.

Estebanell, E. R. (2017). El derecho de propiedad y la Constitución mexicana de 1917. Fondo de Cultura Económica.

FAO, (2003). Tenencia de la tierra y desarrollo rural. *Estudios Sobre Tenencia de la Tierra No 3* (pp. 1-62). Roma. ISBN: 92-5-304846-8.

Fernández-Santa Cruz Jiménez, R. A. (2013). Bases de datos en el contexto de la web semántica (Bachelor's thesis, Universitat Oberta de Catalunya).

French, C. (1996). Data Processing and Information Technology. Cengage Learning EMEA.

Furones, A. (2010). Sistema y marco de referencia terrestre. Sistemas de coordenadas. Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universidad Politécnica de Valencia.

García Mares, J. (2003). El procede y el dominio pleno, y su repercusión en la propiedad social. (Tesis de pregrado). Universidad Don Vasco, A. C., Uruapan, México.

García Tirado, J. (2006). El dominio pleno sobre parcelas ejidales y la desaparición de la propiedad social. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Naucalpan de Juárez, México.

Gasca Moncayo, J. (2004). Aplicación del sistema de posicionamiento global (GPS) en la delimitación de las tierras de propiedad social en México. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Gómez, M. (2004). La Reforma del Estado y la pluralidad jurídica. Derechos Humanos y Globalización alternativa: una perspectiva Iberoamericana. Universidad Ibero Americana. Puebla México.

González Navarro, M. (1969). La tenencia de la tierra en México. Cahiers du monde hispanique et luso-brésilien, 115-134.

González Romero, J. (2015). La expropiación de tierras de régimen de propiedad social y la aplicación de métodos topográficos y geodésicos. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Hinojosa Ortiz, J. (1981). Formas de Tenencia de la Tierra en México. Anuario del departamento de Derecho de la Universidad Iberoamericana, Tomos I y II. Jurídica, 615-623.

Huang, X., & Jensen, J. R. (1997). A machine-learning approach to automated knowledge-base building for remote sensing image analysis with GIS data. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 63(10), 1185-1193.

INEGI (2000). Diccionario de datos de uso de suelo y vegetación. Escalas 1:250,000 y 1:1,000,000. Base de datos geográficos. México.

INEGI (2009). Guía para la interpretación de cartografía de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Serie III. México.

INEGI (2015). Guía para la interpretación de cartografía de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250,000. Serie V. México.

Krivoruchko, K., Crawford, C.A.G. and Redlands, C.A. (2005). Assessing the uncertainty resulting from geoprocessing operations. In *GIS, Spatial Analysis, and Modeling Workshop* (pp.67-92). Redlands, CA, September 25-26, 2003. ESRI Press.

Lawhead, J. (2017). *QGIS python programming cookbook*. Packt Publishing Ltd.

López Ramírez, C. (2001). Análisis jurídico de la propiedad forestal y su impacto social. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Madrid, L., J.M. Núñez, G. Quiroz y Y. Rodríguez (2009). La propiedad social forestal en México. *Investigación Ambiental* 1(2):179-196.

McGavra, G., Morris, S., & Janée, G. (2009). Technology watch report: preserving geospatial data.

Merino, L., & Martínez, A. E. (2014). A vuelo de pájaro: las condiciones de las comunidades con bosques templados en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

Niu, N., Li, C., & Guo, L. (2013, June). The application and research of geoprocessing service in WebGIS spatial analysis. In *Geoinformatics (GEOINFORMATICS), 2013 21st International Conference on* (pp. 1-4). IEEE.

O'Brien, J. A. (1986). Computers and information processing: with software tutorial and BASIC. R.D. Irwin.

Pato Gándaras, J.F. (2015). Establecimiento de zonas de acción mediante el empleo de Sistemas de Información Geográfica (SIG). (Doctoral dissertation). Centro Universitario de la Defensa, ENM. Marín, España.

Paucar Espinoza, M. Á. (2014). Estudio sistematizado de información de la opinión pública sobre la problemática de la Región Piura para la toma de decisiones gubernamentales.

Pérez, A. M. (2013). Información geográfica digital: características y sistemas de recuperación en México (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

Pinacho Vázquez, F. (2009). El estado, propiedad social en el campo y sus formas de asociación (2001-2007). (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Poma, G., & Patricio, S. (2011). Diseño de un sistema de información geográfica accesible desde la web y en un entorno de software libre (Tesis de pregrado). Centro Integrado de Geomática Ambiental de la Universidad Nacional de Loja.

Preciado, Jiménez, S. A. (2001). Regularización de tierras ¿pasaporte a la modernidad? XXIII International Congress of the Latin American Studies Association LASA2001.

RAN (2016). Historia del Registro Agrario Nacional. México.

RAN (2017). Procedimiento para la actualización del indicador: superficie ejidal registrada con tierras al uso común. México.

Ramos Gámez, C., & Vargas García, M. Á. (2009). Optimización de procedimientos de consolidación en actuaciones proyectadas mediante aplicaciones SIG.

Rivera, M. F. M. (2004). *Recuperando y Analizando Datos Espaciales a través de Web-Mapping* (Doctoral dissertation, Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Computación).

San Pedro, M. E. D., Lasso, M. G., Serón, N., Carrizo, E. A., Montenegro, C., & Ramos, L. (2014, October). Sistemas de Información Geográfica como herramienta para la toma

de decisiones en la solución de problemas ambientales. In XVI Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.

Sánchez-Noriega, M. (2011). Rostros de la crisis: Estado, política y propiedad social en México. *Estudios políticos (México)*, (22), 65-79.

Travecera Peralta, J. (2012). Perdida de la concepción social de la propiedad ejidal en México y su transición a la propiedad privada. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

Totolhua Ramírez, V. (2007). Implementación de un portal geoespacial con una perspectiva de infraestructura de datos espaciales. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Nezahualcóyotl, México.

Valenzuela, E. G. P. (2001). Marco Institucional, Normativo y Político para el Manejo y Comercialización de Productos Forestales No Maderables en México. Documento elaborado en el marco del proyecto ¿Comercialización de Productos Forestales No Maderables: ¿Factores de Éxito y Fracaso?

Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz Gallegos, J. R., Mayorga Saucedo, R., Alcántara, P. C., Castro, R., ... & Palacio, J. L. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta ecológica*, (62).

Villajos, S. O. (2004). Modelos digitales superficiales: Obtención y características. Universidad Politécnica, Madrid.

Williams, B. S., D'Amico, E., Kastens, J. H., Thorp, J. H., Flotemersch, J. E., & Thoms, M. C. (2013). Automated riverine landscape characterization: GIS-based tools for watershed-scale research, assessment, and management. *Environmental monitoring and assessment*, 185(9), 7485-7499.

Wunderlich, A. L. (2008). GIS Data and Geoprocess Modeling for Hydrologic Network Conservation Analysis in a Green Infrastructure Plan.

Zandbergen, P. A. (2013). Python scripting for ArcGIS. Esri press.