



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA**

**EVALUACION DE LA CONDICION ACTUAL DE LA  
COBERTURA VEGETAL, EN EL CONTEXTO DEL  
MONITOREO AMBIENTAL COMUNITARIO**



**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**B I O L Ó G O (A)**

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

**SUSANA EQUIHUA CARBAJAL**



**DIRECTORA DE TESIS:  
M. en C. MAYRA MÓNICA HERNÁNDEZ  
MORENO**

**LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA,  
ESTADO DE MÉXICO**

**2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Estudios Superiores Iztacala por brindarme las instalaciones, profesores, conocimientos y experiencias fundamentales para mi desarrollo tanto profesional como personal. Llevo en mi con tanto aprecio y felicidad todos los grandes y buenos momentos vividos en sus edificios.

A mi directora de tesis, M. en C. Mayra Mónica Hernández por la oportunidad de incorporarme en este proyecto, por sus consejos y disponibilidad incondicional para orientarme en el desarrollo de este trabajo. Gracias por el tiempo y esfuerzo invertido a lo largo de todo este proceso. Agradezco enormemente el haberme brindado su amistad con tanta empatía, cariño, paciencia y sabios consejos.

A los profesores Humberto Macías Cuéllar, Daniel Muñoz Iniestra y Víctor Manuel Salazar Rojas por su apoyo y comentarios para mejorar este trabajo.

A las autoridades y Brigada de Vigilancia del Ejido de San José Tilapa, por las facilidades brindadas para llevar a cabo los talleres y recorridos participativos realizados para este trabajo.

*¡Gracias!*

## DEDICATORIAS

Principalmente a mi familia, quienes siempre me alientan a seguir mis sueños, quienes todos los días confían en mí, sin ustedes esto no sería posible...

A mi mamá Ma. de los Ángeles, por ser el pilar de esta gran familia, la base de todo mi desarrollo tanto personal como profesional. Por todo tu cariño, regaños y lecciones que me has brindado. Por demostrarme que aun cuando las circunstancias son difíciles siempre se puede y se debe seguir. Agradezco infinitamente todo el esfuerzo y trabajo que das por esta familia, pero sobre todo gracias por depositar tu confianza en mí y darme la oportunidad de estudiar. Veo en ti la gran mujer que espero algún día asemejar. Eres la mejor.

A mi papá Jorge Oscar por tu manera tan peculiar de ser y de enseñarme las cosas de la vida. Aun cuando ha habido tantas adversidades en nuestra vida, agradezco totalmente todo lo que está en tus manos por darme para cada día ser mejor. Gracias por la motivación, cariño y confianza que me has dado siempre. Te quiero mucho Papá.

A mi tío Carlitos, que es para mí sin duda alguna mi papá número dos. Que me alegras los días siempre que me cuentas tus anécdotas de vida. Agradezco y atesoro con gran cariño todo el apoyo y confianza que me has brindado. Eres la persona que siempre ha creído en mí, aun cuando ni yo logro hacerlo. Este logro es también gracias a ti.

A mis primeras y mejores amigas de toda la vida, mis hermanas Daniela, Fernanda y Karla, que constantemente me dieron todo los ánimos que necesitaba para lograr concluir esta etapa. Son sin duda alguna mi mayor motor y la base de mi felicidad. Gracias por nunca permitir que me rinda, por cuidarme, procurarme, enseñarme y sobre todo, gracias por todas nuestras experiencias juntas que nos han llevado a ser siempre tan unidas. ¿La mejor parte? Toda nuestra vida juntas, ¿no creen?... Esas carcajadas tan reparadoras no se dan con todas las personas. Son mi inspiración.

A Sophie la niña más feliz y amorosa de este mundo, llegaste justo en el momento perfecto para llenarme de fuerza y seguir adelante, eres de mis mejores experiencias y quiero siempre poder estar para ti. Me esforzaré cada día más por ser un gran ejemplo que logre inspirarte a disfrutar de esta vida. Siempre, siempre puedes confiar en mí.

A “Las Niñas” Zuly, Rubí, Colette, Jezz y Montse, que son grandes amigas y compañeras, son tan divertidas y ñoñas que son justo lo que me complementa. Agradezco me hayan aceptado en su equipo que duró toda la carrera porque realmente pude aprender mucho de cada una, sobre todo, porque me enseñaron lo gratificante que pueden ser los sacrificios, esos que siempre son tan necesarios hacer. Aun cuando no siempre tuvimos buenos momentos, son el tipo de amigas que se necesitan para saber valorar la amistad y darte cuenta que cada persona es un mundo increíble del cual se puede aprender. Las quiero.

A mi amiga Leslie, una amiga muy peculiar que suele llenarte los días de risas y algunas veces con pláticas muy extrañas. Lo que más disfruto de la vida siempre es reír, y sé que la mejor parte de nosotras es habernos conocido riéndonos tontamente por un texto que no lográbamos entender, insisto en que eras el motor de ese equipo para que lograra salir nuestro proyecto... Agradezco totalmente tu amistad, lealtad, compañía y cariño. Te quiero para siempre.

A mis amigos del “Edafo-Team”, Javis y Mafer y otra vez Zule, por ser los mejores y más divertidos compañeros de laboratorio, nunca nos faltaron los buenos ratos. Por todo el apoyo y trabajo en equipo hecho, que es parte fundamental de poder concluir este trabajo.

*“La felicidad que se vive deriva del amor que se da...”*

*Isabel Allende*

## Indice

|  |    |
|--|----|
| I. Introducción .....  | 1  |
| Justificación.....   | 3  |
| II. Objetivos .....  | 3  |
| Objetivo general .....   | 3  |
| Objetivos particulares .....   | 4  |
| III. Marco teórico.....  | 4  |
| Línea base .....   | 4  |
| Monitoreo ambiental comunitario (MAC) .....  | 4  |
| Percepción remota .....  | 5  |
| Espectro electromagnético .....  | 6  |
| Sensores remotos .....   | 7  |
| Programa Landsat 8 OLI/TIRS.....   | 8  |
| Respuesta espectral de la vegetación .....   | 9  |
| Índices de vegetación.....   | 11 |
| Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) .....                        | 11 |
| Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).....                                 | 12 |
| Índice de Suelo Desnudo (BSI).....   | 12 |
| IV. Materiales y Métodos.....  | 12 |
| Zona de Estudio .....  | 12 |
| Reserva de la Biosfera Tehuacán–Cuicatlán .....                                    | 12 |
| Núcleos agrarios.....  | 13 |
| Fase de Gabinete.....  | 16 |
| Delimitación de los polígonos .....  | 16 |
| Obtención y pre procesamiento de las Imágenes de Satélite.....                     | 16 |
| Corrección radiométrica.....   | 17 |
| Análisis de la condición de la cobertura vegetal con las imágenes satelitales..... | 17 |
| Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....                         | 18 |
| Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).....                                 | 18 |

|  |    |
|--|----|
| Índice de Suelo Desnudo (BSI).....   | 18 |
| Fase de Campo.....   | 19 |
| Selección de los sitios para realizar el MAC .....                             | 19 |
| Preparación y programación de los talleres para el MAC.....                    | 20 |
| Recorridos participativos.....   | 20 |
| V. Resultados .....  | 21 |
| Tipos de vegetación identificados en cada ejido.....                           | 21 |
| San Antonio Texcala.....   | 22 |
| San Francisco Xochiltepec .....  | 23 |
| San José Tilapa.....   | 25 |
| Índices de vegetación.....   | 27 |
| Índice de Vegetación con Diferencia Normalizada (NDVI) .....                   | 27 |
| Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI).....                             | 32 |
| Índice de Suelo Desnudo (BSI).....   | 36 |
| Monitoreo Ambiental Comunitario (MAC) de la vegetación en San José Tilapa..... | 40 |
| VI. Discusión .....  | 43 |
| Tipos de vegetación .....  | 43 |
| Índices de Vegetación .....  | 44 |
| Monitoreo Ambiental comunitario .....  | 46 |
| VII. CONCLUSIONES .....  | 48 |
| VIII. Referencias.....   | 50 |

## Índice de Cuadros

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Clasificación de los valores de los índices de vegetación y su interpretación  | 19 |
| Cuadro 2. Tipos de vegetación presentes en cada núcleo agrario   | 21 |
| Cuadro 3. Nivel de verdor de la vegetación con base en el porcentaje de superficie ocupada del núcleo agrario, de cada clase del NDVI, 2017. | 28 |
| Cuadro 4. Nivel de verdor de la vegetación con base en el porcentaje de superficie ocupada del núcleo agrario, de cada clase del NDVI, 2018. | 30 |
| Cuadro 5. Grado de cobertura vegetal con base en el porcentaje de superficie ocupada del núcleo agrario, de cada clase del SAVI, 2017.       | 32 |
| Cuadro 6. Grado de cobertura vegetal con base en el porcentaje de superficie ocupada del núcleo agrario, de cada clase del SAVI, 2018.       | 34 |
| Cuadro 7. Información obtenida durante el desarrollo del taller de capacitación para el MAC.   | 41 |
| Cuadro 8. Registro de la evaluación de la condición de la vegetación de los parajes “El Platanillo”, “El Chivato” y “El Purrón”.             | 42 |

## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Esquema de los elementos de un sistema de percepción remota (Pérez, 2014)               | 6  |
| Figura 2. Tabla de distribución de las bandas del sensor OLI y TIRS, (USGS, s/a).                 | 9  |
| Figura 3. Absorción de la luz visible y reflexión de la radiación del infrarrojo (Barreto, 2015). | 10 |
| Figura 4. Mapa de la ubicación de los núcleos agrarios de estudio                                 | 16 |
| Figura 5. Gráfica de superficies de cada tipo de vegetación identificado en Texcala               | 22 |
| Figura 6. Mapa de los tipos de vegetación identificados en Texcala (INEGI, 2017)                  | 23 |
| Figura 7. Gráfica de superficies de cada tipo de vegetación identificado en Xochiltepec           | 24 |
| Figura 8. Mapa de los tipos de vegetación identificados en Xochiltepec (INEGI, 2017)              | 25 |
| Figura 9 Gráfica de superficies de cada tipo de vegetación identificado en Tilapa                 | 26 |
| Figura 10. Mapa de los tipos de vegetación identificados en Tilapa (INEGI, 2017)                  | 27 |
| Figura 11. Superficie ocupada por cada clase del índice de NDVI, para 2017.                       | 28 |
| Figura 12. Mapa del índice de NDVI de cada núcleo agrario para el año 2017.                       | 29 |
| Figura 13. Superficie ocupada por cada clase del índice de NDVI, para 2018.                       | 30 |
| Figura 14. Mapa del índice de NDVI de cada núcleo agrario para el año 2018.                       | 31 |
| Figura 15. Superficie ocupada por cada clase de índice de SAVI, para 2017.                        | 32 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 16. Mapa del índice de SAVI de cada núcleo agrario para el año 2017.         | 33 |
| Figura 17. Superficie ocupada por cada clase de índice de SAVI, para 2018.          | 34 |
| Figura 18. Mapa del índice de SAVI de cada núcleo agrario para el año 2018.         | 35 |
| Figura 19. Superficie ocupada por cada clase del índice de BSI, para 2017.          | 36 |
| Figura 20. Mapa del índice de BSI de cada núcleo agrario para el año 2017.          | 37 |
| Figura 21. Superficie ocupada por cada clase del índice de BSI, para 2018.          | 38 |
| Figura 22. Mapa del índice de BSI de cada núcleo agrario para el año 2018.          | 39 |
| Figura 23. Mapa de la localización de los parajes donde se realizó el MAC en Tilapa | 40 |

## **I. Introducción**

El monitoreo ambiental (MA) es un instrumento fundamental que permite la evaluación periódica integrada de la dinámica de variables ambientales, con el fin de proveer información precisa y actualizada para la toma de decisiones, orientadas principalmente a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales (SEDAPAL, 2010). Tradicionalmente los programas de monitoreo ambiental son efectuados por profesionales o científicos, sin el involucramiento de las comunidades, ya que se encuentran enfocados en la evaluación del avance de un proyecto, o en responder a una pregunta de investigación (Evans y Guariguata, 2008). Sin embargo, en la actualidad el papel y la importancia de un monitoreo ambiental ha cambiado en forma considerable, ya que se sabe que a lo largo del tiempo, los ecosistemas están enlazados a pueblos y comunidades que viven en ellos y aprovechan sus recursos naturales; y con ello mantienen o cambian las condiciones de su funcionamiento, por lo que se ha impulsado la participación de las comunidades en la elaboración e implementación de programas de monitoreo ambiental desde las comunidades (MREDD+, 2014; Evans y Guariguata, 2008).

Un ejemplo de lo anterior, es el Macroproyecto Manejo de Ecosistemas y Desarrollo Humano llevado a cabo en la UNAM, (Dávila *et al.*, 2014) en el que, a partir de la investigación participativa e interdisciplinaria, se buscó construir una red universitaria enfocada al manejo sustentable de los ecosistemas, donde se lograra salir de la visión científicista y hacer partícipe a las comunidades que se encuentran en contacto directo con los ecosistemas.

Bajo el mismo contexto, la CONAFOR (2014), implementó una iniciativa para el “Fortalecimiento de Capacidades para el Monitoreo Comunitario en México”, con el objetivo de identificar intereses de monitoreo de recursos naturales en conjunto con cinco ejidos y cuatro comunidades en diferentes Estados del país, que les permita fortalecer sus capacidades para la gestión de su territorio. Por ello, el monitoreo ambiental comunitario (MAC), es una estrategia que implica la colaboración tanto institucional, como de las comunidades, fomentando la participación social; pues implica hacer observaciones y mediciones específicas sobre los recursos naturales de las comunidades y el estado de conservación en el que se encuentran, para con ello, generar alternativas para su mejor manejo y aprovechamiento.

De manera particular, la importancia de monitorear la cobertura vegetal, radica en que es un indicador que permite evaluar diferentes procesos biofísicos en los ecosistemas, por ejemplo los fenómenos relacionados a la pérdida de biodiversidad, la desertificación, la relación entre la vegetación y la erosión del suelo, la interacción vegetación-clima, (Gonzaga, 2015); además que constituye fuente de recursos económicos y ecológicos (Campo y Duval, 2014).

El monitoreo en campo de la cobertura vegetal puede ser complementado mediante el uso de técnicas de percepción remota, a través de la generación de índices de vegetación, utilizando imágenes de satélite, los cuales están condicionados por los cambios en el estado fisiológico de las coberturas vegetales; por lo que sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espaciales y temporales del comportamiento de la vegetación (Gonzaga, 2015).

La información generada a partir de las actividades de monitoreo puede ser usada para producir una línea base que permita definir las características de un componente ambiental dado, y, la necesidad de definir dicha línea base, está determinada por la eventualidad de alteraciones potenciales, producto del desarrollo de una nueva actividad en cualquiera de los componentes de los ecosistemas (Hernández *et al.*, 2000); en este caso particular, la vegetación.

Actualmente las áreas naturales protegidas concentran los mayores esfuerzos en la protección de la biodiversidad, por lo tanto, saber si la estructura y el funcionamiento de los sistemas que albergan se mantienen a lo largo del tiempo y poder cuantificar los eventuales cambios por medio de un monitoreo, contribuiría al establecimiento de prioridades para su conservación (Alcaraz-Segura *et al.*, 2008).

La Reserva de la Biósfera Tehuacán-Cuicatlán (RBTC), Área Natural Protegida situada entre los Estados de Puebla y Oaxaca es considerada “una de las zonas semiáridas de mayor diversidad biológica y cultural del mundo” (Dávila *et al.*, 2002). Debido a ello es una de las regiones con mayor riqueza en recursos naturales utilizados por el hombre; además de que es reconocida como el centro de origen y domesticación del maíz, en donde también se consume una importante variedad de insectos y se utiliza hasta el 30% de las plantas de la región (Casas *et al.*, 2001). Por lo que recientemente, fue incorporada en la 42° Reunión

del Comité del Patrimonio Mundial, a la Lista del Patrimonio Mundial como un bien mixto para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Guevara, 2018).

### **Justificación**

Las zonas áridas son consideradas como zonas frágiles, que suelen estar aisladas y ser económicamente marginadas; por tanto, dichas condiciones ocasionan que la población dependa con mayor intensidad de los recursos forestales locales para obtener una amplia gama de productos (Palacios *et al*, 2008). Dentro de la RBTC, la mayor parte de la población depende de las actividades agropecuarias y el aprovechamiento de los recursos naturales; debido a que aún existe una fuerte influencia de las culturas prehispánicas, se mantienen vigentes diversos tipos de uso de la vegetación (Casas *et al.*, 2001 y 2007); por ello, se han registrado impactos negativos y positivos que varían de acuerdo con la intensidad de aprovechamiento de las especies utilizadas.

Con el fin de impulsar la conservación de las áreas forestales y los servicios ambientales que éstas proveen, la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2011) ha promovido, como estrategia, la implementación del Programa de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), el cual consiste en otorgar apoyos económicos a los dueños o legítimos poseedores de terrenos con recursos forestales (ejidos, comunidades y pequeños propietarios) con el objetivo de generar prácticas que permitan conservar los servicios ambientales que generan. Bajo este contexto, contempla la necesidad de realizar un monitoreo de la cobertura vegetal por medio del análisis de imágenes de satélite y la implementación de un monitoreo ambiental comunitario, en regiones prioritarias para la conservación como las Áreas Naturales Protegidas. Dicho programa se aplica en diversos núcleos agrarios de la RBTC, entre ellos, San Francisco Xochiltepec, San Antonio Texcala y San José Tilapa, que forman parte de la Red de Proyectos Comunitarios para el Manejo de Socioecosistemas de la UNAM (Dávila *et al.*, 2014).

## **II. Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar una línea base para estimar la condición de la cobertura vegetal en tres núcleos agrarios de la Reserva de la Biosfera de Tehuacán-Cuicatlán.

### **Objetivos particulares**

- Identificar los tipos de vegetación presentes en cada núcleo agrario.
- Estimar la condición de la cobertura vegetal, a través del análisis de tres índices de vegetación, en dos años consecutivos en las épocas de lluvia y estiaje.
- Implementar el monitoreo ambiental comunitario en San José Tilapa, como propuesta de trabajo, para los otros núcleos agrarios en estudio.

### **III. Marco teórico**

En este rubro, se presenta de manera descriptiva una revisión bibliográfica de conceptos y temas de base que fundamentan de manera teórica el trabajo realizado.

#### **Línea base**

La línea base (LB) es un conjunto de indicadores desarrollados con la finalidad de describir evidencias y apreciaciones sobre la situación inicial de un proyecto; de manera que esa información pueda compararse con análisis posteriores, obtenidos a partir de la réplica de una metodología anteriormente realizada (Medianero, 2014).

Representa una primera medición, que sirve como marco de referencia cualitativo y cuantitativo para poder verificar, analizar, monitorear, dar seguimiento y evaluar los resultados, impactos y cambios a nivel biofísico, socioeconómico y ambiental, relacionados con la implementación de actividades de un plan, un proyecto o un programa de manejo de recursos naturales (Rascón, 2007).

#### **Monitoreo ambiental comunitario (MAC)**

Un monitoreo ambiental (MA) es descrito como la observación y estudio del ambiente, por medio de la recopilación de datos, a partir de los cuales se deriva un conocimiento que suele conducir a una mejor comprensión y evaluación periódica sobre algún problema o situación relacionada con el ambiente, lo que a su vez mejora las posibilidades en la toma de decisiones, desde un punto de vista político, económico y social, orientadas a la conservación y uso sostenible de los recursos naturales (Artiola *et al.*, 2004).

En este sentido, se habla de un monitoreo ambiental comunitario (MAC), como aquella actividad que brinda información sobre los recursos naturales existentes en un territorio y su estado de conservación, y que sirve para la toma de decisiones de un mejor manejo y aprovechamiento a nivel local, en pro de la salud del ambiente y del bienestar de sus usuarios, que muchas veces son los propietarios. Es una forma de fomentar la participación

social impulsada por la necesidad local de información, para aumentar la rendición de cuentas en las asambleas ejidales y contribuir a la gestión de los recursos naturales (CONAFOR, 2014).

El MAC busca generar información relevante para las comunidades, aumentar los conocimientos técnicos de las personas que participan, y a su vez, generar un intercambio de experiencias que mejore las capacidades de las personas propietarias de los recursos naturales; y de esta manera que se logren integrar los intereses de las comunidades, generar datos sobre sus recursos naturales para la gestión del territorio y vincular las actividades de gestión del territorio de diferentes actores sociales (CONAFOR, 2014).

### **Percepción remota**

“La percepción remota es una tecnología basada en el muestreo y análisis de energía electromagnética reflejada o emitida por diferentes tipos de cobertura de la Tierra”, (Bautista, 2004). Es una herramienta fundamental en la aplicación de estudios relacionados con la observación, evaluación y monitoreo de los recursos naturales (Gibson, 2000), la cual proporciona información a distancia de la superficie terrestre o marina, a partir de imágenes generadas por sensores instalados en plataformas aéreas y espaciales, asumiendo que entre la superficie terrestre y el sensor existe una interacción energética (Chuvienco, 1996).

La interacción entre los objetos y el sensor se da por medio de un flujo de radiación electromagnética que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor; este flujo puede ser, dependiendo de su origen; radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado), radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico) o radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar). Por ende los elementos básicos de los sistemas de percepción remota consisten en una fuente de energía, un sensor y el objeto observado (Pérez, 2014).

La figura 1, muestra la estructura de un sistema de percepción remota, donde el sol, como fuente de energía, ilumina la superficie terrestre, la cual a su vez refleja o absorbe parte de esa energía dependiendo de las propiedades físicas y químicas de cada objeto; parte de ese flujo es absorbido o dispersado en la atmósfera, el sistema sensor capta el porcentaje restante de energía disponible.

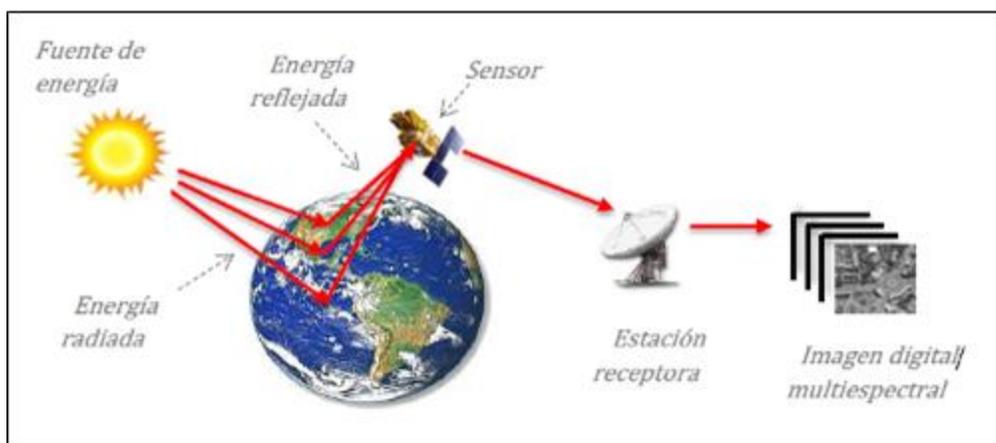


Figura 1. Esquema de los elementos de un sistema de percepción remota (Pérez, 2014)

Los elementos de la radiación electromagnética que la constituyen son la velocidad, frecuencia y longitud de onda, siendo esta última la de interés para la percepción remota. Un ordenamiento continuo de las diferentes longitudes de onda permite apreciar aspectos del objeto de estudio en diferentes maneras, ya que elementos como el suelo, la vegetación o el agua, tienen una respuesta diferente en cada sector del espectro electromagnético (Pérez, 2014).

### **Espectro electromagnético**

El espectro electromagnético se define como el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles, las cuales difieren en el valor de sus frecuencias y por la forma en que se producen (Barreto, 2015).

La radiación electromagnética, está formada por un campo eléctrico (E) y un campo magnético (B), ambos perpendiculares entre sí. Esta radiación tiene dos propiedades básicas muy relacionadas entre sí: la longitud de onda ( $\lambda$ ) y la frecuencia. La longitud de onda hace referencia a la distancia entre cresta y cresta de la onda (medida en micrómetros), mientras que la frecuencia es el número de crestas que pasan en un segundo (que se mide en Hertz) (Bautista, 2004). El comportamiento de la radiación electromagnética depende de su longitud de onda, por lo tanto de acuerdo a la teoría cuántica las frecuencias más altas tienen longitudes de ondas más cortas, por ende hay mayor energía; y las frecuencias inferiores tienen longitudes de onda más largas y la energía es menor (Barreto, 2015).

Generalmente, la radiación electromagnética se clasifica por su longitud de onda en: ondas de radio, microondas, infrarroja, región visible, rayos ultravioleta, rayos X y rayos gamma; siendo la región visible la que percibimos como luz (Barreto, 2015). Las longitudes de onda que se utilizan para la percepción remota, son de la región óptica del espectro, incluyendo las regiones del visible (azul, entre 0.4 y 0.5 micrómetros; verde, entre 0.5 y 0.6 micrómetros; y rojo entre 0.6 y 0.7 micrómetros), la del infrarrojo (que se subdivide en cercano, con longitud de onda entre 0.7 y 1.3 micrómetros; medio, entre 1.3 y 8 micrómetros; y térmico, de 8 a 14 micrómetros); y de las microondas (con longitud de onda a partir de 0.1 centímetros) (Manzo-Delgado y Meave, 2003).

Cuando la radiación electromagnética interactúa con la materia y la gravedad, ésta puede ser reflejada, absorbida o transmitida dependiendo de las condiciones en las que se da dicha interacción, cierta cantidad emerge nuevamente del material, sumándose a la radiación reflejada, lo cual permite que sea posible identificar los objetos de acuerdo con sus propiedades espectrales. La suma de la radiación reflejada total, más la irradiancia (total de energía que incide sobre una superficie en un tiempo determinado), definen la reflectividad del material en diferentes longitudes de onda, lo cual es el sustento teórico básico para la percepción remota (Manzo-Delgado y Meave, 2003).

### **Sensores remotos**

Los sensores son instrumentos ópticos que van a bordo de un satélite artificial capaces de detectar, caracterizar y cuantificar la energía reflejada por las diferentes coberturas de la Tierra. Se clasifican como sensores pasivos o activos, de acuerdo a la energía electromagnética que utilicen. Los sensores pasivos miden la radiación electromagnética procedente de las coberturas terrestres, ya sea reflejada por los rayos solares o emitida a través de ondas termales, es decir, operan gracias a una fuente externa de energía electromagnética. Mientras los sensores activos emiten un haz energético que después es detectado tras su reflexión sobre la superficie observada, como es el radar (Pérez, 2014).

El sensor detecta diferentes intervalos de longitudes de onda que son almacenados y se envían a un sistema de recepción codificado en valores numéricos, que son traducidos a datos de coberturas o imágenes con diferentes tonalidades, llamadas bandas, por tanto son imágenes multiespectrales (Collado *et al.*, 2015). Una imagen multiespectral está formada por imágenes individuales, donde cada una contiene los valores de reflectividad de una banda en particular (Towers, 2012).

La composición de las imágenes de satélite está dada por una malla de números, donde cada una de sus celdas recibe el nombre de pixel, que se le asigna un valor digital (medido en bits), el cual representa el promedio de la reflectividad espectral recogida por el sensor de la superficie, en diferentes longitudes de onda. De esta manera, una imagen puede ser concebida como una “representación pictórica de la superficie terrestre, que se caracteriza por tener diferentes resoluciones: espacial (tamaño del pixel), espectral (bandas espectrales), temporal (ciclo de captación) y radiométrica (bits, equivalentes a niveles de energía)” (Manzo-Delgado y Meave, 2003).

### **Programa Landsat 8 OLI/TIRS**

El programa Landsat está constituido por una serie de misiones de observación de la tierra por satélite, gestionadas conjuntamente entre la Agencia Nacional Norteamericana (NASA) y el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS). Este programa fue diseñado y operado para observar repetidas veces la cubierta de la Tierra de modo que se puedan monitorear los recursos de la superficie terrestre (Ariza, 2013). Inició en 1972 con el lanzamiento del primer satélite de la serie ERTS (Earth Resource Technology Satellite); posteriormente los satélites restantes recibieron el nombre de LANDSAT (Franco, 2017).

En la actualidad el programa se encuentra en su versión denominada: Landsat 8 OLI/TIRS, el cual es el octavo satélite de observación de la serie Landsat. Este sistema consta de una plataforma con capacidad de carga de dos sensores de observación terrestre: el primero denominado Operational Land Imager (OLI) y el sensor térmico infrarrojo Thermal Infrared Sensor (TIRS). Ambos recogen datos en forma conjunta para proporcionar imágenes coincidentes de la superficie terrestre desde las regiones costeras, hielo polar, las islas y zonas continentales, (Ariza, 2013).

El satélite Landsat 8 se encuentra a una altitud de 705 km, en una órbita polar casi síncrona al sol, con una inclinación de 98.2 grados y gira alrededor de la Tierra cada 99 minutos. El satélite tiene un ciclo de repetición de 16 días con un tiempo de cruce ecuatorial: 10:00 am +/- 15 minutos. Recoge aproximadamente 400 escenas al día, las cuales se cargan al servidor del USGS con el fin de que se encuentren disponibles para su descarga 24 horas después de la adquisición (USGS, s/a).

Las imágenes obtenidas por el sensor OLI constan de nueve bandas espectrales con una resolución espacial de 30 metros para las bandas de 1 a 7 y la banda 9; mientras que la banda 8 (pancromática) tiene una resolución de 15 metros. El sensor OLI incorpora dos bandas espectrales nuevas: la banda 1, que es un canal profundo en el azul visible diseñado específicamente para los recursos hídricos e investigación en zonas costeras; y la nueva banda 9, derivada de un canal infrarrojo para la detección de cirrus. En tanto, el sensor TIRS recoge dos bandas térmicas 10 y 11 que son útiles para proporcionar temperaturas más precisas de la superficie y se toman a 100 metros de resolución (Figura 2) (USGS, s/a).

| Sensor | Banda | Nombre                      | Longitud de onda (micrómetros) | Resolución (metros) |
|--------|-------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------|
| OLI    | 1     | Aerosol costero             | 0.43 - 0.45                    | 30                  |
|        | 2     | Azul                        | 0.45 - 0.51                    | 30                  |
|        | 3     | Verde                       | 0.53 - 0.59                    | 30                  |
|        | 4     | Rojo                        | 0.64 - 0.67                    | 30                  |
|        | 5     | Infrarrojo cercano (NIR)    | 0.85 - 0.88                    | 30                  |
|        | 6     | SWIR 1                      | 1.57 - 1.6                     | 30                  |
|        | 7     | SWIR 2                      | 2.11 - 2.29                    | 30                  |
|        | 8     | Pacromatico                 | 0.50 - 0.68                    | 15                  |
|        | 9     | Cirrus                      | 1.36 - 1.38                    | 30                  |
| TIRS   | 10    | Infrarrojo térmico (TIRS) 1 | 10.60 - 11.19                  | 100                 |
|        | 11    | Infrarrojo térmico (TIRS) 2 | 11.50 - 12.51                  | 100                 |

Figura 2. Tabla de distribución de las bandas del sensor OLI y TIRS, (USGS, s/a).

### Respuesta espectral de la vegetación

La respuesta espectral de las diferentes coberturas de la Tierra está íntimamente relacionada con la naturaleza física y química del material, aunque también puede ser modificada por la acción de factores externos como el ángulo de observación, la iluminación y las condiciones atmosféricas. “Existe una dependencia de la reflectividad con relación a la longitud de onda, que es lo que hace posible el reconocimiento de los materiales en una imagen de satélite” (Manzo-Delgado y Meave, 2003).

De manera particular el comportamiento espectral de la vegetación se determina en gran parte por las propiedades de las hojas, en función de su estado fenológico, el contenido de humedad, su orientación y la estructura del dosel de la vegetación (número de capas de hojas) (Manzo-Delgado y Meave 2003; Bautista, 2004). A nivel de la hoja la radiación que es reflejada en las diferentes regiones del espectro, depende de su estructura celular como

es la pigmentación de la hoja, el grosor y la composición, así como de la cantidad de agua libre dentro del tejido foliar (Barreto, 2015).

Cuando la vegetación se encuentra verde, su firma espectral se caracteriza por presentar un claro contraste entre las regiones del espectro correspondientes al rojo del visible y al infrarrojo cercano, ya que los pigmentos fotosintéticos que se encuentran en los cloroplastos (clorofilas, xantofilas y carotenos), absorben la mayor parte de la luz que reciben, por ende hay una baja reflectividad en la región del visible, aunque el efecto absorbente por los pigmentos es menor en la región del verde, lo cual es lo que le da la coloración a la vegetación (Alonso *et al.*, 1999 y Manzo-Delgado y Meave, 2003). En cambio la elevada reflectividad en la región del infrarrojo cercano se debe al aire presente en el mesófilo de la hoja, entonces, mientras más desarrollados estén estos tejidos con aire, mayor será la reflectancia (Barreto, 2015) (Figura 3).

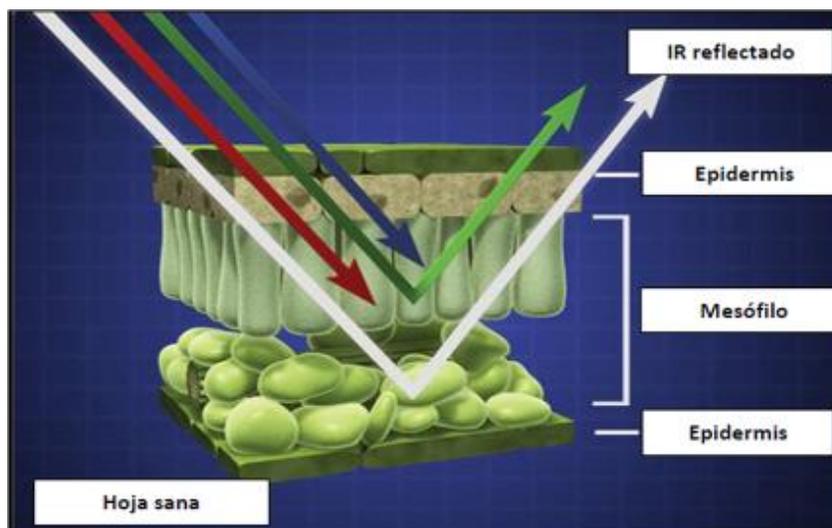


Figura 3. Absorción de la luz visible y reflexión de la radiación del infrarrojo (Barreto, 2015).

En el infrarrojo medio hay una disminución de la reflectividad en las longitudes de onda en las que el agua de la planta absorbe la energía. Valores bajos de reflectancia en el infrarrojo y alta reflectividad en la región del rojo pueden indicar una vegetación enferma o con una importante falta de humedad (Alonso *et al.*, 1999).

A nivel macro, el comportamiento espectral de una masa de vegetación, ya sea cultivos, o vegetación natural o modificada, se determina por la combinación de sus componentes como son: el tipo, la densidad, el grado de desarrollo, su estado fenológico y la naturaleza

del suelo entre plantas, si está desnudo, o del contenido de materia orgánica (Bautista, 2004).

### **Índices de vegetación**

En la percepción remota, los índices de vegetación se utilizan para discriminar coberturas vegetales de alta actividad fotosintética de otras coberturas, como el suelo desnudo, que resultan ser parámetros calculados a partir de los valores de la reflectividad a distintas longitudes de onda y que pretenden extraer información de la vegetación minimizando la influencia de perturbaciones relacionadas con el suelo y las condiciones atmosféricas (Gilabert *et al.*, 1997).

Estos índices se generan con la combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen y están condicionados por cambios en el estado fisiológico de las coberturas vegetales, por lo que sus variaciones pueden ser utilizadas para estudios espaciales y temporales del comportamiento de la vegetación (Gonzaga, 2015). Un valor alto en el cociente de estos índices, refiere a una mayor cobertura vegetal y/o vigor de la vegetación y lo que a su vez, permite una mejor discriminación frente a otros tipos de coberturas.

El análisis de índices de vegetación permite obtener de forma rápida estimaciones de áreas con cobertura vegetal, generando así mapas temáticos actualizados y precisos sobre la condición de la vegetación a una escala temporal y espacial amplia, y con ello se reduce el gasto de recursos en campo; la información puede ser actualizada periódicamente de modo que puede ser comparable al paso del tiempo (Torres *et al.*, 2014).

### **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), es un índice de vegetación estandarizado que permite generar una imagen donde se muestra la biomasa de hojas verdes (Aguilar *et al.*, 2010). La absorción de clorofila en la banda roja (R) y la reflectancia relativamente alta de la vegetación en la banda infrarroja cercana (NIR) se utilizan para calcular este índice y con ello se puede conocer la condición de la vegetación (Gonzaga, 2015). El cociente de este índice resulta en valores entre -1 y 1, por tanto cuando el NDVI presenta valores cercanos a 1 es posible decir que existe un desarrollo muy vigoroso del follaje y que este cubre por completo el suelo, mientras que un valor cercano a cero indica que ésta se encuentra en muy mal estado y cuando es cercana a -1 indica que no hay

vegetación (Barreto, 2015). Este índice permite identificar la presencia de vegetación verde en la superficie y caracterizar su distribución espacial, así como, la evolución de su estado a lo largo del tiempo. Su valor ecológico radica en ser un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintética activa interceptada por la vegetación, la productividad primaria y en ser una variable integradora del funcionamiento del ecosistema (Gonzaga, 2014).

#### **Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)**

El índice SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), es una modificación del índice de NDVI, ya que utiliza las mismas bandas espectrales, pero se le agrega un factor de ajuste de "línea de suelo (L), con el fin de minimizar el efecto del suelo en áreas con baja densidad de vegetación. El valor de ajuste puede ser de 0.25, 0.5 y 1, para cobertura vegetal baja, media y alta, respectivamente (Gonzaga, 2015).

#### **Índice de Suelo Desnudo (BSI)**

El índice BSI (Bare Soil Index), representa información derivada de cuatro bandas: infrarrojo cercano, azul, roja e infrarrojo medio (Becerril-Piña et al., 2015). Este índice se emplea para tener una estimación más confiable del estado de la vegetación, cuando ésta cubre menos de la mitad del área. La lógica subyace en la alta reciprocidad entre el estado del suelo desnudo y el estado de la vegetación, por tanto al combinar los índices de vegetación y suelo desnudo en el análisis, se puede evaluar el estado de las zonas forestales en un rango continuo que va desde un alto porcentaje de cobertura vegetal, hasta un porcentaje alto de suelo expuesto (Rikimaru *et al*, 2002).

### **IV. Materiales y Métodos**

#### **Zona de Estudio**

##### **Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán**

La RBTC se encuentra dentro del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en lo que se denomina como Provincia Florística Tehuacán-Cuicatlán, que pertenece a la Región Xerofítica Mexicana del Reino Neotropical en la parte sureste del estado de Puebla y noroeste de Oaxaca (Miguel-Tolania *et al.*, 2014). Involucra los valles de Cuicatlán, Huajuapán, Tehuacán, Tepelmeme y Zapotitlán, que en su conjunto forman la cuenca alta del Río Papaloapan y en menor grado la cuenca alta del Río Balsas (CONANP, 2003).

La geomorfología de esta región compleja, presenta un intervalo altitudinal que va desde los 400 hasta los 3200 msnm, con formas del relieve muy diversas, desde los valles y las

planicies, hasta las sierras. Sus climas predominantes son los del tipo seco, seguidos por el templado subhúmedo en las partes altas (Miguel-Tolania *et al.*, 2014). La aridez se debe en gran parte al fenómeno de sombra orográfica provocada por la sierra Zongólica que forma parte de la sierra Madre Oriental (Valiente-Banuet *et al.*, 2009).

Desde el punto de vista hidrológico, la reserva protege la zona de manantiales y recarga de acuíferos del corredor hidráulico de Tehuacán. En el área se presentan precipitaciones menores a 300 mm anuales, por lo que su protección es la de mayor importancia ecológica, ya que por este corredor pasa el agua que alimenta a los sistemas de galerías filtrantes y pozos de los cuales se abastece todo el valle bajo (CONANP, 2003).

Presenta diversos tipos de vegetación ya que al norte del valle predomina el bosque tropical caducifolio, después del matorral xerófilo, mientras que en las partes elevadas del sur, existe bosque de pino-encino y pequeñas porciones de bosque mesófilo de montaña (Miguel-Tolania *et al.*, 2014). De acuerdo con Valiente-Banuet *et al.*, (2000) esta región es depositaria de una excepcional biodiversidad, lo que la convierte en la zona árida y semiárida de Norteamérica con mayor riqueza biológica y la zona seca con la mayor diversidad florística de México. Los autores han reconocido 29 asociaciones vegetales, de las cuales, 9 están dominadas fisonómicamente por alguna(s) de las siguientes cactáceas columnares: *Cephalocereus columna-trajani*, *Escontria chiotilla*, *Neobuxbaumia macrocephala*, *N. mezcalaensis*, *N. tetetzo*, *Pachycereus fulviceps*, *P. weberi*, *Polaskia chichipe*, *Stenocereus stellatus* y *S. dumortieri*.

### **Núcleos agrarios**

La siguiente descripción ambiental corresponde a los núcleos agrarios de estudio que se encuentran dentro de la RBTC.

#### *Ejido San Antonio Texcala*

Pertenece al municipio de Zapotitlán Salinas, Puebla y se ubica a 9 kilómetros de la Ciudad de Tehuacán entre los 18° 21' 48" y 18° 26' 33" Latitud Norte y los 97° 25' 32" y 97° 29' 58" Longitud Oeste, con una altitud promedio de 2,020 msnm. Presenta dos tipos de clima: templado subhúmedo y semiárido semicálido, con temperaturas medias anuales de 12°C a 18°C y mayores a 18°C, respectivamente. La precipitación media anual predominante es de 400 a 500 mm.

Las unidades de suelo presentes en este ejido son: Leptosoles, Calcisoles, Phaeozem, Regosoles y Vertisoles siendo los dos primeros los dominantes. Los Leptosoles, de tipo rendzico y lítico, que son suelos azonales y muy someros que se desarrollan sobre roca continua, por lo que son extremadamente pedregosos; se encuentran particularmente en regiones montañosas. Los Calcisoles comprenden suelos en los cuales hay una acumulación secundaria importante de material calcáreo. Phaeozem, son suelos oscuros ricos en materia orgánica, con una alta saturación de bases, poroso, fértil y es excelente tierra agrícola. El Regosol se refiere a suelos poco desarrollados muy parecidos al material de origen. Los Vertisoles son suelos pesados arcillosos con procesos de expansión y contracción; formados de sedimentos que contienen elevada proporción de arcillas expandibles, formadas de transformación de los sedimentos.

Las asociaciones vegetales dominantes son: Cardonal de *Cephalocereus columna-trajani*, Palmar de *Brahea dulcis*, Izotal de *Yucca periculosa*, Matorral de *Echinocactus platyacanthus* y Cardonal de *Myrocereus fulviceps* (Macías-Cuellar et al., 2010).

#### *Ejido San Francisco Xochiltepec*

Se ubica dentro del municipio Zapotitlán Salinas, Puebla, al sur de la cabecera municipal. Sus coordenadas geográficas son 18° 18' 41" y 18° 12' 3" Longitud Norte y 97° 28' 25" y 97° 22' 43" Longitud Oeste, a una altitud promedio de 2,020 msnm. Presenta dos tipos de clima: seco y semiseco, con temperaturas medias anuales de 16°C y 18°C. La precipitación media anual predominante es de 500 mm (INEGI, 2005).

El Leptosol es la unidad de suelo presente en este ejido, que se encuentran particularmente en regiones montañosas, como Xochiltepec. Esta unidad de suelos agrupa a los subgrupos rendzico y lítico, similares a los de Texcala (INEGI, 2014 a). Sus tipos de vegetación dominantes son el matorral crassicaule y el matorral desértico rosetofilo (INEGI, 2011).

#### *Ejido San José Tilapa*

Forma parte del municipio de Coxcatlán, Puebla que se encuentra en la porción suroeste del Valle de Tehuacán. Se encuentra entre las coordenadas 18° 09' 42" y 18° 12' 27" Latitud Norte y 97° 06' 10" y 97° 09' 36" Longitud Oeste, a una altitud promedio de 1013 msnm. El ejido presenta tres tipos de climas: seco muy cálido, templado subhúmedo y semiseco semicálido. La precipitación media anual varía de 400 mm en las zonas de valle y planicies,

hasta 700 mm en la zona montañosa; y la temperatura dominante es de 22°C promedio anual en el valle, hasta 18°C en la sierra.

Presenta cuatro unidades de suelo: Regosoles, Calcisoles, Cambisoles y Vertisoles. Los Regosoles se caracterizan por ser suelos minerales muy débilmente desarrollados con materiales no consolidados que carecen de un horizonte orgánico, pueden ser profundos con presencia de grava, arena o con materiales de depósito. Se encuentran extendidos en tierras erosionadas, particularmente en áreas áridas y semiáridas y en terrenos montañosos. Los Calcisoles comprenden suelos en los cuales hay una acumulación importante de carbonato secundario. Los Cambisoles son suelos con formación de por lo menos un horizonte sub-superficial tipo B incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y decoloración principalmente parduzca, incremento en el porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos. Los Vertisoles que como ya se mencionó son arcillosos que se agrietan (CONAFOR-PROCYMAF, 2010).

Presenta dos tipos de vegetación dominantes, las cuales se distribuyen dependiendo de las condiciones de relieve, de la disponibilidad de humedad y de la altitud: matorral crassicaule y selva baja caducifolia (CONAFOR-PROCYMAF, 2010). De acuerdo con Valiente-Banuet (2009) por su tipo de vegetación dominante su asociación vegetal corresponde al cuajjotal (*Bursera spp*).



Figura 4. Mapa de la ubicación de los núcleos agrarios de estudio

## Fase de Gabinete

### Delimitación de los polígonos

Se realizó una revisión bibliográfica de la parte conceptual y metodológica del proyecto y se consultó cartografía temática para ubicar los sitios de trabajo; el criterio de elección de los polígonos como zona de estudio, fue la presencia de un polígono destinado al Pago por Servicios ambientales (PSA). Una vez elegidos dichos polígonos, con la revisión de cartografía temática de Uso de Suelo y Vegetación de la serie VI de INEGI (2017), se realizó una clasificación y descripción de los tipos de vegetación presente en cada núcleo agrario.

### Obtención y pre procesamiento de las Imágenes de Satélite

Para este estudio se analizaron imágenes obtenidas por el satélite Landsat de la misión 8 OLI/TIRS, adquiridas de manera gratuita de la plataforma EarthExplorer del servidor Sistema Geológico de Estados Unidos por sus siglas en inglés USGS (United States Geological Survey), a través del portal (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Para cubrir el área de estudio se utilizó la escena correspondiente al Path/Row 25/45.

Con el fin de realizar una evaluación comparativa de la variación temporal de las condiciones de la cobertura vegetal se seleccionaron imágenes en dos años, 2017 y 2018;

cubriendo la temporada de estiaje, con imágenes tomadas en enero para el año 2017 y febrero para el año 2018; y lluvias en julio para ambos años, con la intención de documentar el comportamiento de la vegetación en presencia o ausencia de humedad en el ambiente.

### **Corrección radiométrica**

Los productos estándar de Landsat 8 suministrados por el USGS, consisten en una serie cuantificada, calibrada y escalada de niveles digitales (ND, valores crudos), los cuales representan los datos de una imagen multispectral adquirida por ambos sensores: OLI (Operational Land Imagen) y el TIRS (Thermal Infrared Sensor), dichos niveles digitales no muestran los valores de reflectividad del comportamiento de los objetos en la Tierra, por tanto, estos datos pueden ser convertidos a valores de reflectancia en el techo de la atmosfera (TOA), usando los coeficientes de reflectancia reescalados y el ángulo solar, suministrados en el archivo de metadatos (MTL) de las imágenes a trabajar (Ariza, 2013). La fórmula siguiente es la ecuación general para la conversión de los ND a reflectancia:

$$P\lambda = \frac{M\rho * Q\text{ cal} + A\rho}{\text{Sin}(\theta_{se})}$$

Dónde:

$P\lambda$  = Es el valor de la reflectancia planetaria o en el techo de la atmosfera (TOA), con corrección por ángulo solar.

$M\rho$  = Es el factor multiplicativo de escalado específico por banda obtenido del metadato (REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x, donde x es el número de la banda).

$A\rho$  = Es el factor aditivo de escalado específico por banda obtenido del metadato (REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x, donde x es el número de la banda).

$\text{Sin } \theta_{se}$  = Es el ángulo de elevación solar. El ángulo de elevación solar del centro de la escena es provisto en el metadato de la imagen (SUN\_ELEVATION).

$Q\text{ cal}$  = Es el producto estándar cuantificado y calibrado para valores de pixel (DN). Este valor se refiere a cada una de las bandas de la imagen.

### **Análisis de la condición de la cobertura vegetal con las imágenes satelitales**

Con los valores de reflectancia (TOA) de cada banda de las imágenes satelitales, se aplicó la fórmula de cada índice de vegetación para hacer una interpretación de la condición de la vegetación. Los índices de vegetación analizados fueron: el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI); el Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) y el Índice de Suelo Desnudo (BSI) (Becerril-Piña et al, 2015).

### **Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).**

Este índice se deriva de la combinación de las reflectancias captadas en el rango espectral del rojo e infrarrojo cercano (Gonzaga, 2015). Al hacer el cociente de las dos bandas, se obtienen valores entre -1 y +1, en donde de manera general, el agua tiene un valor de NDVI menor que 0, el suelo desnudo entre 0 y 0.1, y la vegetación por encima de 0.1. El aumento en el valor positivo del NDVI significa una vegetación más verde y por lo tanto en mejores condiciones para el funcionamiento del ecosistema (Becerril-Piña *et al.*, 2015). La fórmula para calcular este índice es la descrita por Rouse *et al.*, 1974.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Dónde:

NDVI = Índice de Vegetación con Diferencia Normalizada

NIR= Reflectancia de la banda del infrarrojo cercano (0.85 – 0.88 micrómetros; banda 5)

R= Reflectancia de la banda del rojo (0.64 - 0.67 micrómetros; banda 4)

### **Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)**

Para el cálculo de este índice, se utilizaron las mismas bandas que para el NDVI y el valor de ajuste utilizado para zonas áridas o semiáridas es de 0.5 (Gonzaga, 2015). La fórmula para calcular este índice es:

$$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR - R + L} * (1 + L)$$

Donde:

SAVI: Índice de Vegetación Ajustado al Suelo

NIR= Reflectancia de la banda del infrarrojo cercano (0.85 - 0.88 micrómetros; banda 5)

R= Reflectancia de la banda del rojo (0.64 - 0.67 micrómetros; banda 4)

L= Valor de ajuste (en este caso 0.5)

### **Índice de Suelo Desnudo (BSI)**

El BSI, es un índice que proporciona información sobre las áreas con mayor exposición de suelo, es decir, donde la vegetación tiende a ser más escasa. Sus valores van de 0 a 200, en donde son más bajos, indican la presencia de vegetación y los más altos, refieren a las áreas donde la exposición de suelo desnudo es evidente (Becerril-Piña *et al.*, 2015). La fórmula para calcular este índice es:

$$BSI = \frac{(SWIR + R) - (NIR + B)}{(SWIR + R) + (NIR + B)} * 100 + 100$$

Donde:

BSI= Índice de Suelo Desnudo

SWIR= Reflectancia del Infrarrojo medio (1.57 – 1.65 micrometros; banda 6)

R= Reflectancia de la banda del rojo (0.64 - 0.67 micrómetros; banda 4)

NIR= Reflectancia de la banda del infrarrojo cercano (0.85 - 0.88 micrometros; banda 5)

B= Reflectancia de la banda azul (0.45 – 0.51 micrómetros; banda 2)

Para el análisis e interpretación de los datos obtenidos en cada índice de vegetación, se hizo una reclasificación de los valores en 4 clases en los tres índices (Cuadro 1).

En el índice de NDVI, la categoría de bajo verdor indica cierto nivel de estrés en la vegetación y presencia de suelo; la categoría de verdor medio puede deberse a la presencia de factores que generen algún nivel de estrés en la vegetación; y alto nivel de verdor se puede referir al mejor punto de vigorosidad de la vegetación.

Cuadro 1. Clasificación de los valores de los índices de vegetación y su interpretación

| Clasificación |                      |                            |                            |       |                      |                               |
|---------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|-------|----------------------|-------------------------------|
| Clase         | Rango de los valores | NDVI                       | SAVI                       | Clase | Rango de los valores | BSI                           |
|               |                      | Condición de la vegetación | Condición de la vegetación |       |                      | Interpretación de los valores |
| 1             | -1 a 0               | Sin vegetación             | Sin vegetación             | 1     | Más bajos            | Menor exposición de suelo     |
| 2             | 0.01 a 0.25          | Verdor bajo                | Cobertura baja             | 2     | Bajos                |                               |
| 3             | 0.26 a 0.5           | Verdor medio               | Cobertura moderada         | 3     | Altos                | Mayor exposición de suelo     |
| 4             | 0.51 a 1             | Verdor alto                | Cobertura alta             | 4     | Más altos            |                               |

### Fase de Campo

Una vez calculados los índices de vegetación de los tres ejidos para establecer la línea base, se llevó a cabo el Monitoreo Ambiental Comunitario (MAC) en el ejido de San José Tilapa, Coxcatlán, Puebla, estableciendo los contactos estratégicos con las autoridades y con los miembros de la brigada de vigilancia forestal del ejido. Este programa se desarrolló como una propuesta para realizar el monitoreo en los tres ejidos.

### Selección de los sitios para realizar el MAC

De manera participativa (Rodríguez-Villasante, 2004), se seleccionaron parajes dentro del polígono de pago por servicios ambientales del ejido, en los que se identificaron los espacios destinados para el monitoreo de la vegetación.

### **Preparación y programación de los talleres para el MAC.**

Para llevar a cabo el monitoreo se realizó un proceso de capacitación para los ejidatarios, autoridades y miembros de la brigada de vigilancia forestal, respecto al monitoreo de la vegetación, mediante la impartición de talleres. Para ello, se realizaron cartas descriptivas donde se enlistaron cada una de las actividades a realizar durante el taller. Como material de base se realizó un manual “Técnicas de Evaluación de la Vegetación” (Hernández-Moreno *et al.*, 2017), mediante la compilación de diversas técnicas y la descripción de diversos indicadores de la condición de la vegetación: i) presencia/ausencia de claros, ii) tipos biológicos presentes (árbol, arbusto o hierbas), iii) altura y grado de cobertura de las plantas de acuerdo con su tipo biológico, iv) fenología (presencia/ausencia de hojas, frutos o flores), v) estado de conservación y vi) fauna asociada. El criterio de elección de estos indicadores a medir fue su fácil comprensión y medición.

De acuerdo con los indicadores elegidos, se diseñaron los formatos para el registro de datos obtenidos en campo, a partir de las mediciones de los indicadores y de la evaluación de la condición de la vegetación, con la finalidad de que se siga utilizando durante todo el tiempo que dure el monitoreo ambiental comunitario, bajo la idea de que serán los ejidatarios quienes le den continuidad.

Para la impartición de los talleres y teniendo los materiales anteriormente descritos, se elaboró una presentación, donde se describieron los objetivos y conceptos básicos del monitoreo de la vegetación, la explicación sobre la importancia y la utilidad de los indicadores a medir, y la forma de llenado de los formatos; se incluyeron preguntas dirigidas a la brigada de vigilancia forestal, con el fin de fomentar su participación, buscando, en un ejercicio de diálogo de saberes (Leff, 2006), que se expresara la experiencia y el conocimiento que los ejidatarios tienen sobre el estado de sus recursos naturales la vegetación.

### **Recorridos participativos**

Los recorridos se realizaron en los parajes de “El Chivato”, “El Platanillo” y “El Purrón”, donde se registraron los recursos forestales maderables y no maderables de importancia económica para la comunidad. Al mismo tiempo se evaluó la condición de la vegetación por medio de la medición de los siguientes indicadores: tipo de asociación vegetal, conectividad, fenología, tipos biológicos y su estado de conservación de acuerdo con el Manual de Técnicas de Evaluación de la vegetación, para el Monitoreo Ambiental Comunitario (Hernández-Moreno *et al.*, 2017).

## V. Resultados

### Tipos de vegetación identificados en cada ejido

En el cuadro 2, se presentan los tipos de uso de suelo y vegetación identificados de acuerdo a INEGI (2017), en cada núcleo agrario.

| Cuadro 2. Tipos de vegetación presentes en cada núcleo agrario      |                        |                              |                    |
|---|------------------------|------------------------------|--------------------|
| Vegetación (INEGI, 2017)  | Núcleo Agrario         |                              |                    |
|   | San Antonio<br>Texcala | San Francisco<br>Xochiltepec | San José<br>Tilapa |
| Matorral crasicaule (MC)  | X                      | X                            | X                  |
| Matorral desértico rosetófilo (MDR)                                 | X                      | X                            |                    |
| Chaparral (ML)  | X                      | X                            |                    |
| Bosque de Mezquite (MK)   |                        | X                            |                    |
| Selva baja caducifolia (SBC)  |                        |                              | X                  |
| Pastizal inducido (PI)  |                        | X                            |                    |
| Tipos de Vegetación   |                        |                              |                    |
| Vegetación secundaria arbustiva de chaparral (VSa/ML)               | X                      | X                            |                    |
| Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (VSa/SBC) |                        |                              | X                  |
| Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino (VSa/BQ)        |                        | X                            |                    |
| Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia (VSA/SBC)   |                        |                              | X                  |
| Uso de Suelo  |                        |                              |                    |
| Agricultura de riego semipermanente (RS)                            |                        |                              | X                  |
| Agricultura de temporal anual y permanente (TAP)                    |                        |                              | X                  |
| Agricultura de temporal anual (TA)                                  |                        | X                            |                    |

### San Antonio Texcala

Presenta cuatro tipos de vegetación (Figura 6), siendo el matorral desértico rosetófilo (MDR) el tipo de vegetación dominante, con 42% (1505 Ha); seguido el matorral crasicaule (MC) con un 38% (1389 Ha). El chaparral (ML) se presenta en un 12% (405 Ha) y por último la vegetación secundaria arbustiva de chaparral (VSa/ML) (7%; 245 Ha) (Figura 5).

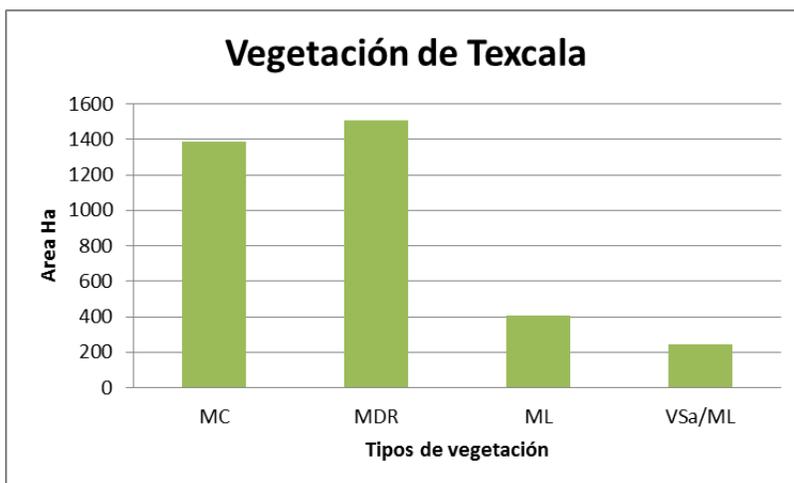


Figura 5. Gráfica de superficies de cada tipo de vegetación identificado en Texcala

De acuerdo con INEGI (2014), estos se definen como:

- Matorral desértico rosetófilo (MDR) se caracteriza por presentar especies con hojas en forma de roseta, con o sin espinas, sin tallo aparente o bien desarrollado. Se encuentra generalmente en suelos de tipo xerosol en las laderas de cerros de origen sedimentario, en las partes altas de los abanicos aluviales o en conglomerados. Este tipo de vegetación se establece principalmente en zonas áridas donde se encuentran algunas especies vegetales con importancia económica para estas regiones como: *Agave lechuguilla* (lechuguilla), *Agave spp.*, *Hechtia spp.* (guapilla), *Dasyilirion spp.* (sotol), *Euphorbia antisyphilitica* (candelilla), *Parthenium argentatum* (guayule), *Yucca carnerosana* (palma samandoca), es notable la presencia de cactáceas acompañantes.
- Matorral crasicaule (MC) se desarrolla en las zonas semiáridas sobre suelos someros de laderas de cerros de naturaleza volcánica y suelos aluviales contiguos. Su principal característica es la presencia de cactáceas con tallos carnosos, con una especie de cardón dominante, *Cephalocereus columna-trajani*. La altura de este matorral alcanza generalmente de 2 a 4 m, su densidad es variable, pudiendo alcanzar casi 100% de cobertura, y la presencia de numerosas plantas herbáceas y otras cilindropuntias.

- Chaparral (ML), son asociaciones de arbustos o árboles esclerófilos con resistencia al fuego que miden de 1 a 4 m de alto, ubicados en las llanuras, valles y lomeríos, entremezclados ocasionalmente con otros tipos de vegetación.
- Vegetación secundaria arbustiva de chaparral (VSa/ML), se refiere a un estado sucesional en donde un tipo de vegetación primario es eliminado o alterado por diversos factores humanos o naturales y la nueva comunidad vegetal es significativamente diferente a la original con estructura y composición florística heterogénea. En este caso la nueva comunidad se compone principalmente de elementos arbustivos de un chaparral (ML).

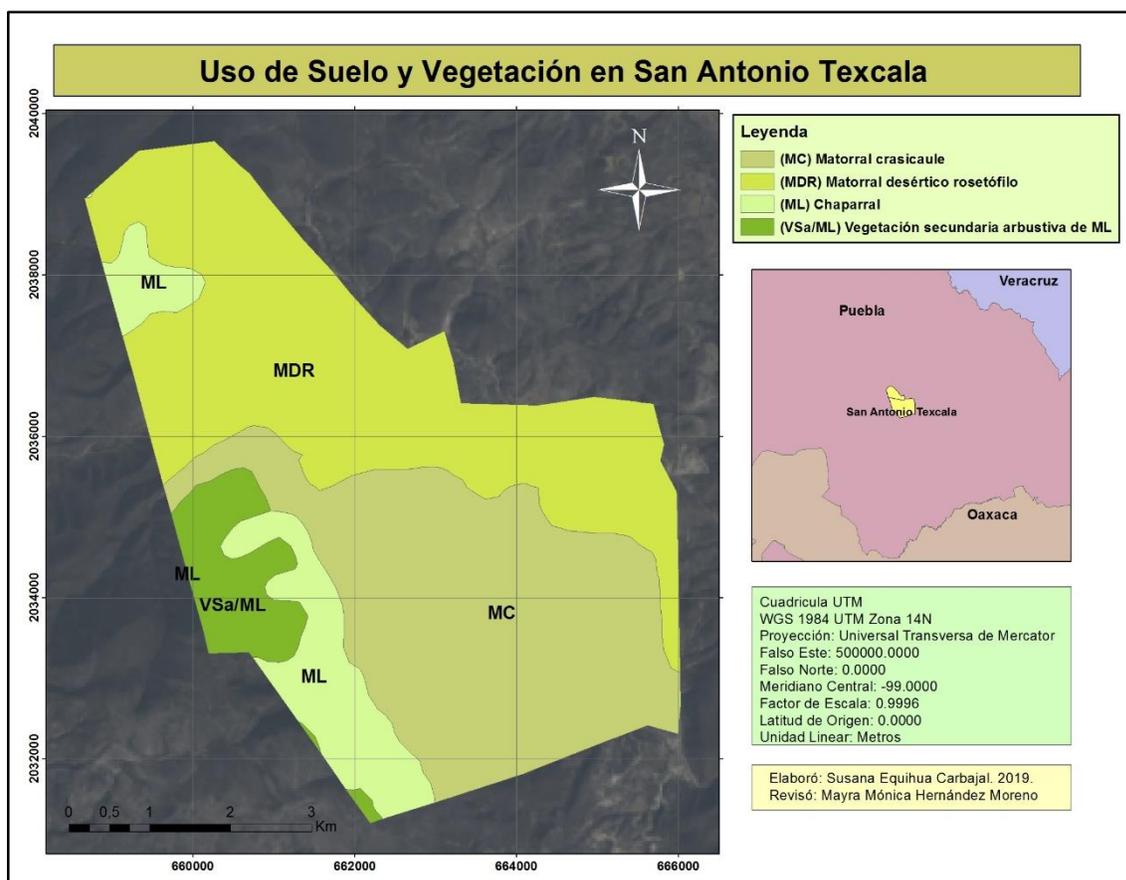


Figura 6. Mapa de los tipos de vegetación identificados en Texcala (INEGI, 2017)

### San Francisco Xochiltepec

Se identificaron seis tipos de vegetación y dos tipos de uso del suelo (Figura 8). Dentro de los primeros encontramos que el 36% del ejido presenta matorral crasicaule (MC) (1988 Ha), el 29% matorral desértico rosetófilo (MDR) (1578 Ha), y el 14% otros cuatro tipos de vegetación, bosque de mezquite (MK), chaparral (ML), vegetación secundaria arbustiva de encino (VSa/BQ) y vegetación secundaria arbustiva de chaparral (VSa/ML). Los tipos de

uso del suelo reportados son la agricultura de temporal anual (TA) (1113 Ha) y el pastizal inducido (PI) (43 Ha) (Figura 7).

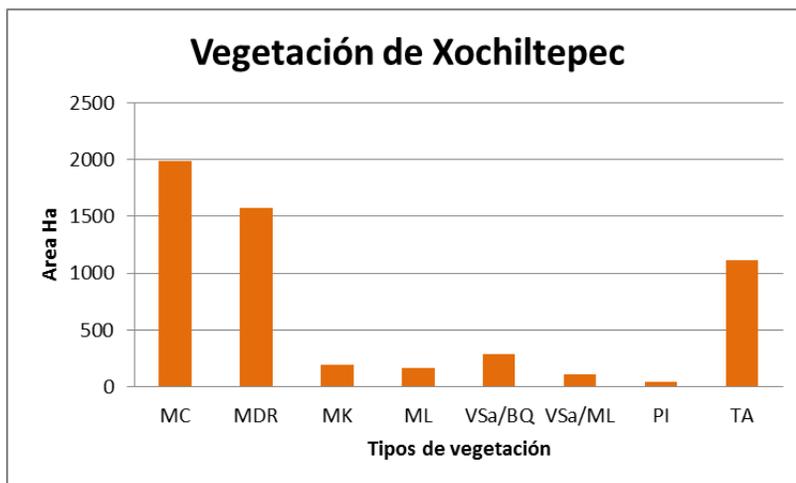


Figura 7. Gráfica de superficies de cada tipo de vegetación identificado en Xochiltepec

La descripción de estos tipos de vegetación con base en INEGI (2014) se presenta a continuación; cuatro de ellos (MC, MDR, ML y VSa/ML) se presentaron en el apartado anterior.

- Bosque de mezquite (MK), es una comunidad arbórea de entre 5 y 20 m de altura, con especies de *Prosopis*, que se desarrolla en suelos aluviales de fondo de valle y depresiones en las planicies, donde el manto freático se mantiene a poca profundidad, es común a lo largo de arroyos y ríos intermitentes en las regiones semiáridas.
- Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino (VSa/BQ), se refiere a un estado sucesional en donde un tipo de vegetación primario es eliminado o alterado por diversos factores humanos o naturales y la nueva comunidad vegetal es significativamente diferente a la original con estructura y composición florística heterogénea. En este caso la nueva comunidad se compone principalmente de elementos arbustivos de un bosque de encino (BQ).
- Agricultura de temporal anual (TA), se refiere a aquellos terrenos donde el ciclo agrícola dura solamente un año y depende del agua de lluvia, por lo que su éxito depende de la cantidad de precipitación y de la capacidad del suelo para retener agua.
- Pastizal inducido (PI), es una comunidad dominada por gramíneas o graminoides que se establece como consecuencia del desmonte de cualquier tipo de vegetación, sobre áreas agrícolas abandonadas o como producto de áreas que se incendian con frecuencia. También corresponden a una fase sucesional normal de comunidades vegetales, cuyo clímax es por lo común un bosque o un matorral.

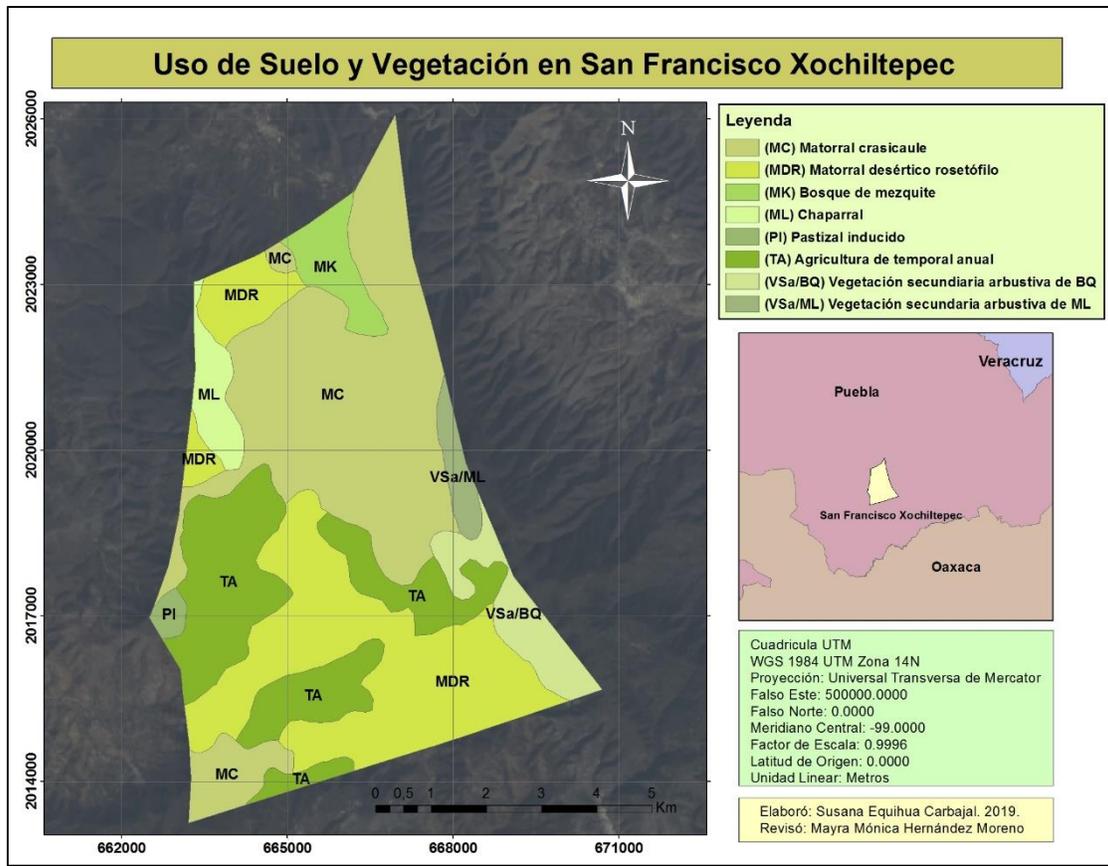


Figura 8. Mapa de los tipos de vegetación identificados en Xochiltepec (INEGI, 2017)

### San José Tilapa

Se identificaron 4 tipos de vegetación y 3 tipos de uso de suelo (Figura 10). En cuanto a la vegetación, son tres las clases dominantes: la vegetación secundaria arborea de selva baja caducifolia (VSA/SBC) con el 27% (1564 ha) y el matorral crasicaule (MC) con un 26% (1520 Ha) y la selva baja caducifolia (SBC) con 14% (826 ha). Respecto a los usos del suelo encontramos que el 23% (1341 Ha) corresponde a la agricultura de riego semipermanente (RS), y cerca del 2% del terreno presenta agricultura de temporal anual y permanente (TAP) y uso urbano (AH) (Figura 9).

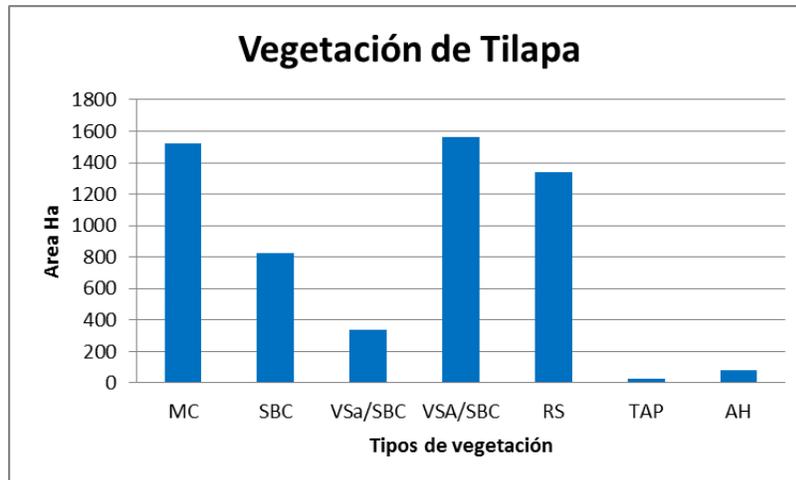


Figura 9 Gráfica de superficies de cada tipo de vegetación identificado en Tilapa

Las descripciones de estos tipos de vegetacion de acuerdo a INEGI (2014) son:

- Selva baja caducifolia (SBC), se caracteriza por desarrollarse en sitios con climas donde predominan los tipos cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos, con una estación seca muy marcada que va de 6 a 8 meses. Los componentes arbóreos presentan baja altura, normalmente de 4 a 10 m (eventualmente hasta 15m), el estrato herbáceo es bastante reducido y solo se puede apreciar después de que ha empezado claramente la época de lluvias y retoñan o germinan las especies herbáceas. Las formas de vida crasa y suculenta son frecuentes, especialmente en los géneros *Agave*, *Opuntia*, *Stenocereus* y *Cephalocereus*.
- Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia (VSA/SBC), se refiere a un estado sucesional en donde un tipo de vegetación primario es eliminado o alterado por diversos factores humanos o naturales y la nueva comunidad vegetal es significativamente diferente a la original con estructura y composición florística heterogénea. Particularmente en este caso la nueva comunidad se compone de elementos principalmente arbóreos de una selva baja caducifolia (SBC). En el caso de la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia (VSa/SBC), se compone de elementos principalmente arbustivos de una selva baja caducifolia (SBC).
- Agricultura de riego semipermanente (RS), son cultivos que pueden durar entre dos y diez años, en donde se utiliza agua suplementaria para el desarrollo de los mismos, durante el ciclo agrícola. Este suplemento de agua puede ser por medio de aspersión, goteo, a través de surcos o bien tubería a partir de un canal principal que se distribuye directamente a la planta; por bombeo desde la fuente de suministro, o por gravedad

cuando va directamente a un canal principal desde aguas arriba de una presa o un cuerpo de agua natural.

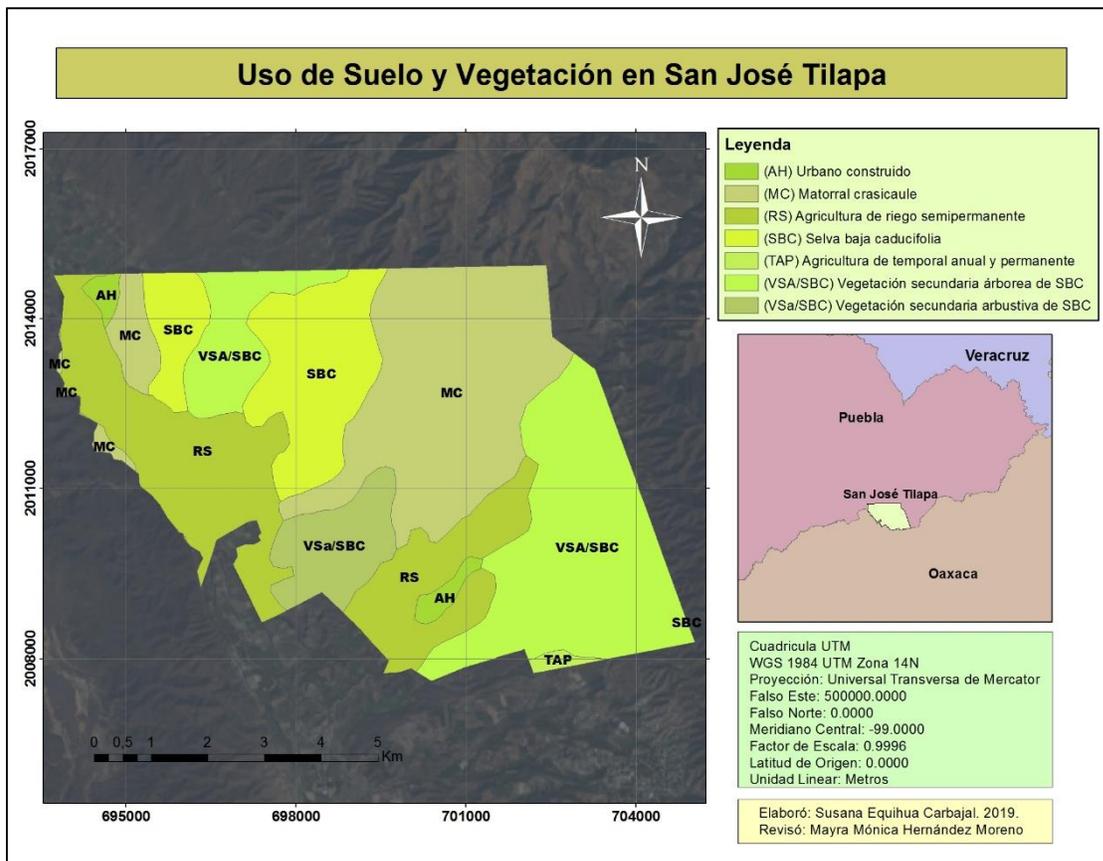


Figura 10. Mapa de los tipos de vegetación identificados en Tilapa (INEGI, 2017)

## Índices de vegetación

### Índice de Vegetación con Diferencia Normalizada (NDVI)

Los resultados del NDVI para Texcala, en la época de estiaje de 2017 muestran que, el 70% de la superficie del territorio presenta un verdor bajo seguido por un 29% con verdor medio. Por su parte, Xochiltepec presenta un 53% de su superficie con verdor bajo, y el 46% medio. En Tilapa, el 68% del territorio presenta verdor medio y el 22% bajo. En el mismo año, pero, durante la época de lluvias en Texcala, el 76% de la superficie del territorio presenta un verdor medio y el 15% corresponde a verdor alto. Xochiltepec presenta un 54% con verdor medio, y un 45% con verdor alto. En Tilapa, el 83% de la superficie presenta verdor medio y el 10% alto (Cuadro 3).

Cuadro 3. Nivel de verdor de la vegetación con base en el porcentaje de superficie ocupada del núcleo agrario, de cada clase del NDVI, 2017.

| NDVI                      | 2017  |         |       |         |       |
|---------------------------|-------|---------|-------|---------|-------|
|                           | Ejido | Estiaje |       | Lluvias |       |
| San Antonio Texcala       |       | 70%     | bajo  | 76%     | medio |
|                           |       | 29%     | medio | 15%     | alto  |
| San Francisco Xochiltepec |       | 53%     | bajo  | 54%     | medio |
|                           |       | 46%     | medio | 45%     | alto  |
| San José Tilapa           |       | 68%     | medio | 83%     | medio |
|                           |       | 22%     | bajo  | 10%     | Alto  |

La Figura 11 muestra de manera gráfica los datos porcentuales presentados anteriormente, respecto a la superficie de territorio que cada ejido registra en niveles diferentes de verdor, para cada época del año. La representación espacial del NDVI-2017, se muestra en la Figura 12.

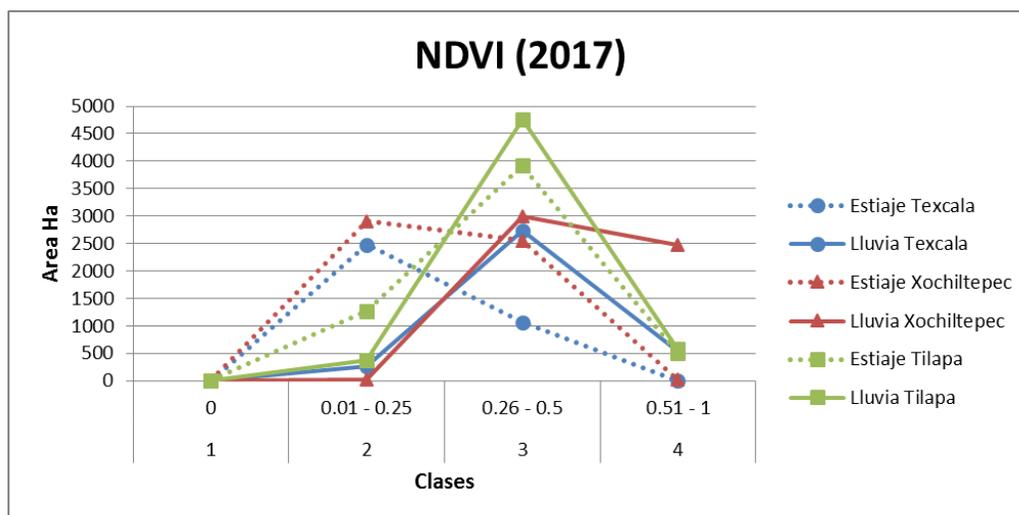


Figura 11. Superficie ocupada por cada clase del índice de NDVI, para 2017.

## Mapas del índice de NDVI de cada núcleo agrario (2017)

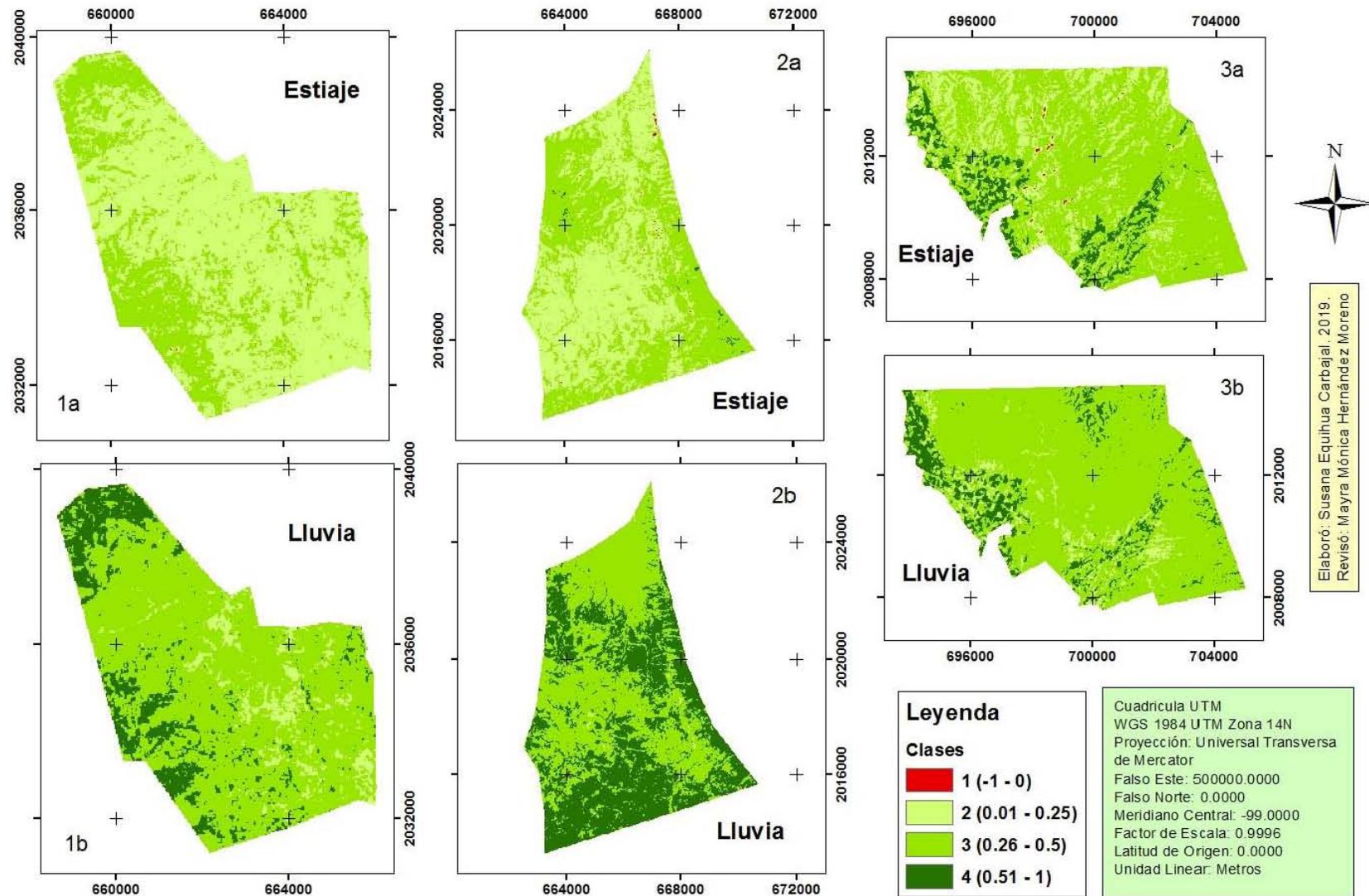


Figura 12. Mapa del índice de NDVI de cada núcleo agrario para el año 2017. Donde **a** = estiaje y **b** = lluvia; **1** = Texcala; **2** = Xochiltepec; **3** = Tilapa.

Para 2018 en la época de estiaje, en Texcala, el 59% presenta un nivel de verdor medio; seguido por un 39% con verdor bajo. Por su parte, Xochiltepec presenta un 68% de su superficie con verdor medio y el 31% bajo. En Tilapa, el 80% del territorio presenta verdor medio y el 13% bajo. Durante la época de lluvias en Texcala, el 80% de la superficie del territorio presenta verdor medio y el 9% bajo. Xochiltepec, presenta un 50% con verdor medio, y un 49% alto. En Tilapa, el 51% de la superficie presenta verdor alto y el 46% medio (Cuadro 4).

Cuadro 4. Nivel de verdor de la vegetación con base en el porcentaje de superficie ocupada del núcleo agrario, de cada clase del NDVI, 2018.

| NDVI                      | 2018    |       |         |       |
|---------------------------|---------|-------|---------|-------|
|                           | Estiaje |       | Lluvias |       |
| Ejido                     |         |       |         |       |
| San Antonio Texcala       | 59%     | medio | 80%     | medio |
|                           | 39%     | bajo  | 9%      | bajo  |
| San Francisco Xochiltepec | 68%     | medio | 50%     | medio |
|                           | 31%     | bajo  | 49%     | alto  |
| San José Tilapa           | 80%     | medio | 51%     | alto  |
|                           | 13%     | bajo  | 46%     | medio |

La Figura 13 muestra de manera gráfica los datos porcentuales presentados anteriormente, respecto a la superficie de territorio de cada ejido que registra niveles diferentes de verdor, para cada época del año. La representación espacial del NDVI-2018, se muestra en la figura 14.

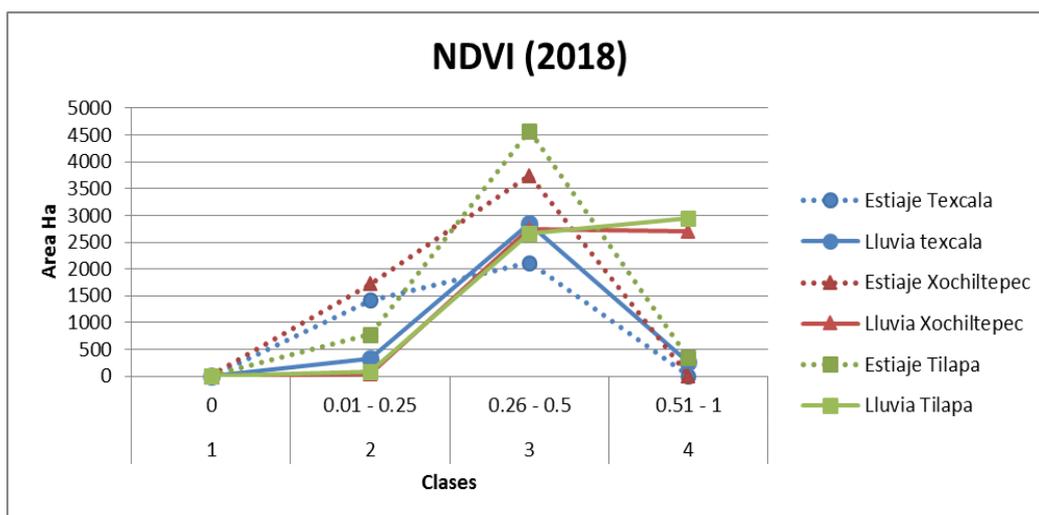


Figura 13. Superficie ocupada por cada clase del índice de NDVI, para 2018.

## Mapas del índice de NDVI de cada núcleo agrario (2018)

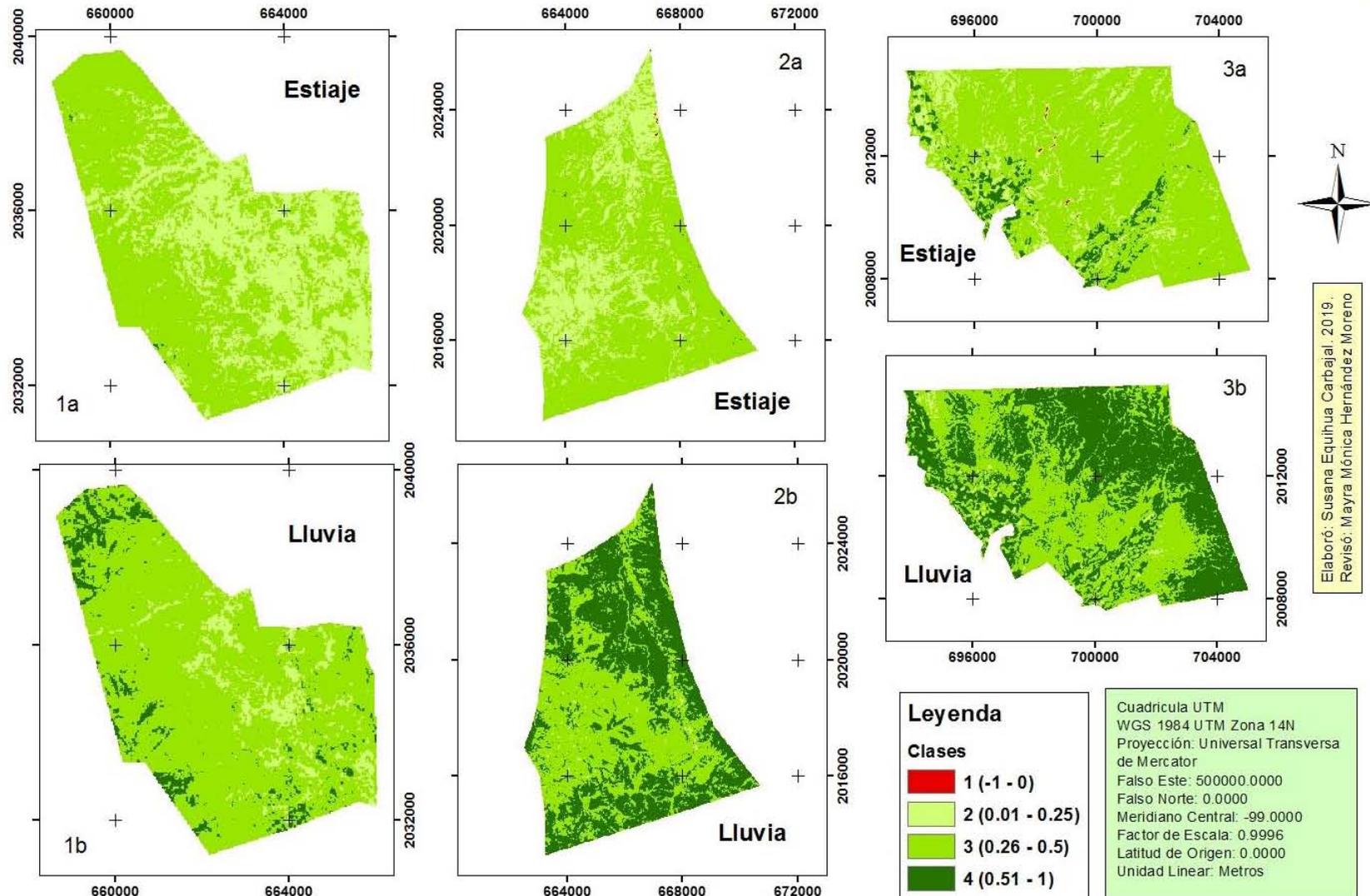


Figura 14. Mapa del índice de NDVI de cada núcleo agrario para el año 2018. Donde **a** = estiaje y **b** = lluvia; **1** = Texcala; **2** = Xochiltepec; **3** = Tilapa.

### Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI)

Los resultados del SAVI para Texcala, en la época de estiaje de 2017 muestran que, el 90% de la superficie del territorio presenta una cobertura vegetal moderada; y el 7% baja. Xochiltepec presenta un 87% de su superficie con cobertura vegetal moderada, y el 9% alta. En Tilapa, el 74% del territorio presenta cobertura vegetal moderada y el 23% alta. Durante la época de lluvia en Texcala, el 75% de la superficie del territorio presenta una cobertura vegetal alta y el 23% moderada. Xochiltepec, presenta un 98% con cobertura alta, y el 1% moderada. En Tilapa, 64% de la superficie presenta cobertura vegetal alta, y el 34% moderada (Cuadro 5).

Cuadro 5. Grado de cobertura vegetal con base en el porcentaje de superficie ocupada del núcleo agrario, de cada clase del SAVI, 2017.

| SAVI                      | 2017    |          |         |          |
|---------------------------|---------|----------|---------|----------|
|                           | Estiaje |          | Lluvias |          |
| San Antonio Texcala       | 90%     | moderada | 75%     | alta     |
|                           | 7%      | baja     | 23%     | moderada |
| San Francisco Xochiltepec | 87%     | moderada | 98%     | alta     |
|                           | 9%      | alta     | 1%      | moderada |
| San José Tilapa           | 74%     | moderada | 64%     | alta     |
|                           | 23%     | alta     | 34%     | moderada |

La Figura 15 muestra de manera gráfica los datos porcentuales presentados anteriormente, respecto a la superficie del territorio de cada ejido con diferentes niveles de cobertura vegetal, para cada época del año. La representación espacial del SAVI-2017, se muestra en la Figura 16.

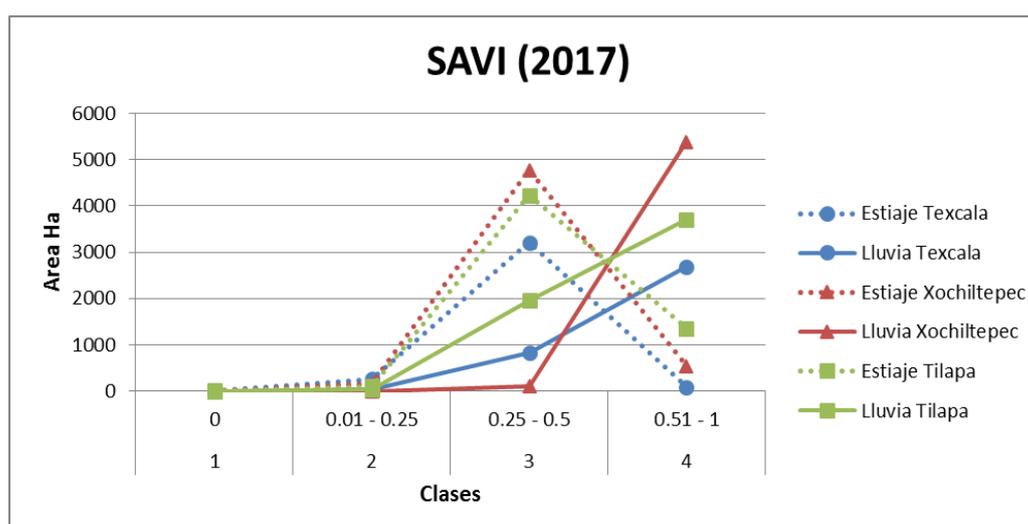


Figura 15. Superficie ocupada por cada clase de índice de SAVI, para 2017.

## Mapas del índice de SAVI de cada núcleo agrario (2017)

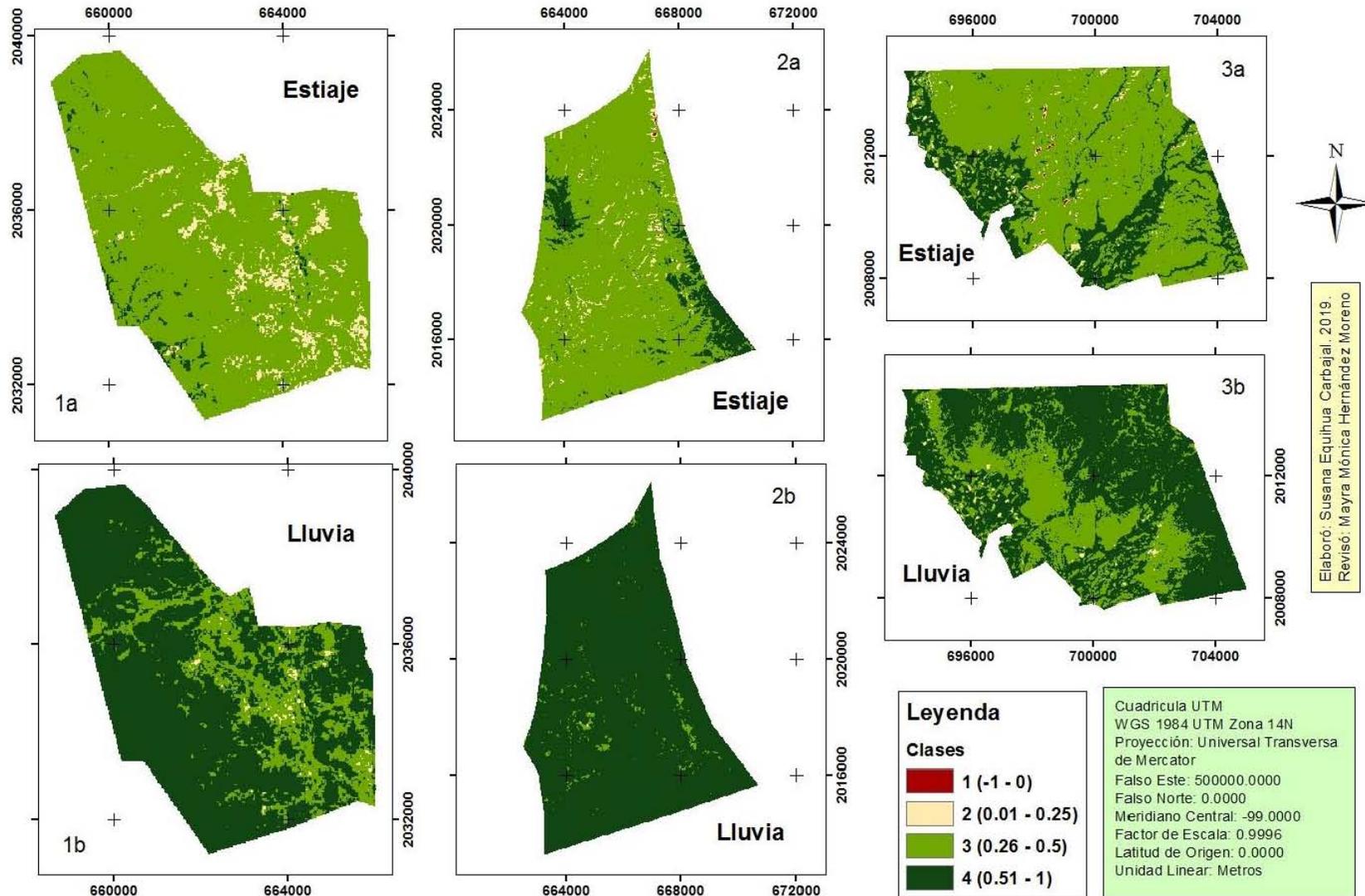


Figura 16. Mapa del índice de SAVI de cada núcleo agrario para el año 2017. Donde **a** = estiaje y **b** = lluvia; **1** = Texcala; **2** = Xochiltepec; **3** = Tilapa.

En 2018 para la época de estiaje, en Texcala, el 87% de la superficie del territorio presenta cobertura vegetal moderada, y el 8% alta. Por su parte, Xochiltepec presenta un 83% de su superficie con cobertura vegetal moderada y el 15% alta. En Tilapa, el 78% del territorio presenta cobertura vegetal moderada, y el 20% alta. Durante la época de lluvias en Texcala, el 66% de la superficie del territorio presenta una cobertura vegetal alta, y el 32% moderada. Xochiltepec, presenta un 93% con cobertura alta, y un 6% de cobertura moderada. En Tilapa, 94% de la superficie presenta cobertura vegetal alta y el 5% moderada (Cuadro 6).

Cuadro 6. Grado de cobertura vegetal con base en el porcentaje de superficie ocupada del núcleo agrario, de cada clase del SAVI, 2018.

| SAVI                      | 2018    |          |         |          |
|---------------------------|---------|----------|---------|----------|
| Ejido                     | Estiaje |          | Lluvias |          |
| San Antonio Texcala       | 87%     | Moderada | 66%     | alta     |
|                           | 8%      | Alta     | 32%     | Moderada |
| San Francisco Xochiltepec | 83%     | Moderada | 93%     | Alta     |
|                           | 15%     | Alta     | 6%      | Moderada |
| San José Tilapa           | 78%     | Moderada | 94%     | Alta     |
|                           | 20%     | Alta     | 5%      | moderada |

La Figura 17 muestra de manera gráfica, los datos porcentuales presentados anteriormente, respecto a la superficie del territorio de cada ejido con diferentes niveles de cobertura vegetal, para cada época del año. La representación espacial del SAVI-2018, se muestra en la figura 18.

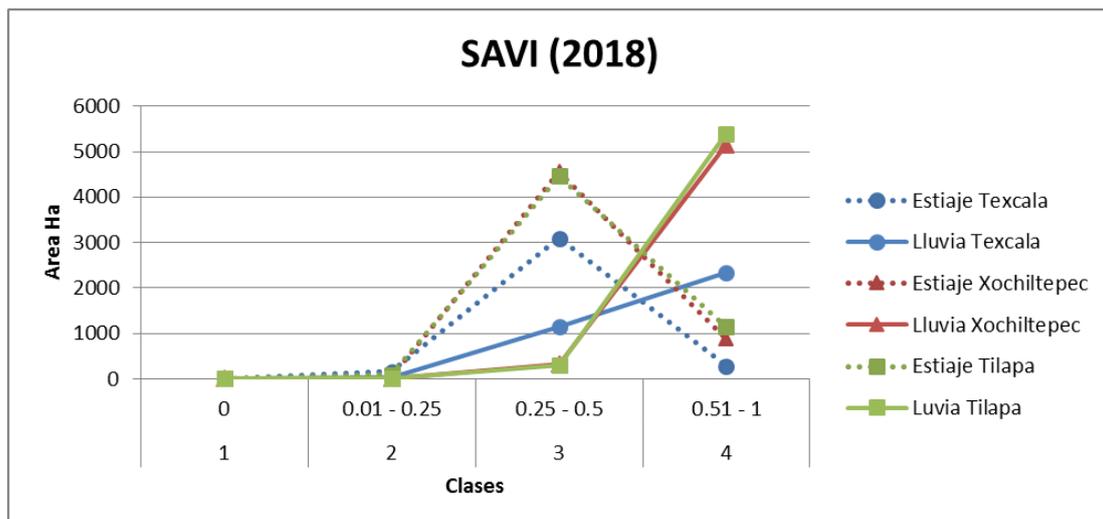


Figura 17. Superficie ocupada por cada clase de índice de SAVI, para 2018.

## Mapas del índice de SAVI de cada núcleo agrario (2018)

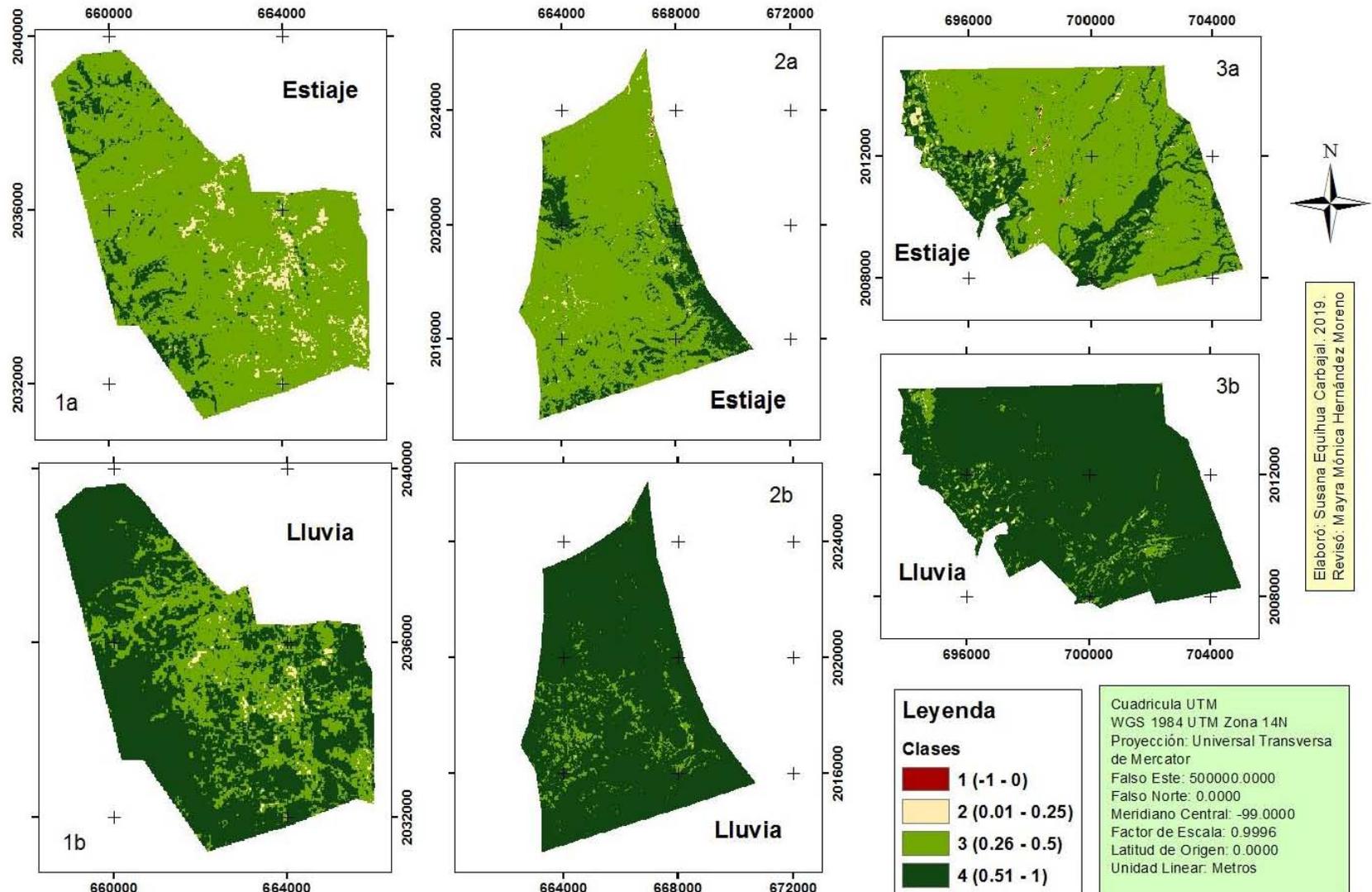


Figura 18. Mapa del índice de SAVI de cada núcleo agrario para el año 2018. Donde a = estiaje y b = lluvia; 1 = Texcala; 2 = Xochiltepec; 3 = Tilapa.

## Índice de Suelo Desnudo (BSI)

Los resultados del BSI para Texcala, en la época de estiaje de 2017 muestran que, el 73% de la superficie del territorio presenta mayor exposición de suelo desnudo; mientras que en Xochiltepec el 51% de su superficie se encuentra en la misma categoría. En Tilapa, el 63% de la superficie también presenta mayor exposición de suelo desnudo. En la época de lluvia, las superficies disminuyen desplazándose hacia la siguiente clase, por tanto las superficies con suelo desnudo expuesto disminuyen.

La Figura 19 muestra de manera gráfica, los datos porcentuales presentados anteriormente, respecto a la superficie del territorio de cada ejido con diferentes niveles de suelo desnudo, para cada época del año. La representación espacial del BSI-2017, se muestra en la figura 20.

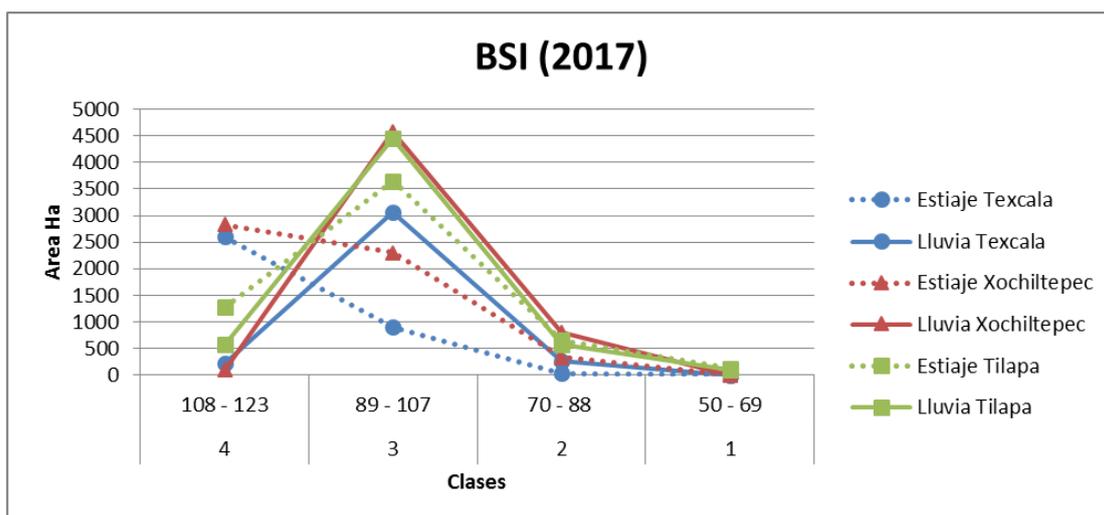


Figura 19. Superficie ocupada por cada clase del índice de BSI, para 2017.

## Mapas del índice de BSI de cada núcleo agrario (2017)

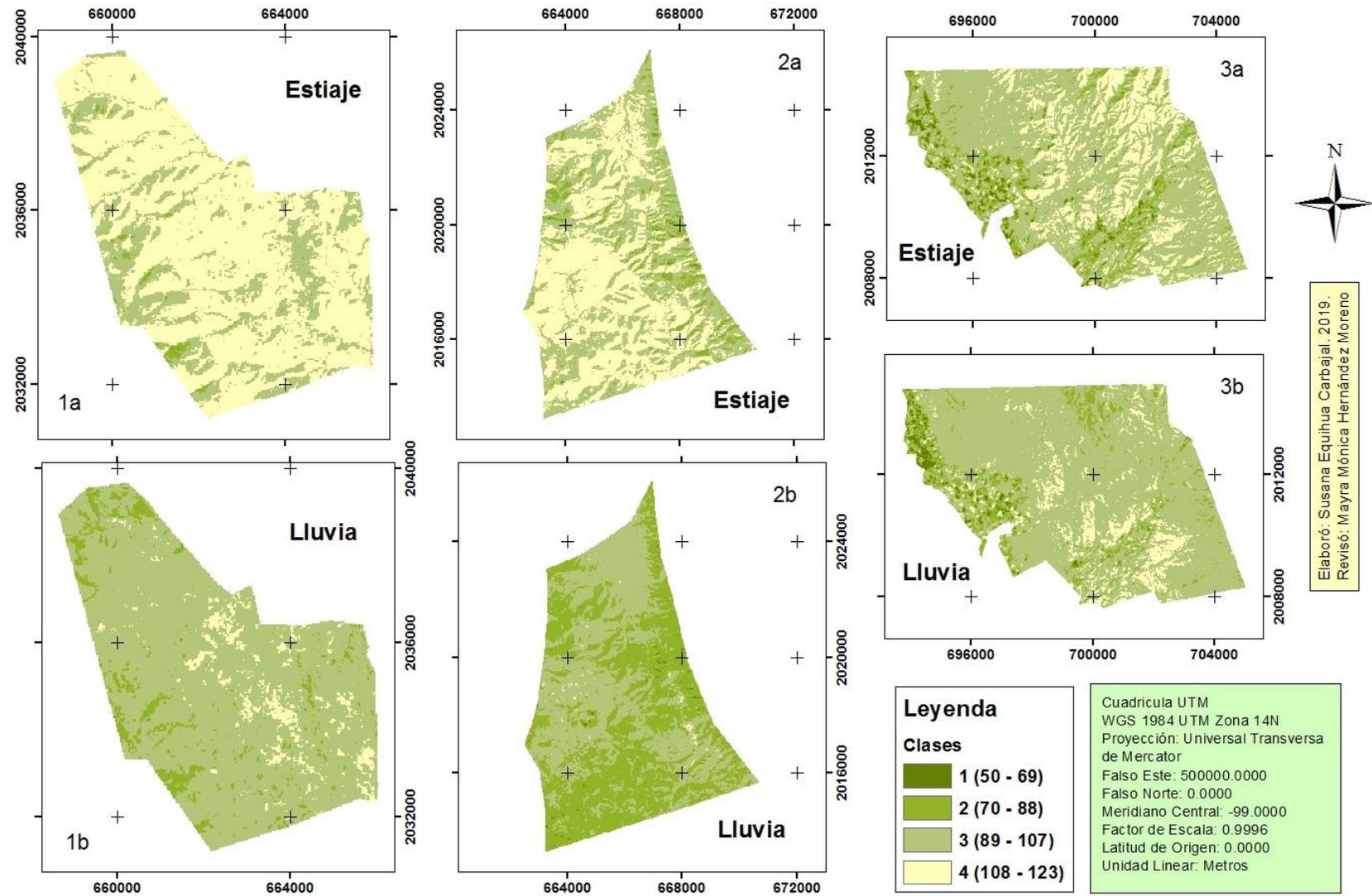


Figura 20. Mapa del índice de BSI de cada núcleo agrario para el año 2017. Donde **a** = estiaje y **b** = lluvia; **1** = Texcala; **2** = Xochiltepec; **3** = Tilapa.

Para 2018, en la época de estiaje, los resultados del BSI muestran que, el 71% de la superficie del territorio de Texcala presenta mayor exposición de suelo desnudo; mientras que en Xochiltepec el 53% de su superficie se encuentra en la misma categoría. En Tilapa, el 64% de la superficie también presenta mayor exposición de suelo desnudo. En la época de lluvias, las superficies disminuyen desplazándose hacia la siguiente clase, lo cual indica que las superficies de suelo expuesto disminuyen.

La Figura 21 muestra de manera gráfica los datos porcentuales presentados anteriormente, respecto a la superficie del territorio de cada ejido con diferentes niveles de suelo desnudo, para cada época del año. La representación espacial del BSI-2018, se muestra en la figura 22.

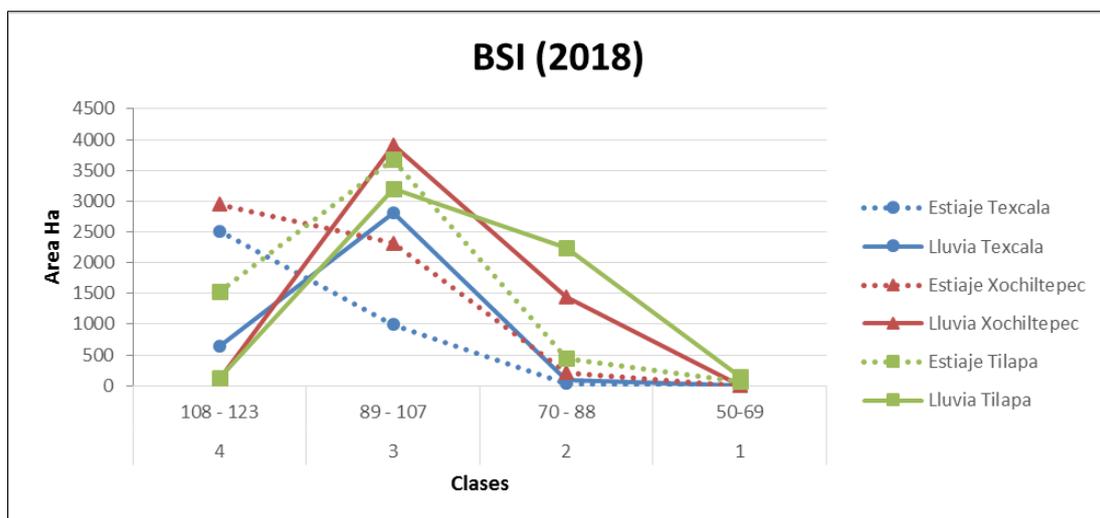


Figura 21. Superficie ocupada por cada clase del índice de BSI, para 2018.

## Mapas del índice de BSI de cada núcleo agrario (2018)

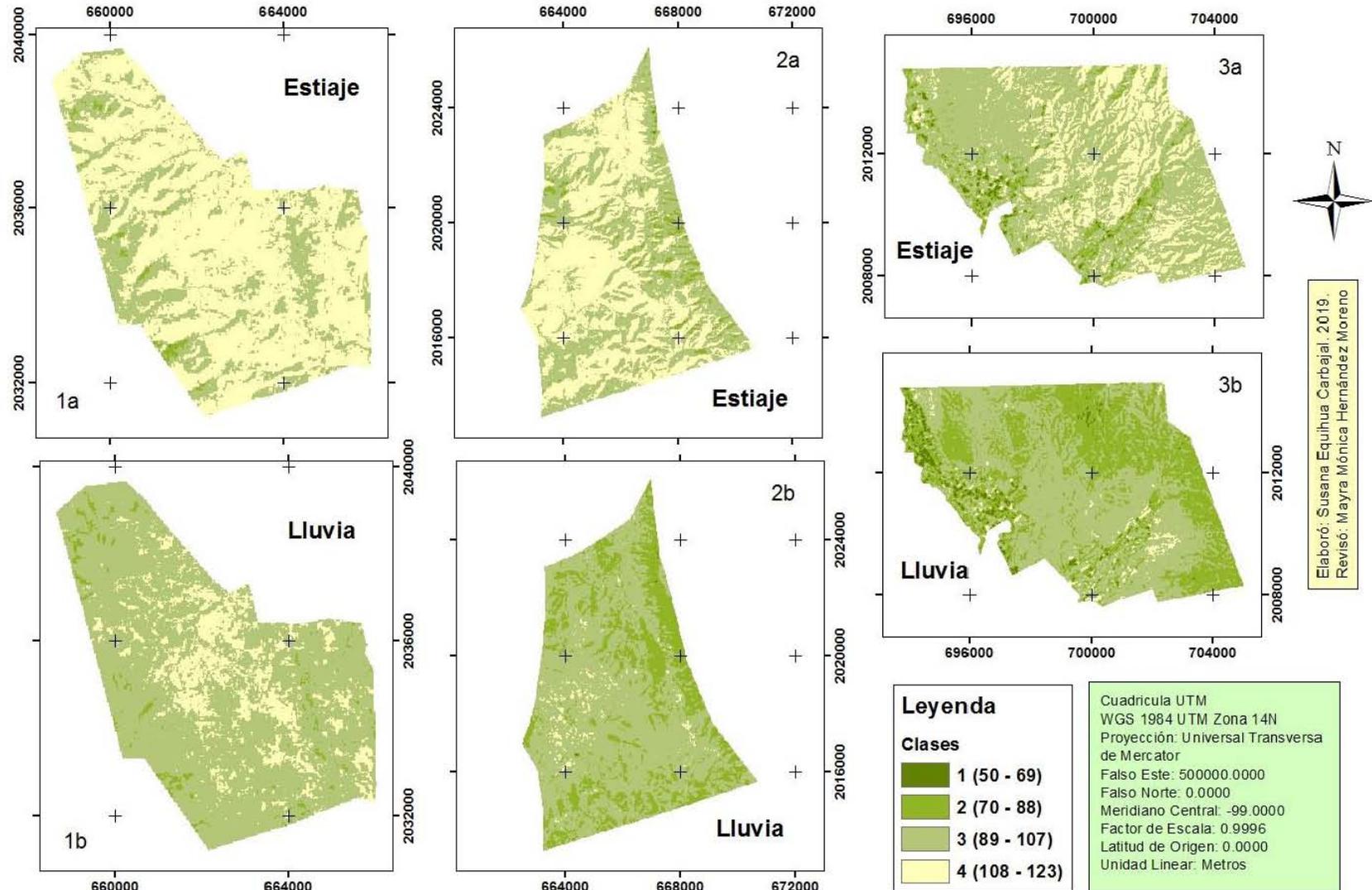


Figura 22. Mapa del índice de BSI de cada núcleo agrario para el año 2018. Donde **a** = estiaje y **b** = lluvia; **1** = Texcala; **2** = Xochiltepec; **3** = Tilapa.

## Monitoreo Ambiental Comunitario (MAC) de la vegetación en San José Tilapa

*Sitios del MAC:* En la figura 23 se muestra la localización de los parajes dentro del polígono de PSA del ejido, donde se realizaron las mediciones de los indicadores para evaluar la condición de la vegetación, los cuales fueron: El Chivato, el Platanillo y el Purrón.

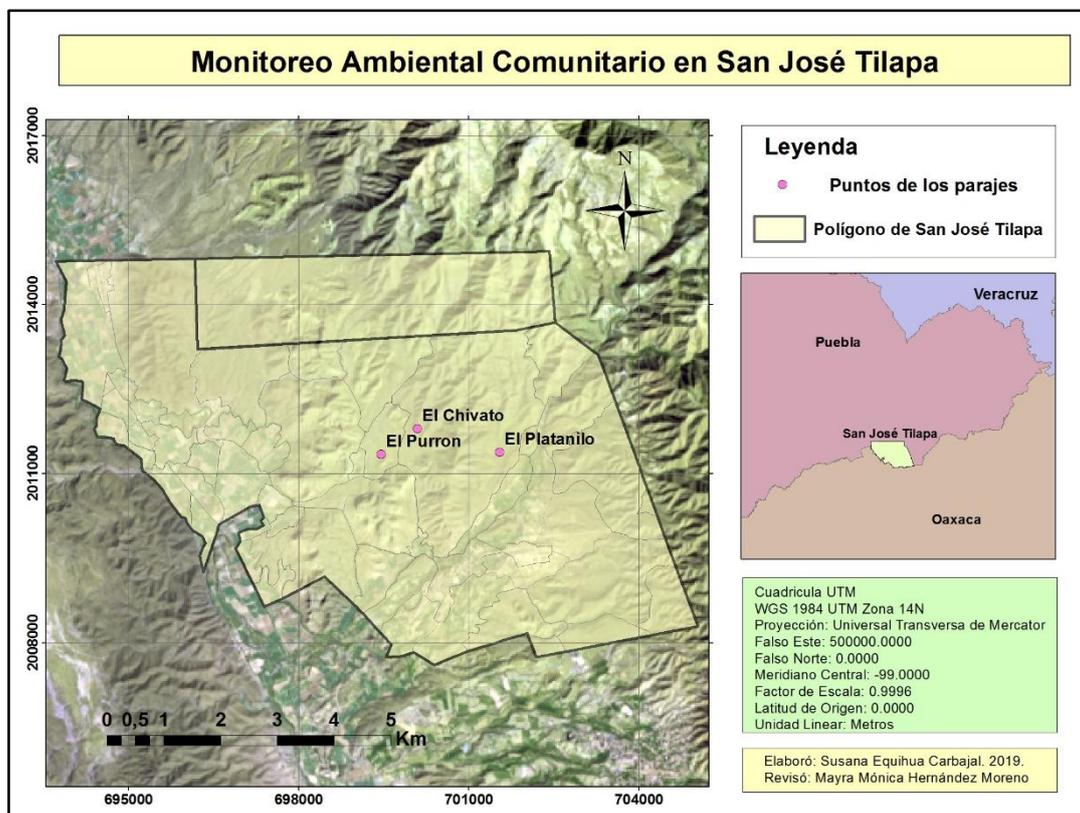


Figura 23. Mapa de la localización de los parajes donde se realizó el MAC en Tilapa

*Taller de capacitación para el monitoreo de la vegetación:* El manual generado lleva por nombre “Técnicas de Evaluación de la Vegetación” (Hernández-Moreno *et al.*, 2017), fue proporcionado a los integrantes de la brigada de vigilancia forestal y a las autoridades ejidales, durante el desarrollo del taller, como una herramienta de consulta para entender la utilidad de los indicadores, así como para realizar su medición. La parte final del manual contiene los formatos de registros de datos.

Durante el desarrollo del taller, y como resultado de la participación de los miembros de la brigada de vigilancia forestal, a partir del proceso de reflexión y el análisis hecho con base en su experiencia y conocimiento sobre el comportamiento de la vegetación, se obtuvo información que permitió generar un marco conceptual común en relación con la vegetación, tanto en la importancia que tiene para la comunidad, su función y comportamiento de la vegetación cuando hay variaciones ambientales (Cuadro 7).

Cuadro 7. Información obtenida durante el desarrollo del taller de capacitación para el MAC.

| ¿Qué es vegetación?         | ¿Cuál es la importancia de las plantas? | ¿Cuáles son las plantas más importantes para la comunidad? | ¿Cómo identifican los cambios en la vegetación?                       |
|-----------------------------|---|--|---|
| Plantas que rodean          | Comercialización de los frutos          | Caña   | Cambio de coloración  |
| Plantas que hay en el ejido |   | Cactus   | Cuando florecen   |
|                             |   | Pochote  | Cuando se les caen las hojas  |
|                             |   | Cardón   | Cuando tiene frutas   |
|                             |   | Tetecho  | Los tetechos se secan y se caen; tienen goma y les salen bolas negras |
|                             |   | Xoconostle   |   |
|                             |   | Jiotilla   |   |
|                             |   | Pitaya   | Cuando hay plagas y muérdago  |
|                             |   | Nopal  |   |

*Recorrido participativo:* En el Cuadro 8, se muestran los datos obtenidos de los indicadores medidos durante los recorridos participativos en cada paraje. Los parajes “El Platanillo” y “El Purrón” presentan matorral crasicaule con matorral espinoso, mientras que en “El Chivato” la vegetación identificada fue la selva baja caducifolia con matorral crasicaule. La evaluación del estado fenológico de “El Platanillo” y “El Chivato”, muestra que la mayoría de las especies de plantas presentaban pocas hojas, sin flor o fruto; en tanto que en “El Purrón” se identificaron plantas con hojas, algunas con flor y fruto. El estado de conservación en los parajes “El Platanillo” y “El Chivato”, es considerado moderado, y “El Purrón poco conservado.

El indicador de tipos biológicos, muestra que “El Platanillo” está cubierto en un 50% por hierbas, hay dominancia de arbustos y con mayor diversidad de especies de árboles; en “El Chivato” menos del 25% del paraje está cubierto por hierbas y hay pocos individuos arbustivos y mayor diversidad de especies e individuos de árboles. “El Purrón” tiene una cobertura menor al 25% de hierbas, prácticamente no se encontraron individuos arbustivos y hay mayor diversidad de especies e individuos de árboles.

Las especies vegetales dominantes fueron, en El Platanillo: el cardón (*Pachycereus weberi*), la uña de gato (*Mimosa luisana*) y el mezquite (*Prosopis laevigata*); de igual modo en El Chivato se registraron esas mismas especies, además del Pochote (*Ceiba pentandra*). Y en El Purrón: el Pochote, la jiotilla (*Escontria chiotilla*), el manteco (*Parkinsonia praecox*), el zapotillo y el cuajote (*Bursera morelensis*).

Cuadro 8. Registro de la evaluación de la condición de la vegetación de los parajes “El Platanillo”, “El Chivato” y “El Purrón”.

| Parámetro                             | Resultados del paraje “El Platanillo”                                     |                                    | Resultados del paraje “El Chivato”   |   | Resultados del paraje “El Purrón”   |   |
|---------------------------------------|---|------------------------------------|--|---|---|---|
| Tipo de vegetación (INEGI, 2017)      | Matorral crasicaule   |                                    | Matorral crasicaule  |   | Vegetación secundaria arbustiva de Selva Baja Caducifolia   |   |
| Tipo de vegetación en campo           | Matorral Crasicaule con Matorral Espinoso                                 |                                    | Selva Baja Caducifolia con Matorral Crasicaule   |   | Matorral Espinoso con Matorral Crasicaule   |   |
| Fenología                             | Para la mayoría de las plantas:   |                                    | La mayoría de las plantas tenían:  |   | Para la mayoría de las plantas:   |   |
|                                       | Hojas   | Pocas                              | Hojas  | Pocas   | Hojas   | Algunas   |
|                                       | Flores  | Ausentes                           | Flores   | Ausentes  | Flores  | Pocas   |
|                                       | Frutos  | Ausentes                           | Frutos   | Ausentes  | Frutos  | Pocas   |
| Estado de conservación de las plantas | Medianamente conservado, debido a que en el sitio entra el ganado         |                                    | Medianamente conservadas, debido al paso de ganado   |   | Poco conservado, presencia abundante de basura  |   |
| Tipos biológicos                      | Arbustos  | Dominancia de número de individuos | Arbustos   | Pocos individuos  | Arbustos  |   |
|                                       | Árboles   | Mayor diversidad de especies       | Árboles  | Dominancia de número de individuos y mayor diversidad de especies | Árboles   | Dominancia de número de individuos y mayor diversidad de especies |
|                                       | Hierbas   | Cobertura de 50% del terreno       | Hierbas  | Cobertura con menos del 25% del terreno                           | Hierbas   | Cobertura menos del 25% del terreno                               |
| Altura promedio de los árboles        |   |                                    | 6.3 m  |   | 9.42 m  |   |
| Altura promedio de los arbustos       |   |                                    | 1.8 m  |   |   |   |
| Animales asociados                    | Chiquitonas, zopilotes, hormigas, copetones, zorros, tlacuaches y coyotes |                                    | Chiquitonas, zopilotes, hormigas, copetones, zorros, tlacuaches, coyotes, venado, zorrillas, mariposas, lagartijas y pájaro carpintero |   | Pochocuales, avispas, chilichates, quechotes y pájaros  |   |
| Plantas dominantes                    | Uña de gato, cardón y mezquite ( <i>Prosopis laevigata</i> )              |                                    | Uña de gato, cardón y pochote ( <i>Ceiba pentandra</i> )   |   | Pochote, jiotilla ( <i>Escontria chiotilla</i> ), mantecoso ( <i>Parkinsonia praecox</i> ), zapotillo y cuajote ( <i>Bursera fagaroides</i> ) |   |
| Claros                                | El sitio con escasa vegetación en este paraje es un claro                 |                                    | Ausentes   |   | Ausentes  |   |

## VI. Discusión

### Tipos de vegetación

En los tipos de vegetación identificados en los núcleos agrarios estudiados, predominan las formas de vida arbustiva, con plantas bajas, leñosas y muy ramificadas desde la base, las cuales, de acuerdo con Cervantes (2002), son de baja densidad y cobertura, características de las zonas áridas y semiáridas. Las descripciones de los tipos de vegetación de cada núcleo agrario, permiten que sea notable observar la gran variedad de plantas con diferentes adaptaciones para hacer frente a la falta de agua y las altas temperaturas. Rzedowski (2005), menciona que la flora xerófila se caracteriza por un número considerable de formas biológicas que constituyen otras formas de adaptación del mundo vegetal para afrontar la aridez, como son las plantas suculentas, plantas de hojas arrosetadas o concentradas hacia los extremos de los tallos, presentes en el matorral desértico rosetófilo (MDR) de San Antonio Texcala, o el matorral crasicaule (MC) de San Francisco Xochiltepec; o, las formas biológicas de plantas áfilas, los tipos gregarios o coloniales, y plantas con microfiliás, con espinas, o plantas que pierden sus hojas durante las épocas desfavorables, como es en el caso de la selva baja caducifolia (SBC), de San José Tilapa.

En el caso particular de las cactáceas, presentan adaptaciones anatómicas y fisiológicas muy características, que permiten colonizar ambientes áridos, tal como la estructura suculenta o crasa de sus troncos, que les permite acumular gran cantidad de agua en sus tejidos; ó aquellas en las que sus hojas se han reducido o prácticamente están ausentes, con lo cual minimizan la evapotranspiración, y la fotosíntesis se lleva a cabo entonces en la superficie de sus tallos (Jiménez, 2011), como es el caso de los cardones presentes en el Matorral Crasicaule, en los tres ejidos.

Otra forma de protección a la exposición prolongada a la radiación solar directa, es el desarrollo de lana, cerdas o pelos, cuya abundancia depende de la especie, como es el caso de *Cephalocereus columna-trajani*, especie dominante en Texcala. Desde el punto de vista fisiológico, las cactáceas se distinguen de la mayoría de las plantas verdes porque, su fotosíntesis sigue la ruta metabólica, conocida como “metabolismo ácido crasuláceo” o CAM, donde se economiza el agua, ya que el intercambio gaseoso se realiza durante la noches cuando la temperatura del ambiente es más baja, lo que le permite colonizar zonas con escasas de agua (Jiménez, 2011).

### **Índices de Vegetación**

El NDVI nos permitió identificar para 2017, que la distribución de la superficie se mantiene entre las épocas de estiaje y lluvia, pero con un incremento en el nivel de verdor de una a otra. Y, entre sitios destaca, que Texcala presenta menores niveles de verdor, en la época de estiaje, respecto a los otros dos sitios.

El NDVI posee un gran valor en términos ecológicos, ya que se considera que es un buen estimador de la fracción de la radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación y proporciona información sobre el funcionamiento del ecosistema. Sin embargo, este índice posee poca capacidad de minimizar la influencia del suelo y de la atmósfera, lo cual puede generar problemas en la estimación de la cobertura vegetal, ya que puede no ser sensible al verde cuando la cobertura vegetal es baja, por lo que puede generar información errónea en algunas zonas con éstas características, como las zonas semiáridas (Gonzaga, 2014).

Por su parte, con el índice de SAVI, se identificó que la superficie se mantiene entre las épocas de estiaje y lluvia, pero con un incremento en el grado de cobertura vegetal; salvo en Xochiltepec, que en 2017, registra un cambio drástico en el porcentaje de cobertura vegetal de secas a lluvias, alcanzando el 98%. A diferencia del NDVI, la superficie con cobertura vegetal moderada, es similar para los tres ejidos. Mientras que al siguiente año, Texcala es diferente a los otros dos sitios en la época de lluvias, pues una menor superficie del territorio pasa de cobertura vegetal media, a alta; mientras que Xochiltepec y Tilapa, muestran un fuerte incremento de la superficie con cobertura vegetal alta.

La diferencia en la respuesta de Texcala con respecto a Xochiltepec y Tilapa, se relaciona con los tipos de vegetación presentes en este ejido, ya que los matorrales desértico rosetófilo y crasicale, son los dominantes, mientras que en los otros dos ejidos, los mismos matorrales se encuentran asociados con selva baja caducifolia (SBC). Las comunidades caducifolias, en ambientes semiáridos reflejan en su comportamiento, los cambios estacionales del clima a lo largo del año, ya que se observan claramente dos condiciones contrastantes que se relacionan con la disponibilidad de humedad en las dos épocas; la humedad, en donde la vegetación luce con un exuberante verdor; y la seca, donde las plantas pierden su follaje (Trejo y Hernández, 1996).

Para 2018, la condición de la vegetación es mejor con respecto al 2017, durante la temporada de estiaje. Lo anterior se explica por la fecha de las imágenes que fueron

analizadas, ya que pertenecen al mes de febrero debido a que las de enero presentaban un alto porcentaje de nubes, lo cual podría indicar que hubo lluvias, o que por lo menos hubo cierto nivel de humedad en el ambiente, lo cual propició una mejora en la condición de la vegetación.

Las propiedades estructurales y fisiológicas de las hojas, tales como su forma, tamaño, grosor, contenido de pigmentos fotosintéticos y de agua, juegan un papel importante en el comportamiento espectral de la vegetación. Los resultados obtenidos tanto en el NDVI como en el SAVI, se pueden asociar principalmente a las adaptaciones anteriormente descritas, ya que, al tener especies con pocas o escasas hojas, disminuye la cantidad de luz visible absorbida o la cantidad de luz del sol que les llega, y por tanto, disminuye la tasa de reflexión; particularmente en la época de estiaje, etapa en la que las especies aprovechan los recursos hídricos disponibles, con base en sus adaptaciones, (Muñoz, 2013).

En este sentido el índice SAVI se usó como alternativa para disminuir las alteraciones del valor del NDVI en aplicaciones para zonas áridas, tratando así, de corregir el efecto del suelo debido a que en su firma espectral, su reflectividad es similar en las bandas roja e infrarroja cercana, y al cambiar las condiciones de humedad, ésta aumenta o disminuye simultáneamente en ambas bandas. Cuando se representa en un figura que tenga en uno de los ejes, la banda R, y en el otro la banda IRC, “los puntos que representan superficies desnudas se distribuyen a lo largo de una línea recta, llamada la línea del suelo. Si en un punto concreto no hay vegetación, ese punto se representará sobre la línea del suelo. Pero si hay una cierta cantidad de vegetación, la reflectividad de esa zona en el rojo será más baja que la del suelo desnudo, y en el infrarrojo será más alta, por lo que el punto quedará representado alejado de la línea del suelo”. En ese sentido, cuanto más lejos esté un punto de la línea del suelo, más vegetación habrá en el pixel; por eso, se toma como una medida de la cantidad de vegetación, la distancia perpendicular desde cualquier punto a la línea del suelo. Esta línea se calcula a partir de la reflectividad en el rojo y el infrarrojo cercano de una serie de pixeles de suelo desnudo localizados en la imagen, por análisis de regresión en la que la banda roja se toma como variable independiente y la banda infrarroja como variable dependiente” (Gonzaga, 2014). Por eso el SAVI es más útil que el NDVI, para zonas con baja cobertura vegetal, como la zona de estudio.

Otra adaptación presente en las plantas de ambientes semiáridos, como se mencionó anteriormente, es el desarrollo del metabolismo CAM, en el que el intercambio gaseoso

se lleva a cabo por las noches, lo cual afecta la captación al 100% de la actividad fotosintética por el sensor que registra la luz reflejada por los objetos en Tierra, y, dado que el sensor utilizado en este trabajo, está clasificado como de tipo pasivo, detecta la radiación electromagnética emitida o reflejada de fuentes naturales, en este caso la del sol (Franco, 2017).

La valoración de la condición de la vegetación entre las épocas de estiaje y lluvias, evidentemente es diferencial, pues, la presencia de agua en el ambiente modifica la dinámica del intercambio de materia y energía de los ecosistemas y por ende, la capacidad fotosintética de la vegetación de las zonas semiáridas (Millano y Paredes, 2016), lo cual se manifiesta por cambios apreciables en la intensidad del verdor de la vegetación y el grado de cobertura, interpretado a través del NDVI y el SAVI, respectivamente.

En ambientes áridos y semiáridos la escasez del agua trae como consecuencia inevitable un volumen reducido de la cobertura vegetal. La discontinuidad de la cobertura vegetal se debe a la compactación de la porción aérea de las plantas y el extenso desarrollo de sus raíces, por tal motivo el suelo queda en gran parte descubierto durante la temporada de sequía (Granados-Sánchez *et al.*, 1998), lo cual se pudo identificar con el índice BSI. Los datos obtenidos a través de este índice se correlacionan de forma inversa con los del índice NDVI, ya que como se mencionó anteriormente, SAVI incluye un ajuste que busca restar la reflectividad del suelo en zonas con baja densidad de vegetación y proporcionar información más confiable sobre el estado de la vegetación (Gonzaga, 2014). Especialmente las zonas con mayor exposición de suelo desnudo corresponden a aquellas donde el nivel de verdor es menor.

### **Monitoreo Ambiental comunitario**

Tobón (2016) menciona que, la palabra “comunitario” en el contexto del monitoreo ambiental comunitario, no implica que la comunidad participa únicamente en la elaboración de las actividades del monitoreo, sino que su participación es activa y protagónica tanto en la elaboración, como en la implementación de la propuesta de monitoreo, así como del análisis y uso de la información que se genere. La planeación de los talleres para el monitoreo de los recursos naturales, tal como menciona Yepes (2018), debe surgir desde la visión de los propietarios del territorio, es decir, a partir del reconocimiento de los vínculos que los miembros de la comunidad tienen con sus recursos naturales, sus conocimientos y las prácticas culturales y ancestrales. En este sentido, el monitoreo ambiental comunitario, se desarrolla de forma integral, de manera

que la información que se genera a partir de la observación continua del territorio, propicia espacios de diálogo y reflexión entre los campesinos, quienes plantean ideas, propuestas y actividades, permitiendo la autoevaluación y el replanteamiento de los esquemas de trabajo.

En el aspecto técnico, la importancia de elaborar y proporcionar los materiales necesarios para llevar a cabo el taller de capacitación y el monitoreo como tal, radica en que estos funcionan como una base de instrumentos guía, para que de manera autogestiva, la brigada de vigilancia forestal pueda realizar el monitoreo de sus recursos naturales; pues, como mencionan Perevochtchikova y colaboradores (2016), enseñar las técnicas y el uso adecuado de las herramientas, les permite obtener datos confiables sobre la medición de los indicadores, integrando tanto la experiencia, como el conocimiento local. Registrar los datos en los formatos de campo durante el transcurso del monitoreo, permite que las personas que lo realizan detecten por sí mismos los cambios que hay en sus recursos al paso del tiempo, o, si el estado de conservación de estos ha mejorado o no, y así poder hacer un uso adecuado de ellos; pero además, permite que quede un registro escrito de todos estos datos, lo que representa que los miembros de la comunidad pueden utilizar esta información para procesos de autogestión y organización comunitaria. Este sistema es muy importante porque será el instrumento de gestión de la comunidad, es decir, permitirá tomar decisiones oportunas con base en la información colectada, e incluso dialogar con otros actores y definir proyectos específicos, y hasta políticas internas de aprovechamiento y conservación para su territorio.

Fomentar la participación de la comunidad en los talleres, permite identificar los intereses que tienen sobre sus recursos para trazar el punto de arranque o línea base del proceso de monitoreo ambiental comunitario. Un claro ejemplo de esto se refleja en la información obtenida sobre la forma en que ellos identifican la vegetación, su importancia, los cambios que observan cuando hay variaciones ambientales, y sobre todo en la elaboración del listado de los recursos vegetales de importancia económica, ya que, a partir de ello, se pueden definir los temas y aspectos que se deben fortalecer para hacer un monitoreo adecuado, partiendo desde la resolución de preguntas como: ¿Qué está pasando en el territorio?, ¿hay algún problema que se pueda solucionar con el monitoreo?, ¿por qué se deben monitorear los ecosistemas?, ¿para qué sirve esta información?, ¿a quién le sirve?, ¿qué se debe monitorear?, ¿qué se necesita aprender o fortalecer como comunidad?, ¿cómo se inicia?. Esto también se vio reflejado en la participación de los miembros de la brigada durante la medición de los indicadores de

la condición de la vegetación en los recorridos participativos en los parajes seleccionados para el monitoreo.

Respecto a la información generada durante los recorridos, específicamente en la medición del indicador del estado fenológico de la vegetación, la ausencia/presencia de flores o frutos en las plantas, está asociada con la época del año en que se realizó la evaluación.

El bajo grado de conservación que presenta la vegetación en los parajes evaluados en Tilapa, se asocia con el paso del ganado, y por contaminación generada principalmente por basura. Rzedowski (2005) y CONAFOR-PROCYMAF (2010), explican que la forma de uso más frecuente de este tipo de vegetación es la ganadería, principalmente de cabras, ya que parecen estar bien adaptadas para alimentarse a base de arbustos y exigen pocas cantidades de agua para vivir; aunque también introducen reses, caballos, burros y borregos, razón por la cual se sustituye la vegetación natural por plantas apetecibles para el ganado, lo que puede llevar a un uso intensivo e irracional. Otro motivo que se le atribuye al bajo estado de conservación de la vegetación es, que por la falta de recursos que hay en las zonas áridas, los habitantes hacen uso de la vegetación natural para construir cercas, o la usan como combustible, medicamentos y para obtener alimentos.

## **VII. CONCLUSIONES**

La vegetación identificada en los tres núcleos agrarios se caracteriza por su baja densidad y cobertura, se desarrolla la forma de vida arbustiva, con plantas leñosas y muy ramificadas desde la base. Los tipos de vegetación dominantes en los tres ejidos son el matorral desértico rosetófilo (MDR) y el matorral crasicaule (MC), destacando que en San José Tilapa, estos matorrales se encuentran asociados con selva baja caducifolia (SBC).

Para el año 2017, se observó que la vegetación durante la temporada de estiaje, presenta niveles bajos y medios de verdor, y cobertura vegetal moderada, con respecto a la temporada de lluvias, en donde las condiciones de la vegetación mejoran mostrando así en su mayoría un nivel de verdor medio y cobertura vegetal alta a moderada, debido a la presencia de humedad en el ambiente. Por tanto durante la época de lluvia la exposición de suelo desnudo es menor en comparación con la época de secas.

En 2018, en la época de estiaje, la vegetación de los tres núcleos agrarios presenta en su mayoría niveles medios de verdor y cobertura vegetal moderada a baja; mientras que en la época de lluvia, en Texcala aumenta la vegetación con nivel de verdor medio; la vegetación de Xochiltepec y Tilapa tiene niveles medios y altos de verdor; con cobertura vegetal alta a moderada. La exposición de suelo desnudo disminuye en la época de lluvia.

A través del uso de los índices de vegetación se pueden definir patrones de la condición de la vegetación, con base en el análisis anual y entre temporadas, que permiten monitorear en el largo plazo y a una escala espacial amplia. En este sentido, para continuar con el monitoreo de la vegetación se sugiere el uso de imágenes Landsat 8 del sensor OLI/TIRS, pertenecientes a las temporadas de secas y lluvias (enero y julio respectivamente) y procesarlas con una corrección de transformación de los niveles digitales (ND) a valores de reflectancia; para darle continuidad a este trabajo y que los datos puedan ser comparables. Sin embargo podría mejorarse el nivel de detalle de la información, utilizando imágenes de mayor resolución.

Para incrementar el nivel de detalle en la tipificación de la vegetación, se sugiere trabajar a nivel de asociaciones vegetales, utilizando imágenes satelitales con mayor resolución como las SPOT, para obtener información más detallada de la condición de la vegetación en estos sitios de estudio.

El monitoreo ambiental comunitario en el ejido de San José Tilapa, se llevó a cabo con la participación local, lo que nos permitió reconocer los vínculos que los miembros de la localidad mantienen con sus recursos naturales, sus conocimientos y sus prácticas culturales, a partir de los cuales se buscó generar una serie de instrumentos guía que les permita de manera autogestiva realizar el monitoreo de sus recursos naturales y de esta manera, a partir de la información generada se desarrollen estrategias para la toma de decisiones.

## VIII. Referencias

- Aguilar, N., Galindo, G., Fortanelli, J. y Contreras. 2010. Índice normalizado de vegetación en caña de azúcar en la Huasteca Potosina. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 14(2): 49-65.
- Alcaraz-Segura, D., Baldi, G., Durante, P. y Garbulsky, M. F. 2008. Análisis de la dinámica temporal del NDVI en áreas protegidas: tres casos de estudio a distintas escalas espaciales, temporales y de gestión. *Ecosistemas*. 17 (3): 108-117.
- Alonso, C., Moreno, V. y Rodríguez, E. 1999. Determinación experimental de la firma espectral de la vegetación. Una sencilla practica de introducción a la teledetección. *Teledetección. Avances y Aplicaciones*. VIII Congreso Nacional de Teledetección. Albacete, España. 429-432.
- Ariza, A. 2013. Descripción y corrección de productos Landsat 8 LDCM (Landsat Data Continuity Mission). Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia.
- Artiola, J., Pepper, I. L. y Brusseau, M. L. 2004. *Environmental Monitoring and Characterization*. USA: Elsevier Science.
- Barreto, A. V. 2015. Aplicación de índices de vegetación para obtener modelo predictivos del rendimiento en praderas asociadas. Tesis de Licenciatura. UNAM, México.
- Bautista Z. F. 2004. Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. INE. México. ISBN 970-321-778-8.
- Becerril-Piña, R., Mastachi-Loza, C. A., González-Sosa, E., Díaz-Delgado, C. y Bâ, K. M. 2015. Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central México. *Journal of Arid Environments*. 120: 4-13.
- Campo, A. M. y Duval, V. S. 2014. Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina). *Anales de Geografía*. 34(2): 25-42.
- Casas, A., Valiente-Banuet, A., Viveros, J. L., Cortes, L., Dávila, P., Lira, R. y Rodríguez, I. 2001. Plant resources of the Tehuacán -Cuicatlán Valley, México. *Economic Botany*. 55: 129-166.
- Casas, A., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón, E. y Valiente-Banuet, A. 2007. In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*. 100: 1101-1115.
- Cervantes, R. M. C. 2002. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. *Temas Selectos de Geografía de México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. pp. 125-137.
- Chuvieco, E. 1996. *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Madrid: Ediciones RIALP, S.A. Pp. 568.

- Collado, T. R. A., Gama, C. L. M. y Díaz, L. H. M. 2015. Percepción remota: elementos básicos. *Kuxulkab.* 21(40): 23-29.
- CONAFOR. 2011. El Programa de Pago por Servicios Ambientales. Recuperado el 24 de noviembre de 2018, en: <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/7/2308Programa%20de%20Pago%20por%20Servicios%20Ambientales.pdf>.
- CONAFOR. 2014. Iniciativa de Fortalecimiento de Capacidades para el Monitoreo Comunitario en México. Recuperado el 12 de diciembre de 2018, en: <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/files/original/5d6c3079f0f5b0275a777cb079b8f2cc.pdf>.
- CONAFOR-PROCYMAF. 2010. Ordenamiento Territorial Comunitario del ejido de San José Tilapa, Municipio Coxcatlán, Estado de Puebla.
- CONANP. 2003. Estimación de la tasa de transformación del hábitat en la Reserva de la Biosfera "Tehuacán-Cuicatlán", periodo 1986-2000. Informe Final.
- Dávila, P., Arizmendi, M., Valiente-Banuet, A., Villaseñor, J. L., Casas, A. y Lira, R. 2002. Biological diversity in the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Biodiversity and Conservation.* 11: 421-442.
- Dávila, A. P., Macías, C. H., Puente, M. M., Hernández, M. M., Sánchez, P. L., Pickering, L. J. y Benítez, M. E. 2014. Manejo de ecosistemas y desarrollo humano: construcción de una red de proyectos comunitarios para el manejo regional sustentable de ecosistemas en México. *Investigación Ambiental.* 6(2): 123-134.
- Evans, K. y Guariguata, M. R. 2008. Monitoreo Participativo para el manejo forestal en el trópico: una revisión de herramientas, conceptos y lecciones aprendidas. Indonesia: Centro para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR).
- Franco, R. 2017. Composiciones Landsat en ArcGis. Guía Básica.
- Gibson, J. P. 2000. *Introductory Remote Sensing. Principles and Concepts.* Routledge, New York.
- Gilabert, M. A., González-Piqueras, J. y Gracia-Haro, J. 1997. Acerca de los Índices de Vegetación. *Revista de Teledetección.* 8: 1-10.
- Gonzaga, A. C. 2014. Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la caracterización de la cobertura vegetal en la Zona Centro de la Provincia de Loja, Ecuador. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad Nacional de La Plata.
- Gonzaga, A. C. 2015. Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satélites para análisis de coberturas vegetales en la provincia Loja, Ecuador. *CEDAMAZ.* 5(1): 30-41.

- Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. y Gama-Flores, J. L. 1998. Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. *Revista Cahpingo Sene Ciencias Forestales y del Ambiente*. 4(1): 169-178.
- Guevara, S. 2018. Un nuevo patrimonio mundial el Valle de Tehuacán - Cuicatlán: hábitat originario de Mesoamérica. México: INECOL. Recuperado el 29 de junio de 2019, en: <http://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/800-un-nuevo-patrimonio-mundial-el-valle-de-tehuacan-cuicatlan-habitat-originario-de-mesoamerica>.
- Hernández, J. P., Serra, M. T. y Faundez, Y. L. 2000. Manual de métodos y criterios para la evaluación y monitoreo de la flora y la vegetación. Universidad de Chile.
- Hernández, M. M. M., Acevedo, C. A., Curiel, L. E.I., Equihua, C. S. y Macías, C. H. 2017. Técnicas de evaluación de la vegetación. Monitoreo Ambiental Comunitario en La Mixteca Poblana. FES Iztacala. UNAM.
- INEGI. 2005. Guía para la interpretación de cartografía: Climatológica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI. 2011. Guía para la interpretación de cartografía: Uso del Suelo y Vegetación: escala 1:250,000: serie V / Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI. 2014 a. Guía para la interpretación de cartografía: Edafología: escala 1:250,000: serie III / Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI. 2014 b. Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250,000. Versión 3 / Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- INEGI. 2017. Uso de Suelo y Vegetación: escala 1:250,000: serie VI / Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México.
- Jiménez, S. C. L. 2011. Las cactáceas mexicanas y los riesgos que enfrentan. *Revista Digital Universitaria*. 12 (1): 3-23.
- Leff, E. 2006. Complejidad, racionalidad ambiental y dialogo de saberes. Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM.
- Macías-Cuellar, H., De la Fuente Martínez de Castro, M., Hernández-Moreno, M., Rosas, L. R. y Sánchez-Paredes, L. 2010. Estudio para el Ordenamiento Territorial Comunitario del Ejido de San Antonio Texcala, Puebla. Chakaan Buulaan, A. C.
- Manzo-Delgado, L. y Meave, J. A. 2003. La vegetación vista desde el espacio: la fenología foliar a través de la percepción remota. *Revista Ciencia*. 54(3); 18-28.
- Medianero, B. D. 2014. Metodología de Estudios de Línea de Base. *Pensamiento Crítico*. 15: 61-82.
- Miguel-Tolania, C., Téllez-Valdés, O. y Murguía-Romero, M. 2014. Las cactáceas del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, México: estimación de la calidad del muestreo. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 436-444.

- Millano, T. J. L. y Paredes T. F. J. 2016. Variabilidad de la vegetación con el índice de diferencia normalizada (NDVI) en Latinoamérica. *Novum Scientiarum*. 2 (4): 33-44.
- MREDD+. 2014. Desarrollo de protocolos para el monitoreo comunitario participativo (MCP) de los acervos de carbono y cobeneficio ambientales en la Unión de Comunidades Productoras Forestales Zapotecos-Chinantecos de la Sierra Juárez de R.I. Recuperado el 23 de Julio 2019, en: <http://www.monitoreoforestal.gob.mx/repositorioidigital/files/original/02895c38fbdfbc76b4c66ed56a2432ef.pdf>
- Muñoz. A. P. 2013. Apuntes de Teledetección: Índices de Vegetación. Recuperado el 22 de enero de 2019, en: <http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%2C%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Palacios, S. J. E., Mejía, S. E., Oropeza, M. J. L., Martínez, M. M. R. y Figueroa, S. B. 2008. Impacto de las actividades económicas en los recursos suelo y vegetación. *Terra Latinoamericana*. 27: 247-255.
- Perevochtchikova, M., Aponte, H. N., Zamudio-Santos, V. y Sandoval-Romero, G. E. 2016. Monitoreo comunitario participativo de la calidad del agua: caso Ajusco, México. *Tecnologías y Ciencias del Agua*. 6(7): 5-23.
- Pérez, C. L. 2014. Identificación de Vegetación en Imágenes Satelitales. Tesis de Maestría. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Instituto Politécnico Nacional, México.
- Rascón, R. A. E. 2007. Metodología para la elaboración de la línea base y para la implementación del monitoreo biofísico y socioambiental de la cogestión de cuencas en América Central. Tesis de Posgrado. Escuela de Posgrado de Educación para el Desarrollo y la Conservación Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica.
- Rikimaru, A., Roy, S.P. y Miyatake, S. 2002. Tropical forest cover density mapping. *Trop. Ecol.* 43: 39 - 47.
- Rodríguez-Villasante, P. 2004. Los caminos que creemos estar abriendo: De la investigación-acción participativa a la socio-praxis para la creatividad social. Observatorio internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenible.
- Rouse, J.W., Haas, R.W., Deering, D.W., Schell, J.A. y Harlan, J.C. 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD, p. 371.
- Rzedowski, J. 2005. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, 504 pp.

- SEDAPAL. 2010. Estudio de impacto ambiental detallado del proyecto de optimización de sistemas de agua potable y alcantarillado, sectorización, rehabilitación de redes y actualización de catastro-área de influencia planta Huachipa-área de drenaje comas Chillón-Lima. Consorcio NIPPON Koei. Lima, Perú.
- Tobón, P. 2016. Organización nacional indígena de Colombia (ONIC). Reflexiones sobre la Visión del monitoreo desde los pueblos étnicos indígenas de Colombia. Insumos para la ENREDD+ Colombia.
- Torres, E., Linares, G., Tenorio, G. M., Peña, R., Castelán, R. y Rodríguez, A. 2014. Índices de vegetación y Uso de Suelo en la Región Terrestre Prioritaria 105: Cuetzalan, México. Revista Iberoamericana de Ciencias. 1(3): 101-112.
- Towers, S. y Towers, P. 2012. Percepción remota e índices de vegetación. Conceptos Básicos. Guía de la presentación. Curso anual de Percepción Remota para Viticultura. AgriSat.
- Trejo, I. y Hernández, J. 1996. Identificación de la Selva Baja Caducifolia en el Estado de Morelos, México, Mediante Imágenes de Satélite. Investigaciones Geográficas Boletín. 5: 11-18.
- USGS. S/A. Landsat Mission. Landsat 8. Consultado el 11 de Marzo de 2019, en: [https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con).
- Valiente-Banuet, A., Casas, A., Alcántara, A., Dávila, P., Flores-Hernández, N., Del Coro, A. M., Villaseñor, J. L. y Ortega, R. J. 2000. La vegetación del Valle de Tehuacán–Cuicatlán. Sociedad Botánica México. 67: 24-74.
- Valiente-Banuet, A., Solís, L., Dávila, P., Arizmendi, M. C., Silva, P. C., Ortega-Ramírez, J., Treviño, C. J., Rangel-Landa, S. y Casas, A. 2009. Guía de la vegetación del Valle de Tehuacán-Cuicatlán. 1ra Ed. México.
- Yepes, A., Arango, C.F., Cabrera, E., González, J.J., Galindo, G., Barbosa, A.P., Urrego, D., Tobón, P., Suárez, A. y Camacho, A. 2018. Propuesta de lineamientos para el monitoreo comunitario participativo en Colombia y su articulación con el Sistema Nacional de Monitoreo de Bosques. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM-. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Programa ONU-REDD Colombia. Bogotá.