



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

PROGRAMA DE POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

**EVALUACIÓN DE LA INTEGRIDAD
ECOLÓGICA EN LA RESERVA DE LA
BIÓSFERA BARRANCA DE
METZTITLÁN, HIDALGO**

VIVIANA ARMENDÁRIZ MENDIETA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

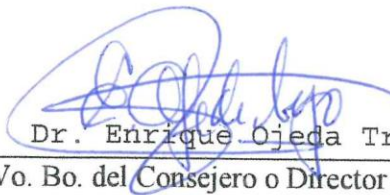
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Viviana Armendáriz Mendieta, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Enrique Ojeda Trejo, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "Evaluación de la integridad ecológica en la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, Hidalgo"

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 21 de Enero de 2019



Firma del
Alumno (a)




Dr. Enrique Ojeda Trejo
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: EVALUACIÓN DE LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO realizada por el (la) alumno (a): VIVIANA ARMENDÁRIZ MENDIETA bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Enrique Ojeda Trejo

ASESOR



M.C. Patricio Sánchez Guzmán

ASESOR



Dr. Gustavo Arévalo Galarza

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2019

EVALUACIÓN DE LA INTEGRIDAD ECOLÓGICA EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO

Viviana Armendáriz Mendieta, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

La Reserva de la Biósfera Barranca de Metztlán, Hidalgo fue decretada en el año 2000 como una estrategia para mantener la representatividad biogeográfica de los ecosistemas. En este trabajo se desarrolla una metodología participativa para evaluar la integridad ecológica de la Reserva. Los objetivos consistieron en identificar objetos de conservación, sus atributos ecológicos clave e indicadores para evaluar la integridad ecológica del área. La metodología utilizada es una adaptación de la propuesta por The Nature Conservancy (2000) y Parrish (2003). Para su aplicación fue necesario desarrollar información del estado de la vegetación y de los procesos de degradación del suelo, así como las tendencias de uso; se comparó, analizó y actualizó información cartográfica generada por INEGI, utilizando imágenes del satélite SENTINEL 2A, integrando la información producida en un Sistema de Información Geográfica para la generación de bases de datos y el análisis de cartografía para el área de la Reserva. Se identificaron 3 objetos de conservación. Se concluye que la integridad ecológica se encuentra en un estado ecológicamente deseable, requiriéndose poca intervención humana para el mantenimiento de los rangos naturales de variación.

PALABRAS CLAVE: Integridad ecológica, conservación, áreas naturales protegidas, objetos de conservación, participación.

**ECOLOGICAL INTEGRITY ASSESSMENT IN BIOSPHERE RESERVE
BARRANCA DE METZTITLÁN, HIDALGO**

Viviana Armendáriz Mendieta, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

The Barranca de Metztitlán Biosphere Reserve (RBBM) was decreed in the year 2000, as a strategy to preserve the biogeographic representation of ecosystems in Mexico. This paper proposes a participatory methodology to collect data for the evaluation of Biosphere Reserve's ecological integrity. The objectives were to identify conservation objects and their key ecological attributes and ranges, in order to assess ecological integrity of the area. The methodology proposed is an adaptation of The Nature Conservancy (2000) and Parrish (2013) method. For its implementation it was necessary to develop information on the state of vegetation and soil degradation processes, as well as trends in use; cartographic information generated by INEGI was compared, analyzed and updated, using images from the SENTINEL 2A satellite, integrating the information produced in a Geographic Information System to generate databases and to make a cartography analysis for the Reserve's area. 3 objects of conservation were identified. In conclusion, the Reserve's ecological integrity is in an ecologically desirable state, requiring little human intervention for the maintenance of natural ranges of variation.

KEY WORDS: Ecological integrity, conservation, natural protected áreas, conservation object, participation.

DEDICATORIAS

A mis padres, Angelina y Rubén por estar siempre rodeándome de un amor incondicional.

A mi hermana Daniela, por ser compañera y ejemplo.

A mi tío Eduardo y mi prima Bety, por su apoyo constante para el cumplimiento de esta meta; su soporte fue clave para ello.

A mis tíos, tías, primos, primas, sobrinos y sobrinas porque nuestra familia es bendición y riqueza, en ella encuentro el sustento y el amor para formar cada una de mis metas.

A mis amigos, compañeros que se han convertido en familia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por llenarme de bendiciones cada día y llenarme de amor infinito.

Al Colegio de Postgraduados y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por todas las oportunidades de desarrollo académico y personal.

Al Dr. Enrique Ojeda Tejo, por dirigir este proyecto y aceptar cada una de las ideas para su desarrollo; por el apoyo, la confianza y paciencia durante todo el proceso de trabajo.

Al Dr. Gustavo Arévalo Galarza, por guiarme afectuosamente en el proceso de crecimiento profesional y personal.

Al M.C. Patricio Sánchez Guzmán por sus recomendaciones y guía para mejorar la calidad de este trabajo.

A los ingenieros Edgar H. Olvera Delgadillo y Jaime Lagunas, director y sub director de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, por todas las facilidades brindadas para la realización del trabajo de investigación; al ingeniero Raúl Gómez y los señores Jorge Hernández Durán y Pablo Verde Fuentes, por aceptar la participación en este proyecto, por compartir los valiosos conocimientos para el desarrollo del mismo y por mostrar un genuino interés en la colaboración entre instituciones y personas para la conservación.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
CONTENIDO.....	viii
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1 General.....	4
2.2 Particulares.....	4
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA.....	6
4.1 Antecedentes	6
4.1.2 Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán	8
4.2 La integridad ecológica de un Área Natural Protegida	11
4.3 Perturbación y resiliencia	13
4.4 Objetos de conservación	14
4.4.1 Análisis de viabilidad de los objetos naturales de conservación	14
4.4.2 Atributos Ecológicos Clave (AEC)	14
4.4.3 Identificación de los indicadores para AEC.....	16
4.5 Cartografía participativa	17
4.5.1 El proceso de colaboración	18
4.6 Clasificación de imágenes satelitales.....	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
5.1 ÁREA DE ESTUDIO	22
5.1.1 Zonas núcleo y sub zonificación	22
5.1.1 Clima	26
5.1.2 Hidrografía.....	26
5.1.3 Fisiografía.....	27
5.1.4 Geología	27
5.1.5 Suelos	27

5.1.6 Vegetación.....	29
5.2 Evaluación de la integridad ecológica de un área natural protegida.....	33
5.2.1 Generación de información.....	34
5.2.2 Identificación de objetos de conservación.....	36
5.2.3. Selección y evaluación de AEC y sus indicadores	36
6. RESULTADOS	42
6.1 Capa de uso del suelo y vegetación.....	42
6.2 Identificación y caracterización de objetos de conservación.....	47
6.2.1 Viejito (<i>Cephalocereus senilis</i>).....	49
6.2.2 Biznaga gigante (<i>Echinocactus platyacanthus</i>).....	50
6.3 Identificación de atributos ecológicos clave (AEC)	53
6.3.1 Selección y evaluación de indicadores para AEC.....	54
7.2 Evaluación del estado de los objetos de conservación.....	55
7.2.1 Evaluación indicadores de estado de vegetación	55
7.2.2 Evaluación de indicador del estado del suelo.....	64
7.2.3 Determinación del índice de integridad ecológica para la RBBM.....	68
8. CONCLUSIONES	74
9. RECOMENDACIONES	77
10. Bibliografía.....	78
Anexos.....	85

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre clases de vegetación y usos del suelo identificados por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas para el Plan de manejo de la Reserva y la clasificación de INEGI para su serie V, escala 1: 250,000	31
Tabla 2. Características técnicas de las imágenes SENTINEL 2A	35
Tabla 3. Primera aproximación para la clasificación de la imagen satelital correspondiente a la zona de la RBBM	43
Tabla 4. Comparación de clases de uso del suelo y vegetación: CONANP (2003), INEGI (2011) y propuesta de COLPOS (2018).....	44
Tabla 5. Descripción de las clases determinadas para la nueva capa de uso del suelo y vegetación para la RBBM.....	45
Tabla 6. Superficie por cobertura de uso de suelo y vegetación.....	47
Tabla 7. Atributos Ecológicos Clave para objetos de conservación	53
Tabla 8. Identificación de los indicadores para evaluar AEC	54
Tabla 9. Abundancias relativas y absolutas para <i>Cephalocereus senilis</i> y <i>Echinactus platyacanthus</i>	55
Tabla 10. Factores utilizados para la evaluación de estado y asignación de rangos de conservación	59
Tabla 11. Valores de referencia y valores hipotéticos para la normalización de variables en la generación de índices de calidad de suelos.	66
Tabla 12. Indicadores e índice de calidad del suelo para unidades de degradación de la RBBM.....	67
Tabla 13. Clases de calidad de suelo.....	67
Tabla 14. Matriz para la calificación hipotética de los objetos de conservación, sus atributos ecológicos clave, indicadores y la integridad ecológica de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán.....	69
Tabla 15. Sistema de valoración para cada indicador de integridad ecológica. Adaptado de Alianza México REDD+	70
Tabla 16. Calificación de cada indicador y el valor a asignar.....	70

Tabla 17. Calificación de cada elemento de conservación de acuerdo al promedio simple de los respectivos indicadores	71
Tabla 18. Calificación para el área protegida de acuerdo al promedio simple de los objetos de conservación	72
Tabla 19. Matriz para la calificación hipotética de los objetos de conservación, sus atributos ecológicos clave, indicadores y la integridad ecológica de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztlán.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Zonificación de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán	24
Figura 2. Mapa de uso del suelo y vegetación de la serie V (INEGI, 2011) para la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, escala de datos 1:250,000	32
Figura 3. Proceso metodológico de evaluación de integridad ecológica en áreas protegidas.....	33
Figura 4. Mapa de uso del suelo y vegetación para la RBBM en escala 1:75,000.....	46
Figura 5. Viejito (<i>Cephalocereus senilis</i>).....	49
Figura 6. Biznaga gigante (<i>Echinocactus platyacanthus</i>).....	51
Figura 7. Hoja de cálculo con datos de <i>Echinactus platyacanthus</i> para asignar rangos de conservación.....	62
Figura 8. Hoja de cálculo con datos de <i>Cephalocereus senilis</i> para asignar rangos de conservación.....	63

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CONANP – Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

ANP—Área Natural Protegida

La Reserva – Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán

RBBM – Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán

SEMARNAT – Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

PM -- Plan de Manejo

1. INTRODUCCIÓN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP), áreas de conservación o áreas silvestres protegidas son una parte fundamental de las estrategias de conservación, no sólo en México, sino en todo el mundo; su función consiste en proteger la diversidad biológica y mantener la integridad ecológica de los ecosistemas, los cuales proporcionan una amplia gama de servicios ambientales, medios de vida y sustento a las comunidades locales (Ervin, 2003).

No obstante, continuamente enfrentan amenazas de diversa índole como son la deforestación, la fragmentación del hábitat, la invasión de fronteras agrícolas y urbanas, la contaminación, la invasión de especies exóticas, los incendios forestales, la tala y la caza (Carey, et al., 2000) y en algunos casos, como el de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, la extracción y aprovechamiento ilegal de especies nativas.

El impacto de estas amenazas en las ANP y los recursos que albergan, depende de múltiples factores y principalmente de la efectividad del manejo (Ervin, 2003), el contexto socioeconómico y político (Little, 1994), (Ghimire & Pimbert, 1997), factores ambientales como el tipo de vegetación o rango altitudinal, el estado de conservación y accesibilidad de los recursos, entre otros (Pressey, et al., 2001), (Mas, 2005).

En este sentido, evaluar la efectividad de las medidas de conservación dentro de áreas naturales protegidas representa una tarea de suma importancia. Un factor que permite valorar estas medidas es la integridad ecológica, concepto que tiene múltiples definiciones, en diferentes escalas y estructuras, pero que en todas representan lo mismo: la persistencia de un elemento a través del tiempo, conservando todas sus características, aún después de estar sometido a ciertas presiones y disturbios, sea éste un ecosistema, comunidad o población.

Son muchos los elementos que contribuyen en la dinámica de cambio de los ecosistemas, algunos de los cuales son propios de los sistemas ambientales, sin embargo, la gran mayoría están estrechamente relacionados con actividades humanas, por lo que es imperativo evaluar los efectos que éstos factores producen, principalmente dentro de las áreas de conservación.

Por su ubicación geográfica, la Barranca de Metztitlán es considerada como un área prioritaria para la conservación, siendo parte de un corredor biológico de las zonas áridas del altiplano central de México (CONANP, 2003), ya que contiene en la mayor parte de su territorio estos tipos de vegetación, que a su vez, son apreciados por la representatividad de la biodiversidad mexicana que ostentan. Dentro de esta diversidad biológica, se enmarcan varias especies catalogadas dentro de estándares de protección especial, por las amenazas de extinción y desaparición en el medio silvestre.

Esta zona ofrece además una amplia variedad de servicios ambientales que si bien son valorados en el plan de manejo, también deben ser motivo de evaluación, por las diversas amenazas que podrían convertirlos en una problemática más seria. Al mismo tiempo, una evaluación de la eficacia de sus medidas de conservación funcionará como la base técnica para la elaboración o actualización de planes de manejo, así como para la implementación de programas y la mejora de políticas públicas que incentiven resultados satisfactorios, en términos de conservación y desarrollo social.

Dicho de otro modo, la evaluación de la integridad ecológica como herramienta para conocer el estado de conservación de las áreas protegidas, debe ser un soporte en la toma de decisiones sobre las acciones de manejo, respaldado con información puntual de los elementos que son de importancia para la conservación e identificando los factores y amenazas que impactan directamente sobre éstos.

La evaluación de la integridad ecológica se realizó de manera participativa con los funcionarios de la RBBM, en ella se buscó identificar los principales objetos de conservación reconocidos por ellos mismos, para que funcionaran como indicadores de la efectividad de las medidas de conservación desarrolladas y que a su vez, pueden tomarse en consideración para la implementación de medidas más específicas.

2. OBJETIVOS

2.1 General

Identificar objetos de conservación para valorar la integridad ecológica en la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán.

2.2 Particulares

- Recopilar información sobre vegetación y usos de la tierra en el ANP para identificar objetos de conservación.
- Definir *objetos de conservación* utilizando métodos participativos que permitan su identificación.
- Implementar una metodología para evaluar la “integridad ecológica” de los objetos de conservación seleccionados y del Área Natural Protegida.

3. JUSTIFICACIÓN

La política de Áreas Naturales Protegidas (ANPs) se estableció para contribuir a la conservación y manejo de los recursos naturales, declarándose el ANP Barranca de Metztitlan en el año 2000 y en el 2010 se constituyó como “Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlan“, en ella se conjugan en un mismo espacio varios ecosistemas que representan un corredor biológico entre la vegetación neártica de la zona norte del país y la vegetación tropical ubicada en el altiplano central de México.

Los efectos del daño ambiental sobre el suelo, el agua, el aire y la biodiversidad, ocasionado por diferentes causas de origen social, económico y tecnológico, en especial aquellas relacionadas con la producción agrícola, pecuaria y forestal, requieren respuestas específicas de manejo para detener o revertir el proceso de deterioro que mejore la condición de los recursos y áreas estableciendo una interrelación armónica entre los éstos y la sociedad en su conjunto.

Por lo anterior, en el año 2003 se publicó el Plan de Manejo para el área, documento que se enmarca dentro de la legislación ambiental que rige en el país y que funciona como directriz para la planeación del trabajo dentro de la Reserva.

Dentro de las Estrategia Nacional para las Áreas Naturales Protegidas E-2040; CONANP 2014) uno de los objetivos es incrementar la participación de científicos para el desarrollo de investigaciones y las sinergias entre los investigadores, el personal de la reserva y los pobladores para facilitar los objetivos de manejo de la reserva.

El presente proyecto de **Evaluación de la integridad ecológica de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán**, tiene como como objetivos identificar objetos de conservación, atributos ecológicos clave y sus indicadores., para valorar la integridad ecológica en la Reserva, a través de la recopilación de información

cartográfica disponible sobre vegetación y usos de la tierra para seleccionar los elementos de conservación, que se utilizaran para la definición de los objetos de conservación utilizando talleres participativos y recorridos de campo en los que se involucró al personal de la Reserva de la Biosfera.

4. MARCO TEÓRICO Y DE REFERENCIA

4.1 Antecedentes

La definición de las áreas naturales protegidas de México, así como de sus categorías, objetivos y zonificaciones se indica en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente (LGEEPA), del artículo 44 al 56 (DOF, 2012), estableciéndose las atribuciones de la nación para declarar áreas protegidas y asegurar su conservación, estas que son aplicables a terrenos bajo nacionales, privados o comunales (art. 44).

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) es un órgano desconcentrado de la SEMARNAT que administra 182 áreas con una superficie de 90, 839,521 hectáreas. Su estructura orgánica está conformada por 9 Direcciones Regionales. La dirección Centro y Eje Neo volcánico administra 36 Áreas Naturales Protegidas con una superficie de 1, 658, 304 hectáreas.

La misión de la CONANP es conservar los ecosistemas más representativos de México y su biodiversidad, a través de la creación de Áreas Naturales Protegidas. Define las políticas de manejo que permitan conservar, evitar la degradación de los ecosistemas y el fomento de una cultura de la conservación y desarrollo sustentable de las comunidades asentadas en su entorno, con criterios de inclusión y equidad (CONANP, 2003).

Las ANP, se crean por decreto presidencial y se elabora un Plan de Manejo (PM), para normar y regular las actividades productivas dentro de su territorio de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). El

plan de manejo establece las políticas y acciones que deben seguirse para cumplir con los objetivos de conservación y desarrollo.

El principal objetivo de los programas de manejo es incrementar la calidad de vida de las comunidades, sin embargo Riemann menciona que “las políticas de asignación de apoyos son contingentes a los ejercicios federales anuales, esta periodicidad los convierten más en paliativos que en acciones consistentes de mejora social”, más aun los programas no siempre se ejecutan apropiadamente y aunque contemplan varios factores ambientales éstos se pierden en la práctica (Riemann , et al., 2011).

El artículo 45 de la LGEEPA (2012) establece como objetivo “proteger los entornos naturales de zonas, monumentos y vestigios arqueológicos, históricos y artísticos, así como zonas turísticas, y otras áreas de importancia para la recreación, la cultura e identidad nacionales y de los pueblos indígenas (Fracc VII), esta visión es considerada por Riemann como limitada y paternalista ya que se contrapone con la de las economías globalizadas, en las que se promueve el fortalecimiento de los diferentes entornos para el desarrollo económico, lo cual implica la modificación de la dinámica de actividades y usos de la tierra tradicionales (LGEEPA, Riemann , et al., 2011).

Salafsky y Wollenberg (2000) mencionan que los usos de la tierra de las comunidades considerados como parte del plan de manejo de las ANP, tienen una perspectiva ambiental, lo cual relega el componente social, que es un elemento que debe mantener el aprovechamiento del ambiente a un grado que no amenace su permanencia o degradación. Por lo anterior, en los PM la perspectiva social se incluye parcialmente, y el programa mejora en muy poco la calidad de vida de los usuarios de recursos naturales, dentro de un enfoque de conservación.

El PM de la RBBM la elaboración de los planes de manejo los actores encargados diseñar los programas de manejo no consideran plenamente las percepciones sobre

los recursos y su manejo desde el punto de vista de los usuarios de los recursos de la ANP. Esto indica que se requiere la inclusión de actores para la formulación y desarrollo del plan de manejo en el cual se consideren sus percepciones.

4.1.2 Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán

Un programa de manejo es el instrumento rector de planeación y regulación que establece las actividades, acciones y lineamientos básicos para el manejo y la administración de un área natural protegida (Reglamento en materia de ANP del 2000 en su artículo 3°, Fracción XI), (DOF, 2000).

El Programa de Manejo de la RBBM se elaboró en 2003 (CONANP 2003) y tiene como objetivo proporcionar el marco de referencia de carácter físico, biológico, social, económico e institucional que sirva de base para identificar la problemática vigente de la Reserva y visualizar la tendencia del uso, manejo y conservación de los recursos naturales del área para definir las acciones de cada uno de los componentes de manejo.

En el plan de manejo resaltan entre otros objetivos:

- Conservar la biodiversidad existente en la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán.
- Contención del proceso de deterioro del medio ambiente y de los recursos naturales renovables.
- Garantizar la conservación de la diversidad biológica al permitir la continuación de procesos evolutivos naturales.
- Promover el desarrollo de investigaciones en el Área Natural Protegida que contribuyan a su protección y conservación.
- Generar, rescatar y divulgar conocimientos prácticos y tecnológicos, tradicionales o nuevos, que permitan la preservación y el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad de la Reserva.

4.1.3 Problemática de la RBBM

La red nacional de áreas naturales protegidas menciona la siguiente problemática para la RBBM (Rodríguez Quiroz, et al., 2015)

1. Problemática biológica: Desaceleración en la tasa de pérdida de ecosistemas naturales y las campañas de Educación en la reserva durante 16 años incrementando la participación de las comunidades en actividades de vigilancia del uso adecuado de los recursos naturales 2) Problemática Social: Alta marginación económica, alto índice de emigración poblacional, disgregación familiar, incremento en el número de mujeres económicamente activas, principalmente en labores agrícolas. El 64.76% de los pobladores se encuentran viviendo aún en condiciones de pobreza o de pobreza extrema (16.09%) (INEGI, 1990, 2000 y 2010; Jiménez-Sierra et al.,2015),

En la Estrategia Nacional para las Áreas Naturales Protegidas E-2040; CONANP (2014) se mencionan las siguientes:

- Incrementar la participación de científicos para el desarrollo de investigaciones en la reserva
- Incrementar las sinergias entre los investigadores, el personal de la reserva y los pobladores para facilitar los objetivos de manejo de la reserva
- Reforzar la conectividad de todos los sectores sociales en la toma de decisiones.
- Integrar a todos los poblados a la cadena productiva del desarrollo sustentable, promoviendo la creación de Unidades de Manejo Ambiental (UMA), y estimular la creación de pequeñas empresas sustentables con el uso de recursos propios de la zona. .
- Promoción de empresas ecoturísticas como: senderismo, ciclismo, campismo, escalamiento y pesca, entre otros.
- Continuar con campañas de difusión de la riqueza biológica y cultural de la zona.

- Favorecer la persistencia de corredores biológicos del altiplano
- Incrementar la participación de científicos para el desarrollo de investigaciones en la reserva.
- Incrementar las sinergias entre los investigadores, el personal de la reserva y los pobladores para facilitar los objetivos de manejo de la reserva

4.2 La integridad ecológica de un Área Natural Protegida

La integridad ecológica se define como la capacidad de un sistema ecológico de soportar y mantener una comunidad de organismos de carácter adaptativo, cuya composición de especies, diversidad y organización funcional, son comparables con los hábitats naturales dentro de una región particular (Parrish, et al., 2003).

Angermeier & Karr (1994) plantean que la integridad ecológica es el más completo e incluyente de los conceptos que informan sobre el nivel de conservación de los ecosistemas. En 1981 Karr utiliza el término integridad biológica para referirse a la capacidad de un ambiente para soportar y mantener una comunidad adaptada, balanceada e integrada de organismos, que tiene una composición específica, diversidad y organización funcional comparable con la de un hábitat natural de la misma región geográfica.

Herrera (2004) señala que un sistema ecológico mantiene su integridad, o sea es viable, cuando sus características ecológicas dominantes como son la composición, estructura, función y procesos ecológicos, ocurren dentro de los rangos de variación naturales y son capaces de resistir y recuperarse de la mayoría de disturbios ambientales, ya sean de carácter natural o antropogénico (Herrera F. & Corrales, 2004)

Integridad ecológica se refiere a la salud de un ecosistema. Si un sistema tiene integridad, es completamente funcional con todos sus procesos bióticos y abióticos intactos, sin embargo si se interrumpen las interacciones entre los componentes de los ecosistemas, éste pierde su integridad ecológica. Por tanto, ésta puede ser definida como "una condición que se determina que es característica de su región natural y con altas probabilidades de persistir, incluidos los componentes abióticos, la composición y abundancia de las especies nativas y las comunidades biológicas, las tasas de cambio y procesos de apoyo" (Parks Canada, 2006).

Por otro lado, existe otro concepto similar al de integridad: la funcionalidad de un ecosistema, que se define como la habilidad de un área para mantener objetos de conservación y soportar procesos ecológicos, dentro de su rango natural de variación (Poiani, et al., 2000).

Los conceptos de integridad ecológica y funcionalidad tienen muchos elementos en común, Poani (2000) resalta dos aspectos clave entre éstos: la funcionalidad incorpora solo elementos específicos de la biodiversidad, y no toda ella, a la vez que trabaja explícitamente en múltiples escalas de organización biológica, en un paisaje determinado. Así mismo, afirma que un sitio será íntegro en términos ecológicos si los esfuerzos de conservación están dirigidos a elementos específicos, dentro de escalas locales, intermedias y gruesas, mientras que dichos elementos sean seleccionados de tal forma que representen la biodiversidad del sitio en cuestión.

Puede existir cierto conflicto cuando se hace referencia al concepto de integridad ecológica, tanto por la vaguedad entre los términos “integridad” y “ecológico”, así como por el debate en torno a la aplicación de dichos términos, Wipond & Darden (1998) afirmaban que no existía una definición clara debido a estas conjeturas. Estos autores señalan que el concepto de integridad hace referencia al estado en el que un todo permanece intacto en todas sus partes, como una unidad, de tal forma que para un ecosistema esta integridad alude al hecho de que éste persista completo y sin daños.

Un ecosistema se define por todas sus partes, factores bióticos y abióticos, y las interacciones entre ellos (King, 1993), es por esto que no sólo la composición y estructura deben permanecer intactos, sino también las funciones y procesos que los mantienen. (Wipond & Dearden, 1998).

La integridad tiene por objeto proveer criterios para evaluar los ecosistemas, considerados como entidades o sistemas, con un cierto grado de autonomía y capacidad de regulación. De esta forma la integridad puede servir como fundamento para orientar

con base científica las acciones de conservación de la naturaleza y de planificación de los usos del suelo (Vélez Resptrepo & Gómez Sal, 2008).

El hecho de que para definir la integridad se plantee como un asunto central, la consideración o no de la influencia humana, se debe al citado carácter incluyente de esta cualidad, destinada a entidades globales como ecosistema o paisaje, y no a determinados componentes parciales de los mismos como es el caso de conceptos como biodiversidad, productividad primaria, que se aplican respectivamente a las especies, la vegetación, etc.

4.3 Perturbación y resiliencia

Los ecosistemas pasan por cambios naturales en respuesta a las perturbaciones y la recuperación. Una perturbación es un "proceso natural que ocurre a diferentes escalas espaciales y temporales". (Pickett, et al., 1989). Una vez que ocurre una perturbación, se necesita tiempo para que el ecosistema se recupere. El ecosistema perturbado continuará a través de una serie de etapas de sucesión hasta que sea nuevamente afectada por una perturbación (Spies, 1997). Las perturbaciones crean un mosaico de paisajes, todos en diferentes etapas de sucesión. Estos mosaicos aumentan la diversidad de especies, pero disminuyen la posibilidad de que el ecosistema que se ve afectado por una gran perturbación no sea capaz de recuperarse de la misma (Perry & Amaranthus, 1997).

Se conoce como "resiliencia" o elasticidad de los ecosistemas y/o comunidades a la capacidad que tienen las especies que forman parte de estos, de regresar al estado original después de que se ha producido un cambio debido a perturbaciones naturales o por actividades humanas (Doak, et al., 1998).

La integridad ecológica no implica un sistema inmutable, sino más bien uno que sea capaz de responder y persisten mientras mantiene un nivel aceptable de la diversidad de especies para esa región (Morrison, 2007).

4.4 Objetos de conservación

Los objetos de conservación son un número limitado de especies, comunidades naturales, o sistemas ecológicos que representan la biodiversidad de un paisaje a ser conservado o de un área protegida y que por lo tanto pueden ser utilizados en la medición de la efectividad de las medidas de conservación. Estos objetos de conservación sirven como un filtro grueso o “sombrija” los cuales una vez identificados y conservados, aseguran la persistencia del resto de los componentes del ecosistema en el espacio y el tiempo (Parrish, et al., 2003).

4.4.1 Análisis de viabilidad de los objetos naturales de conservación

La viabilidad o integridad ecológica de un objeto de conservación está basada en la idea de que existe un número de atributos ecológicos clave dentro de criterios de tamaño, condición y contexto paisajístico, pues son estos atributos los que operan el sistema, especie, comunidad natural o ecosistema, y son los “que hacen que el objeto de conservación sea lo que es, y no otra cosa”, tales como la polinización, dispersión de semillas, regímenes hidrológicos, claros de bosque, depredación, herbivorismo, etc. Los atributos ecológicos clave son, por lo tanto, críticos para el mantenimiento de la diversidad biológica dentro del sistema ecológico; si están ausentes o alterados el objeto podrá perderse en un determinado período (Granizo, et al., 2006)

Para realizar un análisis de viabilidad o integridad ecológica para los objetos de conservación que se elijan, deben seguirse una serie de pasos los cuales son:

- Seleccionar atributos ecológicos clave.
- Identificar indicadores para cada atributo ecológico clave.
- Determinar los rangos de variación aceptable para cada atributo ecológico clave.
- Determinar el estado actual y el deseado de los atributos ecológicos clave.

4.4.2 Atributos Ecológicos Clave (AEC)

Para cada elemento de conservación que se elija, deben identificarse los atributos ecológicos clave (AEC). Estos atributos constituyen la estructura, composición e interacciones así como factores bióticos o abióticos que hacen posible que el objeto de

conservación persista, ya que influyen en características tales como el tamaño del objeto de conservación, su condición y el contexto paisajístico donde se encuentra. La caracterización del tamaño, condición y contexto paisajístico de una localización viable proporciona el fundamento para evaluar las presiones que afectan a los objetos de conservación prioritarios, por lo que para asegurar la viabilidad en el largo plazo de los objetos de conservación deben ser considerados estos tres factores. También ayuda a desarrollar las metas de conservación y las estrategias de restauración (Parrish, et al., 2003). Estos factores, (en teoría) aseguran la viabilidad a largo plazo de los objetos de conservación.

- ✓ **Tamaño:** Es una medida del área o abundancia de las localizaciones del objeto de conservación. Para sistemas ecológicos y comunidades, el tamaño puede simplemente ser una medida del tamaño del parche o de la cobertura geográfica. Para especies de plantas y animales, el tamaño toma en cuenta el área de ocupación y el número de individuos. El área dinámica mínima, o el área necesaria para asegurar la supervivencia o restablecimiento de un objeto de conservación después de un disturbio natural, es otro aspecto del tamaño.

- ✓ **Condición:** Es una medida integral de la composición, estructura e interacciones bióticas que caracterizan la localización. Esto incluye factores tales como reproducción, estructura de edades, composición biológica (por ejemplo, la presencia de especies nativas contra las exóticas; la presencia de tipos de parche característicos en los sistemas ecológicos), estructura física y espacial (por ejemplo, dosel, sotobosque y cubierta herbácea en una comunidad boscosa; distribución espacial y yuxtaposición de tipos de parche o etapas de sucesión en un sistema ecológico) e interacciones bióticas en las que el objeto de conservación interviene directamente (como la competencia, depredación y enfermedad).

- ✓ **Contexto paisajístico:** Es una medida integral de dos factores, los regímenes y procesos ambientales dominantes que establecen y mantienen la localización del objeto de conservación y la conectividad, los cuales incluyen regímenes hidrológicos y de química del agua (superficial y subterránea), procesos geomorfológicos, regímenes climáticos (temperatura y precipitación), regímenes de incendios y muchos tipos de disturbios naturales. La conectividad incluye factores tales como: acceso de las especies a los hábitats y recursos necesarios para completar su ciclo de vida, fragmentación de comunidades y sistemas ecológicos y la habilidad de cualquier objeto de conservación de responder a cambios ambientales mediante la dispersión, migración o recolonización.

Los AEC de cualquier objeto de conservación incluyen los siguientes elementos ecológicos fundamentales:

- Composición biológica y patrones de variación en la misma en el espacio. Se incluyen atributos relacionados con la abundancia de las especies y el espacio vital del objeto de conservación.
- Interacciones bióticas y los procesos, incluyendo los disturbios y la dinámica de la sucesión.
- Regímenes ambientales y presiones. Atributos de la estructura del paisaje y sus características espaciales que sustentan la composición del objeto de conservación y su dinámica natural.

La identificación de atributos clave consiste en comprender cómo operan los objetos de conservación, preguntándonos qué es lo que mantiene a las diversas comunidades y especies dentro del sistema ecológico.

Esta identificación puede hacerse mediante la observación directa, la comunicación con expertos, el desarrollo de modelos ecológicos y la revisión de publicaciones. (Granizo, et al., 2006).

4.4.3 Identificación de los indicadores para AEC

Un indicador hace referencia a la entidad cuantificable que se utiliza para evaluar el estatus y tendencia del o de los AEC (The Nature Conservancy, 2000), esto en referencia

la metodología para la integridad ecológica, dado que éstos son difíciles de cuantificar de forma directa.

Los indicadores seleccionados deben cumplir con todas o la mayoría de las siguientes características de tal forma que sean útiles para los propósitos de la evaluación de la integridad ecológica (Herrera & Corrales, 2004): relevantes desde el punto de vista biológico, sensibles a estrés antropogénico y que a la vez reflejen cambios en el mismo sin necesidad de que tales cambios sean extremos, cuantificables y con una relación costo-efectividad baja, es decir, que su medición implique bajos costos, pero que al mismo tiempo provea un máximo de información con un mínimo de esfuerzo necesario para la recolección de esta.

Debe tenerse presente que los indicadores pueden mejorarse conforme se obtenga mayor conocimiento e información sobre los atributos ecológicos clave que se identificaron para cada objeto de conservación. Conviene también que, a través del indicador, podamos obtener una medida integral espacial y temporal, lo cual significa que mediante el indicador conseguiremos la mayor cantidad de información acerca del sistema que se está evaluando (Herrera & Corrales, 2004).

4.5 Cartografía participativa

La cartografía participativa es una herramienta que combina el conocimiento local con información y tecnología geográfica para crear más entendimiento de las relaciones de las personas con su medio ambiente. Esta metodología se basa en la participación directa de la gente local en todo el proceso cartográfico desde la planificación y el diseño del producto mapa hasta su producción. El mapa final reflejará el conocimiento y experiencia del grupo de personas que participe (FIDA, 2010).

En la cartografía participativa los actores interesados, que habitan y conocen el territorio son los encargados de hacer los mapas, el mapa será el reflejo de la percepción que tiene sobre sus recursos naturales potencialidades y límites.

Geilfus (2002) menciona que los métodos participativos no eliminan la necesidad de revisar la información disponible, previo a cualquier acción de campo, ni de llevar a cabo estudios más profundizados, pero permiten determinar con mayor precisión y certeza donde se necesitan dichos estudios, en este sentido, los métodos participativos requieren revisar y analizar la información oficial disponible en informes y mapas, lo cual ayudara a determina con mayor precisión qué y donde se deben realizar estudios a mayor profundidad (Geilfus, 2002).

Algunos de los beneficios de aplicar métodos participativos son: obtener un entendimiento de los problemas enfrentados por la gente, el análisis de los resultados y toma de decisiones por parte de sus actores con base en la información que ellos han producido, también permiten a los participantes apoderarse del proceso de identificar, analizar y plantear soluciones a los problemas detectados y ayudan a desarrollar su autoestima, sistematizando y revalorizando la experiencia y los conocimientos locales.

Promueven el empoderamiento de la gente, pues ayudan a que las personas sean conscientes de su realidad y en forma más crítica puedan mejorarla haciendo cambios efectivos (Chambers, 2006).

La cartografía participativa permite la representación del conocimiento de los actores locales y su manipulación en un Sistema de Información Geográfica (SIG). La generación de mapas por actores locales mejora la capacidad para la planeación del uso de los recursos, privilegia y legitima el conocimiento espacial local. El objetivo del SIGP es coleccionar, manipular y producir información espacial en mapas de recursos específicos disponibles su distribución espacial e importancia comparativa Este enfoque es orientado al contexto y a la temática local y a la participación de actores locales más que a la tecnología del SIG (Ojeda Trejo, et al., 2013).

4.5.1 El proceso de colaboración

En la elaboración de un Programa de Manejo de una ANP se enfatiza la colaboración entre la institución (CONANP) y los beneficiarios del programa. Los objetivos que se establecen son formulados con base en las políticas públicas que buscan dar solución a

los problemas ambientales de degradación del ambiente, relacionándolos con aspectos sociales y económicos. El eje central es la colaboración de sociedad y Estado para la conservación de los recursos naturales y empoderamiento de los beneficiarios y la apropiación de las acciones a realizar de manera colaborativa.

La colaboración es un proceso de construcción en donde los diversos actores involucrados buscan colectivamente una solución a un problema en común, desde las perspectivas que sus propias visiones del problema les proporcionan, esto es que “las partes involucradas pueden crear una solución más apropiada que aquella resultado del trabajo de una sola de las partes” (Manzo & Lopez, 2011).

Los principales propósitos de la colaboración se basan en la participación para generar una visión incluyente que conjugue las diferentes perspectivas de los grupos de interés. Para una colaboración efectiva es fundamental el dominio del problema, que se refiere a la manera en la que un problema es conceptualizado y entendido por los grupos de interés (Manzo & López, 2011). La colaboración surge entre personas cuando se tiene un problema común, y ninguna podría resolverlo por sí misma, por la falta de recursos económicos o capacidades y habilidades. El dominio se enmarca en los factores que afectan a un individuo (o grupo) y la forma en que éstos se perciben, su conceptualización del problema y las habilidades y herramientas disponibles para su solución.

La CONANP a través de la creación de ANP, busca dar solución a los problemas relacionados con la protección de especies animales o vegetales amenazadas por su aprovechamiento. Para el manejo de la problemática en L RBBM se elaboró el Programa de Manejo (2003), en este se delimitan espacialmente zonas núcleo y una zona de amortiguamiento, en base a estas se determinan los programas que guiará todas las actividades en la Reserva, zonas para el uso tradicional, aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, aprovechamiento sustentable de agro ecosistemas, uso público, asentamientos humanos y de recuperación.

En cada sub zona se aplican programas de desarrollo en los que usuarios de los recursos serán capacitados para hacer un manejo sustentable de los recursos. La capacitación, elaboración y/o ejecución de proyectos productivos se apoya en instituciones especializadas en la materia; por ejemplo, para elaborar estudios técnicos, dar asesoría en proyectos de producción y aprovechamiento de recursos naturales o para dar capacitación en temas de educación ambiental y en particular, se busca una constante participación de instituciones de investigación y servicio que colaboren en el estudio especializado de éstas áreas.

4.6 Clasificación de imágenes satelitales

4.6.1 Clasificación digital para la producción de un mapa de usos de la tierra y vegetación

El monitoreo de las coberturas terrestres es un tema importante en los ámbitos gubernamental, académico y social por las implicaciones que tienen la distribución de usos de suelo en la sustentabilidad, conservación de la biodiversidad y servicios ambientales. La percepción remota (PR) y los sistemas de información geográfica (SIG), al ser capaces de obtener estos datos de manera ágil y a bajo costo son tecnologías útiles en este tema (García Mora & Mas, 2008).

Un mensaje claro es que las necesidades de información de los administradores de recursos requieren información a través de las escalas, y estas órdenes de información continuarán motivando los avances en la recopilación y el análisis de datos obtenidos por teledetección. (Gross, et al., 2009).

Los procedimientos para la clasificación de imágenes, pueden ser supervisados o no-supervisados. En la clasificación supervisada, los valores espectrales de las diferentes coberturas, son computados empleando sitios de entrenamiento, que generalmente corresponden a sitios, que han sido previamente muestreados en campo. En la clasificación no supervisada, el software de procesamiento de imágenes, computa automáticamente los valores de las diferentes coberturas, agrupándolas en acorde a su valor espectral. (Vázquez De la Torre, 2015). Finalmente, cada clase o tema obtenido de la clasificación (independientemente del procedimiento llevado a cabo) puede mapearse

empleando Sistemas de Información Geográfica generando mapas temáticos (Sanderson 2007).

Por lo general, uno de los métodos de clasificación de imágenes más utilizados es el de máxima verosimilitud (Maximun likelihood clasification). La idea fundamental de este método es tomar como estimación del parámetro estudiado el valor que haga máxima la probabilidad de obtener la muestra observada con los campos de entrenamiento establecidos. (Andersen 1980).

Este método estadístico de clasificación de imágenes satelitales emplea firmas espectrales generadas previamente; por lo que se considera un sistema de clasificación supervisada. El algoritmo de máxima verosimilitud se alimenta de puntos de control (muestreos de campo), que considera como parámetros. Posteriormente, selecciona los valores de un conjunto finito de datos (en este caso una imagen satelital), con mayor probabilidad de acercarse a algún parámetro definido previamente, para después ser agrupado en clusters, bajo un mismo valor reclasificado en temas o clases; es decir, los parámetros que maximizan la función de verosimilitud. (Andersen 1980).

Para realizar la identificación de usos y coberturas de la tierra en la RBBM se requiere el análisis de histogramas y la extracción de información mediante una combinación entre bandas y sus transformaciones como ecualización de imágenes, índices de vegetación y composiciones en falso color, para obtener una definición más precisa de los tipos de vegetación (Chuvieco, 1995; Envi, 2004).

En talleres participativos se realiza la interpretación visual sobre imágenes satelitales para cartografiar los usos del suelo y tipos de vegetación. Finalmente se realiza una clasificación supervisada de imágenes con los sitios de muestreo seleccionados en el procedimiento anterior.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 ÁREA DE ESTUDIO

La Reserva de la Biosfera Barranca de Metztitlán (RBBM) se localiza en la intersección de la Sierra Madre Oriental y el Eje Neovolcánico Transversal, fue decretada en el año 2000 con una superficie de 96,024 hectáreas y es considerada como refugio pleistocénico de la biota desértica mexicana, al presentar afinidades con el desierto de Chihuahua y Sonora y es un corredor biológico de las zonas áridas con el altiplano central (SEMARNAT 2003).

La geología regional influye en la distribución de vegetación, sobre todo de las comunidades en las partes más secas, conjuntamente, y la orientación determina la distribución de la vegetación. (CONANP, 2003 RBBM).

5.1.1 Zonas núcleo y sub zonificación

Para su manejo el área de la Reserva se subdivide en zonas y sub zonas, de acuerdo con las actividades contempladas en el plan de manejo de la Reserva. Se identificaron 4 zonas núcleo y una zona de amortiguamiento que rodea a dichas áreas; las zonas núcleo incluyen aquel (o aquellos) ecosistema (s) no alterado(s) y con altos grados de conservación, así como actividades de educación ambiental y acciones de saneamiento, abarcan un total de 12,474.13 ha.

La zona de amortiguamiento comprende las áreas contiguas a los límites del polígono de la Reserva y funciona como un espacio de transición entre las zonas núcleo y los espacios que las rodean. Su función principal se centra en disminuir los efectos de las actividades humanas que se realizan en las áreas adyacentes a la Reserva; en ella se definen 6 subzonas, que se describen tal y como figuran en el Plan de Manejo de la RBBM (Figura 1). La definición de sub zonas está fundamentada en el decreto de creación de la Reserva y en el reglamento de la LGEEPA en materia de Áreas Naturales Protegidas (DOF, 2000).

- **Sub zona de uso tradicional.** Comprende áreas en las cuales las poblaciones que no tienen actividades en la vega del río Metztlán, utilizan recursos naturales para la producción de básicos de autoconsumo, fauna y recolección de plantas para uso medicinal, cultural y alimenticio. La finalidad del establecimiento de esta sub zona es mantener y/o recuperar la riqueza cultural de las comunidades, además de rescatar el conocimiento sobre el manejo tradicional de los recursos naturales. Su área total asciende a las 9,037 hectáreas, ocupando un 9.40% del área total de la Reserva.
- **Sub zona de aprovechamiento sustentable de los recursos naturales.** En esta sub zona se realizan las actividades agropecuarias y de aprovechamiento de los recursos naturales, buscando mantener las actividades productivas al mismo tiempo que se fomenta su sustentabilidad, abarca 50,593.22 hectáreas, que corresponden al 52.67 %.
- **Sub zona de Aprovechamiento sustentable de agro ecosistemas.** Corresponde a áreas dedicadas a la actividad agrícola, pecuaria y agroforestal en las que se busca la compatibilidad de éstas con la conservación de los recursos naturales, implementando tecnologías de bajo impacto ambiental que disminuyan el deterioro del suelo y agua. Abarca 9,334 ha, correspondiente al 20.12 % del total del área e incluye el Distrito de Riego 08 y algunas áreas de agricultura de temporal y pastizal.
- **Sub zona de recuperación.** Esta sub zona tiene por objeto detener la degradación de los recursos naturales y restaurar áreas afectadas en alto grado por actividades antropogénicas o fenómenos naturales. Se busca que estas áreas una vez restauradas, puedan ser reasignadas a cualquier otro tipo de las sub zonas antes descritas. En esta área se tiene alto nivel de deterioro del suelo por procesos acelerados de erosión, pérdida de biodiversidad, regeneración natural pobre o nula, introducción de especies exóticas, perturbación severa de la fauna silvestre. Abarca 4,130 hectáreas o un 4.3 % del polígono de la Reserva.

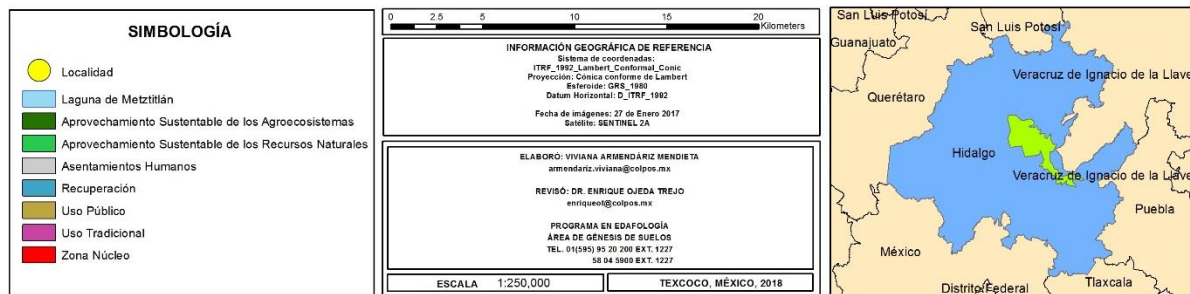
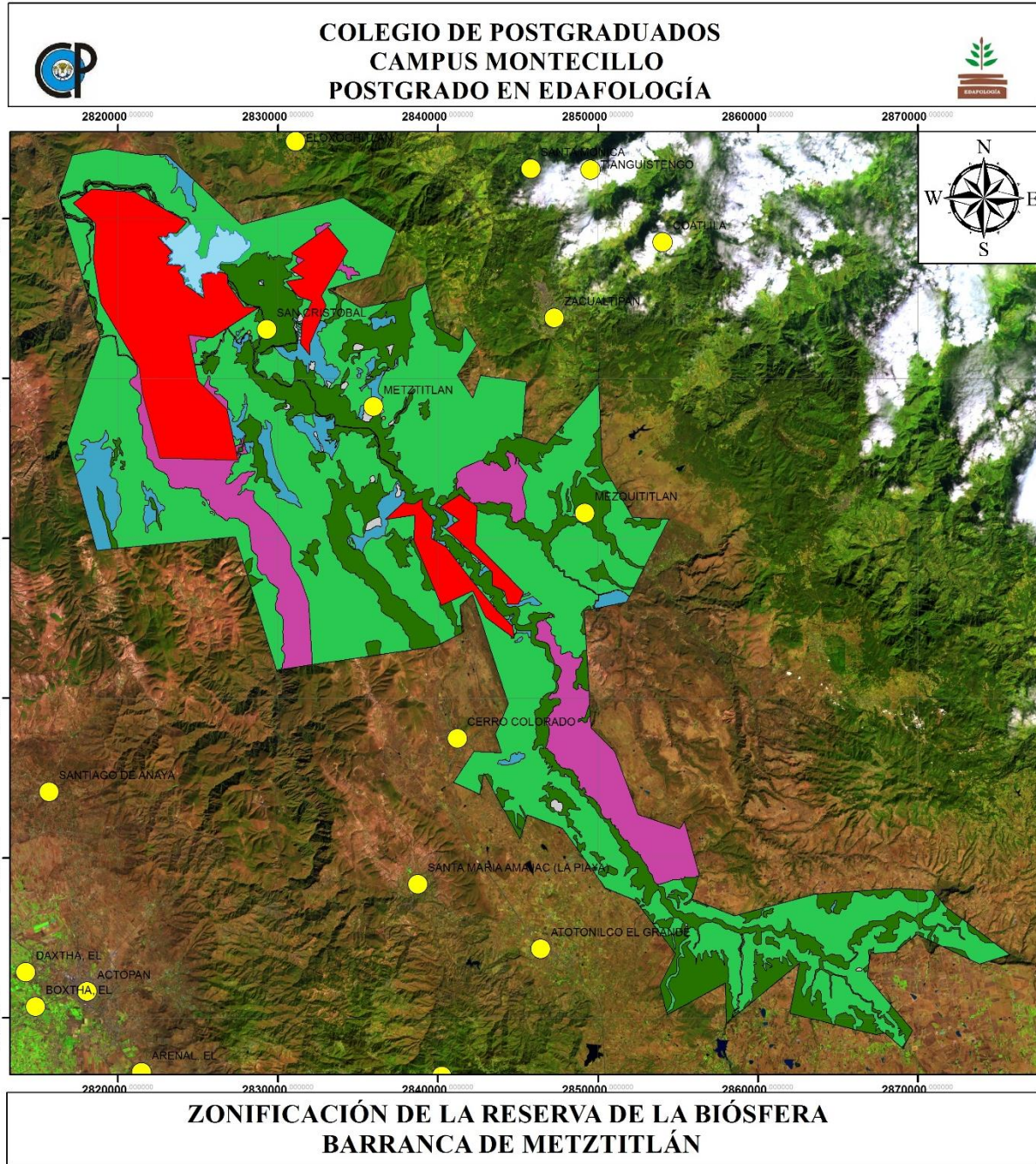


Figura 1. Zonificación de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán

- **Sub zona de asentamientos humanos.** Se establece en las superficies que ofrezcan atractivos naturales para la realización de actividades de recreación y esparcimiento, en donde es posible mantener concentraciones de visitantes, en los límites que se determinen con base en la capacidad de carga de los ecosistemas. En esta sub zona se podrá construir infraestructura exclusivamente para el desarrollo de servicios de apoyo al turismo, a la investigación, monitoreo y la educación ambiental. En la Reserva, se incluyen tres sitios que aunque representan el 0.004 % del total de la misma, incluyen atractivos naturales de gran belleza, donde los turistas podrán realizar actividades de recreación y esparcimiento, sin alterar las condiciones naturales del sitio:
 - **A) Ruta Almolón.** Este sendero rodea la zona núcleo “Cordón Cerro Alto” con una longitud de 36.68 km e incluye los poblados de Almolón, Chacaya, San Juan Amajac, Ixtacapa, Chalmita, San Pablo Telapayac y San Cristóbal.
 - **B) Ruta de Aguacatitla.** Este sendero de 6.09 km inicia en el poblado del mismo nombre y llega hasta el río San Sebastián en el municipio de Huasca de Ocampo. En esta ruta se ubican construcciones abandonadas de una hidroeléctrica que será restaurada como un área de recreación dada su belleza escénica.
 - **C). Museo de Cactáceas.** Ubicado en la cabecera municipal de Metztlán, a 500 m aproximadamente de los límites del poblado del mismo nombre, abarca una superficie de cuatro hectáreas en cuyo sitio el visitante podrá admirar y conocer las diferentes especies de cactáceas presentes en la Reserva.
- **Sub zona de uso público.** Comprende a todos los poblados ubicados dentro de la Reserva, abarca una superficie de 479.86 ha, que significa tan solo el 0.49 % del total de la misma. Los asentamientos humanos están bien delimitados y su crecimiento parece ser estable y reducido; sin embargo es necesario que la Dirección de la Reserva, en plena coordinación con los pobladores locales,

desarrollen y pongan en práctica planes de ordenamiento territorial, y con las autoridades locales elaboren los planes de desarrollo urbano como base de planificación del uso del suelo, de los recursos y de los procesos productivos alternativos. De acuerdo a las características de la subzona, dicha planeación debe considerar aspectos básicos como existencia de servicios urbanos y sobre todo tomar en cuenta los dos factores de riesgo de mayor relevancia en la Barranca de Metztitlán inundaciones o derrumbes, así como la no afectación a la vegetación natural.

5.1.1 Clima

La RBBM se encuentra en una depresión entre la Sierra de Pachuca y la Sierra de Zacualtipán, en el sotavento de la Sierra Madre Oriental provocando un efecto de sombra de lluvia provocando una condición de aridez El clima a nivel local está influenciado por las diferencias de altitud (varia en sus extremos desde los 1,000 m hasta los 2,000 m). La temperatura varía entre 18 a 22°C más cálida en el norte y menos cálida en el sur, en el noreste, sureste y partes altas la temperatura es de 16 a 18°C. La precipitación media anual es de 500 mm, alcanzando 600 y hasta 700 mm en las áreas con mayor altitud. (SPP, 1992b).

En la porción norte y en la norte-centro predomina el clima BS0hw, seco semi cálido, con régimen de lluvias en verano, con un porcentaje de precipitación invernal de 5 a 10 % e invierno fresco. En la parte centro-sur y en la sur, predominan el clima BS1kw, semi seco templado, con lluvias en verano, 5 a 10 % de éstas ocurriendo durante el invierno, y verano cálido (INEGI, 1992).

5.1.2 Hidrografía

La RBBM se encuentra en la Región Hidrológica No. 26 Río Pánuco, en la región del alto Panuco con coeficientes de escurrimiento superficial de 20 a 30 %. La parte oriente se encuentra en la cuenca del Amajac (SPP, 1992d). Los ríos que corren a lo largo de los 100 km de la RBBM son al Sur el Grande Tulancingo; Venados y Metztitlán al norte desembocando en la Laguna de Metztitlán.

El río Grande o Metztitlán corre de Sur a Norte utilizándose sus aguas para riego con dos cultivos anuales y nogales. La laguna de Metztitlán, es sitio RAMSAR, es una de las represas naturales de mayor extensión a nivel mundial y es refugio de aves tanto residentes como migratorias. Este cuerpo de agua, es de gran importancia para los pobladores de la zona ya que proporciona recursos pesqueros y empleo para la población, además de regular el clima local (CONANP 2003).

5.1.3 Fisiografía

La zona de la Reserva presenta una topografía accidentada, con pendientes pronunciadas y escarpadas; fisiográficamente, la Reserva se ubica en la provincia de la Sierra Madre Oriental, concretamente en la sub provincia del carso Huasteco. Esta sub provincia es una sierra plegada pero posee rasgos de un gran carso con fuerte grado de disección, desarrollando profundos cañones, por la acción de ríos importantes.

5.1.4 Geología

La litología y formaciones son complejas por la estratificación, el fracturamiento, los procesos erosivos y la tectónica de placas. Durante el mesozoico la región estaba bajo el mar, lo que explica la presencia de rocas calizas sedimentarias y de fósiles marinos, en periodos geológicos subsecuentes los movimientos orogénicos elevaron y plegaron los sedimentos marinos y hubo intrusiones de basaltos. (Sánchez Mejorada, 1978).

5.1.5 Suelos

De acuerdo con el mapa edafológico de (INEGI, 2005) que representa los grupos de suelos dominantes en la república mexicana conforme a la clasificación de la Base Referencial Mundial (WRB, 2006) los suelos de referencia en la Reserva son 7: Leptosol, Regosol, Luvisol, Fluvisol, Vertisol, Cambisol, Phaeozem.

Los leptosoles son suelos poco desarrollados, con menos de 10 cm sobre roca continua y con muchos fragmentos gruesos. Se encuentran en las laderas con pendientes fuertes y sobre material calcáreo pueden tener un horizonte móllico.

Los regosoles son suelos jóvenes o de formación lenta, desarrollados sobre material no consolidado con poca o ninguna diferenciación en el perfil, además de poco o ningún desarrollo significativo. Se encuentran en las laderas áridas con erosión y zonas de acumulación, en particular en zonas áridas y semiáridas.

Los luvisoles son suelos con más arcilla en la capa sub superficial, resultado de procesos edafogénicos como la eluviación, lo que conduce a la formación de un horizonte árgico en el suelo sub superficial. Se encuentra principalmente en las laderas donde los suelos son de color rojo con pendientes medias.

Los Fluvisoles son suelos depositados por el agua y se encuentran en lo largo del margen del Rio Metztitlan y cercanías de la Laguna, en donde se producen inundaciones periódicamente.

Los vertisoles son suelos arcillosos pesados, en los que en condiciones alternas de sequía-humedad se produce la expansión retracción de las arcillas, formándose grietas cuando el suelo se seca, lo que resulta en un enraizamiento de la vegetación limitado. Se encuentran en las áreas con materiales volcánicos basálticos o volcano-sedimentarios en laderas.

Cambisoles son suelos moderadamente desarrollados, combinan suelos con formación de al menos de un horizonte sub superficial incipiente. La transformación del material parental es evidente por la formación de estructura y coloración principalmente parduzca, el aumento de porcentaje de arcilla, y/o remoción de carbonatos. Se encuentran en terrenos llanos a montañosos en todos los climas y con una amplia gama de tipos de vegetación.

Los kastañozem son suelos oscuros con acumulación de materia orgánica y carbonatos en el suelo mineral superficial, desarrollado sobre materiales no consolidados. Se encuentran en las áreas con bosque en la parte nororiental.

El phaeozem es un suelo superficial oscuro, rico en materia orgánica, sin carbonatos secundarios sobre materiales consolidados a más de 90 centímetros y alta saturación de bases. Se encuentran en las áreas planas de las partes más altas.

5.1.6 Vegetación

En el plan de manejo de la RBBM (2003) se identifican 8 tipos de comunidades vegetales basada en criterios florísticos, fisonómicos y ambientales de los siguientes autores (Rzedowski, 1965, 1978; Flores et al., 1971; Zamudio et al., 1992) matorral sub montano, matorral xerófilo (incluye matorral crasicaule de *Cephalocereus senilis*, *Stenocereus dumortieri* y de *Opuntia imbricata*), bosque de encino, bosque de pino-encino, bosque de Juníperos, matorral sub montano-agricultura de temporal, bosque tropical caducifolio, bosque de coníferas y pastizal, bosque de coníferas, bosque de encino, y vegetación ribereña, matorral xerofito-agricultura de temporal, cuerpos de agua (Laguna de Metztlán), poblados, agricultura de riego y agricultura de temporal.

La Barranca de Metztlán cuenta con una ubicación privilegiada, en la parte centro-este del estado de Hidalgo, constituye una amplia y profunda depresión entre la Sierra de Pachuca y la Sierra de Zacualtipán, además de que la localización a sotavento de la Sierra Madre Oriental influye mayoritariamente en sus condiciones de aridez, debido al efecto de sombra de lluvia que aquélla ejerce; esta condición de aridez se ve localmente influenciada por las diferencias de altitud, pues los extremos varían desde los 1,000 m hasta los 2,000 m, lo que determina marcadas diferencias desde el punto de vista climático.

El sustrato geológico juega un papel importante en la distribución de la vegetación, sobre todo de las comunidades presentes en las partes más secas y conjuntamente, la orientación de las pendientes determina la distribución de la vegetación.

En el Programa de Manejo de la Reserva se mencionan a varios autores como las principales fuentes para elaborar una clasificación de la vegetación. Por ejemplo, Sánchez (1978) utilizando la clasificación de Rzedowski (1955) reconoce para la zona los tipos de vegetación matorral submontano, matorral cactus-mezquite, matorral desértico calcícola, mezquital extra desértico y matorral desértico aluvial. También se hace mención a (Puig, 1991), que en su estudio sobre la vegetación de la Huasteca, al referirse a las formaciones tropicales secas incluye el matorral crasicaule de la Barranca de Metztitlán señalando dos grupos ecológicos relevantes: el de *Cephalocereus senilis* y el de *Stenocereus dumortieri*.

De acuerdo con lo anterior los matorrales xerófilos y sub montanos cubren un 70% del área de la Reserva. El matorral xerófilo es importante por su aislamiento en relación a otras comunidades xerófilas del Altiplano Mexicano, tiene 62 especies de cactáceas, las cuales representan casi la mitad de las reportadas para el estado de Hidalgo y 11 de ellas se encuentran en alguna categoría de riesgo y siete son especies endémicas importante (CONANP, 2003).

En la Norma Oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 se encuentran 15 especies que requieren protección especial, 8 especies están dentro del rango de “amenazadas” (4 biznagas, garcita, peyote, sotol, y barril), bajo protección especial 6 especies (4 biznagas, cactus junco) y 2 en peligro de extinción (flor de muerto y laurel). También se reportan como amenazadas la biznaga liendrilla y la flor de mayo (Flores & P. Gerez, 1988), (Sánchez Mejorada, 1965), (Soto & Hágsater, 1990) (Sánchez Mejorada, 1978 Flores y Gerez, 1988 y Soto Hagsatar , 1990).

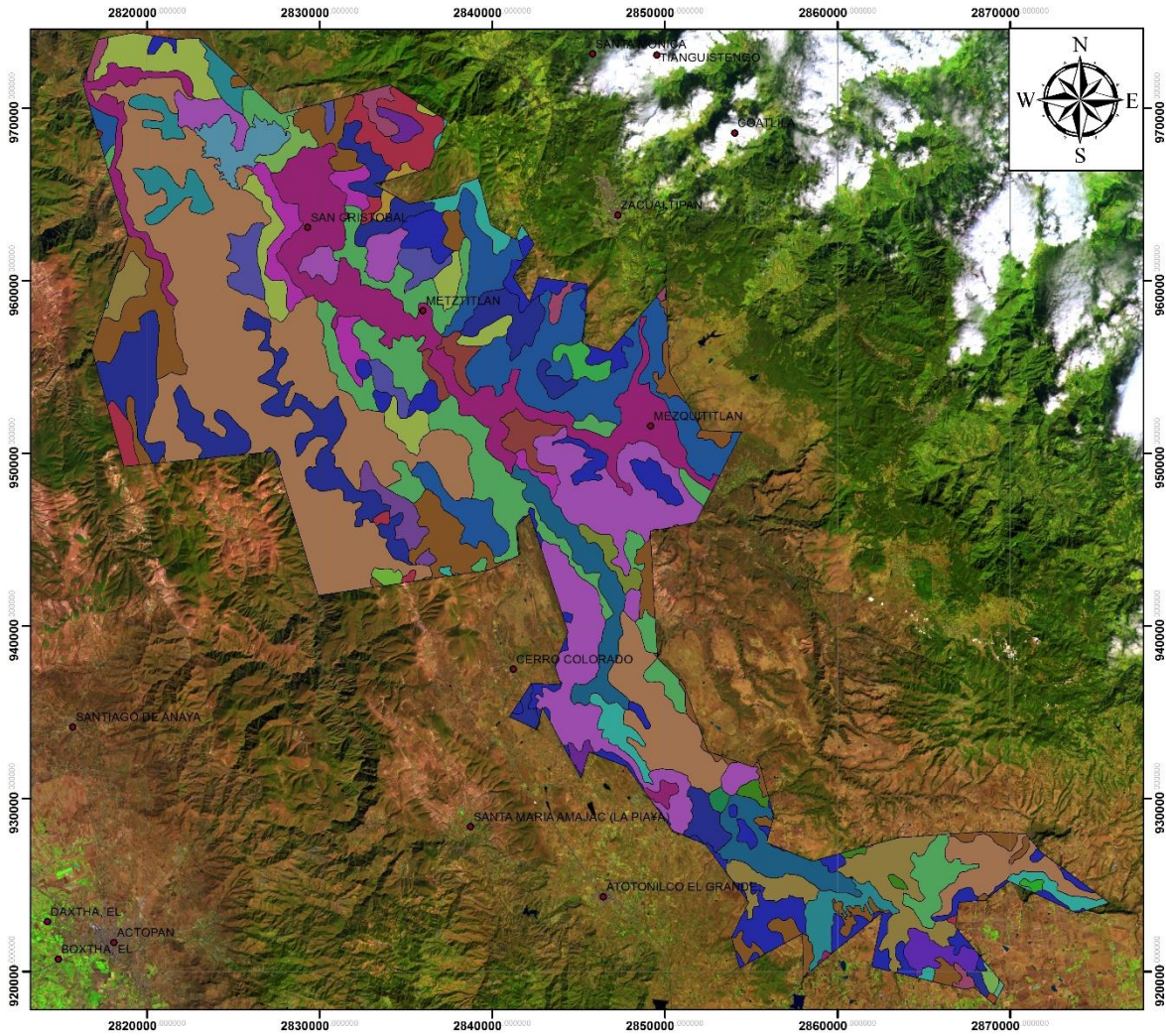
En general y ante una disformidad en las clasificaciones (tanto en nomenclatura como en estructura y fisonomía de las unidades de vegetación), se contempla una categorización basada en la propuesta por Rzedowski (Rzedowski, 1965) en su libro Vegetación de México, que resalta criterios florísticos, fisionómicos y ambientales.

Tabla 1. Comparación entre clases de vegetación y usos del suelo identificados por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas para el Plan de manejo de la Reserva y la clasificación de INEGI para su serie V, escala 1: 250,000. Fuente: CONANP (2003), INEGI (200*)

CONANP	INEGI
Bosque tropical caducifolio	Selva Baja Caducifolia (SBC)
Matorral xerófilo	Matorral Crasicaule (MC)
Matorral sub montano	Matorral Sub montano (MSM)
Bosque de coníferas	Bosque de pino- encino, Bosque de pino, bosque de encino
Bosque de juníferos	Bosque de Tásbate (BJ)
Bosque de pino-encino	Bosque de Encino-Pino (BQP)
Bosque de encino	Bosque de Encino (BQ)
Pastizal	Pastizal Inducido (PI)
Vegetación ribereña	Vegetación de galería
Agricultura de riego	Agricultura de riego
Agricultura de temporal	Agricultura de temporal

En el mapa de uso del suelo y vegetación (INEGI ,2015 serie V) se identifican los siguientes tipos de vegetación y usos: selva baja caducifolia (SBC), matorral crasicaule (MC), matorral sub montano (MSM), bosque de pino-encino (BPE), bosque de pino (BE), bosque de tásbate (BJ), bosque de encino-pino (BQP), bosque de encino (BQ), pastizal inducido (PI), vegetación de galería (VG), agricultura de riego (AR) y agricultura de temporal (AT).

En la Tabla 1 se hace una comparación entre los tipos de vegetación y usos del suelo identificados por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas para el Plan de manejo de la Reserva y la clasificación de INEGI para su serie V, escala 1: 250,000.



**USO DE SUELO Y VEGETACIÓN DE LA RESERVA DE LA BIÓSFERA
BARRANCA DE METZTITLÁN, INEGI ESCALA DE DATOS 1:250,00**

<p>SIMBOLOGÍA</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"> <ul style="list-style-type: none"> AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMI PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMI PERMANENTE Y PERMANENTE BOSQUE DE ENCINO BOSQUE DE ENCINO - PINO BOSQUE DE MEZQUITE BOSQUE DE PINO BOSQUE DE PINO - ENCINO BOSQUE DE TASCATE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA CUERPO DE AGUA </td> <td style="width: 50%; border: none;"> <ul style="list-style-type: none"> MATORRAL CRASICAULE MATORRAL DESÉRTICO ROSETOFILO MATORRAL SUBMONTANO PASTIZAL CULTIVADO PASTIZAL INDUCIDO SELVA BAJA CADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO - PINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO - ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE TASCATE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE TROPICAL DE MONTAÑA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBMONTANO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA PERENIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO - PINO </td> </tr> </table>	<ul style="list-style-type: none"> AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMI PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMI PERMANENTE Y PERMANENTE BOSQUE DE ENCINO BOSQUE DE ENCINO - PINO BOSQUE DE MEZQUITE BOSQUE DE PINO BOSQUE DE PINO - ENCINO BOSQUE DE TASCATE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA CUERPO DE AGUA 	<ul style="list-style-type: none"> MATORRAL CRASICAULE MATORRAL DESÉRTICO ROSETOFILO MATORRAL SUBMONTANO PASTIZAL CULTIVADO PASTIZAL INDUCIDO SELVA BAJA CADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO - PINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO - ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE TASCATE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE TROPICAL DE MONTAÑA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBMONTANO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA PERENIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO - PINO 	<p style="text-align: center;">0 2.75 5.5 11 16.5 22 Kilometers</p> <p style="text-align: center;">INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE REFERENCIA</p> <p style="text-align: center;"> Sistema de coordenadas: ITRF_1992 Lambert_Conformal_Conic Proyección: Conica conforme de Lambert Esferoide: GRS_1980 Datum Horizontal: D_ITRF_1992 Datum Vertical: SENTINEL 2A </p> <p style="text-align: center;"> Fecha de imágenes: 27 de Enero 2017 Satélite: SENTINEL 2A </p> <p style="text-align: center;"> ELABORÓ: VIVIANA ARMENDÁRIZ MENDIETA armendariz.viviana@colpos.mx </p> <p style="text-align: center;"> REVISÓ: DR. ENRIQUE OJEDA TREJO enriqueot@colpos.mx </p> <p style="text-align: center;"> POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA ÁREA DE GÉNESIS DE SUELOS TEL. 01(595) 95 20200 EXT. 1227 58 04 5900 EXT. 1227 </p> <p style="text-align: center;"> ESCALA 1:250,000 TEXCOCO, MÉXICO, 2018 </p>	<p style="text-align: center;">San Luis Potosí Veracruz de Ignacio de la Llave Guajuato Querétaro Hidalgo Puebla México Distrito Federal Tlaxcala</p>
<ul style="list-style-type: none"> AGRICULTURA DE HUMEDAD ANUAL AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y PERMANENTE AGRICULTURA DE RIEGO ANUAL Y SEMI PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL AGRICULTURA DE TEMPORAL ANUAL Y PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL PERMANENTE AGRICULTURA DE TEMPORAL SEMI PERMANENTE Y PERMANENTE BOSQUE DE ENCINO BOSQUE DE ENCINO - PINO BOSQUE DE MEZQUITE BOSQUE DE PINO BOSQUE DE PINO - ENCINO BOSQUE DE TASCATE BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA CUERPO DE AGUA 	<ul style="list-style-type: none"> MATORRAL CRASICAULE MATORRAL DESÉRTICO ROSETOFILO MATORRAL SUBMONTANO PASTIZAL CULTIVADO PASTIZAL INDUCIDO SELVA BAJA CADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO - PINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE PINO - ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE TASCATE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE TROPICAL DE MONTAÑA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL CRASICAULE VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBMONTANO VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA ALTA PERENIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE SELVA BAJA CADUCIFOLIA VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO VEGETACIÓN SECUNDARIA HERBÁCEA DE BOSQUE DE ENCINO - PINO 			

Figura 2. Mapa de uso del suelo y vegetación de la serie V (INEGI, 2011) para la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, escala de datos 1:250,000

5.2 Evaluación de la integridad ecológica de un área natural protegida

Un punto que se consideró necesario abordar en la RBBM durante los talleres es la definición de la integridad ecológica entendida como la capacidad de un sistema ecológico de soportar y mantener una comunidad de organismos de carácter adaptativo, cuya composición de especies, diversidad y organización funcional, son comparables con los hábitats naturales dentro de una región particular (Parrish, et al., 2003).

La metodología propuesta, está basada en el proceso para evaluación de la integridad ecológica de áreas de conservación en Centroamérica de The Nature Conservancy, (Parrish, et al., 2003) y se adaptó para el caso de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán, ésta se desarrolla en cuatro pasos principales: la identificación de objetos de conservación, la identificación de atributos ecológicos clave, la identificación de indicadores y la evaluación del estado actual de dichos objetos.

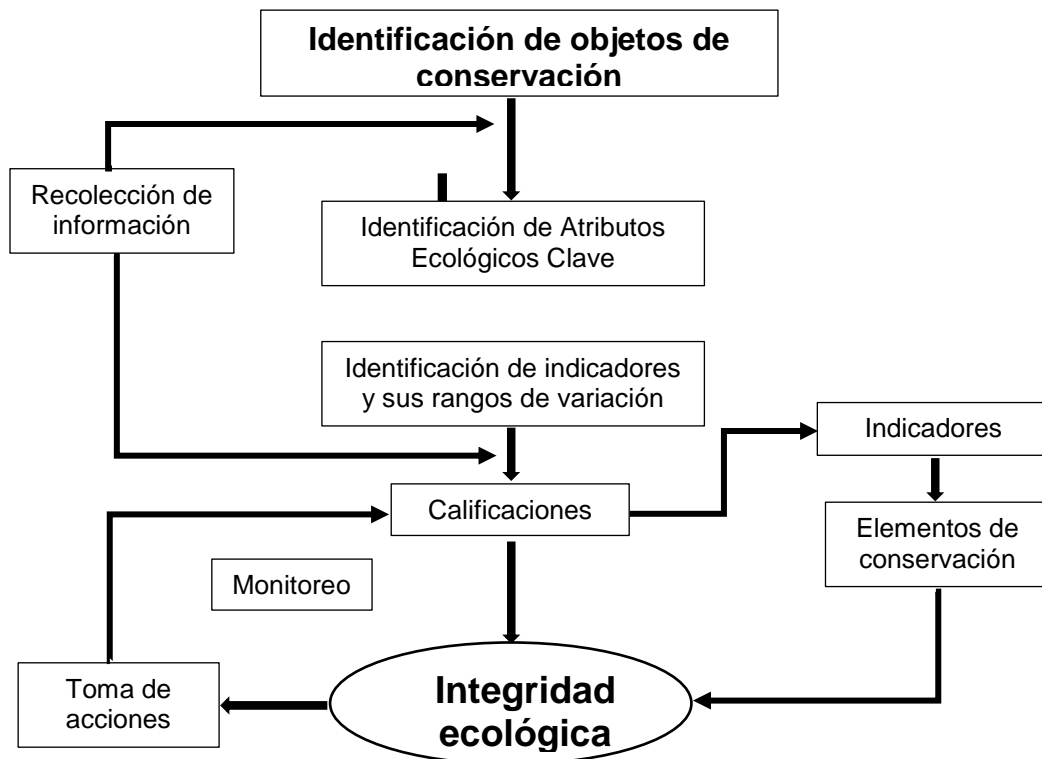


Figura 3. Proceso metodológico de evaluación de integridad ecológica en áreas protegidas (Adaptado de INBio y SOMASPA, 2006)

5.2.1 Generación de información

5.2.1.1 Revisión de la información cartográfica: actualización de la capa de uso del suelo y vegetación

Como se mencionó anteriormente, el primer problema que se detectó es que no existe congruencia entre los usos y tipos de vegetación identificados en campo por el personal de la reserva con los del mapa de INEGI, por cuestiones de categorización, ubicación o distribución de los mismos. Si bien, de forma oficial se utilizan estos datos para todos los estudios e investigaciones, las necesidades de información específica y local representan una problemática constante en las tareas de planeación de áreas protegidas. Por lo anterior se propuso producir de manera participativa un mapa de tipos de vegetación, utilizando imágenes de satélite SENTINEL 2 A, en ARCGIS con clasificación supervisada y verificación con recorridos de campo.

La información requerida para identificación de objetos de conservación fueron los mapas vectoriales del continuo vectorial de uso de suelo y vegetación serie V y VI a escala 1:250,000 (INEGI, 2011, 2017).

Los datos satelitales multiespectrales (Tabla 2) corresponden al satélite Sentinel 2A (Multiespectral instrument), el cual posee 13 bandas espectrales, cuatro bandas a 10 metros, seis bandas a 20 metros y tres bandas a 60 metros de resolución espacial. De acuerdo con la European Space Agency (2018) los datos de Sentinel-2 son complementarios a las misiones existentes, incluido LANDSAT y SPOT y los datos están diseñados para ser modificados y adaptados por usuarios interesados en áreas temáticas tales como la ordenación del territorio, monitoreo agroambiental, monitoreo de agua, monitoreo de bosques y vegetación, carbono terrestre, monitoreo de recursos naturales y monitoreo global de cultivos. (European Space Agency, 2018).

Las imágenes utilizadas para realizar la clasificación supervisada son con fecha del 27 de enero de 2017. En el módulo SCP v5.3.6 (Semi-Automatic Classification Pluggin) del software QGIS 2.18 se realizó la corrección atmosférica de todas las bandas de manera automática mediante el método de corrección atmosférica DOS. En ARGIS 10.1 se

generaron composiciones en RGB con una combinación en color verdadero y otras combinaciones, para obtener un contraste de los colores que permitiera una identificación más precisa de los tipos de vegetación.

Se utilizaron diferentes composiciones de bandas con diversos grados de diferenciación entre elementos, para obtener una vista lo más clara posible de la imagen. Se usó la proyección Cónica conforme de Lambert y Datum IRTF92; las bandas utilizadas para crear la composición final fueron las bandas 8A, 3 y 11, los recortes de las imágenes se hicieron basados en el límite del polígono de la Reserva.

Tabla 2. Características técnicas de las imágenes SENTINEL 2A

Año	Satélite	Sensor	Resolución espacial (m)	Bandas usadas	Fecha de captura
2017	SENTINEL 2	MSI	10 m	8A, 3, 11	27 enero de 2017

Se generaron mapas en papel a escala 1:75,000 con información vectorial de poblados e infraestructura para la RBBM, para que los participantes en el taller identificaran y cartografiaran los tipos de vegetación. El material cartográfico utilizado como referencia para el presente estudio, consistió en las capas temáticas de vegetación y usos del suelo en formato vectorial, escala 1:250,000 correspondientes a las clases V y VI, elaboradas por INEGI (2011, 2017).

La asignación de clases se basó en su mayor parte en la clasificación de INEGI (2015), de acuerdo con la capa de uso del suelo y vegetación en su serie V, la cual considera aspectos morfológicos para delimitar polígonos que engloben los tipos de vegetación dominantes y característicos de un sitio, así como su Guía para la interpretación de cartografía (INEGI, 2015), la cual describe los elementos que la conforman.

5.2.2 Identificación de objetos de conservación

Se organizaron tres talleres de consulta con actores clave y expertos. En conjunto con el personal del ANP se sugirió una lista de posibles objetos de conservación. Posteriormente, se realizó una revisión bibliográfica sobre cada uno de los objetos de conservación y se eligieron los elementos finales en un taller participativo. Estos fueron seleccionados bajo los criterios de escala, estado de conservación, representatividad del área y amenazas, además de características específicas que pudieran ser de importancia para mantener la integridad del ecosistema.

Con base en estas recomendaciones y a los objetivos que se tienen planteados para el presente estudio, se identificaron 3 objetos de conservación: el viejito (*Cephalocereus senilis*), la biznaga gigante (*Echinocactus platyacanthus*) y el recurso suelo. Para los análisis de integridad ecológica se recomienda no seleccionar más de ocho objetos de conservación para el análisis (The Nature Conservancy, 2000), por lo que los elementos seleccionados serían suficientes para cumplir con los objetivos del estudio.

5.2.3. Selección y evaluación de AEC y sus indicadores

5.2.3.1 Evaluación de *Cephalocereus senilis* y *Echinocactus platyacanthus*

Para obtener información sobre el estado de la vegetación se realizó un recorrido de campo y un muestreo basado en el método de cuadrante centrado en un punto para medir la abundancia de ambas especies.

En 5 sitios de monitoreo se hicieron transectos de 30 metros para contabilizar especies. Para viejito y biznaga se registró: número de individuos, altura y ancho (diámetro) de la planta. Con esta información se calcularon abundancias relativas y absolutas para ambas especies, además de una determinación visual de las edades aproximadas de los individuos.

5.2.3.2 Evaluación del recurso suelo

5.2.3.2.1 Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre

La metodología que se empleó en la realización del presente estudio consideró las siguientes etapas: selección de un mapa base, evaluación de la degradación y muestreo de suelos.

El proceso desarrollado en esta etapa está basado en la metodología ASSOD (Van Lyden, 1997), que a su vez es una modificación de la denominada GLASOD, propuesta por Oldeman (1988), adoptada por FAO a nivel mundial (Oldeman, 1988) y por el Inventario Nacional de Suelos (SEMARNAT, 2001) y fue utilizada para la elaboración de la Memoria Nacional de la Evaluación de la degradación de suelos causada por el hombre en la república mexicana (2001).

En esta metodología se reconocen dos grandes categorías de procesos de degradación del suelo: la degradación por desplazamiento del material del suelo, que tiene como agente causativo a la erosión hídrica o eólica y la degradación resultante de su deterioro interno, que considera en la actualidad a los procesos de degradación física y química únicamente (SEMARNAT, 2001).

Para evaluar la degradación en cada sitio, se registraron datos en una tabla matriz, de acuerdo con los criterios de degradación propuestos en la Memoria Nacional de Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la república mexicana (SEMARNAT, 2001), basados en la metodología ASSOD (Van Lyden & Oldeman, 1997).

De acuerdo con este método, se debe considerar el uso de un mapa base para asignar unidades cartográficas para hacer la evaluación. Estas unidades corresponden a polígonos de vegetación seleccionados de la capa de cobertura escala 1:75,000. Para cada una de estas unidades cartográficas, se registró la información en un formato que contiene cuatro grupos de datos:

1) Se relaciona con la Unidad Cartográfica (UC) en donde se reporta su identificación a través de un número; su localización geográfica (estado, municipio), la región hidrológica a la que pertenece; tipo de degradación dominante dentro de la unidad, empleando la simbología descrita y su superficie en kilómetros. Es conveniente mencionar que para considerar a un tipo de degradación de suelos causada por el hombre como dominante, se acordó que sería suficiente con presentar una extensión mínima de 30% dentro de la unidad cartográfica bajo estudio.

2) Se reporta una caracterización de campo, donde se incluye: la forma del terreno, el tipo de roca, el uso actual del suelo, la vegetación dominante y la influencia humana. Además, se indica información climática que considera únicamente a la temperatura media anual en grados centígrados y a la precipitación total anual en milímetros; se empleó como fuente de información las normales climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional.

3) Se reporta la información específica sobre la degradación de los suelos en términos de: tipo, extensión, tasa de cambio y factor causativo.

4) Se especifica la localización geográfica de los puntos de muestreo del suelo superficial, la cual se obtiene directamente en campo con un geoposicionador (GPS).

Para representar el tipo de degradación dominante dentro de cada unidad cartográfica, la simbología que se empleó se ilustra con el siguiente ejemplo:

Es 1.50 (0)a

Donde:

Es = Tipo de degradación: erosión eólica con pérdida del suelo superficial.

1 = Nivel de afectación de la degradación: ligero.

50 = Extensión dentro de la unidad cartográfica: 50% de su superficie.

(0) = Tasa de degradación: sin cambios en los últimos 5 – 10 años.

a = Factor causativo: actividades agrícolas.

Se utilizaron los mismos criterios de evaluación propuestos en la Memoria Nacional. La metodología se considera cualitativa; sin embargo, para cada unidad cartográfica se hizo una georreferenciación y se documentaron las características a través de fotografías del paisaje. Por cada unidad de degradación se recolectaron muestras del suelo superficial (de 0 a 20 cm de profundidad) para complementar la caracterización. Cada punto de muestreo se georreferenció y se tomó 1 kg de muestra. Posteriormente, se trabajaron en el laboratorio de Génesis de Suelos del Colegio de Postgraduados, para determinar características físicas y químicas.

5.2.3.2.2 Análisis de las muestras de suelos en laboratorio

Se obtuvo un total de 15 muestras de 5 sitios de monitoreo, 3 por cada unidad. Para cada muestra se determinó: Ph, conductividad eléctrica, densidad aparente, textura, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases, carbonatos totales, contenido de carbono orgánico, nitrógeno y fósforo disponible.

El contenido de carbono orgánico se determinó por el método de Walkey & Black; el pH por potenciometría con una relación suelo-agua 1:2; densidad aparente con el método de la probeta; textura con método de pipeta americana; la capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables por el método de acetato de amonio; fósforo soluble por el método de Olsen et. al.; carbonatos totales con el método de desplazamiento por CO², nitrógeno con el procedimiento micro-Kjeldalh.

5.2.3.2.3 Índices de calidad del suelo

Los indicadores de calidad de suelos tienen un papel fundamental al señalar condiciones y tendencias, permitiendo valorar el impacto humano y natural sobre los suelos e identificando las prácticas de manejo más adecuadas. Los indicadores deben ser elegidos en función del tipo de ambiente, del suelo bajo estudio y de acuerdo al nivel de percepción o análisis (Civeira, et al., 2011).

Las principales funciones de los indicadores son: evaluar condiciones o tendencias, comparar transversalmente sitios o situaciones, para evaluar metas y objetivos, proveer información preventiva temprana y anticipar condiciones y tendencias futuras (Cantú, et al., 2007).

Así también, los indicadores tendrán que cumplir con ciertas características que los hagan fáciles de entender: se debe trabajar con un número restringido de indicadores, que tengan facilidad de manejo por diversos tipos de usuarios; sencillos, fácilmente medibles y tener un alto grado de agregación, es decir, que resuman lo más posible otras cualidades o propiedades.

Deben ser interdisciplinarios y en lo posible contemplar la mayor diversidad de situaciones e incluir todo tipo de propiedades de los suelos, tanto físicas, químicas y biológicas, como aquellas que resalten aspectos sociales y de uso. Por último, los indicadores deben tener una variación en el tiempo, tal que sea posible realizar un seguimiento de las mismas y poseer poca sensibilidad a los cambios (Doran & Parkin, 1996).

Para generar índices afines con la valoración de atributos ecológicos clave para el recurso suelo, se utilizó el método propuesto por Cantú (2007) para evaluar la calidad de los suelos mediante el desarrollo y aplicación de un “set mínimo” de índices e indicadores.

De acuerdo con este método, para obtener un valor único de cada uno de los parámetros determinados, se debe calcular un promedio ponderado conforme a los valores obtenidos de los análisis de suelos. Luego, los indicadores son normalizados utilizando una escala de 0 a 1 que representan, respectivamente, la peor y mejor condición desde el punto de vista de la calidad, independientemente de los valores absolutos medidos para cada indicador.

Existen dos situaciones posibles para la normalización de datos: la primera es cuando el valor máximo del indicador (I_{max}) corresponde a la mejor situación de calidad de suelo (Valor normalizado del indicador: $V_n = 1$) y el cálculo es:

$$V_n = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}}$$

La otra situación es cuando el valor I_{max} corresponde a la peor situación de calidad de suelo ($V_n = 0$) y se calcula como:

$$V_n = 1 - \left(\frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \right)$$

Donde:

V_n = valor normalizado

I_m = medida del indicador

I_{max} = valor máximo del indicador

I_{min} = valor mínimo del indicador

Los valores de referencia de medida de los indicadores fueron establecidos de diferentes formas para cada uno de ellos. Para algunos atributos se tuvieron en cuenta umbrales calculados a partir de los promedios de las variables físicas y químicas de los suelos, mientras que en otros se utilizaron criterios teóricos usados en el campo de la fertilidad de suelos.

A las propiedades medidas en laboratorio se les establecieron rangos de calidad, a partir de los cuales se normalizaron los indicadores. Los indicadores seleccionados son un número mínimo de variables con alto grado de agregación, fáciles de medir y repetibles, que representan las condiciones locales (Cantú, et al., 2007). Estos indicadores de estado del recurso suelo no son universales, ya que fueron determinados en función del tipo de ambiente y suelo de la región, además de los objetivos pretendidos para el presente estudio.

6. RESULTADOS

6.1 Capa de uso del suelo y vegetación

En el primer taller participativo se tuvo como objetivo revisar con el personal de la RBBM el uso del suelo y vegetación del continuo nacional de vegetación de uso actual y vegetación de INEGI a escala 1:250,000 serie V (2011) y VI (2017) ajustado al área.

Para la identificación de los tipos de vegetación se sobrepuso la cartografía de uso del suelo y vegetación de INEGI (15 tipos de vegetación) y se solicitó a los participantes que identificaran los tipos de vegetación. La primera observación es que en el plan de manejo de la Reserva se identifican solo 11 tipos de vegetación.

Se hizo una sobre posición del mapa de uso del suelo con una imagen de satélite SENTINEL 2A con fecha del 27 de enero de 2017, en una combinación RGB 4, 3,2 color verdadero a una escala 1:250,000, se observaron también diferencias en los límites de la cartografía. Al analizar las imágenes de satélite se observaron áreas en las cuales los tipos de vegetación no coincidían con lo observado en campo, señalándose un área extensa al oriente identificada como bosque de coníferas cuya vegetación es matorral sub montano. En la tabla 1 se comparan los tipos de vegetación identificados en el Plan de Manejo y los del mapa de uso del suelo y vegetación de INEGI.

Se concluye de este taller que existe una disformidad en las clasificaciones de vegetación de INEGI y la manejada por el personal de la RBBM, tanto en nomenclatura como en estructura fisonómica de las unidades de vegetación. Dado esto, se propuso elaborar una carta de uso del suelo y vegetación conforme a los tipos de vegetación usados por el personal.

Para involucrar a la gente local en la preparación de un nuevo mapa de usos del suelo y vegetación de acuerdo a los tipos de vegetación identificados en el Plan de Manejo de la RBBM, se organizaron talleres utilizando métodos de cartografía participativa y recorridos de campo incluyendo a personal de la reserva en diferentes niveles y experiencia: director, subdirector y tres monitores de campo con 17 años de experiencia

en la RBBM, quienes se involucraron activamente en el proceso de revisión de cartografía y recorridos de campo.

Para la identificación de los tipos de vegetación se utilizó la técnica de cartografía participativa, primero a través interpretación visual de tipos de vegetación en una composición RGB. Se analizaron diferentes combinaciones de bandas y los participantes eligieron la combinación de bandas 8 A, 3 y 1 en la que se aprecian mejor los tipos de vegetación

Se realizó una primera clasificación que contempla los usos del suelo descritos en la Tabla 1, teniendo un total de 11 tipos de uso (9 vegetación y 2 de agricultura), se identificaron en las imágenes los tipos de vegetación propuestos a través de interpretación visual de la imagen y se planearon tres recorridos de campo para verificar los tipos de vegetación y ubicar áreas de entrenamiento para realizar una clasificación supervisada en el software ArcGIS 10.1.

Tabla 3. Primera aproximación para la clasificación de la imagen satelital correspondiente a la zona de la RBBM

CLASE PROPUESTA	CLASE ORIGINAL (CONANP)
Agricultura de riego	Agricultura de riego
Agricultura de temporal	Agricultura de temporal
Bosque de encino	Bosque de coníferas
Bosque de pino- encino	Bosque de coníferas
Matorral sub montano	Matorral sub montano
Matorral crasicaule	Matorral xerófilo
Pastizal	Pastizal inducido Pastizal
Bosque de táscate	Bosque Juniperus
Agua (Laguna de Metztlán)	Laguna de Metztlán/ Vegetación ribereña

En un segundo taller, después de los recorridos de campo, se hizo una reinterpretación visual de las imágenes y se eliminaron los tipos de vegetación que no correspondían con

lo observado y se agruparon los que presentaban similitudes en composición de especies o uso (en el caso de agricultura).

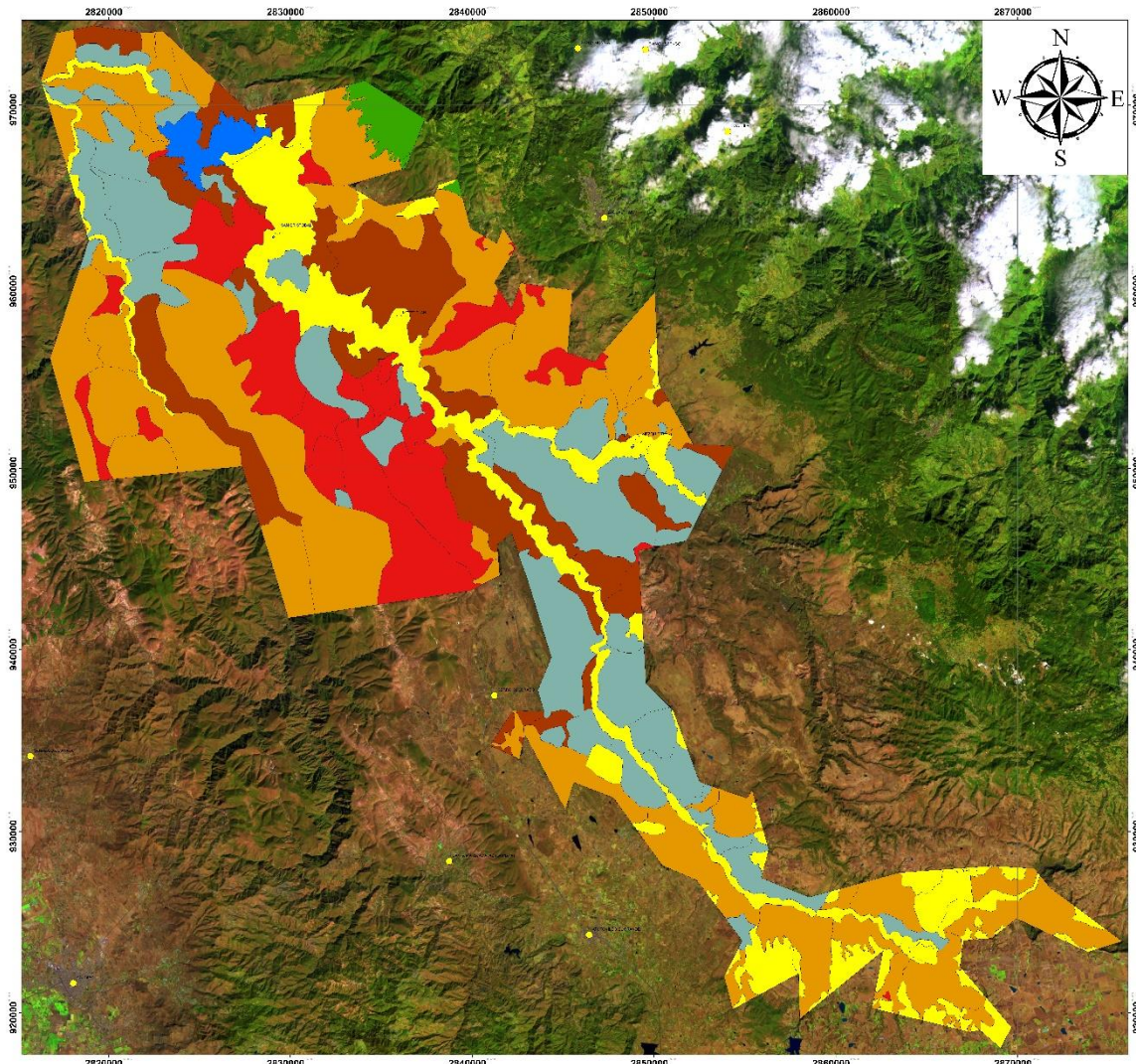
Tabla 4. Comparación de clases de uso del suelo y vegetación: CONANP (2003), INEGI (2011) y propuesta de COLPOS (2018).

Clase propuesta	Clase CONANP	Clase INEGI
Agricultura	Agricultura de riego, Agricultura de temporal	Agricultura de humedad anual, Agricultura de riego anual, agricultura de riego anual y semi permanente, agricultura de temporal anual, agricultura de temporal anual y permanente, agricultura de temporal anual y semi permanente, agricultura de temporal permanente, agricultura de temporal semi permanente y permanente
Bosque tropical caducifolio asociado a vegetación seca	Bosque tropical caducifolio	Selva Baja Caducifolia, Selva baja espinosa Caducifolia, Bosque de mexquite, vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia
Bosque de Juniperus	Bosque de coníferas, Bosque Juniperus, Bosque de pino-encino, Bosque de encino	Bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino, bosque de pino- encino, bosque de táscate, bosque mesófilo de montaña. Vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de encino-pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de pino-encino, vegetación secundaria arbustiva de bosque de táscate, vegetación secundaria arbustiva de bosque mesófilo de montaña. Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino, Vegetación secundaria herbácea de bosque de encino-pino
Laguna de Metztlán	Cuerpo de agua, vegetación ribereña	Cuerpo de agua
Matorral crasicaule	Matorral xerófilo	Matorral crasicaule, Matorral desértico rosetófilo, vegetación secundaria arbustiva de matorral crasicaule
Matorral sub montano	Matorral sub montano	Matorral submontano, vegetación secundaria arbustiva de matorral sub montano
Área degradada o con poca vegetación	Pastizal inducido Pastizal	Pastizal cultivado, pastizal inducido

Con base en los tipos de vegetación identificados y los campos de entrenamiento propuestos se realizó una clasificación supervisada. De acuerdo con Aguilar C. et al (2013), en estudios que incluyen más de 10 categorías de uso y cobertura, tiende a reducirse la apreciación del proceso de clasificación y en su caso, de cambios de uso del suelo, por lo que no sería recomendable utilizar más de 10 clases. Finalmente se cartografiaron 7 clases de uso del suelo y vegetación en la reserva (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción de las clases determinadas para la nueva capa de uso del suelo y vegetación para la RBBM.

Clase 2018	Descripción
Agricultura	Abarca toda la superficie agrícola, incluyendo agricultura de riego, temporal y de humedad.
Bosque tropical caducifolio asociado a vegetación seca	Incluye la vegetación característica de selva baja caducifolia, con árboles de baja altura (entre 8 y 12 metros) y con especies que reverdecen durante espacios estacionales muy marcados por las precipitaciones. Una de las especies dominantes es <i>Bursera morelensis</i> (chaca), presente en las zonas de la Barranca, muy asociado con <i>Cephalocereus senilis</i> (viejito). Otra especie característica es <i>Prosopis laevigata</i> (mezquite).
Bosque de Juniperus	La especie característica es <i>Juniperus fláccida</i> (sabino); se observan en menor medida algunas especies de encino (<i>Quercus polymorpha</i> y <i>Quercus castanea</i>).
Laguna de Metztitlán	Incluye el cuerpo de agua conocido como Laguna de Metztitlán.
Matorral crasicaule	Agrupas las comunidades arbustivas de clima árido y semiárido, las especies características corresponden a cactáceas grandes las cuales en muchos casos juegan el papel de dominantes fisonómicas (Rzedowski, 1978), incluyendo matorral crasicaule de <i>Cephalocereus senilis</i> , <i>Stenocereus dumortieri</i> y <i>Opuntia imbricata</i> . Mezclado con estas especies, se encuentran plantas arbustivas, subarbustivas y herbáceas.
Matorral sub montano	Las especies dominantes son entre otras: <i>Mimosa sp.</i> , <i>Senna wislizeni</i> , <i>Krameria cytisoides</i> , <i>Neopringlea integrifolia</i> , <i>Ipomoea sp.</i> y <i>Cnidioscolus rostratus glabratus</i> . El estrato herbáceo es más escaso y sólo aparece en épocas de lluvia, entre los que destacan: <i>Loeselia sp.</i> , <i>Dyssodia tagetiflora</i> , <i>Tournefortia maculata</i> , <i>Brickellia veronicifolia</i> , <i>Flourensia glutinosa</i> y <i>Lantana cámara</i> . Es visible la presencia de zonas de pastoreo de ganado vacuno.
Área degradada o con poca vegetación	Se señalan las áreas con evidentes procesos de degradación del suelo y desprovistas de vegetación (o que ésta es muy escasa).



ACTUALIZACIÓN DE CLASES DE USO DE SUELO Y VEGETACIÓN PARA LA RESERVA DE LA BIÓSFERA BARRANCA DE METZITILÁN (2018)

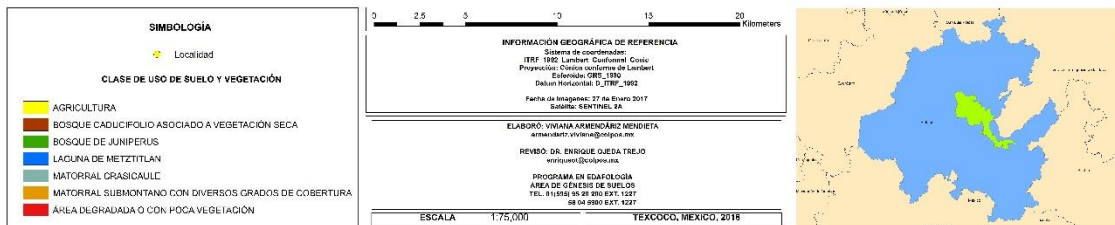


Figura 4. Mapa de uso del suelo y vegetación para la RBBM en escala 1:75,000

Tabla 6. Superficie por cobertura de uso de suelo y vegetación.

CLASE	Área (Ha)	Área (Km ²)	%
Área degradada o con poca vegetación	12,322.31	123.22	12.88
Agricultura	14,218.56	142.19	14.86
Bosque caducifolio asociado a vegetación seca	12,740.21	127.40	13.32
Bosque de Juniperus	1,116.27	11.16	1.16
Laguna de Metztlán	1,145.38	11.45	1.19
Matorral crasicaule	18,951.07	189.51	19.81
Matorral sub montano con diversos grados de cobertura	35,139.99	351.40	36.74
TOTAL	95,633.79	956.34	100

6.2 Identificación y caracterización de objetos de conservación

Los objetos de conservación deben de cumplir con ciertas características que permitan hacer una evaluación efectiva y práctica, de tal forma que éstos representen importancia a los datos que se pretenden obtener, dependiendo de los objetivos del estudio.

Para la evaluación de la integridad ecológica de la RBBM se adaptó el método propuesto Parrish, et al., 2003 (INBio y SOMASPA 2006) para identificar los objetos de conservación, sus atributos ecológicos clave y se aplicó la calculadora de rangos de conservación de Nature Serve (2015).

La identificación de objetos de conservación se realizó mediante un taller en el cual se obtuvo una lista de objetos de conservación propuestos, para su elección se consideró la localización biogeográfica y la representatividad en términos culturales, ecológicos y económicos del objeto, dicho de otro modo, los objetos debían ser especies, poblaciones o sistemas ambientales que representaran importancia para los participantes. Los objetos de conservación planteados por los participantes fueron: tzompantli, táscate, palo

mulato (*Bursera simaruba*) y suelos de la región, que son valorados por su uso tradicional; se incluyen también el órgano dorado (*Neobuxbaumia polylopha*), órgano cimarrón (*Stenocereus dumortieri*), biznaga gigante (*Echinocactus platyacanthus*), viejito (*Cephalocereus senilis*), orquídeas (*Laelia gouldiana*, *Laelia speciosa*, *Laelia anceps*), aves migratorias que llegan a la Laguna de Metztitlán y mamíferos de gran tamaño como el puma, cuya importancia reside en el hecho de que son especies con un alto grado de amenaza de extinción y se insertan dentro de categorías de riesgo y en la NOM-059 SEMARNAT- 2010.

Se realizó una revisión bibliográfica sobre los objetos de conservación propuestos para hacer una caracterización general y conocer su estado de conservación.

Para la selección de los objetos más sobresalientes se discutió su importancia biogeográfica, registro en la NOM 059-SEMARNAT-2010, extensión y relevancia a nivel local. Por ejemplo: el órgano dorado se encuentra solo en pequeñas áreas de la Reserva, en comparación con el órgano cimarrón que se encuentra en grandes extensiones. Los objetos de importancia local como son el tzompantli, palo mulato (*Bursera simaruba*) y táscate (*Juniperus*) se encuentran en extensiones pequeñas, pero suelen ser utilizados por sus propiedades medicinales. Las aves migratorias y mamíferos mayores, aunque si se encuentran enlistados en categorías de riesgo, no fueron considerados como objetos de conservación para evaluación de integridad ecológica, ya que los objetivos de este estudio se enfocaron en evidenciar las relaciones entre vegetación y el recurso suelo. En este sentido, el suelo y sus procesos de degradación tomaron relevancia para el personal de la Reserva por diversos motivos, entre ellos la necesidad de información para la actualización del Programa de Manejo del área.

Conforme a lo anterior y a los alcances de la investigación, se decidió evaluar la integridad ecológica con los siguientes objetos de conservación: el viejito (*Cephalocereus senilis*), la biznaga gigante (*Echinocactus platyacanthus*) y el recurso suelo.

6.2.1 Viejito (*Cephalocereus senilis*)

El *Cephalocereus senilis*, llamado comúnmente viejito o cabeza de viejo es una especie endémica clasificada como amenazada dentro de la Lista Roja de la IUCN, mantiene la categoría “*en peligro de extinción*” (EN) desde 2009, de acuerdo con la última evaluación de estado realizada por Guadalupe Martínez (2013).

La especie está catalogada como *en peligro de extinción* según el criterio B1ab (iii, v) (UICN, 2012) debido a que tiene un rango de distribución limitado, la extensión de su incidencia es de aproximadamente 2,170 km², se encuentra únicamente en los estados de Hidalgo y Guanajuato y se presenta en pocos lugares. Su distribución puede estar en función de las amenazas relacionadas con la recolección ilegal y a las continuas disminuciones en la calidad del hábitat. Aunque localmente es abundante, existe una continua disminución en el número de individuos maduros, dada por el exceso de recolección de juveniles, lo cual es una amenaza continua y es probable causa del desequilibrio en la distribución de edades de las subpoblaciones (Guadalupe Martínez, et al., 2013).



Figura 5. Viejito (*Cephalocereus senilis*)

Está listada también dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 de Protección ambiental a especies nativas de México de flora y fauna silvestres, donde se encuentra incluida dentro de la categoría “Amenazada” (SEMARNAT, 2010), dada la constante extracción de la naturaleza para cultivo al ser una de las especies de suculentas más utilizadas para ornato.

Es una especie representativa de la zona de Metztitlán, por lo que podría ser considerada como el emblema de la Reserva. Algunas de las acciones implementadas para su protección fue la creación de Unidades de Manejo Ambiental (UMA) con fin de reproducción, comercialización y reserva genética. Se han establecido en otras zonas del estado, programas de educación ambiental para la conservación de la flora regional a través de cursos y talleres proporcionados por la Sociedad Mexicana de Cactus y Suculentas en Hidalgo (Reyes Santiago, et al., 2003).

6.2.2 Biznaga gigante (*Echinocactus platyacanthus*)

Echinocactus platyacanthus es una especie de cactácea endémica de México, más conocida como biznaga gigante o burra, por el gran tamaño que puede alcanzar. Está ampliamente distribuida en varios estados del norte y centro del país, Hidalgo entre ellos; en la zona sur es relativamente común en el denominado Valle de Tehuacán, abarcando Puebla y Oaxaca (Gómez-Hinostrosa & Hernández, 2000).

En estado juvenil tiene una forma redonda y globosa, pero conforme crece toma una forma columnar, alcanzando alturas de hasta 3 metros. Es aprovechada como forraje vivo para algunas especies de ganado extensivo, los cuales se alimentan de flores y fruto, además de los tallos sin espinas. Tradicionalmente esta especie es utilizada para la elaboración del dulce típico llamado acitrón, lo que ha inducido a una explotación alta.

Esta especie está clasificada como “*Casi amenazada*” (NT) dentro de la Lista Roja, dado que no se han documentado descensos de más del 30% en los últimos 100 años. De acuerdo con Del Castillo y Trujillo (1991), es junto con *Ferocactus histrix* una de las cactáceas gigantes más abundantes y extendidas en México (Del Castillo & Trujillo, 1991). En algunos estados como San Luis Potosí todavía hay subpoblaciones en muy

buen estado de conservación (Salas de León, et al., 1999). Tiene una densidad media estimada de 15 individuos por hectárea (Goettsch, 2007). La especie se encuentra en matorral xerófilo y prefiere suelos calcáreos (Arias et al. 1997). No tolera alteraciones del suelo por parte del ganado.

Tiene un gran rango de distribución dentro del Área Natural Protegida Real de Guadalcazar y la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán (Hernández, et al., 2001). En la RBBM también goza de una distribución muy amplia, e incluso una abundancia aceptable, sin embargo ésta se limita sólo a ciertas zonas de la barranca.



Figura 6. Biznaga gigante (*Echinocactus platyacanthus*)

No obstante, al ser una especie de crecimiento lento (entre 100 años o más), usada en niveles insostenibles, hay una constante disminución de individuos jóvenes en la población. Esta especie requiere acciones de conservación porque se reproduce

lentamente y no tolera perturbaciones del hábitat, por lo que, sin una mayor protección podría verse amenazada.

Lo anterior constituye una necesidad de reglamentación sobre el aprovechamiento de la especie, para asegurar niveles de uso sostenibles. Aunado a esto, se necesita más investigación para comprender la historia de la vida, la demografía y el impacto del uso humano. Según las tendencias actuales, esta especie se verá amenazada en un futuro cercano si no se proporcionan buenas prácticas de protección y cumplimiento (Hernández, et al., 2017).

Al igual que *Cephalocereus senilis*, se encuentra dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010, donde está incluida en la categoría "Sujeto a protección especial" (Pr), (SEMARNAT 2010).

La mayor razón para seleccionar dos especies de cactáceas reside en varios hechos. Uno de ellos es que éstas representan cierta importancia, de acuerdo con Bravo-Hollis (1978) en el aspecto económico, estas plantas presentan una belleza inigualable por sus flores, y son especies cotizadas y valoradas en el mercado internacional. De acuerdo con Reyes Santiago (2003) cerca del 80% de los decomisos de cactáceas que se extraen para comercializar en mercados de la Ciudad de México vienen de Hidalgo, principalmente de la Barranca de Mezquitlán y de la zona de Actopan-Ixmiquilpan en el Valle del Mezquital. Así, toda la problemática relacionada con su explotación para fines comerciales deriva en la prohibición de su comercialización y recolección en el medio natural, siendo la declaración de un ANP una de las medidas cautelares para frenar dicho problema.

Otra de las amenazas identificadas para estas especies de cactáceas está relacionada con la explotación de ganado, que asociada a la fragilidad del suelo, provoca la pérdida de un microhábitat adecuado para el establecimiento de nuevos individuos (Jiménez Sierra & Eguiarte, 2010), (Jiménez Sierra, et al., 2007).

6.3 Identificación de atributos ecológicos clave (AEC)

Para comprender desde un punto de vista ecológico y biológico cuáles son las necesidades del elemento de estudio para mantener su integridad ecológica en el largo plazo, es importante identificar qué factores son fundamentales para mantener la salud y funcionalidad de los ecosistemas. La respuesta está en los atributos ecológicos clave. (Macías Caballero, et al., 2014).

Cada atributo ecológico clave de un objeto (especie o ecosistema) es un elemento que será crítico para un aspecto particular de la persistencia de la especie o ecosistema frente a perturbaciones naturales y de origen humano, y las modificaciones de ese atributo más allá de cierto intervalo crítico de variación darán lugar a su degradación o pérdida (Nature Serve, 2012 en Macías Caballero, et al., 2014).

Para el caso de los objetos de conservación utilizados para el presente estudio, se consideraron los atributos relacionados con tamaño y condición de la especie, para *Cephalocereus senilis* y *Echinocactus platyacanthus*, a través de indicadores como el área de ocurrencia y calidad de suelo de los sitios bajo estudio. El recurso suelo se valoró conforme a atributos ecológicos que representaran la condición del sitio, con indicadores como el porcentaje de áreas que presentan algún tipo de degradación severa y con indicadores de calidad.

Tabla 7. Atributos Ecológicos Clave para objetos de conservación

Objeto de conservación	Atributo ecológico clave	Categoría
<i>Cephalocereus senilis</i>	Abundancia de la especie	Tamaño
	Condición del suelo	Condición
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Abundancia de la especie	Tamaño
	Condición del suelo	Condición
Suelo	Sitios degradados	Condición
	Calidad del suelo	Condición

6.3.1 Selección y evaluación de indicadores para AEC

Los atributos ecológicos clave son con frecuencia difíciles, sino imposibles, de cuantificar en forma directa. Los indicadores son aquellos que informan sobre el estado de los atributos ecológicos clave, y en suma, sobre la salud de los ecosistemas. En este sentido, un indicador hace referencia al parámetro medible que se utiliza para evaluar el estatus y tendencia del o de los atributos ecológicos clave (Granizo, et al., 2006).

Conforme a lo anterior, es necesario elegir indicadores que puedan ser medidos de forma eficiente y que a su vez aporten la suficiente información para determinar el estado del objeto bajo estudio. Cualquier AEC, y por lo tanto sus indicadores, varía en el tiempo bajo condiciones naturales. Esta variación no es aleatoria, sino limitada a un rango específico que puede catalogarse como: natural y consistente con la permanencia en el largo plazo de cada objeto de conservación, o fuera del rango natural de variación debido a influencias de origen antropogénico (SINAC, 2016).

Tabla 8. Identificación de los indicadores para evaluar AEC

Objeto de conservación	Atributo ecológico clave	Categoría	Indicador
<i>Cephalocereus senilis</i>	Abundancia de la especie	Tamaño	Área de ocurrencia
	Condición del suelo	Condición	Calidad del suelo
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Abundancia de la especie	Tamaño	Área de ocurrencia
	Condición del suelo	Condición	Calidad del suelo
Suelo	Sitios degradados	Condición	Porcentaje de áreas degradadas
	Calidad del suelo	Condición	Indicador de calidad del suelo

Para obtener información sobre el estado de la vegetación se realizó un recorrido de campo y un muestreo basado en el método de cuadrante centrado en un punto para medir la abundancia de ambas especies.

En 5 sitios de monitoreo se hicieron transectos de 30 metros para contabilizar especies. Para viejito y biznaga se registró: número de individuos, altura y ancho (diámetro) de la planta. Con esta información se calcularon abundancias relativas y absolutas para ambas especies, además de una determinación visual de las edades aproximadas de los individuos.

7.2 Evaluación del estado de los objetos de conservación

7.2.1 Evaluación indicadores de estado de vegetación

Con los datos obtenidos en todos los muestreos se calcularon abundancias relativas y absolutas (Cuadro***) para las especies *Cephalocereus senilis* y *Echinocactus platyacanthus*. Se generaron índices de abundancia y diversidad de especies con los métodos de Shannon y Wiener, que fueron utilizados como referencia para determinar el estado de conservación de las poblaciones de ambas especies.

Tabla 9. Abundancias relativas y absolutas para *Cephalocereus senilis* y *Echinactus platyacanthus*

ESPECIE	SITIO 1	SITIO 2	SITIO 3	SITIO 4	SITIO 5
<i>Cephalocereus senilis</i>	28	0	31	0	58
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	13	45	0	30	0
Total de individuos de todas las especies	170	65	148	49	115
ABUNDANCIA ESPECIE 1	16.47	0.00	20.95	0.00	50.43
ABUNDANCIA ESPECIE 2	7.65	69.23	0.00	61.22	0.00

7.2.1.1 Calculadora de Rangos de estado de conservación de NatureServe (Conservation Rank Calculator)

Para evaluar, verificar y validar el estado de conservación de los objetos, a través de la asignación de rangos, se utilizó la herramienta NatureServe Conservation Status Assessments: Rank Calculator, versión 3.186 (NatureServe, 2015). Es una herramienta que automatiza el proceso de asignación de un rango de estado de conservación, mediante una evaluación de los niveles de riesgo de extinción de las especies y/o desaparición de los ecosistemas. Consiste en una hoja de cálculo de Excel, programada

para facilitar la aplicación precisa de la metodología de clasificación de estatus de conservación, propuesta por NatureServe (Faber-Langendoen, et al., 2012), promueve una mayor precisión y coherencia en las evaluaciones.

La calculadora se compone de varias hojas de trabajo que se utilizan para ingresar datos y generar cálculos, mientras que otras contienen conjuntos de información de referencia para su utilización. La evaluación se basa en diez factores de estado, agrupados en tres categorías: rareza, amenazas y tendencias (Tabla 10), cada una con dos a seis factores de estado de conservación por cada categoría, para garantizar que la información necesaria para asignar una evaluación sea consistente y rigurosa con suficientes datos y criterios.

Los factores en la categoría de rareza consisten en: tamaño de la población, rango de extensión, área de ocupación, número de ocurrencias, número de ocurrencias o porcentaje de área ocupada con buena viabilidad y/o integridad ecológica y la especificidad del medio ambiente. En la categoría de amenazas, se evalúa tanto el impacto global de dichas amenazas, así como la vulnerabilidad intrínseca del objeto bajo estudio. Finalmente, en tendencias se evalúan los cambios a corto y largo plazo, de acuerdo con las amenazas. Para mayor entendimiento se definen los conceptos: rango de extensión, área de ocupación, número de ocurrencias y amenazas:

Rango de extensión: La superficie comprendida entre los límites continuos imaginarios que se pueden utilizar para abarcar todos los sitios conocidos, inferidos o proyectados de las ocurrencias de una especie o ecosistema, con exclusión de los casos derivados de vagabundeo.

Si bien esta medida puede excluir a las discontinuidades y disyunciones dentro de la distribución general de un taxón o individuo (por ejemplo, grandes áreas de hábitat no adecuado a la especie), estas exclusiones se rechazan (excepto en casos extremos), porque estas disyunciones y ocurrencias periféricas podrían reflejar con precisión el grado en que toda la población del taxón se verá afectada por un solo proceso. Los

riesgos se propagan por la existencia de ocurrencias periféricas, independientemente de si la medida de la escala utilizada abarca áreas significativas de hábitat inadecuado (IUCN, 2012). Este criterio mide la extensión espacial de las áreas actualmente ocupadas por una especie o ecosistema, sin embargo, "no pretende ser una estimación de la cantidad de hábitat ocupado o potencial, o una medida general de la extensión del taxón" (IUCN, 2001).

El fundamento de la utilización de este parámetro en la evaluación del estado de conservación es determinar el grado en que los riesgos de amenazas de los factores están repartidos espacialmente a través de la distribución geográfica de la especie o ecosistema. (Master, et al., 2012). Asumiendo que el rango de extensión para los objetos de conservación comprende la totalidad del área de estudio, este rango se asignó de acuerdo a la zonificación aplicada anteriormente, con un área de ***96,600 hectáreas aproximadamente; esto aplica para ambas especies.

Área de ocupación: El área de ocupación se refiere a la zona, dentro del rango de extensión, que está ocupada por un tipo de especie o ecosistema. La medida refleja el hecho de que un taxón no suele ocurrir en toda su zona de rango de extensión, ya que puede contener hábitats no adecuados o no ocupados. En algunos casos, (por ejemplo, sitios de anidación de las colonias irremplazables, sitios de alimentación cruciales para taxones migratorios), el área de ocupación es la superficie más pequeña indispensable en cualquier etapa, para la supervivencia de las poblaciones existentes de un taxón. El tamaño del área de ocupación será una función de la escala a la que se mide, y debe estar a una escala apropiada a los aspectos biológicos o ecológicos relevantes del taxón, la naturaleza de las amenazas y los datos disponibles (IUCN, 2012).

Número de ocurrencias: Representan "en el terreno", aquellos lugares en los que se encuentra un elemento de la biodiversidad (es decir, la ocurrencia se conserva o se sabe que recientemente han ocurrido en un lugar determinado) (Master, et al., 2012). Corresponde a las áreas en donde una especie o comunidad natural está o estuvo presente; debe tener un valor de conservación práctico para el elemento como lo

demuestra la presencia potencial continua o histórica y/o la repetición regular en un lugar determinado. Para las especies corresponde a una población local o grupo de poblaciones cercanas. (NatureServe, 2013). Para este factor se consideraron todas las observaciones realizadas en campo, complementando con información de la Global Biodiversity Information Facility (GBIF Secretariat, 2017), que permite hacer registros biológicos para conformar conjuntos de datos disponibles. Se registran avistamientos a nivel global de ambas especies.

Número de ocurrencias o porcentaje de área con buena viabilidad: Para las especies, una ocurrencia con (al menos) buena viabilidad presenta características favorables con respecto al tamaño y/o a la calidad de la población y la cantidad de hábitat ocupado; y, si las condiciones actuales prevalecen, es probable que la ocurrencia persista en el futuro inmediato (es decir, al menos de 20 a 30 años) en su condición actual o mejor. (Hammerson, et al., 2008).

Para la valoración de este factor se consideró una **evaluación de la condición del hábitat** generada con base en la salud de la vegetación, a través del Índice de Diferencia Normalizada de Vegetación (NDVI) para dos períodos diferentes. Para estimar la condición de la vegetación y determinar la salud del hábitat en la zona de estudio en términos de vigor, superficie y cambios en el tiempo.

Amenazas: Un cálculo del impacto global de las amenazas indica el grado en que se observa o se infiere que una especie o ecosistema, directa o indirectamente se encuentran amenazadas en el área de interés (global, nacional o sub nacional). Las amenazas directas se definen como "las actividades humanas o procesos que han causado, causan o pueden causar la destrucción, degradación y/o deterioro de la biodiversidad y los procesos naturales" (Salafsky, et al., 2008).

La clasificación de las amenazas, así como su calificación está basada en la propuesta por IUCN, la cual busca identificar y caracterizar el alcance, la gravedad y el tiempo en que estas amenazas impactan sobre el objeto de conservación.

Tabla 10. Factores utilizados para la evaluación de estado y asignación de rangos de conservación

Categoría	Subcategoría	Factor	Definición
Rareza	Rango / distribución	Rango de extensión	Superficie mínima que puede ser delimitada para abarcar todos los casos actuales de una especie o ecosistema, excluyendo normalmente aquellos casos derivados de vagabundeos.
		Área de Ocupación.	Área dentro de la extensión del rango ocupado por una especie o ecosistema. Para las especies, el área puede ser estimada contando el número de celdas ocupadas, la mayoría de los casos se utilizan tamaños de celda de 2x2 km (un área de la celda de 4 km ²), pero también se utilizan de 1 km ² para ocurrencias lineares. Para los ecosistemas, las áreas pueden ser medidas o estimadas directamente sobre la base de la mejor información disponible.
	Abundancia/ Condición	Tamaño de la población (única especie)	La población silvestre total estimada de una especie que se encuentra en su área de distribución natural y se basa en conteos o estimaciones sobre el número de individuos de una edad o etapa reproductiva. Esta categoría no se incluye en cálculos de evaluación para plantas anuales o invertebrados con tamaños de población que fluctúan mucho de un año a otro.
		Número de Ocurrencias	Número de ubicaciones existentes de un ecosistema, o áreas discretas ocupadas por una especie
		Número de Ocurrencias o porcentaje de área con buena viabilidad/ integridad ecológica	1) Número de ocurrencias (número de ubicaciones, subpoblaciones, poblaciones, meta poblaciones de una especie) que tienen de excelente a buena viabilidad o integridad, de manera que hay la probabilidad de persistencia si las condiciones actuales prevalecen; o 2) Porcentaje de la superficie total ocupada por una especie o ecosistema que dispone de una excelente a buena viabilidad o integridad ecológica.
		Especificidad del Medio Ambiente	El grado en que una especie o ecosistema depende de un conjunto relativamente escaso de hábitats, sustratos, tipos de alimentos u otros factores bióticos y/o abióticos dentro de un rango general. Se cree que requerimientos relativamente específicos o relaciones muy estrechas entre hábitats/ ecosistemas aumentan la vulnerabilidad de una especie o ecosistema.
Amenazas	Impacto global de amenazas	Grado en que la integridad de un ecosistema o de una especie se ve afectada por factores extrínsecos (estresantes) que la degradan y que se caracterizan en términos de alcance y gravedad. Las amenazas son normalmente antropogénicas, que tengan cualquier impacto directo o indirecto (por ejemplo, la introducción de especies invasoras).	
	vulnerabilidad intrínseca	Grado en que las características intrínsecas o inherentes, tales como la historia de vida o patrones de comportamiento de las especies, la probabilidad de regeneración de los ecosistemas, hacen susceptible o resistente a una especie o ecosistema a los factores estresantes derivados catástrofes naturales o actividades antropogénicas.	
Tendencias	Tendencia a largo plazo	Grado de cambio direccional en el tamaño de la población extensión de presencia, área de ocupación, número de ocurrencias, y/o viabilidad/integridad ecológica de las ocurrencias en el largo plazo (alrededor de 200 años).	
	Tendencia a corto plazo	Grado de cambio direccional en el tamaño de la población (para especies), extensión de presencia, área de ocupación, número de ocurrencias, y/o viabilidad/integridad ecológica de las ocurrencias en el corto plazo. Considera que es normalmente dentro de 50 años para los ecosistemas, o dentro de 10 años o 3 generaciones, el que sea más largo (hasta 100 años), para las especies.	

El **alcance** se define como la proporción en que se esperara que una especie o ecosistema puedan ser afectados (es decir, sujetos a una o más factores estresantes)

por una amenaza dentro de los siguientes 10 a 20 años con la continuación de las circunstancias y tendencias actuales, que bien incluyen tanto amenazas existentes como nuevas amenazas potenciales. Para las especies, el alcance es medido como la proporción de la población de la especie en el área de interés afectada por una amenaza. Si una especie o ecosistema se distribuye de manera uniforme, entonces la proporción de la población o el área afectada es equivalente a la proporción del rango de extensión afectado por la amenaza; sin embargo, si la población o área se distribuye irregularmente, entonces la proporción difiere del rango de extensión. (Faber-Langendoen, et al., 2012).

La **gravedad** es el nivel de daño a la especie o ecosistema que se espera, bajo la permanencia de las circunstancias y tendencias actuales (incluyendo nuevas amenazas potenciales). Hay que considerar que para las especies, la gravedad de las amenazas se evalúa dentro de un plazo de diez años o tres generaciones, cualquiera que sea más largo (hasta 100 años), y para los ecosistemas, la gravedad de las amenazas se evalúa dentro de un plazo de veinte años. Para las especies, la gravedad generalmente se mide como el grado de reducción de la población de la especie, mientras que para los ecosistemas, la gravedad se mide típicamente como el grado de degradación o disminución de la integridad (de uno o más atributos principales o clave). (Faber-Langendoen, et al., 2012).

Las amenazas son clasificadas en varios grupos que incluyen a su vez, amenazas específicas que deberán ser consideradas bajo los criterios de alcance y severidad para el análisis, éstas son:

- Desarrollo comercial y residencial
- Agricultura y acuicultura
- Producción de energía y minería
- Transportación y servicio de corredor
- Uso de recursos biológicos
- Intrusión humana y disturbios

- Modificaciones del sistema natural
- Especies invasoras
- Contaminación
- Eventos geológicos
- Cambio climático y clima severo

Toda la evaluación para asignación de estado de conservación se trabajó a una escala “sub nacional” (S), lo cual se manifiesta en que, para los rangos que serán asignados para el área de evaluación se referirá a estados, jurisdicciones, provincias u otro nivel de territorio menor al nacional.

Este nivel de escala clasifica a las especies, comunidades ecológicas o sistemas siguiendo los mismos principios utilizados en las evaluaciones de estado de conservación globales; no obstante, la calificación de un rango sub nacional no siempre implica que una especie o ecosistema esté más seguro en términos de conservación a nivel de estado o provincia de lo que está a nivel nacional o global, por lo que siempre es necesario considerar la proporción en que se representan las amenazas y tendencias para el objeto bajo estudio, dado que éstas pueden indicar niveles bajos de riesgo a escalas nacionales o sub nacionales en comparación con las escalas globales (Faber-Langendoen, et al., 2012).

De acuerdo con la evaluación generada mediante la herramienta, los rangos de conservación de NatureServe asignados para ambas especies fueron “**S1**” para *Cephalocereus senilis* y “**S3S4**” para *Echinocactus platyacanthus*, que representan los rangos “**en peligro crítico**” y “**vulnerable**”, respectivamente.

El rango “en peligro crítico” (Critically imperiled), considera que las especies o sistemas naturales tienen un riesgo muy alto de extinción debido a que pueden ser extremadamente raros, tiene un rango de distribución muy restringido o hay descensos muy pronunciados en sus poblaciones. Por otro lado, la categoría “vulnerable” expresa que la especie/ecosistema tiene un riesgo moderado de extinción o eliminación, debido

un rango de ocupación restringido, relativamente pocas poblaciones, recientes y descensos poblacionales generalizados o recientes, entre otros factores.

Rank Calculator Form					
Remember to adopt a moderate attitude, taking care to identify the most likely plausible range of values, excluding extreme or unlikely values.					
Change to return GRanks, NRanks, or SRanks:		S	change using dropdown; also affects Calculator Table		
			Enter values below, text in off-white and light-green cells and dropdowns in yellow and blue cells. Scroll down in dropdowns for additional choices.		
			To clear an individual value, put your cursor in the drop-down cell and press Delete.		
Factor Groups with Weights	Minimum factors categories (individual factor weights)	Species or Ecosystem Scientific Name	Echinocactus platyacanthus		
		Type (enter "infraspecies" for a T-Rank)	Species		
		Spatial Pattern (for ecosystems only)			
		Optional Information: Element ID	global, national, or subnational		
		Elcode			
		Common Name	Biznaga gigante, biznaga tonel grande		
		Classification	Vascular Plant		
		Nation or Subnation (for N- or S-Ranks)	COMMENTS (Place cursor in cell to see full text.)		
Barity weight: 0.7	Range/Distr.	1 Range Extent	C	C = 250-1,000 sq km (~100-400 sq mi)	96000 Ha de la RBBM
		2 Area of Occupancy:	C	FILL OUT ONLY 1 OF FOLLOWING 3 FIELDS	La biznaga gigante se distribuye dentro de los tipos de vegetación, matorral submonano, el cual presenta diversos grados de cobertura (algunos sitios con vegetación densa y otros con menor
		Direct estimate (ecosystems) OR	C	C = 5-10 km2	
		4 km ² grid cells (species) OR			
1 km ² grid cells (linear species)					
X Abund./Cond.		1 Number of Occurrences	D	D = 81 - 300	De acuerdo con los muestreos realizados, se
		2 Population Size*			
X		2 Good Viability/Ecological Integrity:	DE	FILL OUT ONLY 1 OF FOLLOWING 2 FIELDS	
		Number of Occurrences OR	DE	DE = Some to many (13-125) occurrences with good viability	
		Percent of Area Occupied			
Threats 0.3	X	1 Environmental Specificity (opt.)			
		1 Assigned Overall Threat Impact	D	D = Low	No existe impacto directo por actividades
		Calculated Overall Threat Impact			
		1 Intrinsic Vulnerability (opt.)	B	B = Moderately vulnerable	aunque no existen amenazas antropogénicas, se
Trends		2 Short-term Trend	G	G = Relatively Stable (<=10% change)	
		1 Long-term Trend	F	F = Decline of 10 - 30%	Las poblaciones se encuentran en estados
Minimum factors requirement met? #####					
Calculated Rank		S3S4	Always review the calculated rank.		
Assigned Rank**		S4	Adjusted Rank		
Rank Adjustment Reasons		En la Lista Roja tiene el estatus NT			
Assigned Rank Reasons		La biznaga gigante se encuentra dentro de la NOM-059-SEMARNAT 2010 dentro de la categoría Pr (sujeta a protección especial), que son aquellas especies que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su			
Rank Factor Ratings Author					
Rank Factor Ratings Date		2-Oct-2018	Enter Ctrl-semicolon (;) for today's date.		
Rank Assignment Author					
Rank Review Date		2-Oct-2018	Enter Ctrl-semicolon (;) for today's date.		
Rank Calculator Internal Notes					

Figura 7. Hoja de cálculo con datos de *Echinactus platyacanthus* para asignar rangos de conservación

Estos rangos indicarían que ambas especies estarían en un peligro crítico de desaparecer dentro de la Reserva, pero tal como se indica en la metodología para asignación de rangos, éstos pueden ser ajustados a criterio del evaluador. Así, los rangos definitivos ajustados para los objetos de conservación fueron “S2” (en peligro) para *Cephalocereus senilis* y “S4” (aparentemente seguro) para *Echinocactus platyacanthus*.

El primero, considera que la especie se encuentra “en peligro” con un alto riesgo de extinción o eliminación, dado que tiene un rango muy restringido, muy pocas poblaciones, fuertes descensos u otros factores. La categoría “Aparentemente seguro” enuncia que la especie es poco común pero no rara; sin embargo, puede convertirse en

alguna causa de preocupación a largo plazo debido a disminuciones en las poblaciones y otros factores relacionados.

Rank Calculator Form								
Remember to adopt a moderate attitude, taking care to identify the most likely plausible range of values, excluding extreme or unlikely values.								
Change to return GRanks, NRanks, or S-Ranks:		S	change using dropdown; also affects Calculator Table					
Factor Groups with Weights	Minimum factors categories	Enter values below, text in off-white and light-green cells and dropdowns in yellow and blue cells. Scroll down in dropdowns for additional choices.						
		To clear an individual value, put your cursor in the drop-down cell and press Delete.						
		Species or Ecosystem Scientific Name		Cephalocereus senilis			COMMENTS (Place cursor in cell to see full text.)	
		Type (enter "Infraspecies" for a T-Rank)		Species				
		Spatial Pattern (for ecosystems only)		Unknown				
		Optional Information: Element ID		global, national, or subnational				
		Elcode						
		Common Name		Viejito, órgano viejo real (NOM-059)				
		Classification		Vascular Plant				
		Nation or Subnation (for N- or S-Ranks)						
Barity weight: 0.7	X Abund./Cond.	Range/Distr.	1	Range Extent	C	C = 250-1,000 sq km (~100-400 sq mi)		96,000 Ha de la RBBM
			2	Area of Occupancy:	B	FILL OUT ONLY 1 OF FOLLOWING 3 FIELDS	El área de ocupación de la especie, de acuerdo con el mapa de uso de suelo y vegetación 2017.	
				Direct estimate (ecosystems) OR	B	B = 1-5 km ²	El viejito se encuentra en gran parte del polígono de la reserva y se identifica bajo los	
				4 km ² grid cells (species)				
				1 km ² grid cells (linear species)				
				Number of Occurrences	D	D = 81 - 300	De acuerdo con el muestreo realizado en 5	
X	Abund./Cond.	Range/Distr.	2	Population Size*				
			2	Good Viability/Ecological Integrity:	E	FILL OUT ONLY 1 OF FOLLOWING 2 FIELDS	Guadalupe Martínez, J., Sánchez, E. & Bárcenas Luna, R. 2013. Cephalocereus senilis. The IUCN	
				Number of Occurrences OR			Red List of Threatened Species 2013:	
				Percent of Area Occupied	E	E = Good percent (21-40%) of area with excellent or good viab		
X	Threats	0.3	Range/Distr.	1	Assigned Overall Threat Impact	B	B = High	No existen grandes amenazas de tipo
					Calculated Overall Threat Impact		B = High	
				1	Intrinsic Vulnerability (opt.)	B	B = Moderately vulnerable	Aunque no existe presión antropogénica, se
X	Trends	0.3	Range/Distr.	2	Short-term Trend	G	G = Relatively Stable (<=10% change)	**Verificar NDVI en imágenes de satélite años
				1	Long-term Trend	H	H = Increase of 10 - 25%	**Verificar NDVI en imágenes de satélite años
Minimum factors requirement met? #####								
Calculated Rank		S1	Always review the calculated rank.					
Assigned Rank**		S2	Adjusted Rank					
Rank Adjustment Reasons		De acuerdo con la clasificación de la lista roja, se encuentra En peligro (EN)						
Assigned Rank Reasons		El viejito es una especie prioritaria para la conservación, se encuentra listada en la NOM-059 SEMARNAT (2010) bajo la categoría de amenazada (A) que son Aquellas que podrían llegar a encontrarse en peligro de desaparecer a corto p						
Rank Factor Ratings Author								
Rank Factor Ratings Date		1-Oct-2018 Enter Ctrl-semicolon (;) for today's date.						
Rank Assignment Author								
Rank Review Date		1-Oct-2018 Enter Ctrl-semicolon (;) for today's date.						
Rank Calculator Internal Notes								

Figura 8. Hoja de cálculo con datos de *Cephalocereus senilis* para asignar rangos de conservación

Estos rangos indicarían que ambas especies estarían en un peligro crítico de desaparecer dentro de la Reserva pero la metodología propone que los rangos obtenidos pueden ser ajustados a criterio del evaluador. Para ajustar las calificaciones de los rangos de conservación se consideró el cálculo arrojado por la calculadora y las categorías de la Lista Roja de la IUCN (2017) y de la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, además de la importancia de conservación de ambas especies desde distintos enfoques (biológicos, turísticos, culturales), las normas de conservación del área y los objetivos del presente estudio.

Se consultó también al personal de la Reserva y se consideraron las percepciones en los recorridos de campo y muestreos. El tiempo que tiene decretada la RBBM de 18 años, durante los cuales se han llevado a cabo programas de capacitación con los habitantes de la reserva, se ha incrementado la vigilancia, tienen viveros para la venta de especie, además durante los recorridos de campo se observó poca perturbación humana en los hábitats naturales visitados.

Los rangos sugeridos al tomar estas consideraciones son: **S2” (en peligro)** para *Cephalocereus senilis* y **“S4” (aparentemente seguro)** para *Echinocactus platyacanthus*. Estas clasificaciones dadas por NatureServe son homólogas a las propuestas por la UICN, en el caso de *Cephalocereus senilis*, corresponde la categoría “en peligro” (EN) y para *Echinocactus platyacanthus* la clase “casi amenazado” (NT).

7.2.2 Evaluación de indicador del estado del suelo

El concepto de calidad de suelo según Doran y Parkin (1994) puede definirse como: “la capacidad del suelo para sostener una productividad biológica, funcionando dentro de los límites del ecosistema, manteniendo la calidad del ambiente y promoviendo la salud de las plantas y animales”. Algunos autores utilizan los términos calidad y salud como sinónimos, mientras que otros hacen cierta diferenciación de los conceptos al describir a la calidad como la condición natural de los suelos y a la salud como el grado de mantenimiento de esa calidad (Moscatelli & Iruiria, 2006).

En este sentido, Halvorson (1997) asevera que las propiedades que definirían la calidad del suelo deben ser medibles en forma de atributos; asimismo ésta no puede caracterizarse con un solo parámetro, sino que debe ser evaluada en función de distintas propiedades físicas, químicas y biológicas independientes y/o correlacionadas, que pueden variar tanto a escala espacial como temporal (Halvorson, et al., 1997). Se sabe que no existe un solo arreglo para la selección de indicadores que permita una caracterización y monitoreo de la calidad del suelo específica (Wander & Bollero, 1999) dado que éstos no son universales, sino que deben ser elegidos en función del tipo de

ambiente, del suelo bajo estudio y por supuesto al nivel de percepción o análisis (Cantú, 2002).

De acuerdo con Siebe (2003) las características de los suelos de un área específica determinan las funciones que pueden desarrollar, definen sus usos potenciales y son la base para establecer las prácticas de manejo que llevarán a su aprovechamiento óptimo, por lo que el suelo es un componente crucial para definir el plan de manejo de cualquier territorio (Siebe, et al., 2003).

Como herramienta de planeación, la evaluación de la calidad de suelos se centra en la dinámica entre las propiedades y los procesos edáficos y de igual forma, será de importancia para evaluar la eficiencia de las prácticas de manejo, por lo que puede ser aplicada para estructurar metas prioritarias, identificar las funciones críticas del suelo necesarias para lograr esas metas y seleccionar indicadores que provean información útil para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo durante un período dado (Gil-Stores, et al., 2005).

Bajo la premisa de que el potencial de un suelo es el resultado de la interacción de las diversas propiedades (físicas y químicas) que posee, Doran (1996) establece que los mejores indicadores serán aquellas propiedades que influyan significativamente sobre la capacidad del suelo para proveer cada función (Doran, et al., 1996). En ese sentido, una propiedad puede ser simultáneamente relevante en varios atributos o funciones que desempeñe un suelo en particular (Navarrete Segueda, 2011).

Así también, Navarrete (2011) recomienda que junto con las propiedades fisicoquímicas y morfológicas de los suelos, se integren variables morfológicas como son la identificación de procesos geomorfológicos (tipos de erosión, procesos gravitacionales), las características morfométricas del relieve (geometría de la porción de ladera); así como de altitud, pendiente y orientación del relieve, ya que estos datos permitirán la delimitación de unidades de paisaje con características relativamente homogéneas.

7.2.2.1 Cálculo de indicadores de calidad del suelo

El valor deseable de pH fue establecido de acuerdo con el promedio de los valores obtenidos en laboratorio y considerando que la especie *Cephalocereus senilis* se desarrolla en pH neutros (entre 7.5 y 7.6). La densidad aparente mínima corresponde al promedio de los valores medidos en las muestras de suelos tomadas en todos los sitios.

Tabla 11. Valores de referencia y valores hipotéticos para la normalización de variables en la generación de índices de calidad de suelos.

VARIABLE	Unidad de medida	Valores de referencia		Valores hipotéticos
		Máximo	Mínimo	deseables
Nitrógeno	%	5.09	1.21	2.7
Capacidad de Intercambio Catiónico	cmol/kg	68.00	12.04	22.8
Carbono orgánico	%	5.23	0.37	1.7
pH		7.90	7.40	7.7
Densidad aparente	gr/cm ³	1.28	0.96	1.1
Carbonatos de calcio	%	45.93	14.44	35.0
Limos	%	67.72	30.69	53.4
Conductividad eléctrica	dS/m	1.29	0.46	0.7
Magnesio	cmol/kg	24.44	0.30	9.7
Arenas	%	56.92	4.67	21.6
Calcio	cmol/kg	95.89	13.96	
Arcillas	%	45.11	12.00	30.0
Sodio	cmol/kg	0.84	0.33	0.5
Fósforo	mg/kg	21.14	2.70	5.0
Potasio	cmol/kg	11.87	0.70	1.74

Para el cálculo de valor de las propiedades del suelo se aplicaron las fórmulas para valor máximo y mínimo (Cantú, 2007) para cada variable por ejemplo: el rango para materia orgánica deseable se encuentra entre 1.21 y 5.09, así el valor obtenido de las 16 muestras resulta en 2.67 al aplicar la fórmula $V_n = (I_m - I_{min}) / (I_{max} - I_{min})$.

Finalmente, se estableció un índice de calidad de suelos (ICS) promediando los valores de todos los indicadores. Para la interpretación del ICS se utilizó una escala de

transformación en cinco clases de calidad de suelo de 1 a 5 (Tabla 12) de acuerdo con la propuesta reportada por Cantú et al. (2007).

Tabla 12. Indicadores e índice de calidad del suelo para unidades de degradación de la RBBM.

VARIABLE	VALOR	CLASE DE CALIDAD	ICS
%N	0.2	4	BAJA
CIC	0.1	5	MUY BAJA
%CO	0.3	4	BAJA
pH	0.8	1	MUY ALTA
Dap	0.6	2	ALTA
%CaCO ₃	0.5	3	MODERADA
%L	0.2	4	BAJA
CE (dS/m)	0.4	3	MODERADA
Mg cmol/kg	0.4	3	MODERADA
%A	0.1	5	MUY BAJA
Ca cmol/kg	0.2	4	BAJA
%R	0.5	3	MODERADA
Na cmol/kg	0.7	2	ALTA
P mg/kg	0.1	5	MUY BAJA
K cmol/kg	0.6	2	ALTA
PROMEDIO	0.4	3.3	
Índice de Calidad del Suelo	0.4	3	MODERADA

%N: Porcentaje de nitrógeno, CIC: capacidad de intercambio catiónico, %CO: porcentaje de carbono orgánico, Dap: Densidad aparente, %CaCO₃: Porcentaje de carbonatos totales, %L: porcentaje de limo, CE: conductividad eléctrica, Mg: Magnesio, %A: porcentaje de arena, Ca: calcio, %R: porcentaje de arcilla, Na: sodio, P: fósforo, K: potasio.

Tabla 13. Clases de calidad de suelo. Tomado de Cantú et. al., 2007.

Índice de calidad de suelo	Escala	Clases
Muy alta	0.8 – 1.0	1
Alta	0.60 – 0.79	2
Moderada	0.40 – 0.59	3
Baja	0.20 – 0.39	4
Muy baja	0.0 – 0.19	5

7.2.3 Determinación del índice de integridad ecológica para la RBBM

7.2.3.1 Integración de la matriz de atributos ecológicos e indicadores clave

Una vez seleccionados los atributos ecológicos clave, la categoría a la que pertenecen y sus indicadores, se determinaron los parámetros específicos a estimar para la evaluación. Esta información se integró en una matriz en Excel, la cual consta de los campos que se muestran en la Tabla 8.

Se determinaron las áreas mínimas de extensión para *Cephalocereus senilis*, considerando el área de ocupación a nivel global (IUCN, 2015) como el rango de variación permisible para el indicador “abundancia de la especie” de su AEC. Para el caso de *Echinacactus platyacanthus* se determinó que el rango de variación correspondería a la densidad de población, tomando como referencia la reportada por Goettsch (2007). Finalmente, las clases de calidad de suelo fueron utilizadas como referencia para determinar los rangos de variación permisible para el indicador “condición del suelo” para ambos objetos.

El recurso suelo fue evaluado a través de los AEC “sitios degradados” con el indicador “porcentaje de áreas degradadas” y el indicador “calidad del suelo”. El primero fue evaluado y determinado conforme a la metodología utilizada en la “Memoria Nacional de Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la república mexicana” (SEMARNAT, 2001), que a su vez se basa en la metodología ASSOD (Van Lyden & Oldeman, 1997); el segundo se generó con el método propuesto por Cantú (2007) para evaluar la calidad de los suelos mediante el desarrollo y aplicación de un “set mínimo” de índices e indicadores.

Tabla 14. Matriz para la calificación hipotética de los objetos de conservación, sus atributos ecológicos clave, indicadores y la integridad ecológica de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán (Adaptado de Herrera y Corrales 2006).

Objeto de conservación	Atributo ecológico clave	Categoría	Indicador	Rango de variación permisible			
				Pobre	Regular	Bueno	Muy bueno
<i>Cephalocereus senilis</i>	Abundancia de la especie	Tamaño	Área total de distribución dentro de la RBBM	Menor a 210 km ²	210-1000km ²	1000-2100 km ²	Mayor a 2100 km ²
	Condición del suelo	Condición	Calidad del suelo	Muy baja	Baja	Moderada	Alta
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Abundancia de la especie	Tamaño	Densidad de la población	<5 individuos/ha	5 a 10	10 a 15	>20 individuos/ha
	Condición del suelo	Condición	Calidad del suelo	Muy baja	Baja	Moderada	Alta
Suelo	Sitios degradados	Condición	Porcentaje de áreas degradadas	Mayor al 50%	30- 50%	10-30 %	Menor a 10 %
	Calidad del suelo	Condición	Indicador de calidad del suelo	Muy baja	Baja	Moderada	Alta

7.2.3.2 Calificación de indicadores

Una vez seleccionados los atributos e indicadores y con base en el análisis de literatura y opinión experta sobre los rangos de variación esperados para cada indicador, se hizo una valoración de los indicadores conforme a criterios establecidos por TNC (2000) y se utilizó el sistema de calificación basado en el propuesto por Parrish (2003) que representa una guía para la interpretación de la integridad ecológica y ha sido aplicado en evaluaciones en áreas protegidas de centro américa (SINAC, 2016).

Este paso incluye dos fases: 1) Reunir y analizar los datos relevantes para el monitoreo de cada indicador; 2) Determinar la categoría apropiada para cada indicador conforme a los datos recabados anteriormente. Este último paso es un componente fundamental en la medición del éxito en la conservación, que además permitirá establecer una línea base para posteriores evaluaciones y monitoreo.

La calificación de cada indicador se realizó utilizando las categorías y valores que se detallan en el la tabla 9, siguiendo un sistema de valoración en donde la calificación máxima (óptimo) corresponde a un estado del objeto con al menos el 85% de su indicador

en un estado deseable; de lo contrario, la calificación más baja señala que el indicador se encuentra dentro de un rango muy reducido, por lo que el objeto se encontraría en riesgo. Para cada categoría se asigna un valor numérico (Tabla 10), que permitirá calcular promedios para facilitar la evaluación posterior.

Tabla 15. Sistema de valoración para cada indicador de integridad ecológica. Adaptado de Alianza México REDD+

Calificación	Valor	Descripción
Óptimo	>85 %	El indicador se encuentra en un estado ecológicamente deseable, requiriéndose poca intervención humana para el mantenimiento de los rangos naturales de variación.
Bueno	60 – 85%	El indicador se encuentra dentro de un rango de variación aceptable, aunque puede requerirse alguna intervención humana para su mantenimiento.
Regular	40 – 60%	El indicador se encuentra fuera del rango de variación aceptable y requiere intervención humana para su mantenimiento. Si no se da seguimiento, el ecosistema será vulnerable a una degradación severa.
Pobre	<40%	Si se permite que el indicador se mantenga en esta categoría, en el largo plazo hará que la restauración o prevención de desaparición del ecosistema sea prácticamente imposible (complicado, costoso y con poca certeza para revertir el proceso de alteración).

Tabla 16. Calificación de cada indicador y el valor a asignar

Calificación	Valor	Descripción
Muy bueno (Óptimo)	4	El indicador se encuentra en un estado ecológicamente deseable, requiriéndose poca intervención humana para el mantenimiento de los rangos naturales de variación
Bueno	3.5	El indicador se encuentra dentro de un rango de variación aceptable, aunque puede requerirse alguna intervención del hombre para su mantenimiento
Regular	2.5	El indicador se encuentra fuera del rango de variación aceptable y requiere intervención humana para su mantenimiento, el objeto de conservación será vulnerable a una degradación severa
Pobre	1.0	Si se permite que el indicador se mantenga en esta categoría en el largo plazo hará la restauración o prevención de desaparición del objeto de conservación prácticamente imposible (ej. Complicado, costoso y con poca certeza para revertir el proceso de alteración).

Una vez realizada la calificación de los indicadores, se procede a estimar, para cada elemento de conservación, el promedio simple de los indicadores que lo describen, utilizando los valores numéricos asignados en el procedimiento anterior (Tabla 11). Este valor se compara con los valores del cuadro de escalas de calificación de cada elemento de conservación, de acuerdo al promedio simple de los respectivos indicadores y se designa así la respectiva categoría, la cual corresponde al estado en que se encuentra cada objeto de conservación individualmente.

Tabla 17. Calificación de cada elemento de conservación de acuerdo al promedio simple de los respectivos indicadores

Valor	Categoría
≥ 3.75	Muy Bueno (Óptimo)
3.0 – 3.74	Bueno
1.75 – 2.99	Regular
< 1.75	Pobre

7.2.3.3 Calificación para el área protegida: indicador de integridad ecológica en la metodología de evaluación de efectividad de manejo

Para generar una estimación de la integridad ecológica del área protegida, se calculó el promedio simple de los valores correspondientes de cada objeto de conservación. El valor obtenido se comparó con la escala establecida en la metodología propuesta por The Nature Conservancy (2000), tomada por Herrera & Corrales (2004), que corresponde a la calificación para el área natural protegida de acuerdo al promedio simple de los elementos de conservación y se enmarca dentro de algún criterio señalado dentro de esta clasificación (Tabla 12), asignándose de esta forma un valor único para el área protegida bajo análisis, mediante un indicador con una escala nominal de 1 a 5, lo cual es consecuente con el sistema de calificaciones utilizadas en las metodologías de evaluación de la efectividad del manejo utilizadas en el Sistema Centroamericano de Áreas Protegidas (SICAP) (Herrera & Corrales, 2004).

Tabla 18. Calificación para el área protegida de acuerdo al promedio simple de los objetos de conservación

Rango	Valor indicador para el Área Protegida	Descripción
> = 3.75	5	La integridad ecológica del Área Protegida se encuentra en un estado ecológicamente deseable, requiriéndose poca intervención humana para el mantenimiento de los rangos naturales de variación
3.0 - 3.74	4	La integridad ecológica del Área Protegida se encuentra en un estado ecológicamente deseable, requiriéndose poca intervención humana para el mantenimiento de los rangos naturales de variación
1.75 - 2.99	3	La integridad ecológica del Área Protegida se encuentra en un estado ecológicamente deseable, requiriéndose poca intervención humana para el mantenimiento de los rangos naturales de variación
< 1.75	2	Se permite que la integridad ecológica se mantenga en esta categoría, en el largo plazo hará la restauración o prevención de desaparición del objeto de conservación prácticamente imposible (Ej. Complicado, costoso y con poca certeza para revertir el proceso de alteración).
0	1	La evaluación no se ha realizado, por lo que es posible que los objetos de conservación se encuentren en estado crítico, y por lo tanto la integridad del Área Protegida también.

Los resultados se presentan en la matriz para la calificación de los objetos de conservación, sus atributos ecológicos clave, indicadores y para integridad ecológica (Tabla 13). De acuerdo con la evaluación, la calificación final derivada del promedio simple de los objetos de conservación es de 3.3, que corresponde con el valor 3 de la escala numérica que evalúa a la ANP, la cual hace referencia a que “la integridad ecológica del Área Natural Protegida se encuentra en un estado ecológicamente deseable, requiriéndose poca intervención humana para el mantenimiento de los rangos naturales de variación”.

Tabla 19. Matriz para la calificación hipotética de los objetos de conservación, sus atributos ecológicos clave, indicadores y la integridad ecológica de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán (Elaboración propia, adaptado de Herrera y Corrales, 2006).

Objeto de conservación	Atributo ecológico clave	Categoría	Indicador	Rango de variación permisible				Calificación actual	
				Pobre	Regular	Bueno	Muy bueno	Valor	
<i>Cephalocereus senilis</i>	Abundancia de la especie	Tamaño	Área total de distribución dentro de la RBBM	Menor a 210 km ²	210-1000km ²	1000-2100 km ²	Mayor a 2100 km ²	2.5	
	Condición del suelo	Condición	Calidad del suelo	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	3.5	
<i>Echinocactus platyacanthus</i>	Abundancia de la especie	Tamaño	Densidad de la población	<5 individuos/ha	5 a 10	10 a 15	>20 individuos/ha	3.5	
	Condición del suelo	Condición	Calidad del suelo	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	3.5	
Suelo	Sitios degradados	Condición	Porcentaje de áreas degradadas	Mayor al 50%	30- 50%	10-30 %	Menor a 10 %	3.5	
	Calidad del suelo	Condición	Indicador de calidad del suelo	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	3.5	
				Promedio simple que evalúa al objeto de conservación				Viejito	3
								Suelo	3.5
Promedio del ANP								3.3	

8. CONCLUSIONES

La investigación reportada en el presente estudio se basó en la identificación y evaluación de la integridad ecológica de dos objetos de conservación (*Cephalocereus senilis* y *Echinocactus platyacanthus*), las cuales guardan importancia desde varios puntos de vista que incluyen: biológico-ambiental, al ser dos especies catalogadas en peligro y bajo criterios de protección especial; en el caso particular de *Cephalocereus senilis*, la RBBM representa una de las áreas con mayor abundancia a nivel global (IUCN,2017); así también cobran importancia en los aspectos escénico y paisajístico, siendo un ecosistema con vegetación representativa de las zonas áridas del país.

Esta evaluación se realizó a través de la identificación, estimación y valoración de Atributos Ecológicos Clave (AEC), que sirvieron como referencia para determinar el estado de los objetos de conservación, a través de la metodología que propone The Nature Conservancy, (TNC, 2000) para evaluar áreas protegidas. Éste método es un proceso flexible, que puede ser adaptado conforme a los objetivos y necesidades de las ANP; así también busca facilitar los procesos de toma de decisiones, al conocerse el estado de los recursos naturales del área y puntualizar en aquellos que, en esencia resulta ser prioritaria su conservación, mediante una justificación técnica.

La recopilación de información y el proceso de identificación y evaluación de objetos de conservación, atributos ecológicos clave e indicadores fueron participativos, a través de talleres y recorridos de campo. Para la identificación de objetos de conservación fue necesario generar un mapa de uso del suelo y vegetación con un enfoque de SIG participativo, pues los tipos de vegetación manejados por el personal de la Reserva diferían de la información oficial de INEGI. Se identificaron 7 tipos de vegetación. El tipo de vegetación dominante fue matorral sub montano con diferentes grados de densidad.

Los objetos de conservación identificados por los participantes en los talleres y recorridos de campo incluyeron especies como el órgano dorado (*Neobuxbaumia polylopha*), órgano cimarrón (*Stenocereus dumortieri*), biznaga gigante (*Echinocactus platyacanthus*), viejito (*Cephalocereus senilis*) y orquídeas (*Laelia gouldiana*, *Laelia*

speciosa, *Laelia anceps*), que toman notoriedad desde criterios ecológicos y ambientales; no obstante se identificaron otros objetos bajo otros criterios, como son el interés por su uso tradicional: tzompantli, palo mulato (*Bursera simaruba*), por su importancia en términos de conservación como son las aves migratorias que son avistadas en la laguna de Metztlán, que también toma relevancia al ser un sitio RAMSAR; y por importancia biogeográfica, como es el caso de la *Sellaginela*. Lo anterior indica que a nivel regional se deben considerar otros objetos de conservación que no están incluidos en normas oficiales pero que son importantes a nivel regional.

Es necesario resaltar la importancia que tiene la investigación biológica y ambiental dentro de las áreas naturales protegidas, dado que ésta debe ser considerada la principal causa por la que las áreas son declaradas como tal, sin información no sabremos lo que se está protegiendo. De igual forma hay que destacar que la obtención de dichos datos debe estar planificada considerando que serán utilizados para este tipo de evaluaciones.

El hecho de poder focalizar los esfuerzos en las áreas protegidas sobre un número limitado pero importante de elementos de conservación y una serie manejable de atributos ecológicos clave medidos por medio de un número de indicadores, facilita el desarrollo de un plan de monitoreo biológico, realzando la importancia de este componente dentro del manejo del área protegida (A3K-CONAP, 2006).

Ante la declaración de ANP's por su alto grado de diversidad biológica, hay que recordar que éstas no son "intocables" y deben ser manejadas adecuadamente para incrementar las tendencias de conservación, por lo que la valoración del estado en que se encuentran los ecosistemas de que se componen, es una herramienta esencial para originar planes y programas de manejo; es entonces que el concepto de "integridad ecológica" y todo lo que conlleva su evaluación cobra sentido como una de estas herramientas.

Para analizar la integridad ecológica se necesita contar con una línea base o valor de referencia del ecosistema de interés, en algunos casos esta información ya ha sido

generada, pero de lo contrario, las primeras evaluaciones que se realicen utilizando esta propuesta metodológica permitirán generar dicha línea base, a partir de la cual se haría el monitoreo de mediano y largo plazo.

Es necesario resaltar que no existe una metodología perfecta para evaluar la integridad ecológica de un área, dado que los sistemas socio-ambientales que componen las ANP´s son dinámicos y por lo tanto es necesario adaptarse a los cambios. En este sentido, la metodología para evaluar integridad ecológica puede ser revisada y mejorada periódicamente tomando en cuenta los cambios ambientales, políticos y económicos que demanden un análisis más profundo de determinado atributo ecológico clave (Macías Caballero, et al., 2014), considerando también que las áreas protegidas están sujetas al cumplimiento de las metas de conservación representadas en sus programas de manejo.

Finalmente la identificación y evaluación de la integridad ecológica de dos objetos de conservación (*Cephalocereus senilis* y *Echinocactus platyacanthus*) con importancia biológico-ambiental, que se encuentran amenazadas y bajo criterios de protección especial y un objeto como el recurso suelo, cuyas variaciones suelen ser más difíciles de evidenciar en escalas espacio-temporales, resulta útil para estudiar las relaciones e interacciones entre los mismos, con la finalidad de establecer prioridades en las tareas de planeación para la conservación dentro de Áreas Naturales Protegidas.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios edafológicos específicos, a una escala local para cumplir con el requerimiento de datos concretos para las evaluaciones de índices de calidad del suelo.
- Realizar un estudio detallado de tendencias de uso del suelo actuales dentro del polígono de la Reserva.
- Monitoreo constante de los elementos de conservación, en el período de al menos un año, con la finalidad de alcanzar mayor especificidad en los datos que se obtengan y valorar si existen cambios significativos.
- Capacitación de personal administrativo para monitoreo de la condición recursos naturales.
- Capacitación más profunda del personal sobre temas de integridad ecológica.

10. Bibliografía

- A3K-CONAP, 2006. Evaluación y Monitoreo de la Integridad Ecológica en Áreas Protegidas: Aplicación metodológica piloto en 4 Áreas Protegidas, Guatemala: Fondo Nacional para la Conservación de la Naturaleza.
- Angermeier, P., & Karr, J., 1994. Biological integrity versus biological diversity as policy directives. *Bioscience*, 44(10), 690 - 697.
- Bravo- Hollis, H., 1978. Las cactáceas de México, Vol.1. México: UNAM.
- Cantú, M., Becker, A., Bedano, J. & Schiavo, H., 2007. Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ciencia del suelo*, 2(25), pp. 173-178.
- Carey, C., Niguel, D. & Stolton, S., 2000. SQUANDERING PARADISE? The importance and vulnerability of the world's protected areas, Gland, Switzerland: World Wildlife Found.
- Chambers, R., 2006. Participatory mapping and Geographic Information Systems: Whose map?, Who is empowered and who disempowered?, Who gains and who loses?. *The Electronic Journal on Information Systems in Developing Countries*, 2(25), pp. 1-11.
- Civeira, G., Paladino, I. & Irigoín, J., 2011. Indicadores de calidad de suelos en distintas series de la región pampeana, Buenos Aires: INTA.
- Coates-Estrada., R. & Estrada, A., 1986. Manual de identificación de campo de los mamíferos de la Estación de Biología Tropical "Los Tuxtlas". D.F.(México): Instituto de Biología, UNAM.
- CONANP, 2003. Programa de Manejo de la Reserva de la Biósfera Barranca de Metztitlán. Ciudad de México: CONANP.
- Del Castillo, R. & Trujillo, S., 1991. Ethnobotany of *Ferocactus histrix* and *Echinocactus platyacanthus* (Cactaceae) in the semiarid central Mexico: past, present and future.. *Economic Botany*, Issue 45, pp. 395-402.
- Doak, D. y otros, 1998. The statistical inevitability of stability-diversity relationships in community ecology.. *The American Naturalist*, pp. 264-276.
- DOF, 2000. Reglamento de la Ley general del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de Áreas Naturales protegidas. México, D.F.: Diario Oficial de la Federación.
- Doran , J. & Parkin, T., 1994. Defining and Assesing Soil Quality en Defining Soil Quality for a Sustainable Environment. Madison(Wisconsin): Soil Science Society of America.

- Doran, J. & Parkin, T., 1996. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. En: J. W. D. & A. J. Jones, ed. Methods for assessing soil quality. Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, pp. 25-37.
- Doran, J. W. A., Sarrantonio, A. & Liebig., M. A., 1996. Soil health and sustainability. Advances in Agronomy, Issue 56, pp. 1-54.
- Ervin, J., 2003. Protected Area Assessments in Perspective. BioScience, pp. 819-822.
- Ervin, J., 2003. Rapid Assessment of Protected Area Management Effectiveness in Four Countries. BioScience, pp. 833-841.
- Faber-Langendoen, D. y otros, 2012. NatureServe. Arlington, VA.: NatureServe.
- FIDA, 2010. El enfoque adaptativo del FIDA relativo a la cartografía participativa: diseño y ejecución de proyectos de cartografía participativa, Roma, Italia: Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola.
- Flores, V. O. & P. Gerez, 1988. Conservación en México. Síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso de suelo. México: INIREB.
- García Mora, T. J. & Mas, J.-F., 2008. Comparación de metodologías para el mapeo de la cobertura y uso del suelo del sureste de México. Investigación Geográficas, Issue 67.
- GBIF Secretariat, 2017. *Cephalocereus senilis* Pfeiff. [En línea] <https://doi.org/10.15468/39omei>
- Geilfus, F., 2002. 80 herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. San José, Costa Rica: IICA.
- Ghimire, K. & Pimbert, M., 1997. Social change and conservation: an overview of issues and concepts. En: Social Change and conservation. London, England: Earthscan.
- Gil-Stores, F., Trasar-Cepeda, C., Leiros, M. C. & Seoane, S., 2005. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. Soil Biology and Biochemistry, Issue 37, pp. 877-887..
- Goettsch, B., 2007. Distribution modelling, macroecology and conservation: cacti of the Chihuahuan Desert Region., Sheffield: Animal and Plant Sciences, University of Sheffield. University of Sheffield..
- Goettsch, B., 2007. Distribution modelling, macroecology and conservation: cacti of the Chihuahuan Desert Region. Sheffield, South Yorkshire, England: University of Sheffield.
- Gómez-Hinostrosa, C. & Hernández, H., 2000. Diversity, geographical distribution, and conservation of Cactaceae in the Mier y Noriega region, Mexico.. Biodiversity and conservation, Issue 9, pp. 403-418.

- Granizo, T. y otros, 2006. Manual de Planificación para la Conservación de Áreas, PCA, Quito: The Nature Conservancy & USAID.
- Gross, J. E., Goetz, S. J. & Cihlar, J., 2009. Application of remote sensing to parks and protected area monitoring: Introduction to the special issue. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), pp. 1342-1345.
- Guadalupe Martínez, J., Sánchez, E. & Bárcenas Lu, R., 2013. *Cephalocereus senilis*. The IUCN Red List of Threatened Species. [En línea] <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2013-1.RLTS.T152158A604029.en>
- Halvorson, J., Smith, J. & Papendick, R., 1997. Issues of scale for evaluating soil quality. *Journal of Soil and Water Conservation*, Issue January-February, pp. 26-30.
- Hammerson, G. A., Schweitzer, D. & Maste, L., 2008. NatureServe Explorer. [En línea] Available at: <http://explorer.natureserve.org/eorankguide.htm> .
- Hernández, H., Cházaro, M. & Gómez-Hinostrosa, C., 2017. *Echinocactus platyacanthus* (amended version of 2013 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2017. [En línea] <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2017-3.RLTS.T152537A121477917.en>
- Hernández, H. M., Gómez Hinostrosa, C. & Bárcenas, R., 2001. Diversity, spatial arrangement, and endemism of Cactaceae in the Huizache area, a hot-spot in the Chihuahuan Desert. *Biodiversity and Conservation*, Issue 10, p. 1097–1112.
- Herrera F., B. & Corrales, L., 2004. Manual para la evaluación y monitoreo de la integridad ecológica en áreas de Centro América, Costa Rica: PROARCA/APM.
- Herrera, B. & Corrales, L., 2004. Metodología para la selección de criterios e indicadores y análisis de verificadores para la evaluación del manejo fore, Guatemala: Institut de agricultura, Recursos Naturales y Ambiente.
- Herrera, B. & Corrales, L., 2004. Midiendo el éxito de las acciones en las áreas protegidas de Centroamérica: Evaluación y Monitoreo de la Integridad Ecológica.. Guatemala de la Asunción: PROARCA/APM.
- INEGI, 2015. Guía para la interpretación de cartografía. Uso del suelo y vegetación: escala 1:250,000, serie V. Aguascalientes, Aguascalientes: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- IUCN, 2012. IUCN Red List Categories and Criteria: Version 3.1. Second edition., Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN.
- Jiménez Sierra, C. & Eguiarte, L., 2010. Candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus* Link & Otto): a traditional plant resource in Mexico subject to uncontrolled extraction and browsing.. *Economic Botany*, Issue 64, pp. 99-108.

- Jiménez Sierra, C., Mandujano, M. & Eguiarte, L., 2007. Are populations of the candy barrel cactus (*Echinocactus platyacanthus*) in the desert of Tehuacán, Mexico at risk? Population projection matrix and life table response analysis.. *Biological Conservation*, Issue 135, pp. 278-292.
- King, A. W., 1993. *Considerations of Scale and Hierarchy*. Delay Beach(Florida): G. St. Lucie Press.
- Little, P., 1994. The link between participation and improved conservation: a review of issues and experiences. En: *Perspectives in community based conservation*. Washington, USA: Island Press, pp. 347-372.
- Macías Caballero, C. y otros, 2014. Diseño de protocolos de monitoreo para estimar la integridad ecológica en selvas y bosques de sitios prioritarios de la Alianza México REDD+, México, D.F.: The Nature Conservancy.
- Manzo, F. & Lopez, G., 2011. El proceso de colaboración en la extensión rural y la educación de adultos. Texcoco, México: Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo.
- Mas, J.-F., 2005. ASSESSING PROTECTED AREA EFFECTIVENESS USING SURROUNDING (BUFFER) AREAS ENVIRONMENTALLY SIMILAR TO THE TARGET AREA. *Environmental Monitoring and Assessment*, p. 12.
- Master, L. L. y otros, 2012. *NatureServe Conservation Status Assessments: Factors for Evaluating Species and Ecosystem Risk.*, Arlington, VA: NatureServe.
- Morrison, C., 2007. *Ecological Integrity in the Core Areas of Clayoquot Sound Biosphere Reserve and the Threat of Adjacent Land Use*, Canada: s.n.
- Moscatelli, G. & Irurtia, C., 2006. Medición práctica de indicadores de salud edáfica. Rosario, Argentina, INTA, pp. 99-104.
- NatureServe, 2013. Vista User's manual from Vista On-line help. [En línea] www.natureserve.org .
- NatureServe, 2015. *NatureServe Conservation Status Assessments: Rank Calculator Version 3.186.*. Arlington, VA.: NatureServe.
- Navarrete Segueda, A., 2011. Indicadores de calidad del suelo en matorral de *Quercus* spp, para la restauración ecológica del área natural protegida Sierra de Guadalupe, México. TESIS DE POSTGRADO. México, D.F.: UNAM.
- Ojeda Trejo, E. y otros, 2013. Sistemas de Información Geográficos Participativos. En: M. Escalona Maurice, Y. M. Fernández ordoñez & M. J. Jiménez Moreno, edits. *Aplicaciones de geomática en la región central de México (Cuenca de Metztitlán y Valle de México)*. Texcoco, Estado de México: Colegio de Postgraduados, pp. 121-152.

- Oldeman, L., 1988. Guidelines for General Assessment of the Status of Human- Induced Soil Degradation. s.l.:ISRIC.
- Parks Canada, 2006. National Parks of Canada Ecosystem management Inventory and Monitoring, Gatineau, Quebec: Parks Canada.
- Parrish, J., Braun, D. & Unnasch, R., 2003. Are we conserving what we say we are?: Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*, pp. 851-860.
- Pérez Cabello, F. & De la Riva Fernández, J., 1998. El empleo de imágenes Landsat TM para la detección y cartografía de áreas incendiadas en el preprineo occidental oscense. *Geographicalia*, Issue 36, pp. 131-145.
- Perry, D. & Amaranthus, M., 1997. Disturbance, Recovery and Stability. En: *Creating a Forestry for the 21st Century, The Science of Scosystem Management*. s.l.:Island Press.
- Pickett, S., Kolasa, J., Armesto, J. & Collins, S., 1989. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*, pp. 129-136.
- Poiani, K. A., Richter, B. D., Anderson, M. G. & Rochter, H. E., 2000. Biodiversity Conservation at Multiple Scales: Functional Sites, Landscapes, and. *BioScience*, 50(2), pp. 133-146.
- Pressey, R., Wish, G., Barrett, T. & watts, M., 2001. Effectiveness of protected areas in north-eastern New South Wales:. *Biological Conservation*.
- Puig, H., 1991. Vegetación de la Huasteca (México). Estudio fitogeográfico y ecológico, Xalapa, Veracruz. México: Instituto de Ecología.
- Reyes Santiago, J., Castro González, R., Mera Banda, S. & Brachet Ize, C., 2003. Nota sobre el establecimiento de un vivero rural para la propagación de cactáceas y suculentas en el Valle del Mezquital, Hidalgo. *cactáceas y suculentas mexicanas*, XLVIII(4), pp. 118-126.
- Riemann , H., Sántes- Álvarez, R. & Pombo, A., 2011. El papel de las áreas naturales protegidas en el desarrollo local. El caso de de Península de Baja California. *Gestión y Política Pública*, XX(I), pp. 141 - 172.
- Rodríguez Quiroz, G., Jiménez Sierra, C., Espitia Moreno, C., Barba Macías, E., Sosa Ramírez, J., Breceda, A., & Pinkus rendón, M. (2015). Prioridades a atender en Áreas Naturales Protegidas mexicanas, proyecto: 26954. Red temática CONACYT: Áreas Naturales Protegidas.
- Rodríguez Quiroz, G. y otros, s.f. Producto de prioridades a atender en Áreas Naturales Protegidas mexicanas. s.l.:Red temática Conacyt. Proyecto 269540 .
- Rzedowski , J., 2006. Vegetación de México. 1ra Edición digital. 1 ed. México: CONABIO.
- Rzedowski, J., 1965. Vegetación de México. Ciudad de México: Limusa.

- Salafsky, N. y otros, 2008. A standard lexicon for biodiversity conservation: unified classifications of threats and actions. *Conservation Biology*, Volumen 22, p. 897–911.
- Salas de León, S., García Mendoza, A., Reyes Agüero, J. & Villar Morales, C., 1999. Distribución geográfica y ecológica de la flora amenazada de extinción en la zona árida del estado de San Luis Potosí, México.. *Polibotánica*, Issue 10, pp. 1-21.
- Sánchez Mejorada, H., 1965. Los ferocactus de la Barranca de Metztlán, Hidalgo. *Cactáceas. Suculentas Mexicanas*, 10(3), pp. 61-72.
- SEMARNAT, 2001. Evaluación de la degradación del suelo causada por el hombre en la república mexicana. Escala 1:250,000, Montecillo, Texcoco. Estado de México. México: Colegio de Postgraduados.
- SEMARNAT, 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres- categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación.
- Siebe, C., Bocco, G., Sánchez, J. & Velázquez, A., 2003. Suelos: distribución, características y potencial de uso. En: SEMARNAT, ed. *Las enseñanzas de San Juan: Investigación participativa para el manejo integral de recursos naturales*. Ciudad de México: Instituto Nacional de Ecología, p. 595.
- SINAC, 2016. Marco conceptual y guía metodológica para la Integridad ecológica en Áreas Silvestres Protegidas de Costa Rica, San José, Costa Rica: Sistema Nacional de Áreas de Conservación.
- Soto, M. A. & Hágsater, E., 1990. Algunas ideas acerca de la conservación de las orquídeas mexicanas y un listado preliminar de los taxa amenazados. s.l.:s.n.
- Spies, T., 1997. *Forest Stand Structure, Composition and Function..* En: *Forestry for the 21st Century The Science of the Ecosystem Management*. s.l.:Island Press.
- The Nature Conservancy, 2000. Esquema de las cinco S* para la conservación de sitios: un manual de planificación para la conservación de sitios y la medición del éxito en la conservación. s.l.:s.n.
- UICN, 2012. *Categorías y Criterios de la Lista Roja de la UICN: Versión 3.1, Segunda Edición*. Gland, Suiza & Cambridge, Reino Unido: UICN.
- Van Lyden, G. W. J. & Oldeman, J. R., 1997. *he Assessment of the Human – Induced Soil Degradation in South and Southeast Asia..* Wageningen, Netherlands: International Soil Reference and Information Centre..
- Vázquez De la Torre, R. J., 2015. Metodología para ajustar clasificaciones supervisadas de imágenes satelitales, una contribución a la conservación del gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*).. D.F.: Facultad de Ingeniería, UNAM.

- Vélez Resptrepo, L. & Gómez Sal, A., 2008. Un marco conceptual y analítico para estimar la integridad ecológica a escala de paisaje. *Arbor*, Issue 729, pp. 31-44.
- Wander, M. & Bollero, G., 1999. Soil quality assessment of tillage impact in Illinois. *Soil Science Society of America Journal*, Issue 63, pp. 961-971.
- Wipond, K. & Dearden, P., 1998. *Obstacles to Maintaining Ecological Integrity in Pacific Rim National Park Reserve*, Wolfville: N.W.P. Munro and J.H.M. Willison.
- Zamudio R.; J. Rzedowski; G. Carranza; G. Calderón de Rzedowski. (1992), *La vegetación del estado de Querétaro*, Instituto de Ecología, Pátzcuaro, Michoacán, México.

ANEXOS

Anexo I. Tablas de resultados de análisis de laboratorio

Tabla 20. Resultados de análisis en laboratorio para las variables pH, conductividad eléctrica (CE), densidad aparente (Dap), porcentaje de carbono orgánico (%CO), porcentaje de materia orgánica (%MO), porcentaje de nitrógeno (%N) y Capacidad de Intercambio catiónico (CIC).

NO. MUESTRA	X	Y	SITIO	pH	CE	Dap	%CO	%MO	%N	CIC
1	535067	2262607	1	7.6	0.91	0.98	1.87	3.22	3.665	15.85
2	535088	2262576	1	7.7	0.76	1.14	2.69	4.63	2.261	14.84
3	535021	2262640	1	7.9	0.49	1.22	1.19	2.06	1.208	16.65
4	532660	2265087	2	7.8	0.67	1.22	1.05	1.80	1.460	20.46
5	532653	2265106	2	7.7	0.5	1.09	1.42	2.45	1.615	30.09
6	532660	2265096	2	7.6	0.66	1.11	2.16	3.73	2.570	16.05
7	526970	2277780	3	7.7	1.22	1.28	2.31	3.99	1.910	16.45
8	526970	2277772	3	7.6	1.29	1.04	0.37	0.64	5.090	26.28
9	526985	2277774	3	7.6	0.82	1.11	2.24	3.86	4.468	23.27
10	520106	2281442	4	7.8	0.65	1.04	1.34	2.32	1.881	18.25
11	520111	2281451	4	7.8	0.57	1.19	0.67	1.16	1.414	15.85
12	520116	2281446	4	7.9	0.67	1.16	0.82	1.42	1.654	12.04
13	517993	2288135	5	7.8	0.46	1.06	1.49	2.57	2.616	24.07
14	517997	2288160	5	7.7	0.56	1.00	1.64	2.83	2.927	23.07
15	517905	2288156	5	7.4	0.73	1.06	0.75	1.29	3.139	22.87
16	516793	2272870	6	7.5	0.55	0.96	5.23	9.01	4.921	68.00

Tabla 21. Resultados de análisis en laboratorio para las variables Porcentaje de Saturación de Bases (PSB), contenido de sodio (Na), potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), fósforo (P) y porcentaje de carbonatos de calcio (%CaCO³).

NO. MUESTRA	X	Y	SITIO	Na	K	Ca	Mg	PSB	P	%CaCO ³
1	535067	2262607	1	0.84	0.99	40.20	14.09	100	7.68	34.21
2	535088	2262576	1	0.33	0.76	21.75	3.44	100	2.83	30.23
3	535021	2262640	1	0.54	0.97	33.76	19.71	100	2.70	44.01
4	532660	2265087	2	0.38	0.90	15.78	14.69	100	4.65	44.19
5	532653	2265106	2	0.45	0.81	13.96	10.83	100	2.77	31.49
6	532660	2265096	2	0.50	0.99	30.67	7.48	100	5.32	45.93
7	526970	2277780	3	0.57	1.91	30.99	24.44	100	6.60	14.44
8	526970	2277772	3	0.57	2.05	28.37	18.95	100	21.14	42.05
9	526985	2277774	3	0.47	11.87	32.39	8.60	100	13.00	27.13
10	520106	2281442	4	0.54	0.90	31.57	2.14	100	7.48	40.50
11	520111	2281451	4	0.59	0.90	32.09	1.83	100	3.71	37.79
12	520116	2281446	4	0.50	0.89	34.50	1.28	100	3.71	38.28
13	517993	2288135	5	0.57	0.95	51.88	0.30	100	4.45	36.43
14	517997	2288160	5	0.67	1.12	38.42	3.35	100	19.19	37.31
15	517905	2288156	5	0.64	1.12	95.89	10.46	100	7.81	37.60
16	516793	2272870	6	0.67	0.70	73.25	13.56	100	5.66	18.70

Tabla 22. Resultados de análisis en laboratorio para las variables porcentaje de arena (%A), limo (%L) y arcilla (%R), clase textural, color en seco, color en húmedo.

NO. MUESTRA	X	Y	SITIO	%A	%L	%R	Clase Textural	Color Seco	Color Húmedo
1	535067	2262607	1	45.60	42.40	12.00	Franco	10YR 6/2	2.5YR 3/3
2	535088	2262576	1	29.89	55.01	15.09	Franco limoso	10YR 6/4	10YR 4/4
3	535021	2262640	1	19.36	57.82	22.81	Franco limoso	10YR 6/3	10YR 4/4
4	532660	2265087	2	18.62	61.03	20.34	Franco limoso	10YR 6/4	10YR 4/4
5	532653	2265106	2	19.12	58.35	22.53	Franco limoso	10YR 6/4	10YR 5/4
6	532660	2265096	2	33.15	49.58	17.27	Franco	10YR 6/2	2.5YR 4/3
7	526970	2277780	3	56.92	30.69	12.39	Franco arenoso	2.5YR 3/3	10YR 2/2
8	526970	2277772	3	32.94	48.13	18.93	Franco	2.5YR 4/2	2.5Y 3/2
9	526985	2277774	3	29.05	44.90	26.05	Franco	10YR 5/2	7.5YR 3/2
10	520106	2281442	4	4.67	64.05	31.28	Franco arcillo limoso	2.5Y 5/2	2.5Y 4/3
11	520111	2281451	4	6.31	67.72	25.97	Franco arcillo limoso	2.5Y 6/2	2.5Y 5/3
12	520116	2281446	4	16.42	58.21	25.37	Franco limoso	2.5Y 6/2	2.5Y 4/3
13	517993	2288135	5	7.27	51.11	41.62	Arcillo limoso	10YR 4/2	10YR 3/3
14	517997	2288160	5	6.56	64.12	29.32	Franco arcillo limoso	10YR 5/2	2.5Y 3/2
15	517905	2288156	5	8.94	56.91	34.15	Franco arcillo limoso	10YR 5/2	2.5Y 3/3
16	516793	2272870	6	11.05	43.84	45.11	Arcillo limoso	Gley1 2.5/10Y	Gley1 2.5/N

Anexo II. Tabla matriz para registro de datos de campo sobre degradación de suelos

UNIDAD CARTOGRÁFICA 1

TABLA MATRIZ PARA DEGRADACIÓN DE SUELOS											
UNIDAD CARTOGRAFICA	1	EDO:	Hidalgo	REG. HIDRO.	26	CUENCA:	Río Metztlán	SÍMBOLO:	SN 1.35 (0) g	SUP (KM2):	4.84
GEOFORMA:	Cañón típico (INEGI). Provincia terrestre sudserranense (COLPOS)			TIPO DE ROCA:	Sedimentaria, de tipo caliza-lutita (INEGI)		USO DEL SUELO:	Bosque caducifolio asociado a vegetación seca			
VEGETACIÓN:	Bosque caducifolio y matorral crasicaule			PENDIENTE (%):	38-43		Altura:				
CLIMA:				TEMP (°C):	20.4		PRECIP. (mm):	467.7			
INFLUENCIA HUMANA:	Nula o ligera										
	NO.	TIPO	GRADO	EXTENSIÓN	TASA	CAUSA	OBSERVACIONES				
	1	Erosión geológica	1	20% natural	0	geología					
	2	SN	Ligero	15% inducida	Sin cambio	ganado	Apertura de caminos				
		Estable bajo condiciones naturales									

UNIDAD CARTOGRÁFICA 2

TABLA MATRIZ PARA DEGRADACIÓN DE SUELOS											
UNIDAD CARTOGRAFICA	2	EDO:	Hidalgo	REG. HIDRO.	26	CUENCA:	Río Metztlán	SÍMBOLO:	Hs+Es+SH 1.35 (0) n	SUP (Km²):	5.46
GEOFORMA:	Cañón típico (INEGI). Provincia terrestre sudserranense (COLPOS)			TIPO DE ROCA:	Sedimentaria, de tipo caliza-lutita		USO DEL SUELO:	Bosque caducifolio asociado a vegetación seca			
VEGETACIÓN:	Bosque caducifolio			PENDIENTE (%):	15-20		Altura (msnm)	1327			
CLIMA:				TEMP (°C):	20.4		PRECIP. (mm):	467.7			
INFLUENCIA HUMANA:	Apreciable										
	NO.	TIPO	GRADO	EXTENSIÓN	TASA	CAUSA	OBSERVACIONES				
	1	Hs	Ligero	35% Natural	0	Geología	Degradación apreciable				
	2	Es	Ligero		0	Pendiente	Roca apreciable				
	3	SH	Ligero		0	Textura					

UNIDAD CARTOGRÁFICA 3

TABLA MATRIZ PARA DEGRADACIÓN DE SUELOS											
UNIDAD CARTOGRAFICA	3	EDO.	Hidalgo	REG. HIDRO.	26	CUENCA:	Río Metztlán	SÍMBOLO:	UN+Hs 2.40 (0) a n	SUP (KM2):	1.91
GEOFORMA:	Sierra alta de laderas convexas (INEGI), Provincia terrestre sudserrenense (COLPOS)			TIPO DE ROCA:	Sedimentaria de tipo caliza		USO DEL SUELO:	Matorral sub montano con diversos grados de cobertura			
VEGETACIÓN:	Matorral submontano con matorral crasicaule			PENDIENTE (%):	22-38		Altura:				
CLIMA:				TEMP (°C):	20.4		PRECIP. (mm):	467.7			
INFLUENCIA HUMANA:	Apreciable										
	NO.	TIPO	GRADO	EXTENSIÓN	TASA	CAUSA	OBSERVACIONES				
	1	UN	2	25% inducida	0	Geología	Antes de que se declarara la Reserva, se hacía explotación minera				
	2	Hs	moderado	15% natural	0	Manejo agrícola en las zonas bajas de la ladera					
		Tierras sin uso				a					
		Erosión hídrica				n					

UNIDAD CARTOGRÁFICA 4

TABLA MATRIZ PARA DEGRADACIÓN DE SUELOS											
UNIDAD CARTOGRAFICA	4	EDO.	Hidalgo	REG. HIDRO.	26	CUENCA :	Río Metztitlan	SÍMBOLO:	HS+G 2.30 (0) n	SUP (Km²):	4
GEOFORMA:	Sierra alta de laderas convexas (INEGI), Provincia terrestre sud serranense (COLPOS)			TIPO DE ROCA:	Sedimentaria de tipo caliza- lutita		USO DEL SUELO:	Bsoque caducifolio asociado a vegetación seca			
VEGETACIÓN:	Bosque caducifolio			PENDIENTE (%):	50		Altura:				
CLIMA:				TEMP (°C):	20.4		PRECIP. (mm):	467.7			
INFLUENCIA HUMANA:	Nula o ligera										
	NO.	TIPO	GRADO	EXTENSIÓN	TASA	CAUSA	OBSERVACIONES				
	1	HS	2	30% Natural	0	Geología	Erosión por geología				
		Geológica	Moderado			Textura del suelo	Paso de carretera				

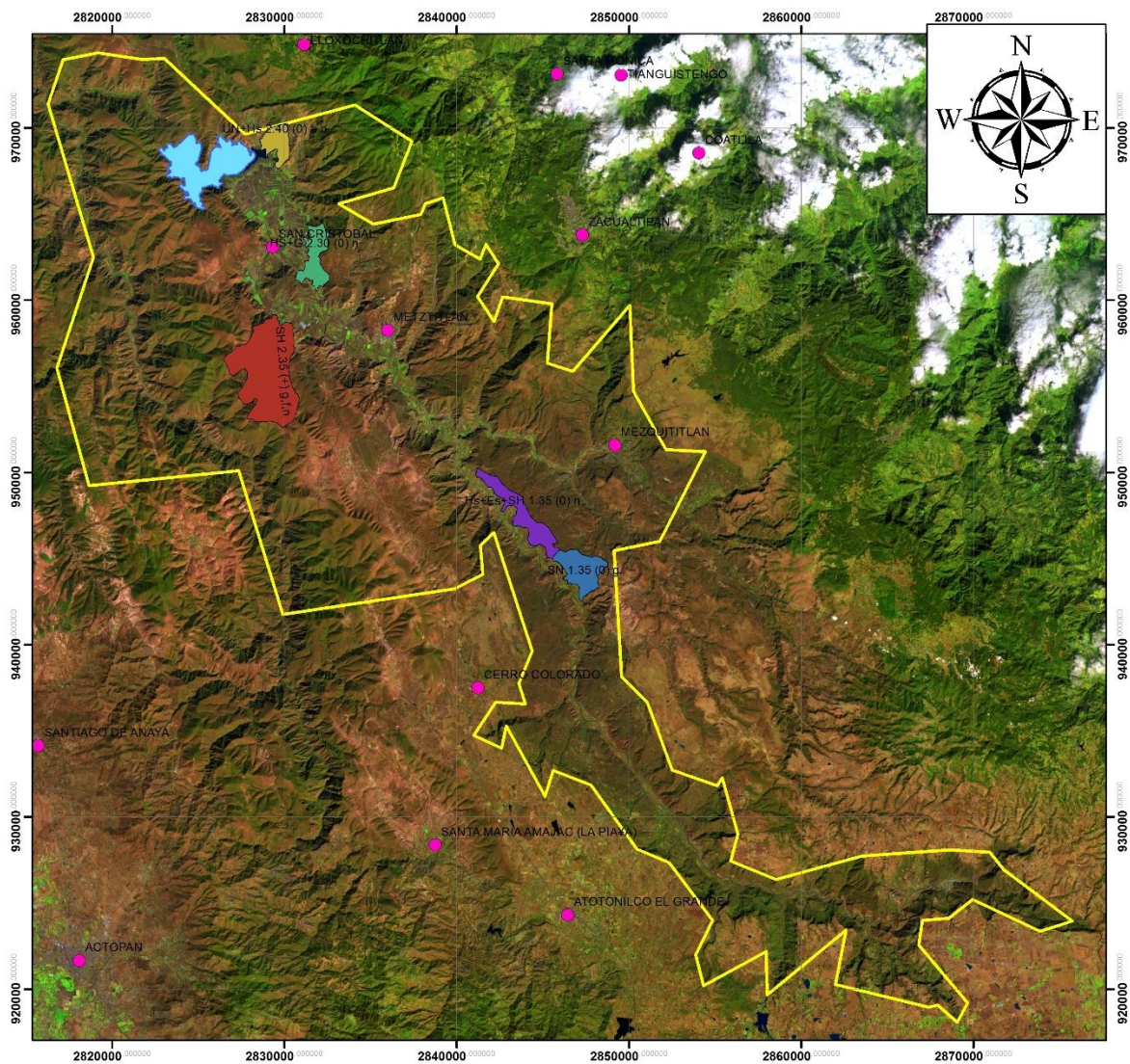
UNIDAD CARTOGRÁFICA 5

TABLA MATRIZ PARA DEGRADACIÓN DE SUELOS											
UNIDAD CARTOGRAFICA	5	EDO.	Hidalgo	REG. HIDRO.	26	CUENCA:	Río Metztlán	SÍMBOLO:	SH 2.35 (+) g,f,n	SUP (Km²):	2.74
GEOFORMA:	Meseta compleja con lomerío (INEGI), provincia terrestre sudserranense (COLPOS)			TIPO DE ROCA:	Sedimentaria de tipo caliza lutita		USO DEL SUELO:	Bosque caducifolio asociado a vegetación seca			
VEGETACIÓN:	Bosque caducifolio y matorral crasicaule			PENDIENTE (%):	33-43						
CLIMA:				TEMP (°C):	20.4		PRECIP. (mm):	467.7			
INFLUENCIA HUMANA:	Apreciable										
	NO.	TIPO	GRADO	EXTENSIÓN	TASA	CAUSA	OBSERVACIONES				
	1	SH	2	20% Natural	+	Geología					
			Moderado	15% Inducida	Incremento ligero	Sobre pastoreo	g Apertura de caminos				
	Estable bajo la influencia humana										

Anexo III. Mapas



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**



UNIDADES PARA LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

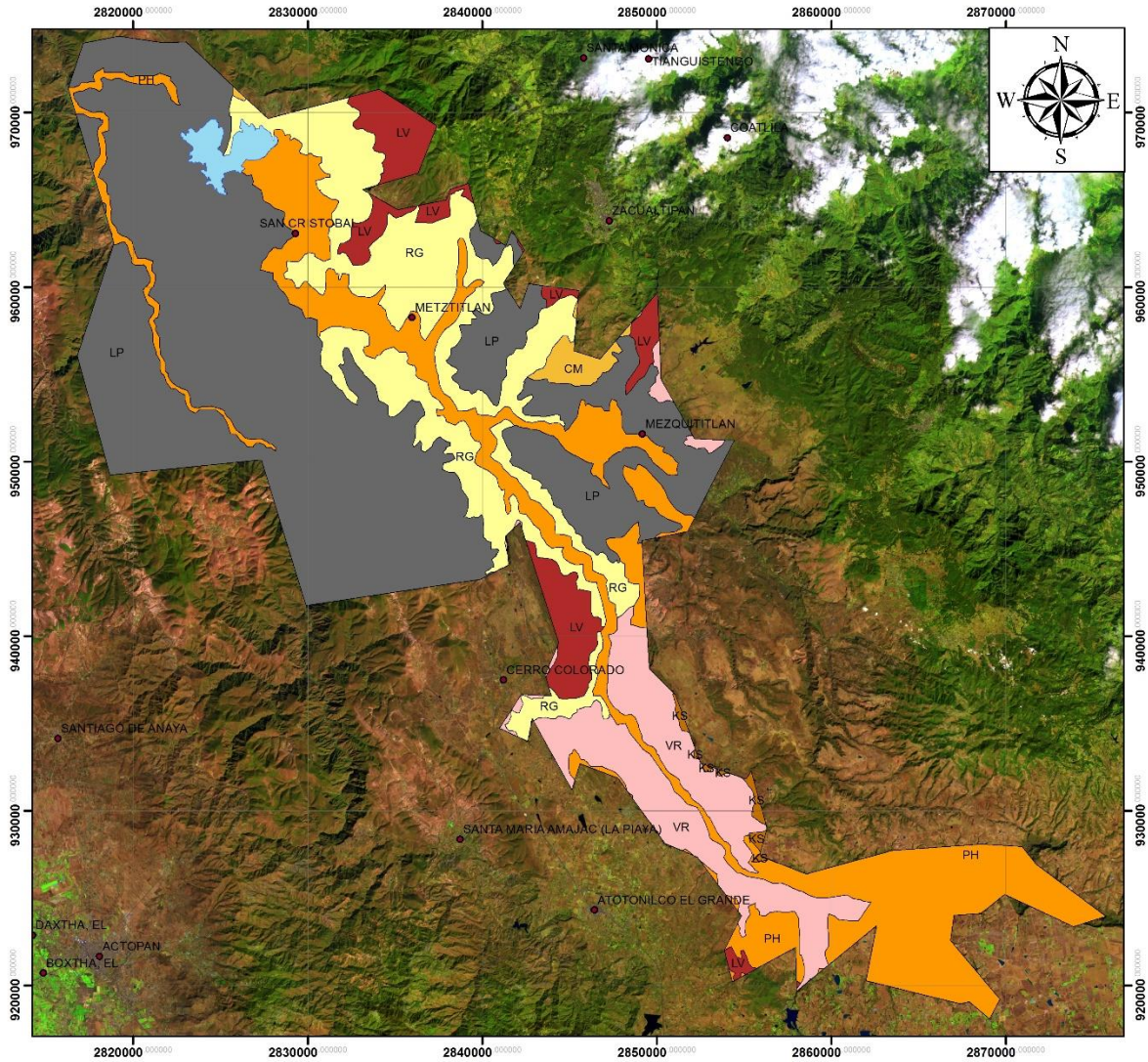
Símbolo por tipo de degradación	
	Hs + G 2.30 (0) n
	Hs + Es + SH 1.35 (0) n
	SH 2.35 (+) g,f,n
	SN 1.35 (0) g
	UN + Hs 2.40 (0) a, n
	Límite del ANP
	Laguna de Metztitlan
	Localidad

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE REFERENCIA Sistema de coordenadas: ITRF_1992_Lambert_Conformal_Conic Proyección: Cónica conformal de Lambert Estereocilindro: GRS_1980 Datum Horizontal: D_TIRF_1992 Fecha de imágenes: 27 de Enero 2017 Satélite: SENTINEL-2A	
ELABORÓ: VIVIANA ARMENDARIZ MENDIETA armendariz.viviana@colpos.mx REVISÓ: DR. ENRIQUE OJEDA TREJO enriqueo@colpos.mx PROGRAMA EN EDAFOLOGÍA ÁREA DE GÉNESIS DE SUELOS TEL. 01(896) 96 20 200 EXT. 1227 CS. 54 5900 EXT. 1227	
ESCALA	1:250,000
TEXCOCO, MÉXICO, 2018	





**COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**



**GRUPOS DE REFERENCIA DE SUELOS EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA
BARRANCA DE METZTILÁN**

SIMBOLOGÍA	
	Localidad
	Laguna de Metztlán
Grupos de referencia	
	Cambisol (CM)
	Kastafozem (KS)
	Leptosol (LP)
	Luvisol (LV)
	Phaeozem (PH)
	Regosol (RG)
	Vertisol (VR)

0 2.5 5 10 15 20 Kilómetros

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE REFERENCIA
 Sistema de coordenadas:
 ITRF_1992_Lambert_Conformal_Conic
 Proyección: Cónica conforme de Lambert
 Esferoide: GRS_1980
 Datum Horizontal: D_ITRF_1992
 Fecha de adopción: 27 de Enero 2017
 Fuente: SENITNEL ZA

ELABORÓ: VIVIANA ARMENDÁRIZ MENDETA
 armendariz.viviana@colpos.mx

REVISÓ: DR. ENRIQUE OJEDA TREJO
 enriqueo@colpos.mx

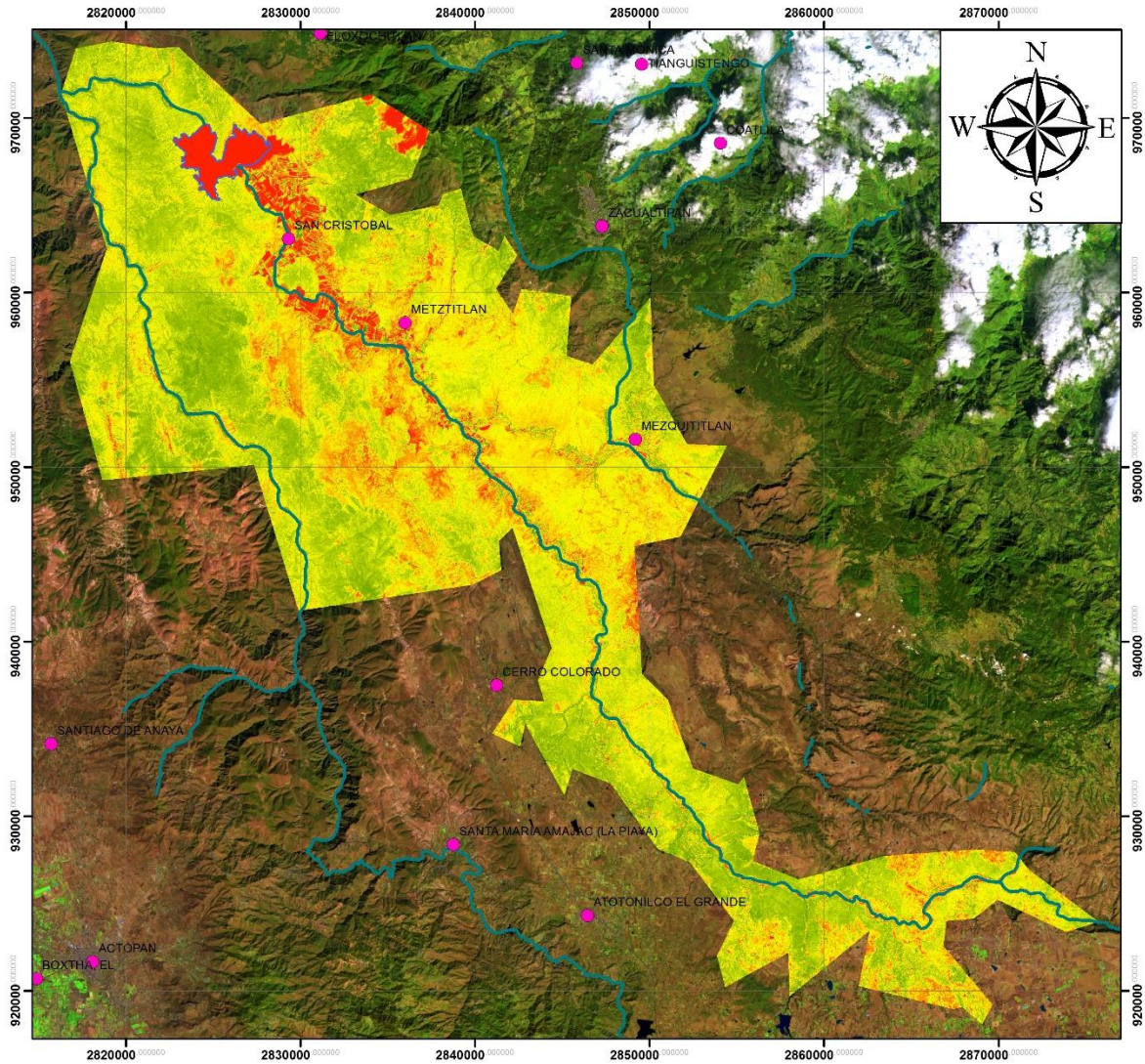
PROGRAMA EN EDAFOLOGÍA
 ÁREA DE GÉNESIS DE SUELOS
 TEL. 01(595) 85 20200 EXT. 1227
 08 04 5005 EXT. 1227

ESCALA 1:250,000 TEXCOCO, MÉXICO, 2018





**COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**



**ÍNDICE NORMALIZADO DE VEGETACIÓN
TEMPORADA DE LLUVIAS**

SIMBOLOGÍA

- Localidad
- Corriente de agua
- Laguna de Metztlán

Valor de NDVI

High : 0.998952
Low : -0.504707

0 2.5 5 10 15 20 Kilometers

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE REFERENCIA

Sistema de coordenadas:
ITRF_1982_Lambert_Conformal_Conic
Proyección: Cónica conforme de Lambert
Esferoide: GRS_1980
Datum Horizontal: D_1982_1982
Fecha de inicio: 28 de Septiembre 2016
Satélite: SENTINEL 2A

ELABORO: VIVIANA ARMENDARIZ MENDIETA
armendariz.viviana@colpos.mx

REVISÓ: DR. ENRIQUE OJEDA TREJO
enriqueot@colpos.mx

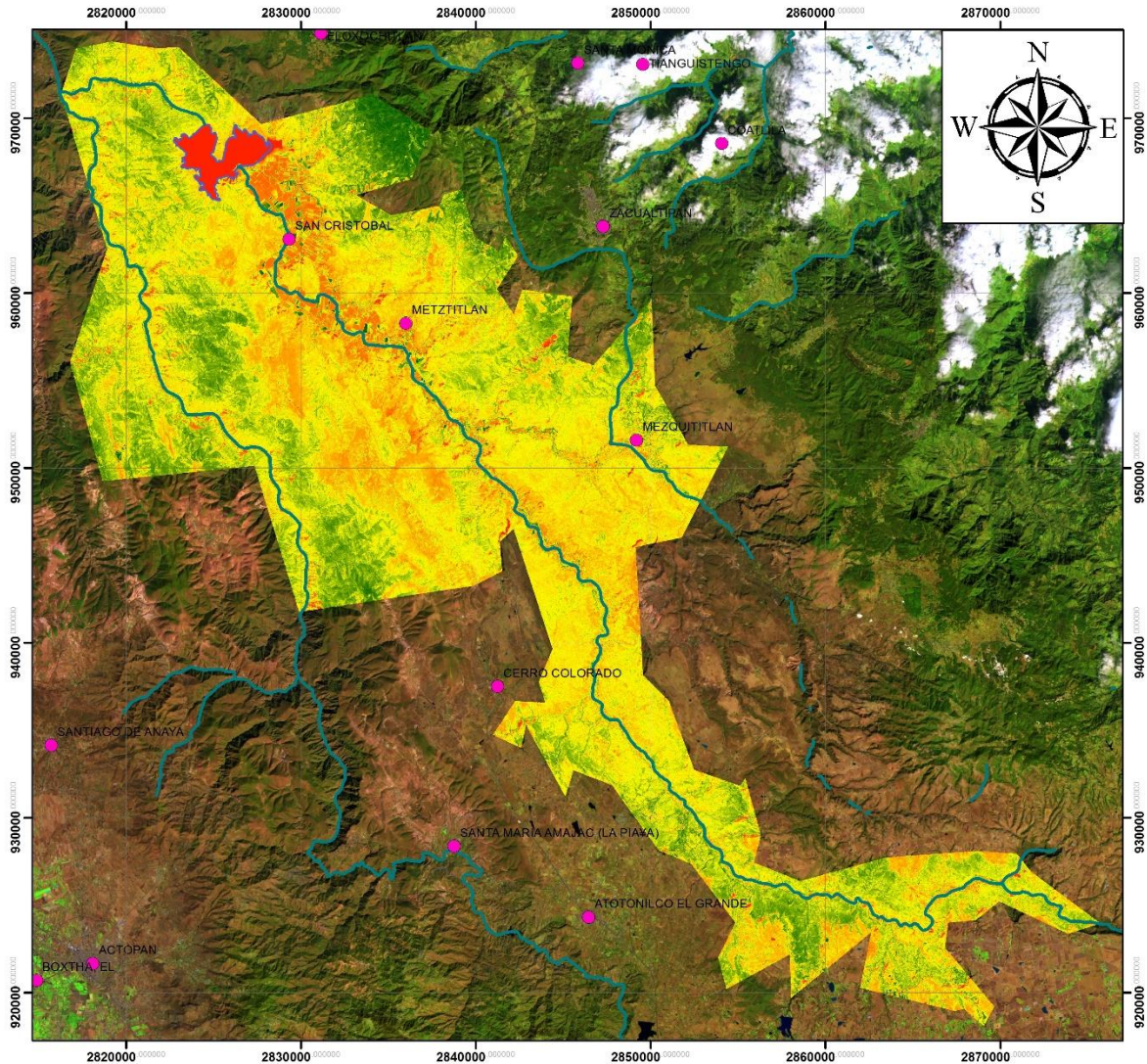
PROGRAMA EN EDAFOLOGÍA
ÁREA DE GÉNESIS DE SUELOS
TEL. 01(896) 96 20 200 EXT. 1227
CS. 94 9900 EXT. 1227

ESCALA 1:250,000 **TEXCOCO, MÉXICO, 2018**





**COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**



**ÍNDICE NORMALIZADO DE VEGETACIÓN
TEMPORADA DE ESTIAJE**

SIMBOLOGÍA

- Localidad
- Corriente de agua
- Laguna de Metztitlán

Valor de NDVI

High : 1

Low : -0.654152

0 2.5 5 10 15 20 Kilometers

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE REFERENCIA

Sistema de coordenadas:
 ITRF_1992_Lambert_Conformal_Conic
 Proyección: Conico conformal de Lambert
 Esferoide: GRS_1980
 Datum horizontal: O_TIRF_1992
 Fecha de imágenes: 27 de Enero 2017
 Satélite: SENTINEL 2A

ELABORÓ: VIVIANA ARMENDARIZ MENDIETA
 armendariz.viviana@colpos.mx

REVISÓ: DR. ENRIQUE OJEDA TREJO
 enriqueo@colpos.mx

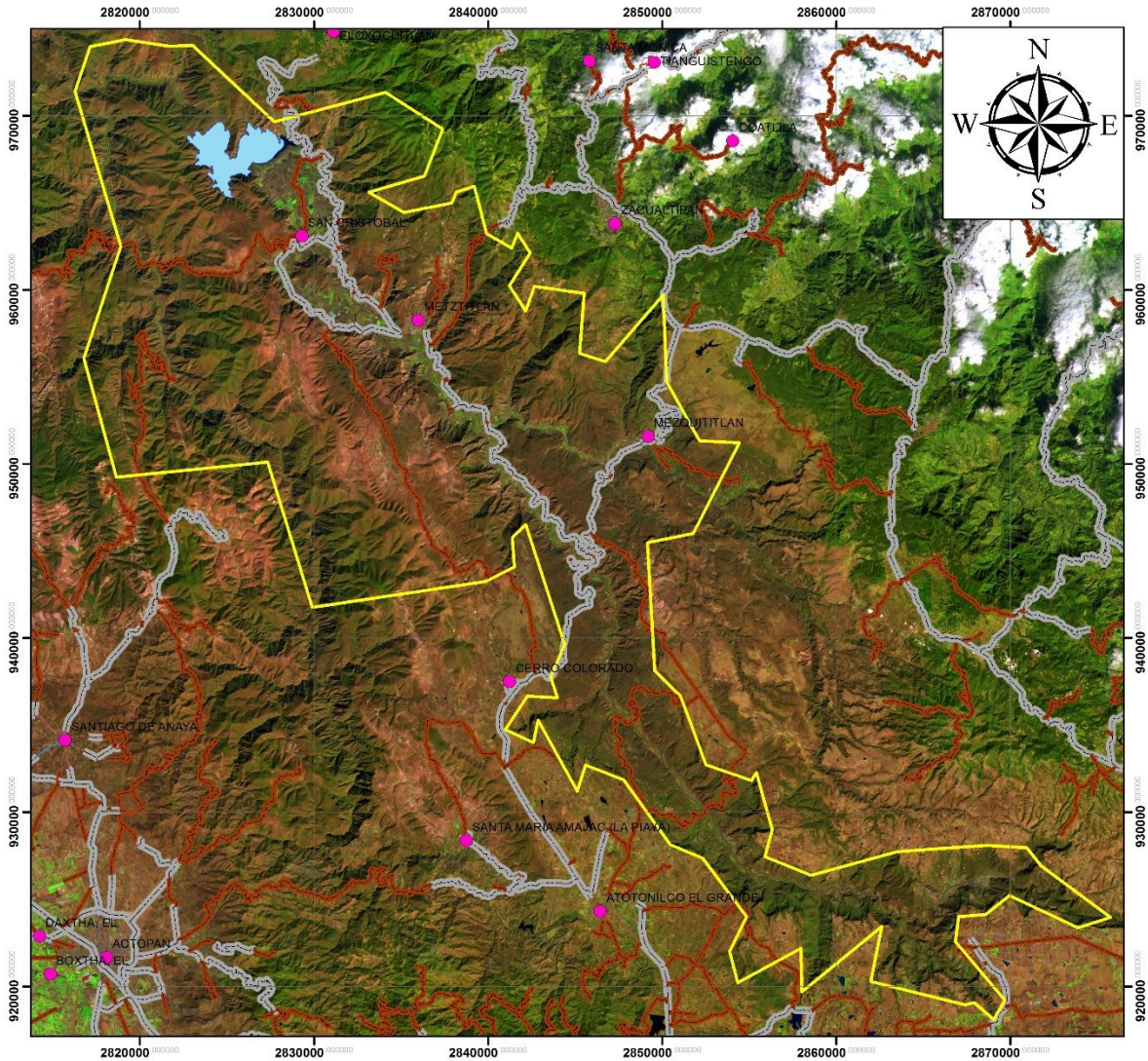
PROGRAMA EN EDAFOLOGÍA
 ÁREA DE GÉNESIS DE SUELOS
 TEL. 01(896) 96 20 200 EXT. 1227
 CS. 84 9900 EXT. 1227

ESCALA 1:250,000 TEXCOCO, MÉXICO, 2018





**COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**



**MAPA DE VIALIDADES Y CAMINOS EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA
BARRANCA DE METZTITLÁN**

SIMBOLOGÍA

- Limite del ANP
- Localidad
- Laguna de Metztitlán

Tipo de vialidad

- Avenida
- Camino
- Boulevard
- Carretera
- Calle
- Corredor
- Calzada
- Peatonal

0 2.5 5 10 15 20 Kilometros

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE REFERENCIA

Sistema de coordenadas:
ITRF_1992_Lambert_Conformal_Conic
Proyección: Cónica cónica de Lambert
Esférico: GRS_1980
Datum horizontal: D_ITRF_1992
Fecha de imágenes: 27 de Enero 2017
Satélite: SENTINEL 2A

ELABORÓ: VIVIANA ARMENDÁRIZ MENDIETA
armendariz.viviana@colpos.mx

REVISÓ: DR. ENRIQUE OJEDA TREJO
enriqueot@colpos.mx

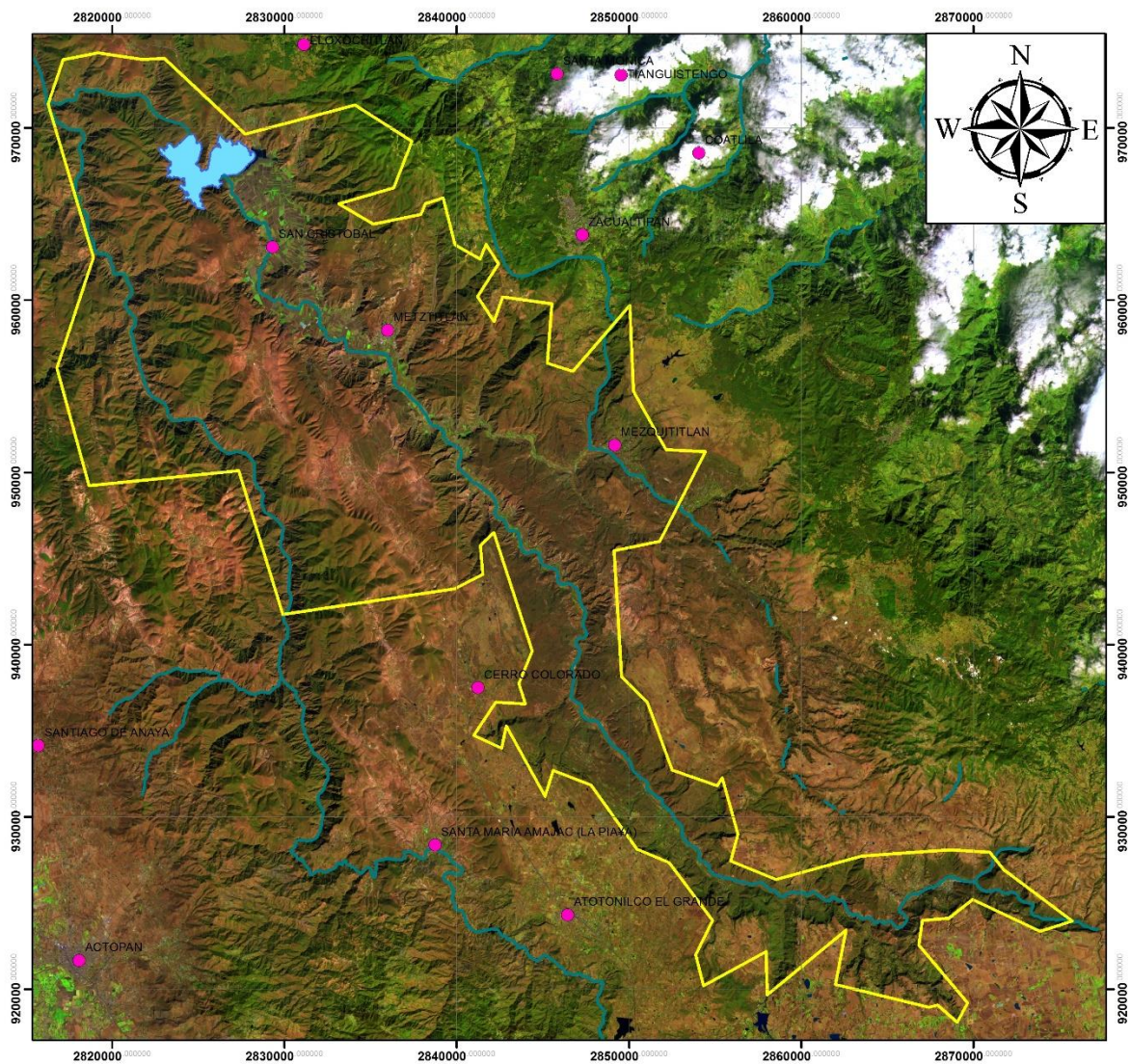
PROGRAMA EN EDAFOLOGÍA
ÁREA DE GÉNESIS DE SUELOS
TEL. 01(888) 99 20 200 EXT. 1227
58 04 5893 EXT. 1227

ESCALA 1:250,000 TEXCOCO, MÉXICO, 2018





**COLEGIO DE POSTGRADUADOS
CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA**



UNIDADES PARA LA EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

SIMBOLOGÍA

- Límite del ANP
- Localidad
- Corriente de agua
- Laguna de Metztlán

0 2.5 5 10 15 20 Kilómetros

INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DE REFERENCIA

Sistema de coordenadas:
ITRF_1992_Lambert_Conformal_Conic
Proyección: Cónica conformal de Lambert
Esterioide: GRS_1980
Datum Horizontal: D_ITRF_1992
Fecha de imágenes: 27 de Enero 2017
Sitio: SECTHEL_ZA

ELABORÓ: VIVIANA ARMENDARIZ MENDIETA
armendariz.viviana@colpos.mx

REVISÓ: DR. ENRIQUE OJEDA TREJO
enriqueot@colpos.mx

PROGRAMA EN EDAFOLOGÍA
ÁREA DE GÉNESIS DE SUELOS
TEL: 01(896) 96 20 200 EXT: 1227
CS 54 9900 EXT: 1227

ESCALA 1:250,000

TEXCOCO, MÉXICO, 2018



Anexo fotográfico

Talleres participativos



