



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CAMPUS GUANAJUATO

Análisis de la dinámica de cambio de coberturas y usos del suelo (2003-2016) en el Área Natural Protegida Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México.

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
Licenciatura en Ingeniería Geomática

PRESENTA:

LAURA GABRIELA GARCÉS LICEA

Asesores:

Dra. Michelle Farfán Gutiérrez

Dr. Pedro Camilo Alcántara Concepción

Guanajuato, Gto 19 noviembre de 2018.

RESUMEN

Las áreas naturales protegidas (ANP) son instrumentos de gestión territorial empleados para conservar los ecosistemas, proteger la biodiversidad y enfrentar el cambio climático. Este estudio, aborda el monitoreo de la deforestación en el ANP Sierra de Pénjamo del estado de Guanajuato. Se elaboró la cartografía detallada de la vegetación y usos del suelo mediante la interpretación visual de fotografías aéreas de los años 2003, 2008 y 2016, posteriormente se realizó su verificación en campo. Se estimaron tasas de cambio de cobertura y matrices de transición de uso del suelo. En el periodo 2003-2008 el bosque de encino cerrado tuvo una tasa de deforestación del $-3.05\%/año$, seguida de la del bosque de encino medio con $-0.91\%/año$. Para el siguiente periodo (2008-2016), la tasa fue superior en el bosque de encino medio con un $-3.48\%/año$, en comparación con el bosque de encino cerrado que disminuyó $-0.43\%/año$. Los resultados indican una pérdida de superficie forestal primaria de 488 ha de bosque de encino cerrado y de 1,203 ha de bosque de encino medio, así como el aumento en la extensión de zonas urbanas (117 ha), agricultura de temporal (348 ha), pastizal inducido (2,345 ha) y áreas sin vegetación (15 ha) que son bancos de material activos por 13 años. Estos resultados muestran la necesidad de generar un plan de manejo de la ANP Sierra de Pénjamo capaz de orientar el aprovechamiento de sus recursos de manera sustentable, así como dar seguimiento a la evaluación y monitoreo de los objetivos de protección y conservación de la ANP.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo principalmente a mis papás:

Carmen Licea porque a lo largo de toda mi vida has sido mi mayor fan, la persona que siempre confía en mí, la que a pesar de todo siempre me pide que siga echándole ganas, la que cada día se preocupa por cómo me va. Tú que preferiste cuidarnos y quedarte en casa que, en la oficina, estoy segura de que habrías tenido un gran futuro, porque tu trabajo de mamá los has hecho muy bien.

Humberto Garcés porque eres mi ejemplo a seguir, amas tu trabajo y eres excelente en lo que haces, espero sentir el mismo amor que tu sientes por tu profesión. Estas lleno de valores y eres de las personas que te encuentras muy rara vez, siempre me enseñas que se puede ser mejor y que nunca se deja de aprender. Espero que continúes sintiéndote orgulloso de mi.

También a mis hermanos: Beto que siempre nos exigas a ser mejores y nos apoyas a superarnos, Ale tu eres el ejemplo de que si tienes un objetivo lo puedes lograr no importa el tiempo y Pio que a pesar de las situaciones me enseñas a no dejarme vencer.

A Tano porque siempre ha estado para mí, apoyándome y queriéndome.

AGRADECIMIENTOS

Quiero principalmente dar gracias a Dios por darme la fortaleza necesaria para poder llegar y culminar esta etapa de mi vida.

A la Dra. Michelle Farfán por haber confiado en mí por compartir su tiempo y sus conocimientos conmigo, por impulsar el desarrollo de mi formación profesional, pero principalmente por su amistad. Gracias Dra., es un gran ejemplo de mujer, madre y profesionista.

También quiero darle las gracias al Dr. Camilo por aportar la frescura que este proyecto necesitaba, complementarlo y hacerlo tan suyo como de nosotras.

INDICE

INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	14
Capítulo 1. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	15
1.1 Marco teórico	15
1.1.1 Áreas Naturales Protegidas	15
1.1.2 Coberturas y usos del suelo	16
1.1.3 Deforestación	17
1.1.4 Tasas de deforestación	18
1.2 Antecedentes	19
Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	24
2.1 Localización geográfica	24
2.2 Características físicas	24
2.2.1 Tipo de suelo	24
2.2.2 Clima	27
2.2.3 Relieve	27
2.2.4 Hidrología	31
2.2.5 Minería	33
2.3 Características biológicas	34
2.3.1 Ecorregión	34
2.3.2 Usos de suelo	34
Capítulo 3. MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1 Coberturas y usos del suelo	36
3.2 Insumos	39
3.3 Metodología	41
3.3.1 Interpretación visual interdependiente (2003-2016)	41
3.3.2 Cartografía de uso de suelo y vegetación (2003, 2008 y 2016)	42
3.3.3 Verificación en campo	42
3.3.4 Generación de la matriz de transición de cambios de coberturas y usos del suelo	46
3.3.5 Deforestación	47
3.3.6 Cuantificación de la tasa de cambio	48
3.3.7 Análisis de la intensidad de cambio de coberturas y usos del suelo	49
Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
4.1 Cartografía de uso de suelo y vegetación de los años 2003, 2008 y 2016	53
4.1.1 Verificación en campo	57
4.2 Cuantificación de superficies totales	61

4.3 Deforestación	66
4.4 Tasas de cambio	71
4.5 Transiciones	73
4.6 Análisis de intensidad de cambio	75
4.6.1 A nivel de intervalo	76
4.6.2 A nivel de categorías	77
4.6.3 A nivel de transiciones	79
Capítulo 5. DISCUSIÓN	82
Capítulo 6. CONCLUSIONES	85
BIBLIOGRAFÍA	87

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área natural protegida: Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	26
Figura 2. Tipo de suelo de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	28
Figura 3. Tipo de clima de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	29
Figura 4. Provincias fisiográficas del estado de Guanajuato	30
Figura 5. Acuíferos en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	32
Figura 6. Principales zonas mineras de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	33
Figura 7. Mosaico de ortofotos del año 2003, escala 1: 10,000 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	39
Figura 8. Mosaico de ortofotos del año 2008, escala 1:10,000 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	40
Figura 9. Imagen Digital Globe del año 2016, escala 1: 10,000 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	40
Figura 10. Puntos de control generados en el trayecto del recorrido de campo con los usos de suelo y vegetación del año 2016 en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	45
Figura 11. Flujo metodológico del análisis de la intensidad de cambio entre los tres niveles: intervalo, categoría y transición, dónde m es la categoría que pierde en la transición seleccionada y n es la categoría que gana en la escena seleccionada (adaptación de Aldwaik y Pontius, 2012)	49
Figura 12. Usos de suelo y vegetación en el año 2003 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	54
Figura 13. Usos de suelo y vegetación en el año 2008 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	55
Figura 14. Usos de suelo y vegetación en el año 2016 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	56
Figura 15. Banco de material de mayor extensión localizado en el ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	57
Figura 16. Bosque de encino y vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	58
Figura 17. Bosque de encino cerrado de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	59
Figura 18. Banco de material abandonado en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	59
Figura 19. Pastizal inducido por ganadería en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	60
Figura 20. Banco de material inundado en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	60
Figura 21. Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	61

Figura 22. Superficies totales en hectáreas para los años 2003, 2008 y 2016 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	63
Figura 23. Superficies de los cambios en los usos del suelo y coberturas vegetales en los dos periodos de 2003 a 2008 y 2008 a 2016 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	67
Figura 24. Cambios del uso del suelo y cobertura vegetal en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México en los años 2003 a 2008	69
Figura 25. Cambios del uso del suelo y cobertura vegetal en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México en los años 2008 a 2016	70
Figura 26. Tasas de cambio de cada cobertura y uso de suelo en el periodo 2003 - 2008 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	72
Figura 27. Tasas de cambio de cada cobertura y uso de suelo en el periodo 2008 - 2016	73
Figura 28. Transiciones de las distintas coberturas y usos del suelo en el periodo 2003 - 2008 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Los valores en porcentaje representan la superficie en hectáreas de cada transición respecto a la superficie total de cada categoría	74
Figura 29. Transiciones de las distintas coberturas y usos del suelo en el periodo 2008 - 2016 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Los valores en porcentaje representan la superficie en hectáreas de cada transición respecto a la superficie total de cada categoría	75
Figura 30. Cambio anual y cambio uniforme del análisis de intensidad de cambio de coberturas y usos del suelo en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	76
Figura 31. Análisis de intensidad de cambio de coberturas y usos del suelo a nivel de categoría en el periodo 2003 a 2008 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	77
Figura 32. Análisis de intensidad de cambio de coberturas y usos del suelo a nivel de categoría en el periodo de 2008 a 2016 de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	78
Figura 33. Análisis de intensidad de cambio de coberturas y usos del suelo a nivel de transiciones de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para el bosque de encino abierto en los periodos 2003 - 2008 y 2008 - 2016	79
Figura 34. Análisis de intensidad de cambio de coberturas y usos de suelo a nivel de transiciones en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para el bosque de encino medio en los periodos 2003 - 2008 y 2008 - 2016	79
Figura 35. Análisis de intensidad de cambio de coberturas y usos de suelo a nivel de transiciones en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para el bosque de encino cerrado en los periodos 2003 - 2008 y 2008 - 2016	80

Figura 36. Análisis de intensidad de cambio de coberturas y usos de suelo a nivel de transiciones en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para la vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en los periodos 2003 - 2008 y 2008 - 2016 80

Figura 37. Análisis de intensidad de cambio de coberturas y usos de suelo a nivel de transiciones en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en los periodos 2003 - 2008 y 2008 - 2016 80

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Síntesis del trabajo titulado Cambio de uso de suelo en la porción norte de la microcuenca "Las Amapolas" en Guanajuato, México	20
Tabla 2. Síntesis del trabajo titulado Cambio en el uso del suelo y la vegetación en la "Sierra de Lobos", Guanajuato, México (1970-2004)	21
Tabla 3. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el periodo 1972-2000	21
Tabla 4. Cambios de las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán Estado de México, 1971-1994-2000	22
Tabla 5. Modelación de los cambios de coberturas/ uso del suelo en una región tropical de México	23
Tabla 6. Uso de suelo y su aprovechamiento en la Sierra de Pénjamo en el año 2000. Fuente: Determinación de Áreas Protegidas Caso de Estudio: Sierra de Pénjamo, Gto. Oliver (2011)	35
Tabla 7. Porcentajes de arbolado propuestos por la FAO (1996) considerados para el análisis de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	38
Tabla 8. Insumos cartográficos empleados para la generación de la cartografía detallada para el área protegida Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	39
Tabla 9. Notación matemática de las ecuaciones de ganancia, pérdida de superficies y tasa de deforestación	47
Tabla 10. Notación matemática de las ecuaciones para el cálculo de la intensidad de cambio de coberturas y usos del suelo	50
Tabla 11. Categorías de la usos de suelo y vegetación	53
Tabla 12. Superficies totales en hectáreas para los años 2003, 2008 y 2016 de cada cobertura y uso del suelo de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	62
Tabla 13. Matriz de transición de las coberturas y usos del suelo entre 2003 y 2008 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA es agricultura de riego, TA=Agricultura de temporal, As/v=Áreas sin vegetación, BQa=Bosque de encino abierto, BQm=Bosque de encino medio, BQc=Bosque de encino cerrado, CA=Cuerpos de agua, Mx=Matorral subtropical, PI=Pastizal inducido, VSArboSBC = Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VSArbuSBC =Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH=asentamientos humanos	65
Tabla 14. Matriz de transición de las coberturas y usos del suelo entre 2008 y 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA es agricultura de riego, TA es agricultura de temporal, As/v son áreas sin vegetación, BQa es bosque de encino abierto, BQm es bosque de encino medio, BQc es bosque de encino cerrado, CA son cuerpos de agua, Mx matorral subtropical, PI es el pastizal inducido, VS Arbo SBC es vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VS Arbu SBC vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH son asentamientos humanos	66

Tabla 15. Superficies del mapa de deforestación en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	71
Tabla 16. Porcentajes de cambio anual y cambio uniforme del análisis de intensidad de cambio en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México	76

INTRODUCCIÓN

Las Áreas Naturales Protegidas (ANP) son instrumentos de gestión del territorio orientados a la conservación de los ecosistemas, cuyo principal objetivo es proteger la biodiversidad y enfrentar los efectos del cambio climático.

La finalidad de declarar una determinada área natural como protegida, es la conservación de la biodiversidad asociada con el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (artículo 45, fracciones I a VII de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en su última reforma DOF 05-06-2018). Sin embargo, puede ocurrir que a pesar de ser decretada un área como protegida existan procesos de deterioro ambiental, por lo que la evaluación de la capacidad de las ANP para cumplir con sus objetivos de conservación se convirtió en una preocupación relevante en todo el mundo (Margules y Pressey, 2000).

De acuerdo con Figueroa *et al.* (2011) se han desarrollado tres enfoques de la evaluación para las áreas protegidas, efectividad del diseño, efectividad del manejo y evaluación de la integridad ecológica. Es dentro de este último enfoque, el de la evaluación de la integridad ecológica, donde ocurre la definición y estimación de los cambios en el uso del suelo y la vegetación, permitiendo establecer la tipología del indicador que señale el estado de conservación de la vegetación (Sánchez–Azofeifa *et al.*, 1999; Mas, 2005)

Entre los años 1985 y 2003, las áreas protegidas a nivel mundial crecieron en número y pasaron, de ocupar menos de 1 millón de km² a más de 18.8 millones de km², lo que representó el 12.65% de la superficie de la Tierra (IUCN-WCMC, 1998). En el caso de México, hasta 2010 se habían decretado 176 ANP, que representaron más de 25 millones 394 mil 779 ha, que equivalen a más del 4.96% de la superficie del territorio nacional. Actualmente, la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas) administra 182 áreas naturales de carácter federal que representan 90 millones 839 mil 521.55 ha y apoya 408 Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación, con una superficie de 511,338.76 hectáreas (CONANP, 2018).

Actualmente el estado de Guanajuato cuenta con 23 ANP estatales y una reserva de la biosfera que representan el 12.13 % de su territorio. Guanajuato es la cuarta entidad, a nivel nacional, con mayor superficie de territorio bajo un decreto estatal (Dirección de Recursos Naturales, 2016). De acuerdo con el Instituto Estatal de Ecología del Estado de Guanajuato (2016), el Sistema de Áreas Naturales Protegidas de Guanajuato (SANPEG) comprende seis categorías con diferentes características y objetivos de protección. Las categorías reconocidas son: reserva de conservación (2 ANP), reserva de la biósfera (1 ANP), áreas de restauración ecológica (5 ANP), parque ecológico (4 ANP), monumento natural (1 ANP) y áreas de uso sustentable (11 ANP). El presente trabajo aborda el estudio entre las transiciones que ocurrieron en las coberturas y usos del suelo del ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, clasificada como parte del grupo de las ANP de jurisdicción estatal de uso sustentable. Debido a que esta ANP no cuenta con un plan de manejo derivado de su decreto es necesario realizar estudios enfocados a estimar los impactos de las actividades agropecuarias en las coberturas forestales.

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar un análisis de la dinámica de los cambios de superficies de las diferentes coberturas y usos del suelo en el ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México y conocer las transiciones entre las coberturas naturales y los usos de suelo o coberturas antrópicas más relevantes que se dieron en dos periodos de tiempo, de 2003 a 2008 y de 2008 a 2016.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar la dinámica de cambio de coberturas vegetales y usos del suelo mediante un análisis espacio - temporal para el periodo 2003 al 2016, para monitorear el proceso de deforestación y determinar si el decreto como ANP de la Sierra de Pénjamo, Guanajuato cumple con sus objetivos de conservación.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Generar la cartografía de uso del suelo y cobertura vegetal para los años 2003, 2008 y 2016 del ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México a escala detallada (1:10,000) para localizar las porciones de territorio que registraron cambios en el tipo de cobertura vegetal o en el uso del suelo para cada intervalo de tiempo.
- Generar las intersecciones de los mapas 2003 con 2008 y 2008 con 2016 para generar las matrices de transición entre las distintas coberturas y usos del suelo y así cuantificar la tasa de cambio por tipo de cobertura vegetal y uso del suelo para cada periodo de tiempo (2003-2008 y 2008-2016), por categoría y transición identificada.

Capítulo. 1 Marco teórico y Antecedentes

1.1 Marco teórico

1.1.1 Áreas naturales protegidas

Según la CONANP (2016) las Áreas protegidas son instrumentos de política ambiental con definición jurídica para la conservación de la biodiversidad. Son porciones terrestres o acuáticas del territorio nacional que no están alteradas considerablemente, son representativas de los distintos ecosistemas presentes en el país y cubren aproximadamente 12% de la superficie del territorio nacional.

De acuerdo con la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente existen dos formas para el establecimiento de un ANP, la primera es mediante declaratoria que expida por el Titular del Ejecutivo Federal (Artículo 57) y solo son aquellas contenidas en las fracciones I a VIII del artículo 46; y la segunda (Artículos 59 y 77 Bis), mediante un certificado en el cual se reconoce como ANP a una superficie o predios cuyos propietarios tales como: pueblos indígenas, organizaciones sociales, personas morales, públicas o privadas, etc., deciden voluntariamente dedicarla a la conservación (LGEEPA, 2018).

La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO, 2012) clasifica las áreas protegidas en 4 niveles: federales, estatales, comunitarias y privadas.

Según el Instituto de Ecología del estado de Guanajuato en el estado de Guanajuato se cuenta con 23 Áreas Naturales Protegidas, las cuales se están clasificadas en:

Áreas de restauración ecológica. Éstas tienen por objeto el asistir a la recuperación de ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos. Algunos ejemplos son: Laguna de Yuriria, Cerro del Cubilete, Cuenca de la Soledad, Presa de Neutla.

Monumentos naturales. Son áreas de interés estético con alto valor tanto histórico como científico. Un ejemplo es la región volcánica Siete Luminarias.

Parques ecológicos. Se les define como espacios verdes de uso público en los que suele haber abundancia de árboles, plantas, césped, etc. Dentro de esta categoría se encuentran: Las Fuentes, Parque Metropolitano, Lago Cráter y La Joya.

Áreas de uso sustentable. Tienen la capacidad de hacer uso de los recursos naturales sin producir mayores daños a la naturaleza, entre ellas se encuentran: Sierra de Lobos, Peña Alta, Cerros de Culiacán y La Gavia, Presa la Purísima, Sierra de Pénjamo.

Pese a su carácter legal, las ANP no están exentas de las presiones de cambio en el uso de suelo y la extensión de la frontera agropecuaria puede afectar la integridad de las coberturas naturales (Chapa *et al*, 2012). En México, se registra un ritmo acelerado de transformación por cambios en el uso de suelo y por actividades como la deforestación; esto debido, entre otros factores, al incremento en la densidad poblacional y la demanda de espacios para desarrollos urbanísticos, la extensión de las fronteras agrícolas y ganaderas, así como, la apertura de nuevas vías de comunicación e infraestructura hidráulica. (Miranda *et al.*, 2013).

1.1.2 Coberturas y usos del suelo

La "cobertura" de la Tierra, es el cubrimiento biofísico que se observa sobre la superficie de la Tierra (Di Gregorio, 2005). En un sentido amplio, la cobertura de la tierra no solamente incluye la vegetación y los elementos antrópicos existentes sobre la Tierra, sino que también a otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua.

Conceptualmente, existe una diferencia entre los términos "cobertura" y "uso" de la Tierra. Ambos términos anteriormente se empleaban de manera indistinta, en la actualidad el término "uso" implica la utilidad que presta un tipo de cobertura al ser humano, el uso se relaciona con las actividades humanas o las funciones económicas de una porción específica de la Tierra (como el uso urbano o industrial, de reserva natural, etc.) (MinAmbiente, 2011).

En contraste, en términos de percepción remota, para la delimitación de las coberturas de la Tierra, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2012) describió la cobertura como la unidad delimitable que

surge a partir de un análisis de respuestas espectrales determinadas por sus características fisionómicas y ambientales, diferenciables con respecto a la unidad próxima.

1.1.3 Deforestación

La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), en su *“Discusión de metodologías para el establecimiento de un protocolo de monitoreo de la deforestación”* del año 2012 enlista algunas definiciones utilizadas en México para el término *deforestación*:

- a) “Eliminación (clearing) de bosques y la conversión de la tierra a usos no forestales”. Banco Mundial (1991).
- b) “Reducción en el área de tierra cubierta por bosques”. Robert. T. Deacon (1994).
- c) “Todos los cambios de forestal arbolado a no forestal”. FAO, Guía para el proyecto de Evaluación de los Recursos Forestales del Mundo: ERF (1990).
- d) “Eliminación completa de áreas arboladas para dedicarlas a usos de suelo no forestales”. Ingeniero Sergio Varela, director de la Unidad del Inventario Nacional de Recursos Naturales (México, 1998).
- e) “Eliminación en gran escala (full scale clearing) de tierras boscosas”. Wasserman, Mayo (1996).
- f) “Reducción en la capacidad de un bosque para cumplir una función en particular”. Marianne Schmink (México, 1995).
- g) “Eliminación de la vegetación forestal, o el cambio de uso del suelo hacia usos no forestales”, SEMARNAT (2000).

En el presente análisis se considera como deforestación a la transición de una cobertura natural a una antrópica o bien de una cobertura natural de mayor densidad como lo es el bosque de encino cerrado a una de menor densidad como el bosque de encino abierto.

1.1.4 Tasa de deforestación

Se refiere al cambio de la superficie forestal causado por el hombre entre un período de tiempo y otro subsecuente. Mide el cambio anual de cobertura boscosa debido a la conversión y transformación de ecosistemas naturales a usos y cobertura del suelo antrópicos. (SENPLADES, 2013)

Clasificar y cuantificar el cambio del suelo o de la cobertura vegetal es una herramienta que permite conocer cómo se transforma la extensión de los bosques y selvas o se deteriora su calidad hacia usos antrópicos. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), los 52 millones de hectáreas de bosques y selvas con que contaba el país en el año 2000 presentaron una tasa de deforestación promedio de 631 mil ha/año (FAO, 2005). Esta cifra puede diferir con la reportada con otras instituciones o investigaciones, sin embargo, se le ubica en el intervalo de 316 a 800 mil ha/año, reportados por la SEMARNAT en 2005. (Velázquez *et al.*, 2002).

1.2 Antecedentes

Son pocos los estudios desarrollados en México orientados al monitoreo de la dinámica de cambio de cobertura y uso del suelo para las áreas naturales protegidas.

Durán-Medina *et al.*, (2007) realizaron investigaciones acerca del análisis de los cambios en las coberturas forestales y usos del suelo antrópicos, en su trabajo: “Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México” aportaron evidencia de que las ANP y los ejidos forestales organizados, son dos modelos de manejo y conservación de las coberturas de vegetación nativa, distintos en cuanto a la inversión financiera y el flujo de beneficios, lo que nos dice que donde se realiza manejo forestal comunitario, con buena organización social, se mantienen las coberturas de bosque a niveles que puede usarse como comparativa con el modelo más convencional de conservación, que es el de las ANP.

Sánchez-Cordero y Figueroa (2007), analizaron “La efectividad de las reservas de la biosfera en México para contener procesos de cambio en el uso de suelo y la vegetación”, mediante la comparación entre 17 reservas de la biosfera con una superficie mayor a las mil hectáreas; clasificaron la efectividad alcanzada tomando como base las diferencias entre las tasas de cambio en el Cambio de Uso de Suelo y Vegetación (CUSV). Posteriormente, en el 2011 en su documento “Evaluación de la efectividad de las áreas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación ¿Un índice es suficiente?” Sánchez-Cordero y su equipo examinaron la efectividad para evitar procesos de CUSV en 44 áreas protegidas federales en México y compararon los resultados con estudios previos, cuantificaron el porcentaje de superficie transformada en 2002 y su tasa de cambio entre 1993 y 2002; asimismo consideraron las tasas de cambio en las áreas circundantes. Los resultados obtenidos coincidieron con estudios previos, aunque obtuvieron variaciones por el enfoque metodológico, consideran que los índices de efectividad deben complementarse con una caracterización detallada de los CUSV.

Por otra parte, el trabajo realizado por Farfán *et al.* (2016), sobre “Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México” plantea que la dinámica de cambio no sólo está regulada por su zonificación a partir de su decreto, sino también por las diferencias sociales y culturales de los actores institucionales. Los actores institucionales priorizan y deciden de manera diferente sobre los recursos forestales de la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán (RBSM), de acuerdo con dichas diferencias. Para comprobarlo realizaron un análisis espacio- temporal de los tipos de coberturas de la RBSM (1971-2000). Una vez identificadas las zonas de cambio, realizaron entrevistas para conocer las percepciones de algunos actores institucionales en torno al plan de manejo de la reserva. Los resultados indicaron que las zonas de mayor cambio corresponden a la zona de amortiguamiento con una acelerada tasa de cambio para el periodo de 1990-2000. Esto es una forma de tendencia hacia la reducción de superficie de las categorías de bosque de encino, selva baja caducifolia, selva mediana subcaducifolia y de la agricultura de riego. En contraste, se observa un aumento de superficie en aquellas categorías asociadas con la actividad antrópica, como son la agricultura de temporal, el matorral subtropical y el pastizal inducido.

A continuación, en la Tabla 1, se muestran, otros trabajos que han seguido la misma línea de investigación:

Tabla 1. Síntesis del trabajo titulado Cambio de uso de suelo en la porción norte de la microcuenca "Las Amapolas" en Guanajuato, México

Área de estudio	La porción de la microcuenca “Las Amapolas” en estudio se encuentra localizada dentro del ANP “Sierra de Lobos”, que a su vez se encuentra en el noroeste del estado de Guanajuato
Fecha	23 de noviembre de 2010 / 14 de septiembre de 2011
Autor (es)	L. M. Valenzuela-Núñez, J. A. Muñoz-Villalobos, J. L. González-Barrios, G. González-Cervantes, M. A. Velázquez-Valle
Materiales	Mosaico de fotos aéreas Cartas de uso de suelo y vegetación 1:50,000 de 1972
Objetivo	Realizar un análisis en la evolución de la cubierta vegetal en la microcuenca “Las Amapolas” en el ANP “Sierra de Lobos” en el período de 1974 (año en que se realizaron las Cartas de Uso de Suelo y Vegetación del INEGI) a 2007 (año en que se realizó un

	vuelo en la zona con la finalidad de obtener un mosaico de fotos aéreas reciente del área)
Método	Se convirtieron las cartas de uso de suelo y vegetación a digital. Interpretación de la cobertura del terreno sobre fotografías aéreas.
Conclusiones	Conocer el estado de degradación que guarda la cubierta vegetal a nivel de cuenca, subcuenca y microcuenca es de crucial importancia, dado el papel tan importante de la vegetación en la captación de escurrimientos. El caso de la microcuenca "Las Amapolas" es de importancia particular, ya que abastece de recursos hídricos a la presa "El Palote", que a su vez abastece de agua potable a la ciudad de León, Guanajuato, y deben tomarse medidas para proteger el recurso vegetal, ya que presenta un alto grado de deterioro.

Tabla 2. Síntesis del trabajo titulado Cambio en el uso del suelo y la vegetación en la "Sierra de Lobos", Guanajuato, México (1970-2004)

Área de estudio	El área protegida Sierra de Lobos, Guanajuato, México comprende una superficie de 104,068-24-97.29 ha, y se localiza en los Municipios de León, Ocampo y San Felipe, Guanajuato.
Fecha	Mayo 2015
Autor (es)	Luis G. López
Materiales	Mapa de uso del suelo y vegetación 1978, producido por el Instituto de Geografía (IG), UNAM
Objetivo	Evaluar la magnitud de los principales procesos de Cambio de uso del suelo y vegetación en el área natural protegida estatal "Sierra Lobos", en Guanajuato, en particular, aquellos asociados con los cambios en sus bosques de pino, encino, matorral xerófilo y los usos agropecuarios, con la finalidad de identificar posibles tendencias de cambio y la identificación de oportunidades para estudiar los procesos de cambio a mayor detalle para actualizar, en su caso, su régimen de protección.
Método	Cálculo de las tasas de cambio con la fórmula propuesta por la FAO (1996)
Conclusiones	En el área de estudio, el principal problema es la alta mortandad de árboles de encino que ha causado una severa declinación de sus bosques según se ha analizado.

Tabla 3. Cambio de uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Nevado de Toluca, México, en el periodo 1972-2000

Área de estudio	Parque Nacional Nevado de Toluca, México
Fecha	8 de diciembre de 2005 / 10 de agosto de 2006
Autor (es)	Sergio Franco Maass, Héctor Hugo Regil García, Carlos González Esquivel y Gabino Nava Berna

Objetivo	Identificar la dinámica de cambio de uso del suelo en el PNNT, entre 1972 y 2000, bajo un enfoque basado en el cambio de densidad del arbolado, mediante la aplicación de técnicas de fotointerpretación y SIG.
Materiales	Mapa de uso de suelo y vegetación, escala 1:50,000 Fotografías aéreas digitales (Landsat ETM y Quickbird) Ortofotos digitales escala 1:20,000
Método	Generación de las cartas digitales de uso de suelo para los años 1972 y 2000. Superposición de las cartas y generación de malla de cambio de uso de suelo, generación de matriz de transición
Conclusiones	La disminución del arbolado se explica por procesos de extracción intensiva y semi intensiva con fines comerciales. La pérdida de coberturas forestales densas ha dado paso a un incremento en otros usos y en cubiertas forestales de menor densidad. Es importante reconocer, sin embargo, que hubo transiciones que implican una cierta recuperación de los bosques: los de oyamel se recuperaron en cerca de 2 100 ha; los de latifoliadas tuvieron un cambio positivo de 290 ha.

Tabla 4. Cambios de las cubiertas del suelo en la Sierra de Angangueo, Michoacán Estado de México, 1971-1994-2000

Área de estudio	Sierra de Angangueo, Michoacán y Estado de México
Fecha	20 de abril de 1998 / 31 de mayo de 2000
Autor (es)	Isabel Ramírez Ramírez
Materiales	Fotografías aéreas de dos vuelos diferentes: marzo 1971 (escala: 1:50,000) y abril 1994 (escala:1:75,000), Imagen Landsat TM7 y cartografía topográfica escala 1:50,000 y temática escala 1:250,000
Objetivo	Aportar información sobre las cubiertas del suelo de la zona a escala media, siendo ésta de la fecha más reciente posible y dónde se identifiquen las transformaciones de las últimas décadas. (Cartografiar las cubiertas del suelo, determinar los cambios en las cubiertas y cartografiar los espacios modificados).
Método	Interpretación de fotografías, uso del transferoscopio para igualar las escalas (1:50,000). Se digitalizo con el programa AutoCAD. Edición y análisis en un SIG (ILWIS). Verificación de campo y Actualización al año 2000
Conclusiones	La tasa de deforestación resultante ha sido de 0.2%, menor que la media nacional y que la reportada para la región. Esto debido a que, así como ha habido áreas donde se ha registrado perturbación y pérdida de masas forestales, ha habido otras en las que los bosques se están recuperando. También resalta la expansión de terrenos dedicados a la agricultura de riego, que incluye grandes extensiones de plantaciones frutícolas. La cartografía generada nos permite determinar la localización de cada uno de estos procesos de cambio, para así poder concentrar los esfuerzos de conservación donde más se necesiten.

Tabla 5. Modelación de los cambios de coberturas/ uso del suelo en una región tropical de México

Área de estudio	El área de estudio comprende un poco más de 682 mil hectáreas y se ubica en el cuadrante delimitado entre las coordenadas: 16°30' y 17°23' Norte, y 94°18' y 93°06' Oeste. En el centro del cuadrante se encuentra la reserva de la Biosfera Selva El Ocote que comprende poco más de 100 mil hectáreas, y al norte de la misma el embalse de la presa Nezahualcoyotl
Fecha	4 de noviembre de 2010 / 18 de enero de 2011
Autor (es)	Jean-François Mas y Alejandro Flamenco Sandoval
Objetivo	El objetivo de este estudio es llevar a cabo la modelación de los cambios CCUS en una región del trópico mexicano que ha presentado altas tasas de deforestación durante las últimas décadas y evaluar el modelo para identificar sus potenciales y limitaciones.
Materiales	Para el monitoreo de los cambios, se usaron Imágenes Landsat de la época de seca. Para la modelación el programa DINAMICA EGO
Método	Interpretación visual (Clasificación interdependiente (FAO 1996). Análisis de los cambios pasados que permite evaluar las tasas de cambio entre los diferentes tipos de CUS (Coberturas / uso del suelo) y la relación espacial entre la localización de los cambios y variables explicativas que influyen en la distribución de los cambios
Conclusiones	El área de estudio presentó cambios significativos de los patrones y tasas de cambio entre el periodo utilizado para calibrar el modelo y el periodo de simulación. Es importante recalcar que los mapas arrojados por modelos prospectivos deben interpretarse como la representación plausible de las cubiertas/uso del suelo bajo ciertos supuestos y que en muchos casos la modelación no es un instrumento de predicción fiable.

Capítulo. 2 Descripción de la zona de estudio

2.1 Localización geográfica

La ANP Sierra de Pénjamo se localiza en el centro del País, dentro del estado de Guanajuato, entre los municipios de Cuerámara, Manuel Doblado y Pénjamo, tiene una extensión de 83 mil 314.1 hectáreas. Sus coordenadas extremas son: longitud $-101^{\circ}38'1.32''$, latitud $20^{\circ}42'06.119''$, longitud $-102^{\circ}02'40.92''$ y latitud $20^{\circ}23'52.439''$ Además, esta sierra forma parte de la Región Hidrológica VIII. Lerma-Santiago-Pacífico, de gran importancia para el centro occidente del país (CONAGUA, 2014), ya que dentro de ella se localizan estructuras de gran relevancia para la acumulación de agua como las presas de Mariano Abasolo, la Alberca, entre otras (IEE, 2016).

Esta ANP contiene 43 localidades que suman una población de 3,262 personas. La localidad con mayor número de habitantes es La Jamacua de Cortés con 333 personas, y la localidad de El Huizache cuenta con 13 habitantes según la serie IV de los condensados estatales de Guanajuato de INEGI (2010).

El territorio donde se localiza la ANP Sierra de Pénjamo, históricamente se ha constituido como una frontera entre territorios fértiles y zonas semiáridas, lo que los historiadores denominan Mesoamérica y Aridoamérica. (Oliver, 2011).

2.2 Características Físicas

2.2.1 Tipo de suelo

Según Oliver (2011), de acuerdo con las Cartas Edafológicas CETENAL de 1971, los suelos que se encuentran en la ANP Sierra de Pénjamo son: vertisol con una extensión del 44%, feozem 34%, cambisol 2%, litosol 9.5%, regosol 3.5%, planosol 1.5% y luvisol 5.5%.

El suelo vertisol se forma en ambientes con material parental de rocas sedimentarias, ígneas básicas, cenizas y aluviones. El feozem es un suelo de

marcada acumulación de materia orgánica, se ubica en las mesas volcánicas y elevaciones (Buol, 1981).

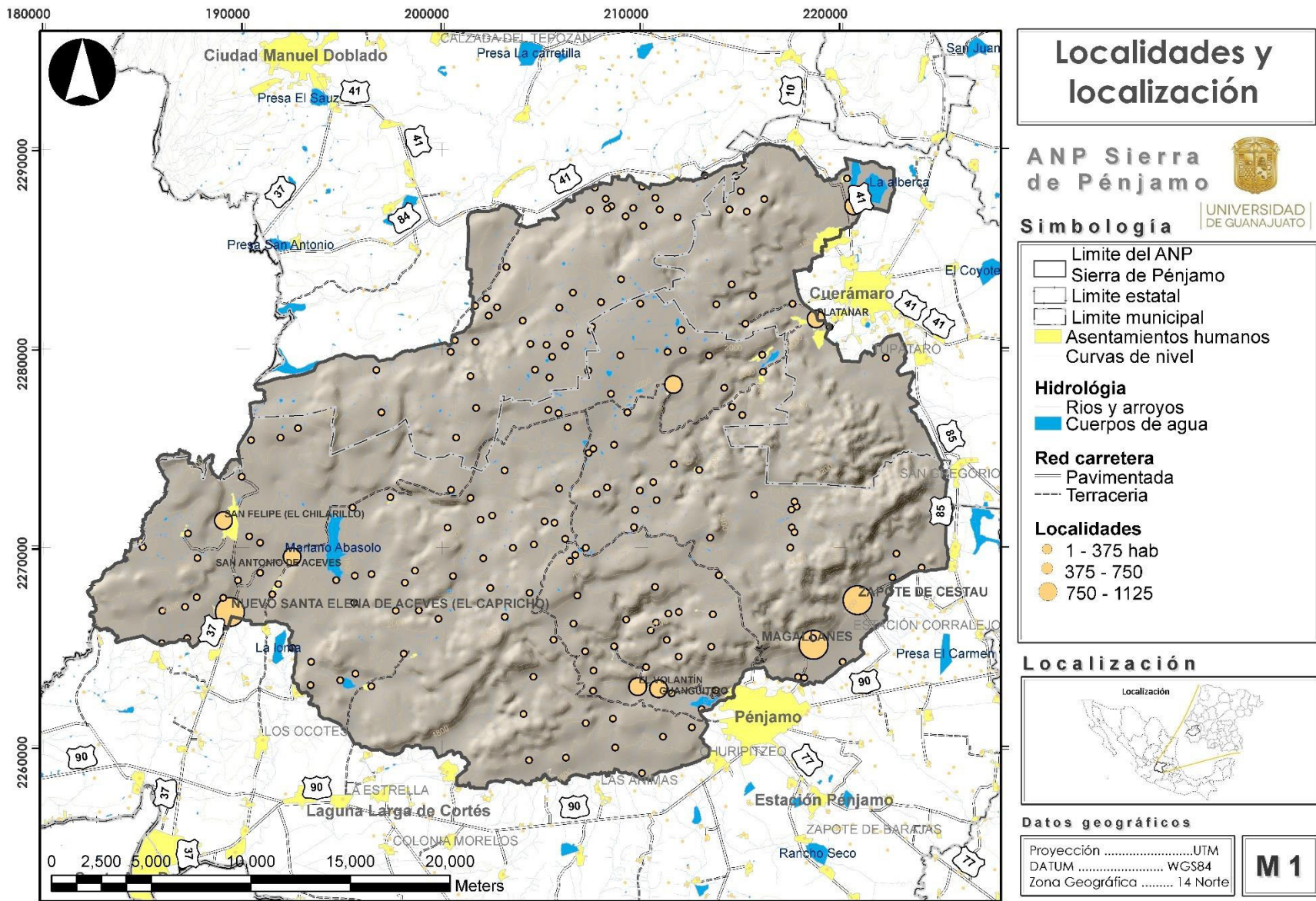


Figura 1. Localización del área natural protegida Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Fuente: INEGI, ITER 2010

El luvisol, se encuentra al norte, en las mesas de la Sierra. Su textura es media en pendientes de bajas a medias.

El litosol se encuentra en escarpes y mesas volcánicas en la ANP Sierra de Pénjamo, asociado con vertisol pélico o feozem con textura fina. El suelo planosol se localiza solamente en la parte noreste de la ANP Sierra de Pénjamo en la zona de la presa La Alberca.

Mientras que el regosol se localiza en la zona noreste de la Sierra, principalmente en la región de La Sabina, con horizontes de tipo háplico y ferrálico, tiene una textura media y una fase física de lítica y pedregosa. (Oliver, 2011).

2.2.2 Clima

En la ANP Sierra de Pénjamo el clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano (entre mayo y octubre), siendo julio y agosto los meses más lluviosos. La precipitación media anual es de 636 mm (Vidal, 2005). Con un contenido de humedad intermedia, con un cociente P/T (índice de humedad de Lang) entre 43.2 y 55. Tiene un verano fresco y largo, con una oscilación extrema de la temperatura ya que fluctúa de 7 a 14° C. El mes más caliente se presenta antes de junio. Los vientos predominantes siguen el rumbo noreste al suroeste principalmente en los meses de febrero a marzo con gran intensidad y de norte al sureste con menor intensidad durante el periodo invernal. Según la clasificación Köppen, la ANP Sierra de Pénjamo presenta en la parte central de la sierra un tipo de clima Cw₁ templado (humedad media); de la parte centro-sur hacia el suroeste tiene un clima de tipo Acw₁ semicálido del grupo C (húmedo medio); y en la porción noreste tiene un clima de tipo Cw₀ templado (humedad baja) (Oliver, 2011).

2.2.3 Relieve

La ANP Sierra de Pénjamo se encuentra entre los rangos de altitud de los 1,690 a 2,480 msnm, se localiza dentro de la provincia de los Altos de Jalisco y del Bajío Guanajuatense, como se muestra en la figura 4.

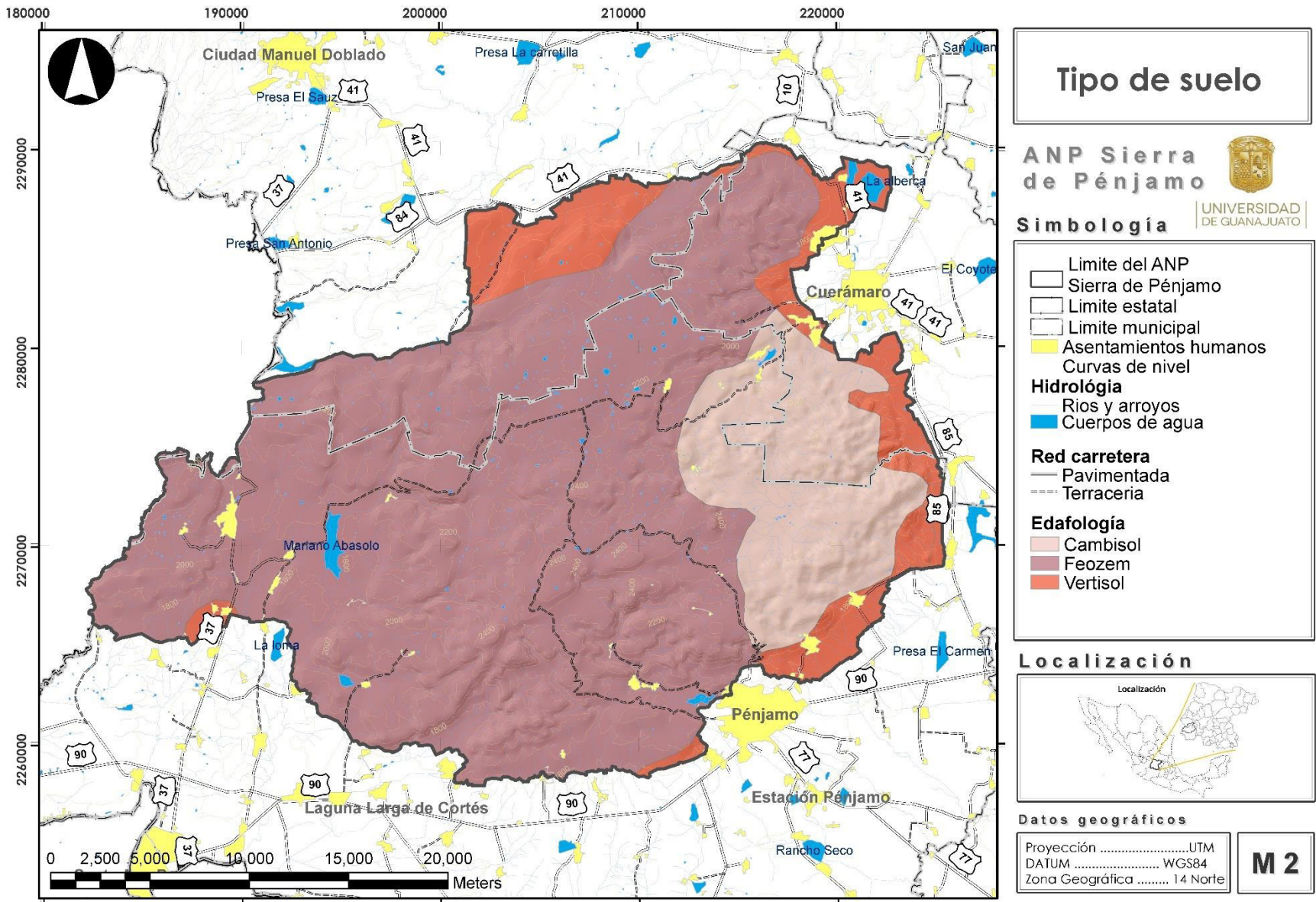


Figura 2. Tipo de suelo de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Fuente: INEGI, Continuo Nacional de Unidades Edafológicas Serie I.

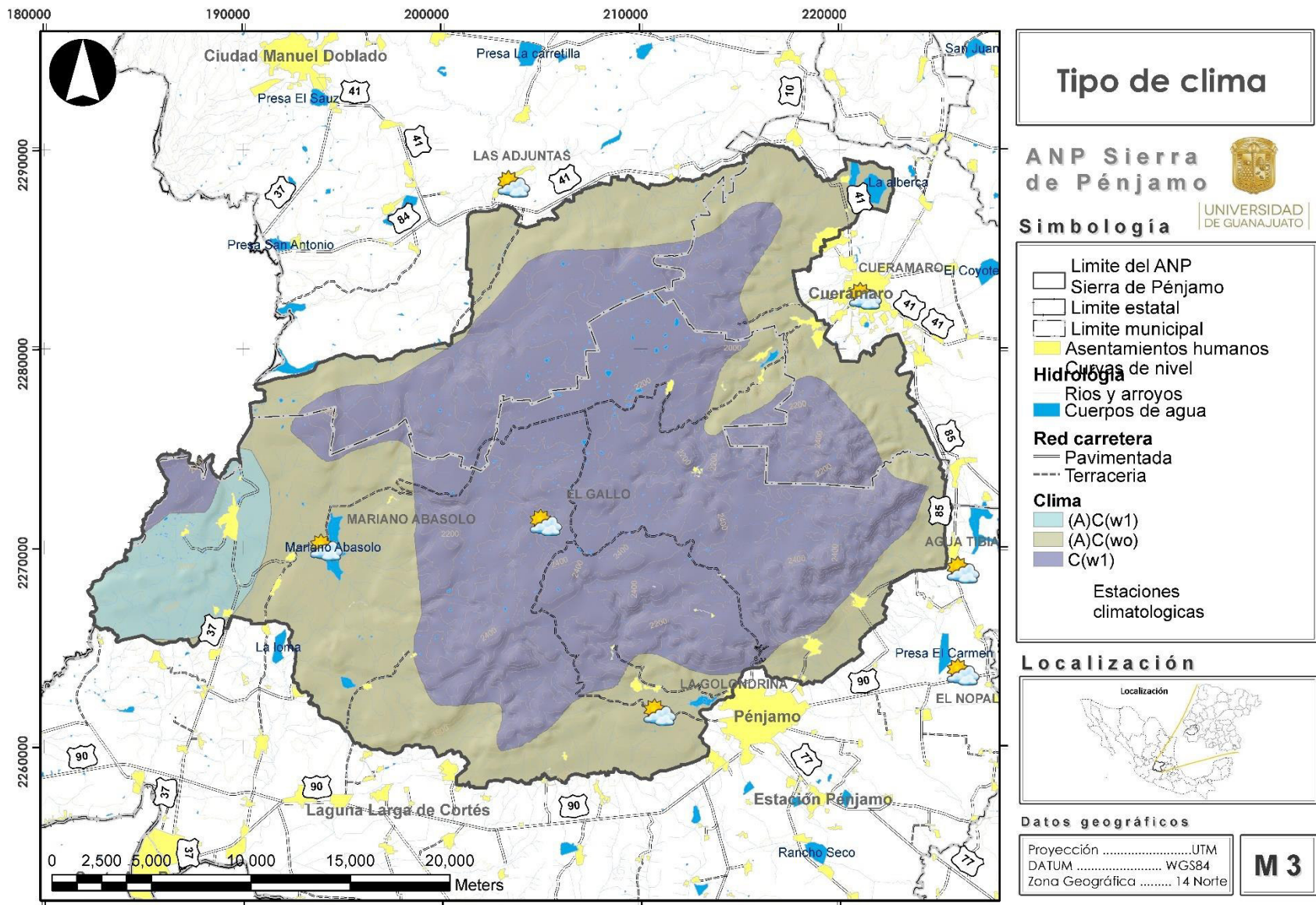


Figura 3. Tipo de clima del ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Fuente: INEGI, 2008.

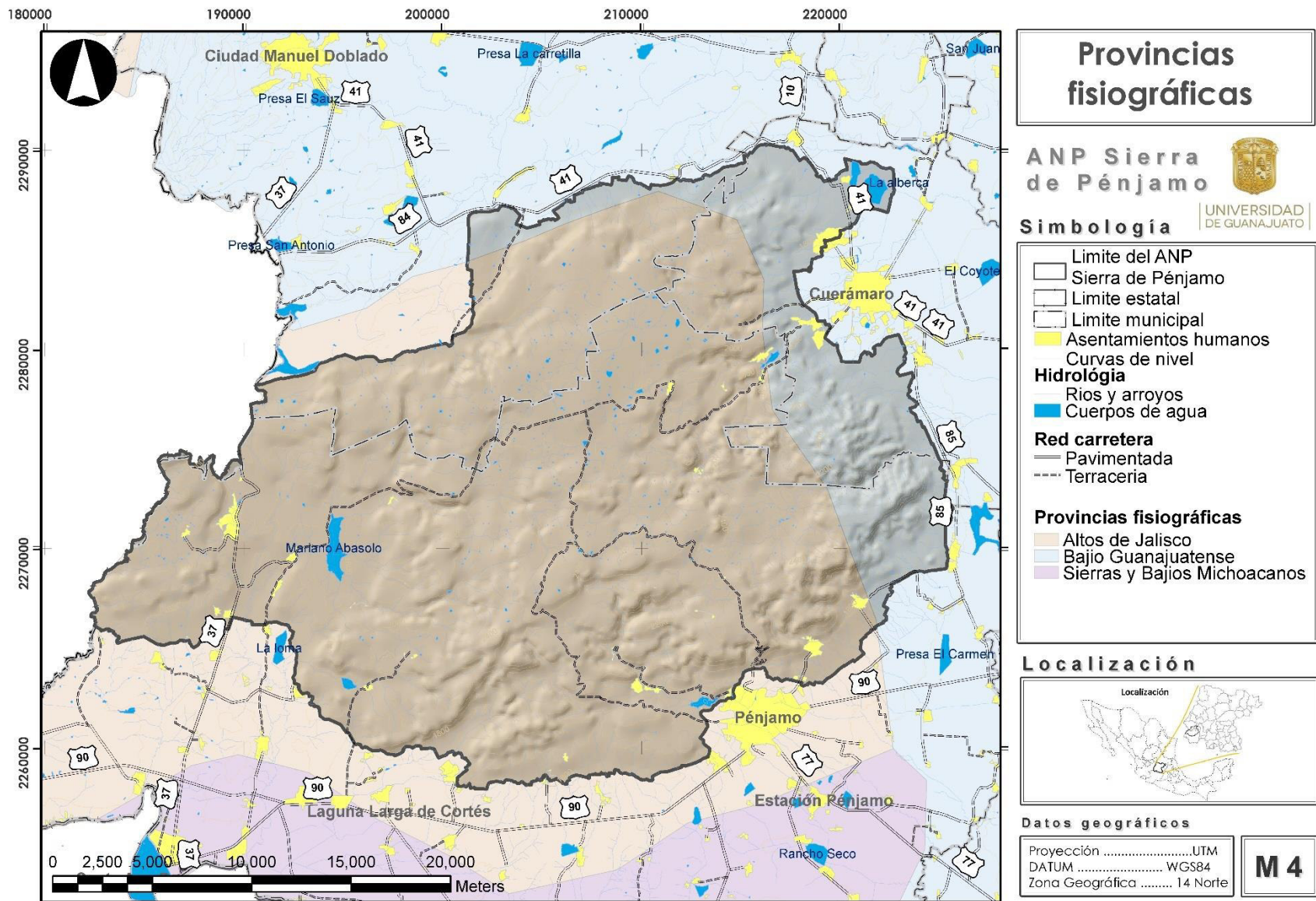


Figura 4. Provincias Fisiográficas en el estado de Guanajuato. Fuente: Provincias Fisiográficas de México. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. (2001)

2.2.4 Hidrología

La estación meteorológica localizada en Pénjamo marca un promedio anual de lluvia de 816.5 mm. El mes más seco es febrero con 0.3 mm de precipitación y el más húmedo es agosto con 236.2 mm. El ANP Sierra de Pénjamo se encuentra ubicada en dos acuíferos: del río Turbio, que abarca la parte Noroeste del ANP Sierra de Pénjamo y el municipio de Manuel Doblado, y la segunda es el acuífero Pénjamo/ Abasolo que barca el resto de la sierra y también los municipios de Pénjamo, Cuerámaro y Abasolo. El acuífero del río Turbio tiene un grave problema por contaminación de las aguas debido a que recibe descargas de todo tipo de residuos, según la Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (2018).

En el ANP Sierra de Pénjamo se pueden localizar diferentes tipos de almacenamiento de agua entre ellos los más importantes son: en la parte del centro de la sierra se localiza la presa Mariano Abasolo; la presa la Alberca en el noreste de la sierra; la presa El Aguacate en centro-este de la sierra; la presa Corralejo en la parte norte de la misma localidad; la Presa La Golondrina en la parte noroeste de la ciudad de Pénjamo a faldas de la sierra; los cuerpos de agua como La Joya de la Mula así como La Loma en el sureste de la sierra mientras que La Ciénega se ubica en la zona noroeste de la sierra. Todos estos cuerpos de agua son formados por los afluentes de los diferentes ríos y arroyos del ANP sierra de Pénjamo. (Oliver, 2011).

Las comunidades de la parte alta de la Sierra (entre los 2200 a 2480 msnm) obtienen el agua principalmente de los manantiales y ojos de agua para el consumo humano, mientras que para las actividades domésticas y consumo del ganado se utiliza el agua de los bordos o agujajes. En temporadas de sequía, cuando los manantiales no tienen agua, esta es traída de los pozos más cercaos en tambos transportados por camionetas de las familias de la localidad. (Oliver, 2011).

Las comunidades de las partes bajas (entre los 1,690 a 1,950 msnm) como lo son: el Zapote de Cestao, la Regalada, Puerta de la Reserva y San Juan el Alto cuentan con pozo de agua y red de distribución. La última localidad de cuenta con cuatro manantiales y existe un proyecto de aprovechamiento turístico con la construcción de temazcales (Oliver, 2011).

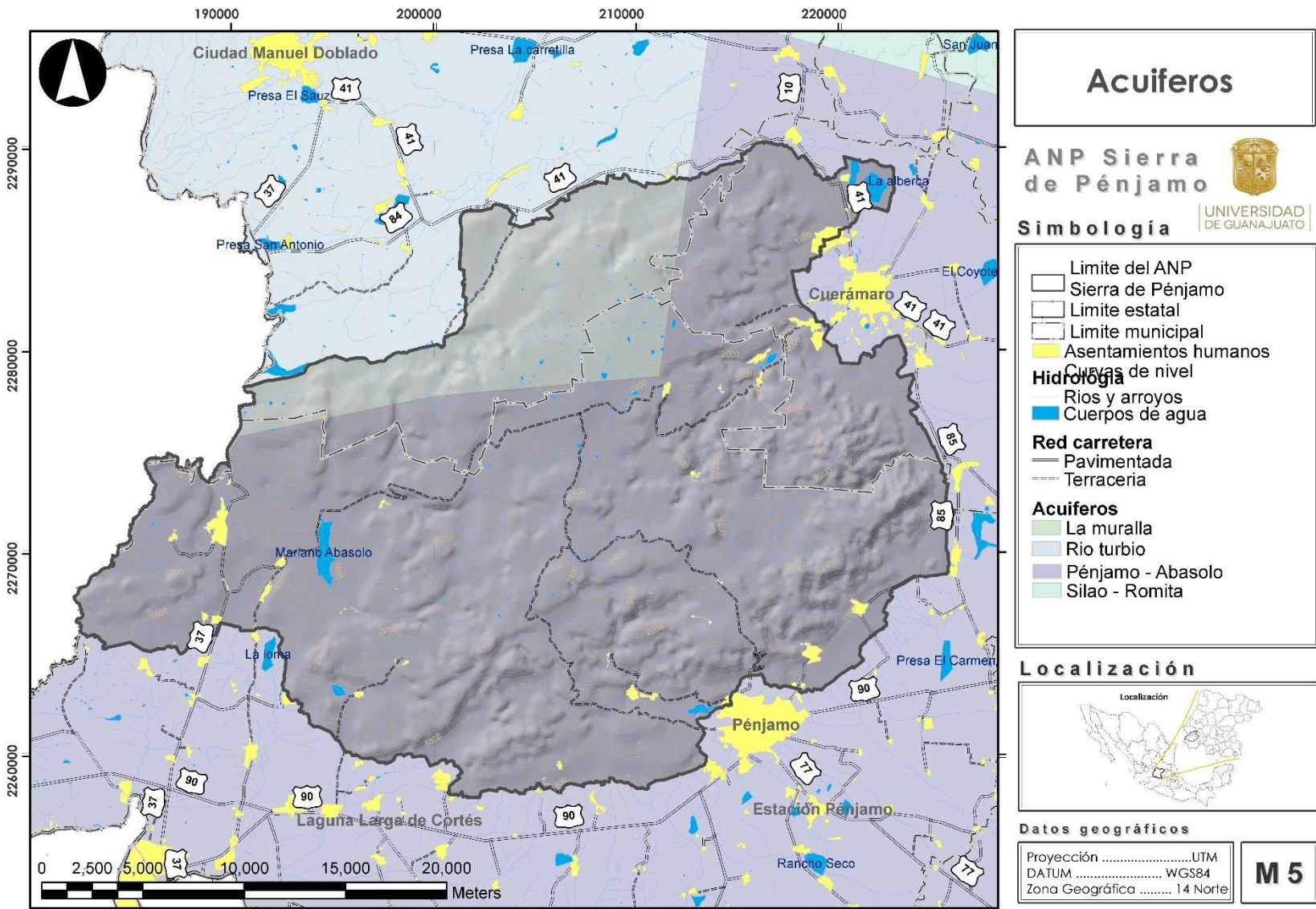


Figura 5. Acuíferos en el ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Fuente: SEBIO Guanajuato, 2005.

2.2.5 Minería

En el ANP Sierra de Pénjamo se encuentran 53 zonas mineras, de estas la mayoría son de minerales no metálicos, su localización se puede observar en la Figura 6 que se tomó del documento realizado por Oliver en 2011 sobre el ANP sierra de Pénjamo. (Oliver, 2011)

El principal recurso mineral no metálico actualmente es el ópalo, que tiene fuerte demanda como piedra preciosa tanto en México como en el extranjero. Los otros minerales no metálicos reconocidos en la ANP Sierra de Pénjamo, como pumicita, arena sílica, arcilla y perlita, en su estado natural, no cumplen con las características fisicoquímicas que requiere la industria, cabe la posibilidad de que algunos de ellos sean susceptibles de ser concentrados metalúrgicamente para alcanzar tales características a un costo que permita explotarlos con beneficio económico. En cuanto a rocas dimensionables la ANP Sierra de Pénjamo cuenta con varias localidades de toba riolítica, la cual es explotada en tajos a cielo abierto para producir cantera de diversas tonalidades con buena aceptación en la industria de la construcción a nivel estatal. La explotación de agregados pétreos está garantizada debido a que la ANP Sierra de Pénjamo tiene gran abundancia de rocas volcánicas en toda su extensión, la explotación de este producto está limitada por la ley de la oferta y la demanda, además de las restricciones impuestas por las normas de protección del equilibrio ecológico. En cuanto a minerales metálicos se encontraron en los trabajos de campo manifestaciones poco significativas (Oliver, 2011)

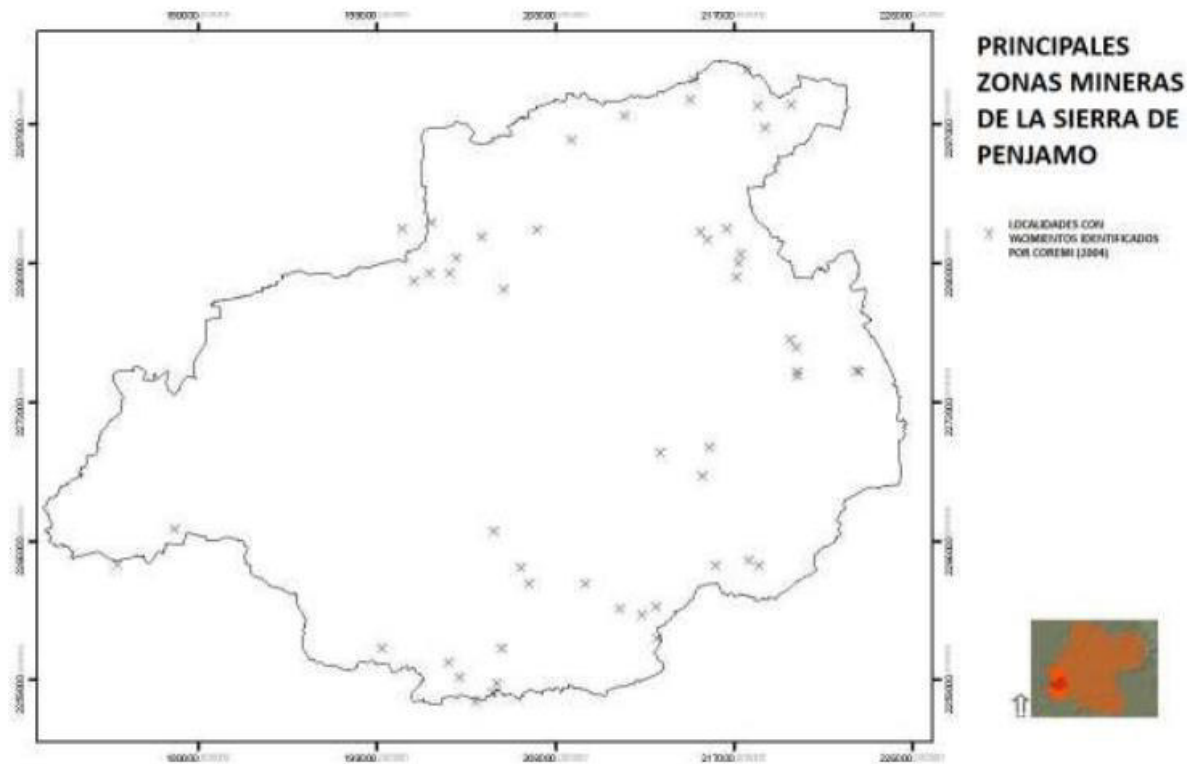


Figura 6. Principales zonas mineras de la ANP sierra de Pénjamo. Elaboración de Talib Oliver Cabrera en su trabajo: Determinación de Áreas Protegidas Caso de Estudio: Sierra de Pénjamo, Gto.

2.3 Características biológicas

2.3.1 Usos de suelo

Oliver (2011), describió las principales actividades productivas que se desarrollan en el ANP Sierra de Pénjamo y su porcentaje de aprovechamiento en su estudio, “Determinación de Áreas Protegidas Caso de Estudio: Sierra de Pénjamo, Gto.”, mediante información recabada en recorridos de campo y realizando entrevistas y talleres, se describen en la tabla 6.

Tabla 6. Uso de suelo y su aprovechamiento en el ANP Sierra de Pénjamo en el año 2000. Fuente: Determinación de Áreas Protegidas Caso de Estudio: Sierra de Pénjamo, Gto. Oliver (2011).

Clasificación	Porcentaje	Aprovechamiento
Selva baja caducifolia secundaria	33.02%	Extracción, de leña, madera y otras especies, también hay ganado y cacería
Agricultura de temporal	23.74%	Principalmente maíz, frijol y ganado. Se está introduciendo agave en algunas áreas de Cuerámara y Pénjamo
Pastizal inducido	21.68%	Ganadería
Bosque de encino secundario	17.21%	Extracción de leña y madera, ganadería
Bosque de encino primario	2.03%	Paisaje y turismo, cacería, extracción de leña
Agricultura de riego	2.02%	Maíz y frijol
Pastizal natural	0.20%	Ganadería
Cuerpo de agua	0.10%	Pesca y actividades turísticas

Capítulo. 3 Materiales y métodos

3.1 Descripción de coberturas y usos del suelo

Para generar la clasificación de los tipos de vegetación y usos del suelo se tomó en cuenta la clasificación propuesta por INEGI en su serie V (INEGI, 2013), en la cual para el ANP Sierra de Pénjamo se consideran las siguientes clases: agricultura de riego y de temporal, los bosques cultivados, selvas bajas caducifolias, selva baja caducifolia secundaria, el pastizal inducido y algunos cuerpos de agua.

Dentro de las categorías también se incluyó el matorral subtropical descrito en la cartografía escala 1:50 000 del Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (IEE, 2014).

Las coberturas naturales y usos del suelo que se tomaron en cuenta para realizar el estudio en la ANP Sierra de Pénjamo son 12 en total, siete corresponden a coberturas naturales y cinco a coberturas antrópicas.

De la clasificación de coberturas naturales, tres tipos corresponden a las diferentes densidades del bosque de encino (abierto, medio y cerrado) que cubre ciertas áreas de la zona. También se consideraron dos tipos de cobertura (arbórea y arbustiva) para la vegetación secundaria de selva baja caducifolia, una para los cuerpos de agua y la última para el matorral subtropical.

Por otro lado, las coberturas antrópicas involucran dos tipos de agricultura (temporal y riego), una al pastizal inducido, las zonas de asentamientos humanos y se creó una más para aquellas zonas en las que no se encontró ningún tipo de vegetación ni correspondía a alguna de las clases anteriores.

A continuación, se describe cada uno de los tipos de coberturas y usos del suelo empleados en este estudio para realizar la cartografía:

a) Agricultura de riego

Estos agrosistemas utilizan agua suplementaria para el desarrollo de los cultivos durante el ciclo agrícola, por lo que su definición se basa principalmente en la

manera de realizar la aplicación del agua, por ejemplo: aspersión, goteo, o cualquier otra técnica. (INEGI, c2014).

b) Agricultura de temporal

Se clasifica como tal al tipo de agricultura en donde el ciclo vegetativo de los cultivos que se siembran depende del agua de lluvia, por lo que su éxito depende de la precipitación y de la capacidad del suelo para retener el agua. (INEGI, c2014).

c) Pastizal inducido

Esta comunidad dominada por gramíneas o graminoides aparece como consecuencia del desmonte de cualquier tipo de vegetación; también puede establecerse en áreas agrícolas abandonadas o bien como producto de áreas que se incendian con frecuencia. (INEGI, c2014).

d) Matorral subtropical

Vegetación formada por arbustos o árboles bajos no espinosos y espinosos, caducifolios, entre los bosques de encino y selvas bajas o pastizales y otros matorrales. Se encuentran al occidente de la Mesa Central, en la Sierra Madre Occidental, Eje Neovolcánico y Sierra Madre del Sur. (INEGI, c2014).

e) Bosque de encino (abierto, medio, cerrado)

Son comunidades vegetales muy características de las zonas montañosas de México. Son formaciones con encinares, su altura varía entre 2 y 30 m. La fisonomía de estos bosques está notablemente influida por el tamaño de las hojas de las especies que lo forman, que usualmente son de menor tamaño y textura coriácea en áreas secas y de hojas grandes. Según FAO (1996), las coberturas de arbolado para vegetación arbórea del 10% al 40% se considera abierta, del 40% al 70% media y del 70% al 100% es cerrada.

f) Selva baja caducifolia (Arbórea y arbustiva)

Se desarrolla en condiciones climáticas en donde predominan los tipos cálidos subhúmedos, semisecos o subsecos. Los componentes arbóreos de esta selva presentan baja altura, normalmente de 4 a 10 m (eventualmente hasta 15 m). El

estrato herbáceo es bastante reducido y sólo se puede apreciar después de que ha empezado claramente la época de lluvias. (INEGI, c2014)

g) Cuerpo de agua

Extensión cubierta de agua representada por presas pequeñas ubicadas en el área de estudio.

h) Zona urbana

Conglomerado demográfico que considera dentro del mismo, los elementos naturales y las obras materiales que lo integran.

Para las coberturas de arbolado se tomaron tres intervalos con base en la clasificación de la FAO (1996). Dicha clasificación sirve para evaluar el estado de los bosques y se muestra en la tabla 7.

Tabla 7. Densidad en porcentaje de arbolado. Fuente: FAO (1996)

Porcentaje de arbolado	Clave
10 a 40%	Abierta
40 a 70%	Media
Mayor a 70%	Cerrada

3.2 Insumos

Para determinar la dinámica de los cambios que tuvieron las coberturas naturales y antrópicas en el área protegida Sierra de Pénjamo se generaron cartografías detalladas de usos de suelo y vegetación para los años 2003, 2008 y 2016, a escala 1: 10,000 usando mosaicos de ortofotos de INEGI (2003 Y 2008) e imágenes Sentinel 2a (2016) y DigitalGlobe (tabla 8).

Tabla 8. Insumos cartográficos empleados para la generación de la cartografía detallada para el área protegida Sierra de Pénjamo mediante fotointerpretación.

Insumo	Fuente	Fecha	Resolución espacial
Ortofotos de las cartas 1:50,000 (F14C61- C62- C71- C72- F13D69- D79)	INEGI (2003 y 2008)	Noviembre 2003, noviembre 2008	1 metro
Imágenes DigitalGlobe	ArcMap Mapa base (2011)	2/24/2011	0.46 metros
Imagen Sentinel2a	https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access	Noviembre 2016	10 metros

Las figuras 7, 8 y 9 representan mosaicos de ortofotos e imágenes usadas para la interpretación visual interdependiente.

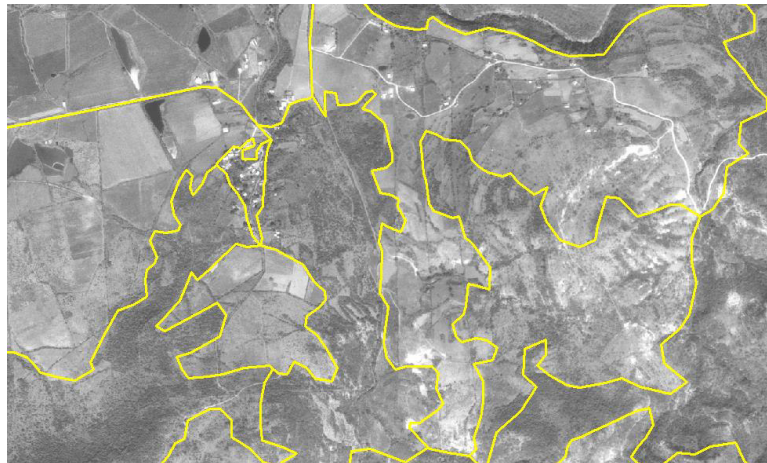


Figura 7. Mosaico de ortofotos del año 2003, escala 1: 10,000 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Fuente: INEGI, ortofotos 2003

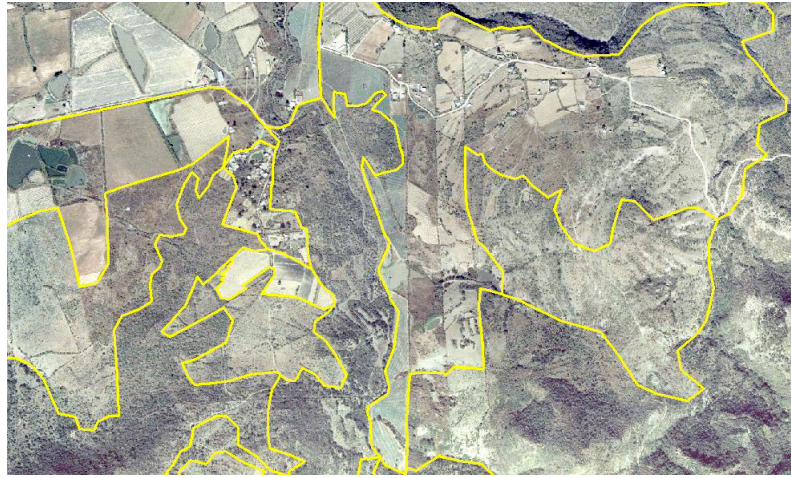


Figura 8. Mosaico de ortofotos del año 2008, escala 1: 10,000 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Fuente: INEGI, ortofotos 2008.

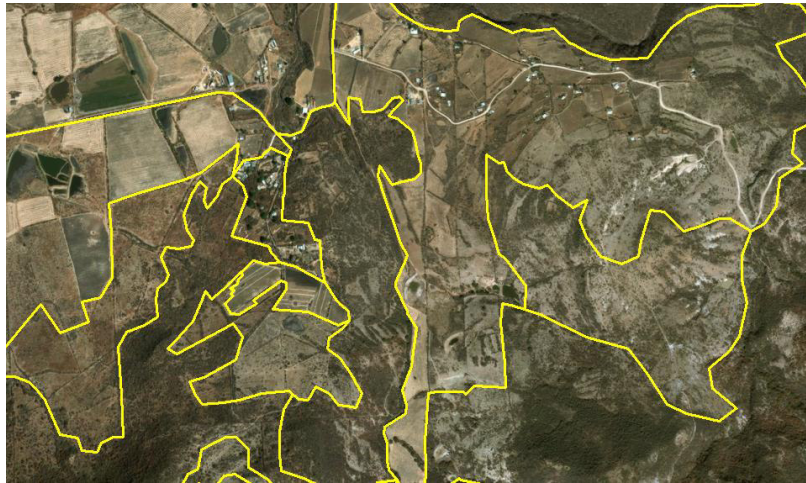


Figura 9. Imagen DigitalGlobe del año 2016, escala 1: 10,000 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Fuente: ArcMap mapa base, 2016

3.3 Metodología

3.3.1 Interpretación visual interdependiente 2003- 2016 (Fotointerpretación)

El método de la interpretación visual interdependiente propuesto por la FAO (1996), consiste en interpretar completamente los polígonos de una primera fecha y que se usen los mismos polígonos para interpretar las imágenes de fechas posteriores, modificando solamente los segmentos en donde se visualicen cambios.

Éste es un método muy efectivo porque ayuda a reducir al mínimo los errores más comunes que llevan a la detección de falsos cambios como:

- 1) Errores de posición, aunque se asume que las imágenes deben estar perfectamente coregistradas, el intérprete puede identificar los posibles desplazamientos y no señalarlos como cambio.
- 2) Errores de clasificación, el método permite moverse fácilmente de una fecha a la otra, por lo que el usuario puede reconocer si se trata de verdaderos cambios o solo de diferencias en las coberturas por condiciones particulares de la toma de la imagen.

Para llevarlo a cabo, el primer paso fue estandarizar los insumos cartográficos con la proyección UTM zona 14 y el datum WGS84. Posteriormente, se hicieron los respectivos mosaicos de ortofotos para los años 2003 y 2008 con el software ArcMap10.3, y se empleó el mosaico del 2003 para realizar toda la cartografía de esta primera fecha.

Como se mencionó en la sección 3.1, las categorías consideradas en este trabajo corresponden a las de la carta de uso de suelo y vegetación de INEGI Serie V y se complementaron con la cartografía del Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (INEGI, c2014)

Una vez concluida la digitalización de la cartografía del 2003, se empleó como base para la interpretación del segundo año (2008). Gracias al mosaico de ortofotos del año 2008, se pudo realizar la actualización observando cambios en las coberturas y los usos del suelo en la ANP Sierra de Pénjamo.

El método se repitió para actualizar la cartografía del año 2016 usando la cartografía resultante del año 2008, la diferencia es que se usaron las imágenes y Sentinel2a además de emplear el Mapa Base del SIG ArcMap10.3.

3.3.2 Cartografía de uso de suelo y vegetación (2003, 2008 y 2016)

Los mapas fueron generados a partir de las ortofotos de INEGI de los años 2003 y 2008, correspondientes a los estados de Guanajuato, Jalisco y Michoacán de Ocampo, con una escala 1: 10,000 y su unidad mínima cartografiable es de 0.16 ha que equivalen a 1,600 m², así mismo para el mapa del año 2016 generado con las imágenes Sentinel 2a y DigitalGlobe.

Todo el procesamiento de la información se llevó al cabo con el software ArcGis10.3. Se realizaron los mapas de los tipos de coberturas y usos del suelo para las tres fechas: 2003, 2008 y 2016. Las matrices de transición de los años 2003-2008 y 2008-2016 de las distintas coberturas y usos del suelo se realizaron con el programa Excel de Office, así como el análisis de la intensidad de cambio de coberturas y usos del suelo.

3.3.3 Verificación en campo

Se realizó una visita de campo a la ANP Sierra de Pénjamo en el mes de noviembre de 2017 para hacer la verificación de la cartografía más reciente, la del año 2016.

El recorrido se hizo en sentido noreste y después se cruzó la parte central de la ANP Sierra de Pénjamo de este a oeste.

Además de verificar la cartografía, se contaron los bancos de material que coincidían con el trayecto del recorrido de la verificación que se encuentran en producción dentro del área protegida.

Se generaron 155 puntos de control a lo largo del trayecto para posteriormente realizar correcciones en gabinete, la figura 10 describe la ubicación de los puntos de control y la cobertura o uso del suelo identificado en cada uno.

Según Stehman *et al.* 2001, la precisión de una clasificación de cobertura del suelo es una medida del grado en que la cobertura coincide con una referencia. En la práctica la verdad de campo no se puede obtener de manera absoluta, así que las evaluaciones de precisión y los datos de validación se obtienen en relación con una referencia.

Dado que es muy caro y difícil obtener clasificaciones y datos de referencia para una región entera de interés, se utilizan muestreos y se utilizan protocolos para realizarlos. A estos protocolos se les llama “diseño de muestreo”. De acuerdo con la literatura un buen diseño de muestreo debe realizarse considerando siete criterios (Stehman 2009): 1) El protocolo de muestreo satisface los requisitos de un diseño de muestra probabilístico. 2) El diseño de muestreo debe ser práctico. 3) el diseño debe ser costo-efectivo. 4) La muestra está espacialmente bien distribuida. 5) las variaciones en las estimaciones de precisión obtenida por la muestra deben ser pequeñas. 6) la variabilidad de muestreo o la precisión de los estimadores de precisión deben estimarse sin apoyarse en aproximaciones diferentes a aquellas relativas al tamaño de la muestra. 7) debe existir la habilidad para acomodar un cambio en el tamaño de la muestra en cualquier paso en la implementación del diseño de muestreo.

El diseño de muestreo seleccionado cumple con estos criterios al ser un muestreo sistemático que se realiza a lo largo de un transecto que cruza la región de interés de este a oeste y cruza la mayoría del área de norte a sur. El muestreo además es práctico, al poder realizarse con un mínimo de insumos y es costo-efectivo. La muestra está espacialmente bien distribuida. Sin embargo, es importante señalar que la principal limitación de este tipo de muestreo a pie de camino se refiere a la posibilidad de que la vegetación esté afectada por el efecto de borde que los propios caminos ejercen. Este efecto de borde puede afectar los criterios cinco y seis de un buen diseño de muestreo. En este trabajo se asume que dicho efecto de borde no tiene un efecto significativo sobre la vegetación dada la baja intensidad de cruces

de personas en dichos caminos y dado que, al realizar las observaciones se cuidó verificar que la clase verificada cubriera el área mínima cartografiable de los mapas a verificar. Sin embargo, se considera que, dadas las limitaciones de los muestreos, las evaluaciones de precisión deben tomarse con precaución.

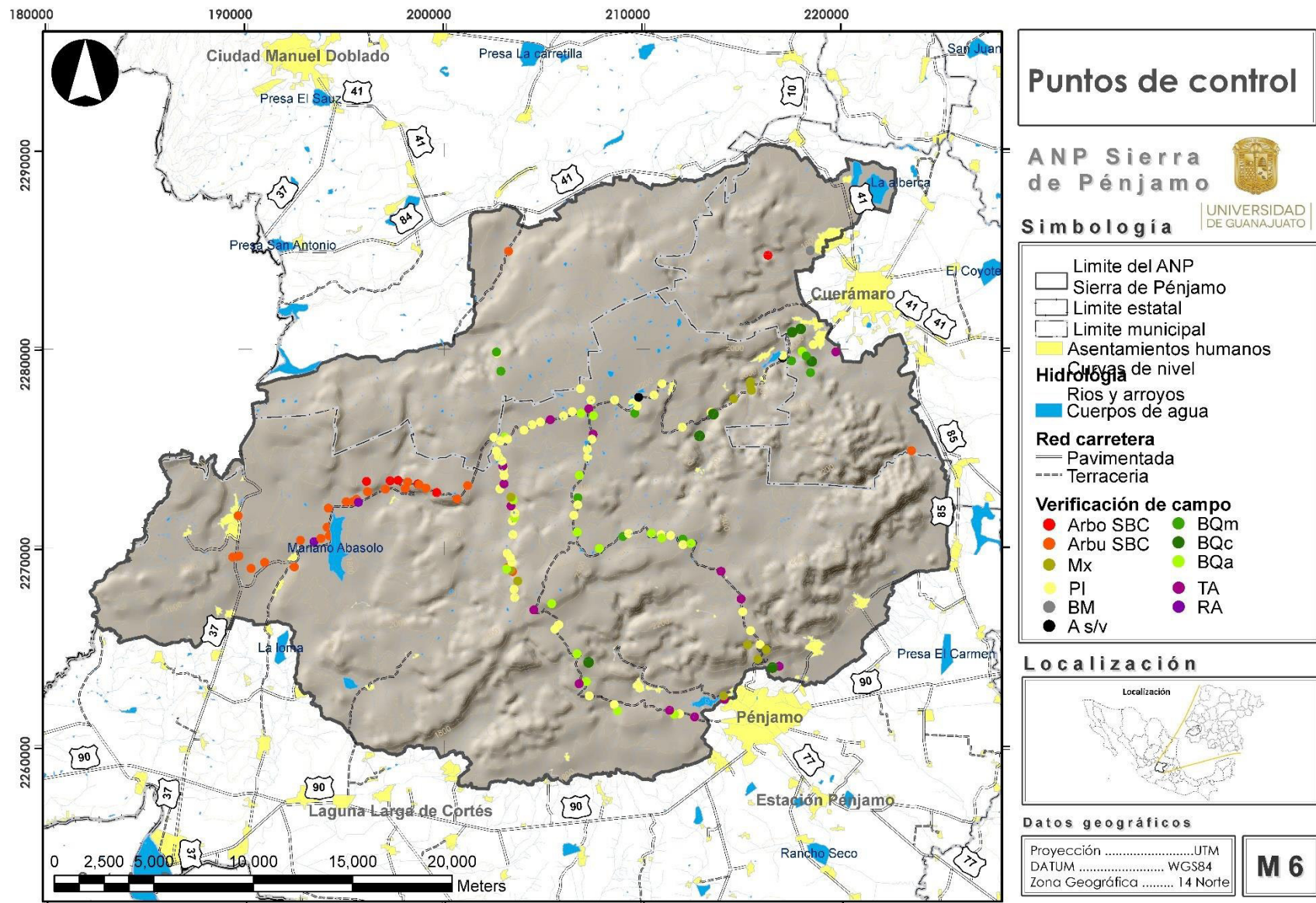


Figura 10. Puntos de control generados en el trayecto del recorrido de campo con los usos de suelo y coberturas vegetales del año 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México

3.3.4 Generación de la matriz de transición de cambio de coberturas y usos del suelo

Se realizó el método de intersección de mapas vectoriales de dos fechas (t_1 y t_2). Para esto se emplearon los mapas de vegetación y uso del suelo de las fechas 2003 con 2008 y 2008 con 2016. De esta manera se estimaron las superficies que cambiaron del t_1 al t_2 . La superposición de mapas es un procedimiento conocido por la mayoría de los usuarios de los Sistemas de Información Geográfica como “cruce de mapas”. En este trabajo, a dicho procedimiento se le reconoce como el de mayor importancia, debido a que con él se generó el producto cartográfico con el que fue posible identificar espacialmente los cambios de vegetación y uso del suelo.

La tabla generada permitió la visualización de las transiciones entre las distintas categorías de coberturas y usos del suelo de las dos fechas. La distribución de la información dentro de la matriz se muestra en la figura 3 en donde la diagonal en amarillo representa las superficies que permanecieron sin cambios (P_{jj}). La columna llamada *Grand Total* del lado derecho representa la suma de las superficies de cada una de las categorías en la fecha 1 (P_{i+}), la fila que lleva el mismo nombre en la parte inferior de la tabla representa la suma total de las categorías para la fecha 2 (P_{+j}).

Además, a partir de la matriz de cambio se estimó el cambio total, la ganancia, la pérdida y el intercambio entre las coberturas (Int).

Las ganancias (G_j) se calcularon a partir de la fórmula 1, realizando una diferencia entre en área total de la categoría en la fecha 2 (P_{+j}) y la persistencia expresada en la diagonal de la matriz (P_{jj}).

$$1) G_j = (P_{+j}) - (P_{jj})$$

Asimismo, las pérdidas de superficies (L_{ij}) se estimaron mediante la diferencia entre el área total de una categoría i en la fecha 1 (P_{i+}) y la persistencia, como se muestra en la fórmula 2.

$$2) (P_{jj}), L_{ij} = (P_{i+}) - (P_{jj})$$

Tabla 9. Notación matemática de las ecuaciones de ganancia, pérdida de superficies y tasa de deforestación.

S_1	Superficie de uso de suelo en la fecha inicial
S_2	Superficie de uso de suelo en la fecha final
t	Tasa de cambio
n	Duración del periodo evaluado
P_{i+}	Suma de las superficies de todas las categorías
P_{+j}	Suma total de las categorías de una fecha
Int	Intercambio entre categorías
G_j	Ganancia de superficie
P_{jj}	Persistencia expresada en la diagonal de la matriz
L_{ij}	Diferencia entre el área total de una categoría i en la fecha 1 (P_{i+}) y la persistencia

En este trabajo se dio énfasis a los siguientes tres procesos que consisten en las transiciones de cobertura vegetal a cobertura antrópica y viceversa:

Deforestación. Pérdida del arbolado, denso o abierto, por cambio a usos no forestales.

Recuperación. Restablecimiento del arbolado denso sobre áreas perturbadas, aclaradas o de vegetación arbustiva.

Crecimiento urbano. Incremento de la superficie ocupada por áreas habitacionales o industriales.

Además, se elaboraron los gráficos correspondientes para representar las transiciones más relevantes entre coberturas para el periodo 2003-2008 y 2008-2016 con el software Gephi y así generar los esquemas que muestran la dinámica de transición de superficies entre las clases.

3.3.5 Deforestación

Para generar los mapas de deforestación, el principal insumo fueron los mapas de uso de suelo y vegetación de los 3 años de estudio. Se produjo un mapa para el periodo 2003-2008 y uno más para el periodo 2008-2016. La deforestación se definió como el paso de la cobertura natural hacia algún uso del suelo. Como ya se

mencionó anteriormente, las tasas de deforestación son los cambios permanentes que causa el ser humano a la superficie forestal entre un periodo de tiempo y otro subsecuente. Mide el cambio anual que sufren las coberturas boscosas por la transformación de ecosistemas naturales a coberturas antrópicas. (Takaki Takaki, F., S.F.)

3.3.6 Cuantificación de la tasa de cambio

En este estudio las tasas de deforestación se estimaron de acuerdo con la fórmula 3 utilizada por la FAO (1996) que involucra las superficies de las coberturas en los dos periodos de tiempo y el intervalo de tiempo, en años, de las dos fechas, además se aplicó una multiplicación por 100 para obtener el valor en porcentaje.

$$3) t = \left(1 - \frac{S1-S2}{S2}\right)^{1/n}$$

Dónde, t es la tasa de cambio, S1 es la superficie de la primera fecha, S2 es la superficie de la segunda fecha y n el número de años entre las dos fechas. Un valor negativo de t, indica una disminución de la cobertura y, por el contrario, si t es mayor que cero, hay un aumento de esta.

Las tasas de cambio pueden ser positivas o negativas, cuando son positivas significa que la categoría tuvo un aumento de la superficie en el intervalo de tiempo, por el contrario, si son negativas quiere decir que la categoría perdió área. Por lo tanto, una tasa de cambio negativa implica deforestación.

3.3.7 Análisis de la intensidad del cambio de coberturas y usos del suelo

Este método cuantitativo determina patrones de cambio, es decir, analiza el comportamiento de las transiciones a partir de su intensidad en intervalos de tiempo. Se compone de tres niveles de análisis: intervalo, categoría y transición (Aldwaik y Pontius, 2012)

El esquema mostrado en la figura 11, describe la progresión del enfoque a medida que los niveles se vuelven más detallados de arriba hacia abajo, partiendo de un nivel general hasta el más detallado, para así tener tres tipos de información, a nivel de intervalo, de categoría y de transición (Aldwaik y Pontius, 2012).

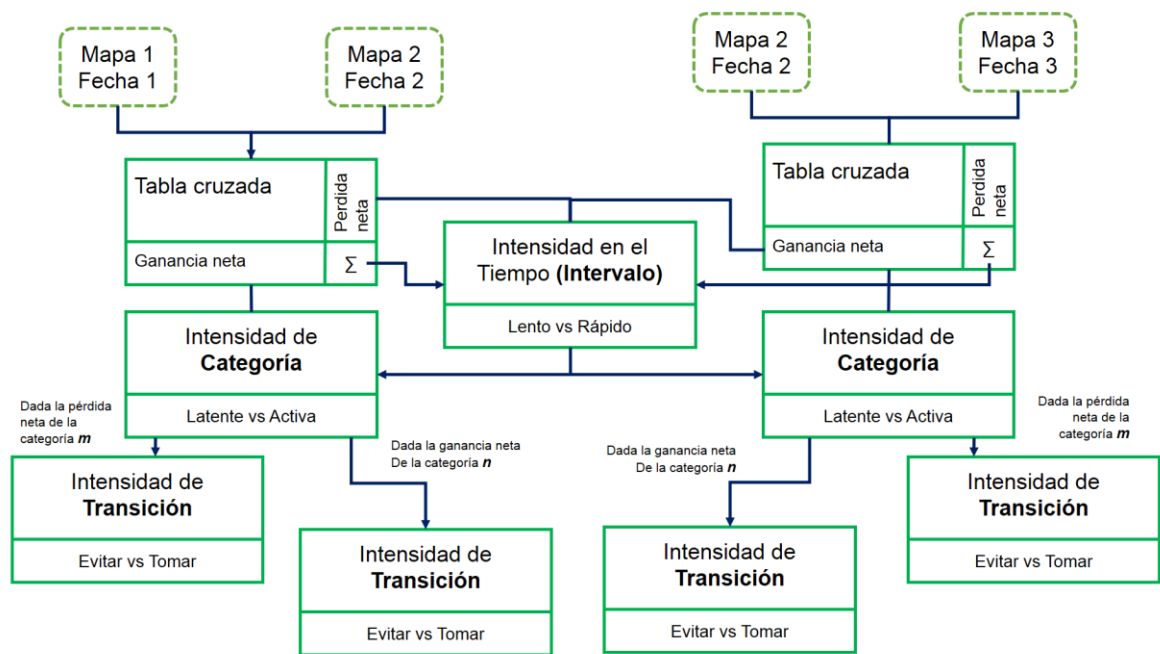


Figura 11. Flujo metodológico del análisis de la intensidad de cambio entre los tres niveles: intervalo, categoría y transición, dónde m es la categoría que pierde en la transición seleccionada y n es la categoría que gana en la escena seleccionada (adaptado de Aldwaik y Pontius, 2012).

La intensidad de cambio para cada nivel es examinada asumiendo una intensidad de cambio uniforme, que supone que todos los cambios son estacionarios, es decir, que se mantienen para cada nivel y define si la intensidad de cambio varía en comparación con la estacionaria que se calcula según el nivel que se esté analizando. El nivel de intervalo puede identificar qué intervalos de tiempo son relativamente rápidos o lentos, en términos del cambio anual total. El nivel de categoría puede identificar qué categorías son activas o inactivas, en relación con superficie de las categorías. En el nivel de transición, cuando una determinada categoría gana o pierde superficie, se puede identificar si el proceso es intensivo o que evite alguna de las categorías. Para abordar más afondo este marco de análisis se pueden consultar los siguientes estudios Aldwaik y Pontius (2012); Pontius *et al.*, (2013); Rocha-Álvarez, (2015); Farfán *et al.*, (2016)

Tabla 10. Notación matemática de las ecuaciones para el cálculo de la intensidad de cambio. Fuente: Aldwaik y Pontius (2012)

T	Número de puntos en el tiempo (3)
Y_t	Año al tiempo t
t	Índice para el intervalo de tiempo inicial $[Y_t, Y_{t+1}]$, donde t tiene un rango de 1 hacia T-1
J	Número de categorías
i	Índice para la categoría del inicio del intervalo
j	Índice para la categoría al final del intervalo
m	Índice para la categoría que pierde en la transición seleccionada
n	Índice para la categoría que gana en la transición seleccionada
C_{tij}	Número de pixeles en la transición de la categoría i a la categoría j durante el intervalo $[Y_t, Y_{t+1}]$
S_t	Cambio anual durante el intervalo $[Y_t, Y_{t+1}]$
U	Cambio anual uniforme durante la extensión $[Y_t, Y_{t+1}]$
G_{tj}	Intensidad en la ganancia anual de la categoría j durante el intervalo $[Y_t, Y_{t+1}]$ relativo al tamaño de la categoría j al tiempo t+1
L_{ti}	Intensidad de la pérdida anual de la categoría i durante el intervalo $[Y_t, Y_{t+1}]$ relativo al tamaño de la categoría i al tiempo t
R_{tin}	Intensidad de transición anual de la categoría i a la categoría n durante el intervalo $[Y_t, Y_{t+1}]$ relativo al tamaño de la categoría i al tiempo t donde $i \neq n$

El primer nivel, el de intervalo, representa el cambio general anual de todo el periodo y todas las categorías. Asimismo, puede identificar cómo la tasa de cambio anual varía entre los intervalos de tiempo y si es rápida o lenta.

El cambio anual se determinó dividiendo el área de cambio durante el intervalo de tiempo y la duración del intervalo, como lo expresa la fórmula 4.

$$4) St = \frac{\text{Área de cambio durante el intervalo } [Y_t, Y_{t+1}] \text{ l área de estudio}}{\text{Duración del intervalo } [Y_t, Y_{t+1}]} \times 100$$

El segundo nivel es el de categoría en éste, se estimaron las ganancias y las pérdidas de cada cobertura en porcentaje de todo el periodo, asimismo se conoce como cambian en relación con el área de la categoría, se toma en cuenta la superficie que tiene la categoría al iniciar y terminar el periodo estudiado. (Farfán *et al.* 2016)

Para determinar las intensidades tanto de ganancias como de pérdidas, se usaron las fórmulas 5 y 6 que involucran las categorías que ganaron superficies y las que lo perdieron, así como su superficie al inicio del periodo.

$$5) G_{tj} = \frac{\text{Área de ganancia neta de la categoría } j \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] \text{ l duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{Área de la categoría } j \text{ al tiempo } [Y_{t+1}]} \times 100$$

$$6) L_{ti} = \frac{\text{Área de pérdida neta de la categoría } i \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] \text{ l duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{Área de la categoría } i \text{ al tiempo } [Y_{t+1}]} \times 100$$

$$7) G_{tin} = \frac{\text{Área de transición de } i \text{ hacia } n \text{ durante } [Y_t, Y_{t+1}] \text{ l duración de } [Y_t, Y_{t+1}]}{\text{Área de la categoría } i \text{ al tiempo } Y_t} \times 100$$

Después de haber calculado la intensidad de cambio anual para cada intervalo de tiempo, se compararon con una intensidad uniforme de cambio anual que existió si el cambio de cada intervalo se distribuyera uniformemente.

Si al graficar la intensidad de cambio de cada categoría e indicar con una línea el cambio uniforme, las barras de cambio termina debajo de la línea uniforme, significa que esa categoría es relativamente inactiva durante el intervalo de tiempo. Por el contrario, si termina por arriba de la línea uniforme, el cambio es activo para esa categoría. (Rocha-Álvarez, 2015, Farfán *et al.*, 2016)

En nivel de transición es el último y el más detallado, donde se parte de una categoría específica, se analiza una transición en particular m para examinar cómo varía el tamaño y la intensidad de la transición entre otra categoría n disponible para esa transición.

Para definir el análisis en este nivel, son importantes ciertos supuestos con respecto al lugar donde puede ocurrir la transición de m hacia n . Primero se define el patrón de transición de ganancia para la categoría n , es decir, si la categoría n existe desde el inicio del intervalo de tiempo, la categoría n no puede ganar en ese lugar. Cuando gane, debe ser a partir de lugares de los que inicialmente no son categoría n . (Farfán *et al.* 2016)

En otras palabras, el análisis a nivel de transiciones toma cada categoría como particular y de esta forma se conocen los cambios que sufrió en cada periodo de tiempo y por esto mismo cada una tiene un porcentaje de cambio uniforme diferente, que depende de la cantidad de cambios y la intensidad en que ocurrieron.

Si la intensidad de la transición observada es mayor que la intensidad uniforme, entonces la categoría se dirige a la transición en particular. En contra parte, si la intensidad de la transición observada es menor que la intensidad uniforme para esta, entonces la categoría evita esa transición (Rocha-Álvarez, 2015).

Con la ecuación 7 se estimó la intensidad de cambio a nivel de transición para cada categoría i hacia la categoría n , donde $i \neq n$

Capítulo. 4 Análisis de resultados

4.1 Cartografía de uso de suelo y vegetación de los años 2003, 2008 y 2016

La cartografía de la vegetación y los usos de suelo para los años 2003, 2008 y 2016 se muestra en las figuras 12, 13 y 14, respectivamente.

Los tres mapas permiten ver que la agricultura de riego se ubica principalmente en la parte suroeste del ANP, en cambio la agricultura de temporal se distribuye por toda la Sierra al igual que los pastizales. El bosque de encino medio y abierto se concentra en la parte este; el bosque abierto se ubica en la zona centro de la ANP Sierra de Pénjamo. Por otro lado, los matorrales se encuentran, en la mayoría de los casos, junto a categorías como el pastizal inducido y la agricultura de temporal. Además, se identifica que la selva baja arbustiva predomina al norte del ANP, por el contrario, la selva baja arbórea se localiza al suroeste.

En este apartado se usará una serie de claves para referirse a los distintos tipos de coberturas y usos del suelo como se indica en la tabla 11.

Tabla 11. Categorías de la carta de usos de suelo y vegetación

Tipo de cobertura (uso de suelo o vegetación)	Clave
Bosque de encino abierto	BQa
Bosque de encino cerrado	BQc
Bosque de encino medio	BQm
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	VS Arbo SBC
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	VS Arbu SBC
Cuerpo de agua	CA
Matorral subtropical	Mx
Agricultura de riego	RA
Agricultura de temporal	TA
Pastizal inducido	PI
Área sin vegetación aparente	As/v
Asentamientos humanos	AH

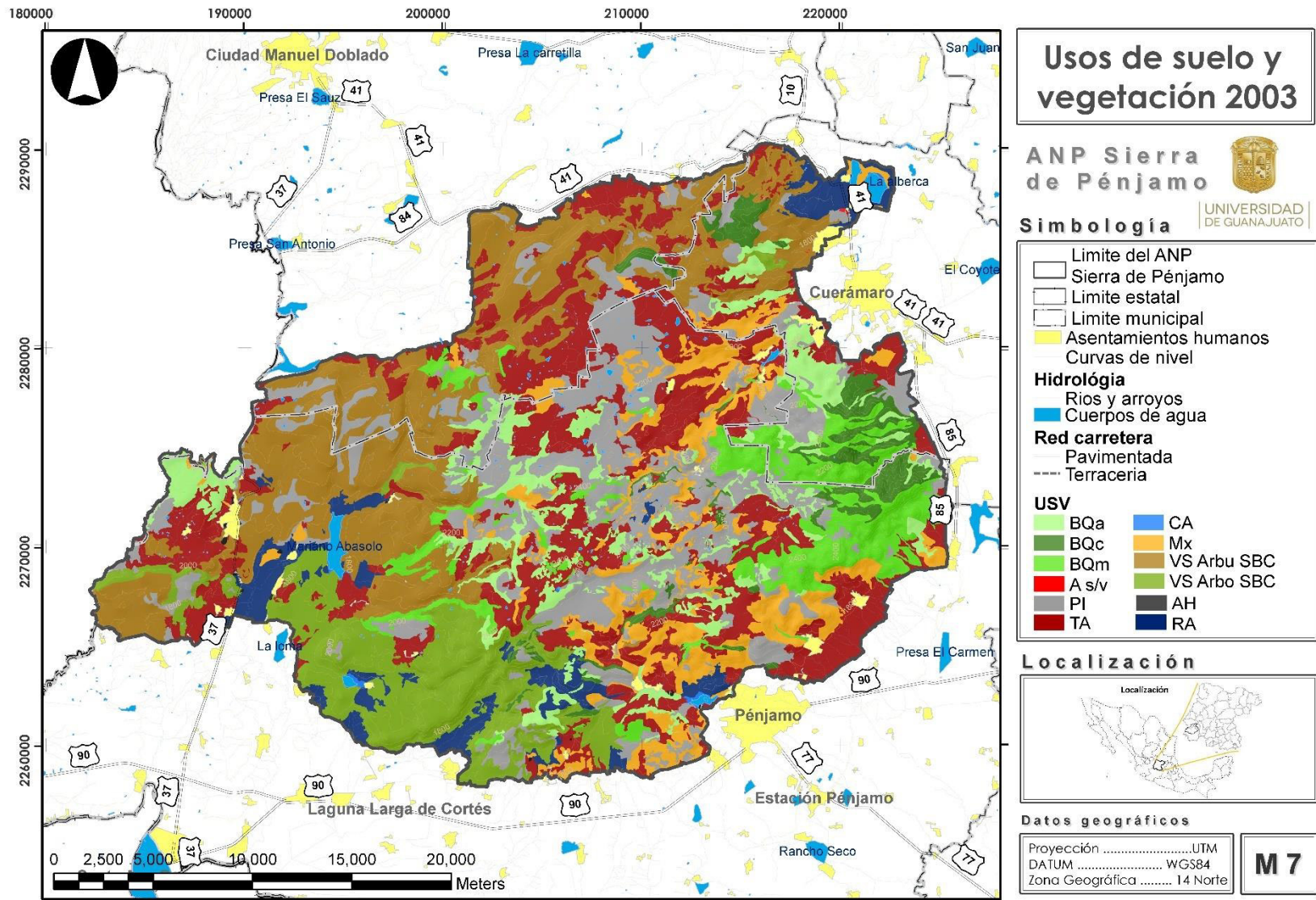


Figura 12. Usos de suelo y vegetación en el año 2003 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Elaboración propia

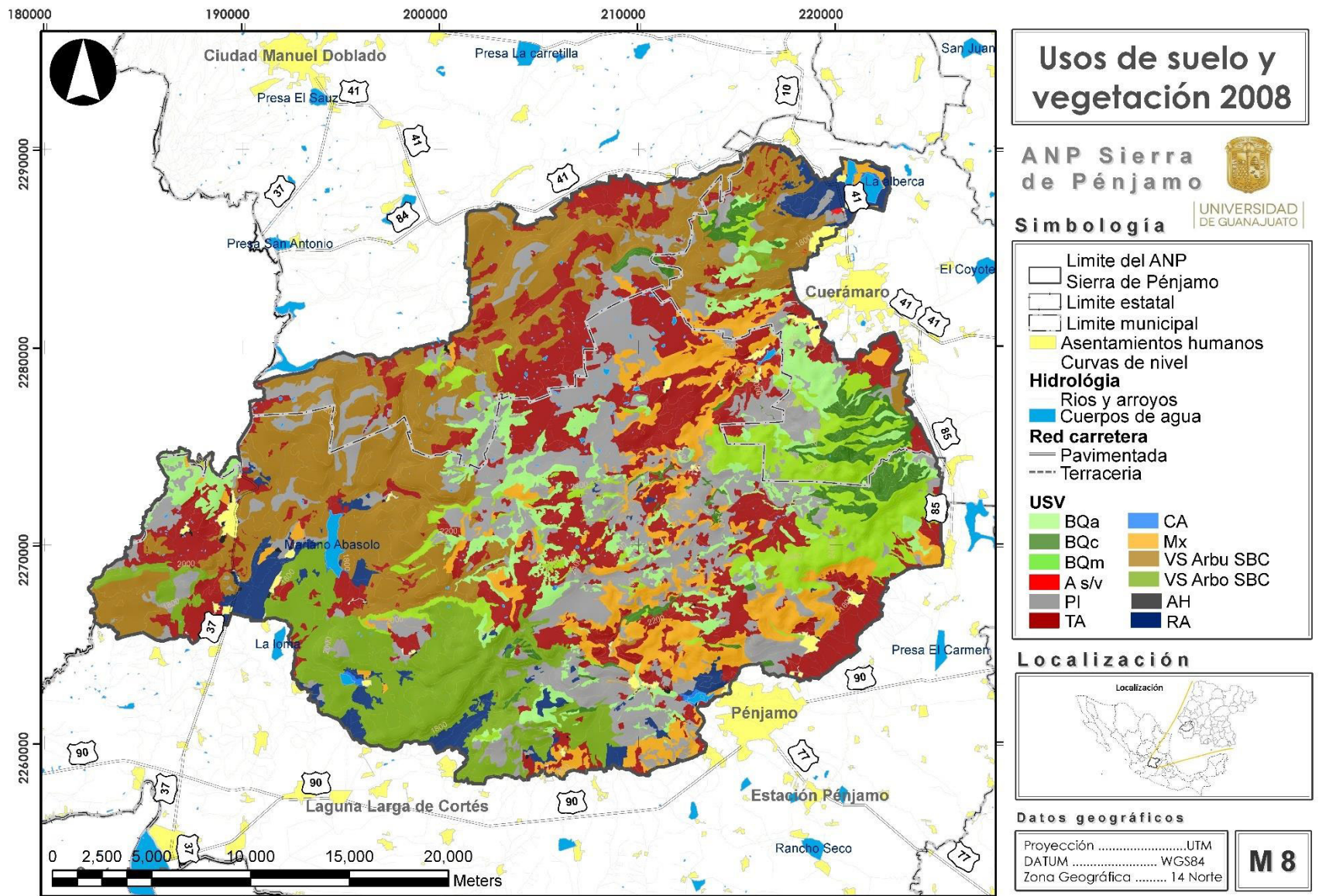


Figura 13. Usos de suelo y vegetación en el año 2008 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Elaboración propia

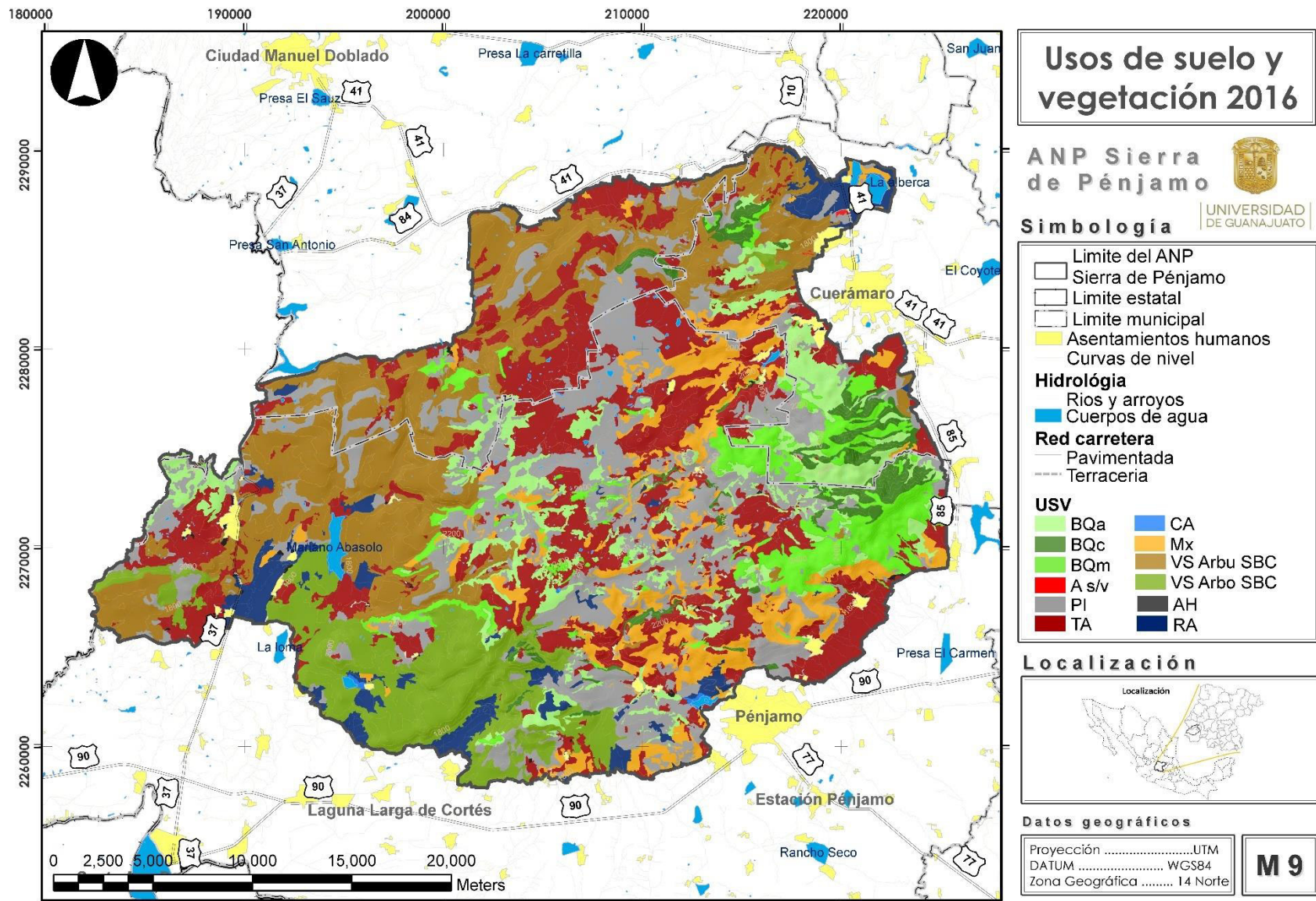


Figura 14. Usos de suelo y vegetación en el año 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Elaboración propia

4.1.1 Verificación en campo

El trayecto comenzó en la zona norte donde se encuentra la Presa de Tres Villas, se pudo observar que el tipo de cobertura, vegetación de selva baja arbustiva en esa zona está bastante degradada o perturbada. Además, se identificó el banco de material de mayor extensión cartografiado en el presente estudio y que se encuentra en actividad como lo muestra la selección de imágenes de la figura 15.



Figura 15. Banco de material de mayor extensión localizado en el ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, 2017

A continuación, se realizó una caminata para poder adentrarse en zonas donde el vehículo automotor no tenía acceso. El sendero por donde se caminó coincidía con el límite de la vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia y el bosque de encino. Fue bastante notoria la diferencia entre estas coberturas vegetales porque el bosque crece en las zonas más altas de las montañas, por el contrario, la vegetación de selva baja caducifolia ya sea arbustiva o arbórea se desarrolla en las partes bajas de las laderas como se puede observar en la figura 16.

Durante la caminata se notó que había errores en la interpretación de las coberturas de esta zona por lo que se realizaron anotaciones y se tomaron puntos de control para ubicar el lugar y así poder realizar las correcciones necesarias.



Figura 16. Bosque de encino ubicado en la parte alta de la ladera y vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en las partes bajas en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, 2017

Con ayuda del GPS navegador se pudo determinar la ubicación y comparar la cartografía generada en gabinete con la vegetación en el territorio.

La figura 17 muestra los bosques de encino encontrados en el recorrido, posteriormente, las figuras 18 y la 20 muestran evidencia de lo que se consideró como bancos de material en menor escala.

Finalmente, los pastizales inducidos para ganado se pueden observar en la figura 19; mientras que la figura 21 representa la vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia.



Figura 17. Bosque de encino cerrado en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, 2017



Figura 18. Banco de material abandonado con desarrollo de cárcavas en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, 2017



Figura 19. Pastizal inducido para ganadería en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, 2017.



Figura 20. Banco de material inundado en la Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, 2017



Figura 21. Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, 2017

4.2 Cuantificación de superficies totales

Las superficies en hectáreas que se calcularon a partir de la digitalización en las tres fechas se enlistan en la tabla 12. En ella se puede apreciar que la cantidad de las áreas sin vegetación incrementaron de 14 hectáreas a 30 en los 13 años que abarca el estudio. También se observa que los asentamientos humanos tuvieron un incremento de 117 hectáreas. El aumento de los cuerpos de agua fue de 566 hectáreas a 595, es decir aumentaron 29 ha.

El bosque de encino abierto tuvo un comportamiento particular, ya que no presentó cambios en las primeras dos fechas, pero para la tercera sufrió un aumento en su superficie. Por el contrario, el bosque de encino cerrado y el bosque de encino

medio disminuyeron en 537 hectáreas y 1,182 hectáreas respectivamente, lo que equivalen al 17.7% y 19.3% de la superficie original de cada una de las coberturas respectivamente, siendo la pérdida en el bosque de encino medio la más grande

Además de la tabla 13 con las superficies totales, en la figura 21, se distinguen las coberturas que aumentaron y disminuyeron en el intervalo de tiempo del presente estudio.

En la figura 22, se muestra que hubo una disminución en el área de la agricultura de riego del 2003 al año 2008 pero para el 2016 incrementó, aunque no alcanzó la superficie original.

Por su parte la agricultura de temporal tuvo un comportamiento similar, pero se destaca porque al final del año 2016 aumentó su superficie original en casi 350 ha.

Tabla 12. Superficies totales en hectáreas para los años 2003, 2008 y 2016 de cada cobertura y uso de suelo de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México

Tipo de cobertura (uso de suelo o vegetación)	CLAVES	Superficies (ha)		
		2003	2008	2016
Bosque de encino cerrado	BQc	3033	2552	2496
Bosque de encino medio	BQm	6098	5928	4916
Bosque de encino abierto	BQa	6321	6332	6889
Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia	VS arbo SBC	7950	7851	7608
Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia	VS Arbu SBC	15717	15946	15347
Cuerpo de agua	CA	566	591	595
Matorral subtropical	Mx	6766	6718	6194
Agricultura de riego	RA	3915	3219	3495
Agricultura de temporal	TA	19788	19564	20136
Pastizal inducido	Pi	12748	14135	15093
Área sin vegetación aparente	As/v	14	22	30
Asentamientos humanos	AH	398	455	515

Además, la cobertura vegetación secundaria de selva baja caducifolia, tanto arbórea como arbustiva, disminuyeron simultáneamente siendo la selva baja caducifolia arbórea la que tuvo el menor cambio con 343 hectáreas, mientras que con la selva baja caducifolia arbustiva perdió 370 hectáreas.

El comportamiento que se observa en el bosque de encino cerrado claramente está orientado a la degradación, en la transición del 2003 al 2008 su superficie disminuye, mientras que, el bosque de encino medio se mantiene, aunque para el último año este tiene un decremento que se ve reflejado en el aumento de la superficie del bosque de encino abierto, que es la categoría boscosa que al final de los tres años tiene la mayor superficie.

El matorral subtropical sufre reducciones en su superficie a lo largo de los tres periodos estudiados, el pastizal inducido, por el contrario, es la categoría que obtiene ganancias en los tres años.

La superficie que abarcan los asentamientos humanos no es comparable con las demás categorías, ya que es muy poca, pero la gráfica demuestra que esta categoría se mantiene, no tiene ganancias ni pérdidas considerables al igual que en el caso de los cuerpos de agua.

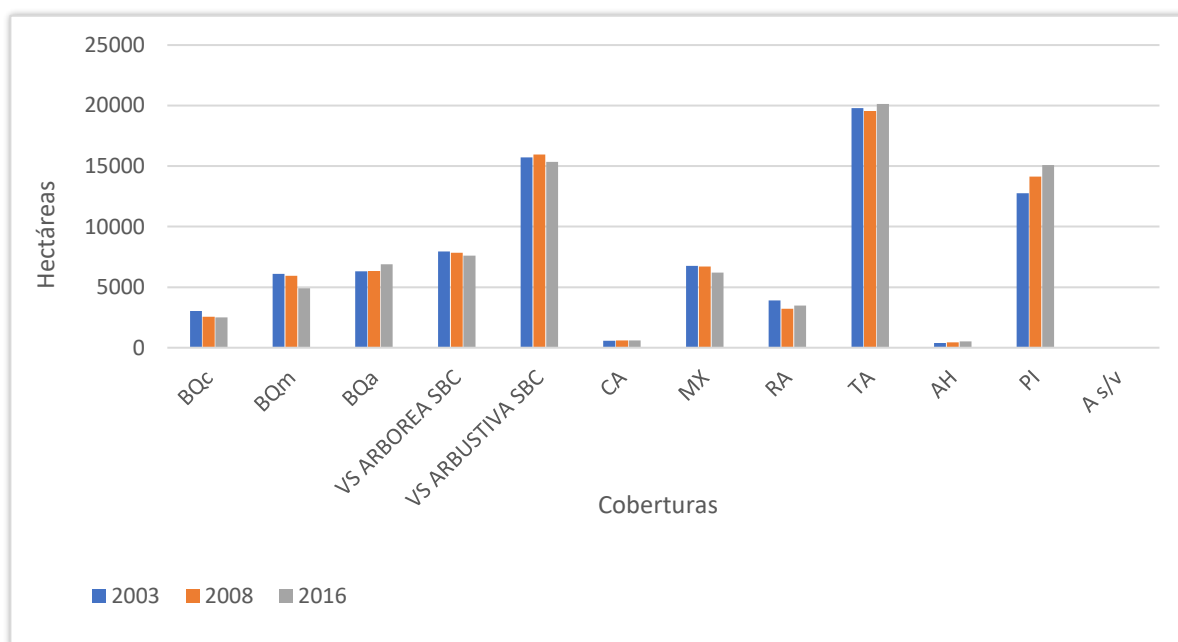


Figura 22. Superficies totales en hectáreas para los años 2003, 2008 y 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México

Las tablas 13 y 14 corresponden a las matrices de transición de coberturas y usos del suelo generadas gracias a la intersección de los mapas de los años 2003-2008 y 2008-2016. En ellas se pueden observar las superficies totales en los dos años que se intersectaron.

En la tabla 13, la columna llamada *Gran total* muestra los valores de las superficies en el año 2008, la fila del mismo nombre contiene los valores de las superficies en el año 2003, también se expresa el valor de la superficie total del ANP, que corresponde a la suma de las superficies de las categorías en el 2003 o en el 2008. Así mismo, en la tabla se muestran con detalle las transiciones observadas en las categorías consideradas; por ejemplo, la primer celda en el año 2003 corresponde a la agricultura de riego, la fila de título va indicando a cuales de las demás categorías fue cediendo superficie la agricultura de temporal para la segunda fecha (2008), es decir, se describen las ganancias que tuvieron cada una de las coberturas y los usos del suelo de la primer fecha a la segunda y finalmente se distinguen los valores que permanecieron constantes de cada categoría formando una diagonal que finaliza con el valor de la superficie total del área de estudio.

En la tabla 13 se puede identificar que las categorías que conservaron el mayor porcentaje de su superficie en el primer periodo fueron la agricultura de temporal que conservó 17,342 ha, seguida por la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia con 15,029 ha y el pastizal inducido con 11,022 ha.

Para el segundo periodo, la tabla 14 muestra que fueron las mismas categorías: agricultura de temporal, vegetación arbustiva y pastizal inducido las que tuvieron la mayoría de superficie ganada con 19,110ha, 15,256 ha y 13,307 ha, respectivamente.

Así mismo, la categoría con menos superficie son las áreas sin vegetación aparente, lo que es razonable ya que los demás usos del suelo y coberturas vegetales son los que cubren la mayor parte del territorio del ANP.

Se puede destacar en la tabla 13 que el comportamiento de los bosques de encino está orientado a degradarse, es decir, la mayor transición del bosque de encino cerrado fue hacia el bosque de encino medio y a su vez este, la segunda transformación más alta fue hacia el bosque abierto, la primera fue hacia el pastizal inducido. La tabla 14 tiene describe un comportamiento similar para los bosques de encino cerrado, medio y abierto.

Una de las transiciones que llama la atención es la del bosque de encino a la selva baja caducifolia, ya que según las matrices de transición (tablas 13 y 14) ésta ocurrió en mayor cantidad en el primer intervalo de tiempo (de 2003 a 2008), es posible que ocurran estos cambios, pero en periodos de tiempo mayores.

Tabla 13. Matriz de transición de las coberturas y usos del suelo entre 2003 y 2008 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA=agricultura de riego, TA=Agricultura de temporal, As/v=Áreas sin vegetación, BQa=Bosque de encino abierto, BQm=Bosque de encino medio, BQc=Bosque de encino cerrado, CA=Cuerpos de agua, Mx=Matorral subtropical, PI=Pastizal inducido, VSArboSBC=Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VSArbuSBC=Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH=asentamientos humanos.

	RA	TA	A s/v	BQa	BQc	BQm	CA	Mx	PI	VS Arbo SBC	VS Arbu SBC	AH	Gran total (2008)
RA	2944	123	0	21	5		5	54	679	56	21	7	3915
TA	135	17342	0	83	3	45	2	301	1411	98	333	35	19787
A s/v		0	13						1		0		14
BQa	16	104		5861	7	13		63	221	3	32	1	6321
BQc	0	24		114	2526	290		25	39	15			3033
BQm	2	38		138	0	5495		130	154	3	135	3	6098
CA	0	0					564	0	2				566
Mx	29	474		13	1	32	8	5908	289		3	8	6767
PI	57	1091	7	45	3	48	0	237	11022	12	222	3	12748
VS Arbo SBC	22	48		33	7		1		60	7609	172	0	7950
VS Arbu SBC	13	321	2	22	1	5	11	0	259	54	15029	1	15717
AH	0	1							0		0	396	398
Gran total (2003)	3217	19565	22	6332	2552	5928	591	6718	14135	7851	15947	455	83314

Tabla 14. Matriz de transición de las coberturas y usos del suelo entre 2008 y 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA=agricultura de riego, TA=Agricultura de temporal, As/v=Áreas sin vegetación, BQa=Bosque de encino abierto, BQm=Bosque de encino medio, BQc=Bosque de encino cerrado, CA=Cuerpos de agua, Mx=Matorral subtropical, PI=Pastizal inducido, VSArboSBC=Vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VSArbuSBC=Vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH=asentamientos humanos

	RA	TA	A s/v	BQa	BQc	BQm	CA	Mx	PI	VS Arbo SBC	VS Arbu SBC	AH	Gran Total (2016)
RA	3085	13						12	97		3	9	3219
TA	6	19110	0	2	0	0	1	19	374	0	14	35	19563
A s/v			22										22
BQa	9	183		5987		2		0	149			0	6332
BQc		9		27	2444	46		3	23				2552
BQm		12		843	50	4862		88	61		5	7	5928
CA	0	0					591						591
Mx	19	271	1	1		3	0	5909	514	0	1	1	6718
PI	260	329	4	26	1	4	2	130	13307	2	69	2	14135
VS Arbo SBC	77	145			0				18	7605	0	6	7851
VS Arbu SBC	38	62	3	3		0		34	551	0	15256	0	15946
AH	0	2										453	455
Gran Total (2008)	3495	20136	30	6889	2496	4916	595	6194	15093	7608	15347	515	83314

4.3 Deforestación

Luego de obtener los tres mapas de uso de suelo y vegetación, se generaron los dos de deforestación como se describe en la metodología.

La figura 23 permite realizar comparaciones entre las superficies de las cuatro categorías de los mapas de deforestación y, así mismo, comparar los dos periodos estudiados.

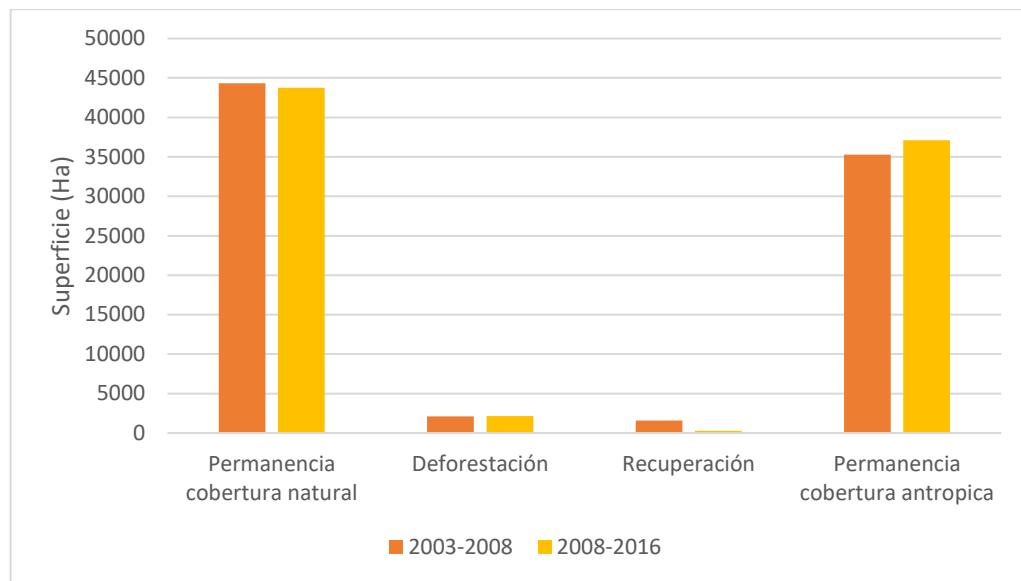


Figura 23. Superficies de los cambios en los usos del suelo y coberturas vegetales en los dos periodos de 2003 a 2008 y de 2008 a 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA es agricultura de riego, TA es agricultura de temporal, As/v son áreas sin vegetación, BQa es bosque de encino abierto, BQm es bosque de encino medio, BQc es bosque de encino cerrado, CA son cuerpos de agua, Mx matorral subtropical, PI es el pastizal inducido, VS Arbo SBC es vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VS Arbu SBC vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH son asentamientos humanos

En las figuras 25 y 26 se muestran los mapas de deforestación en los cuales el color verde representa todas áreas que tuvieron alguna recuperación y la deforestación está representada en color rojo.

En los dos mapas se puede observar que existen algunas zonas deforestadas de mayor extensión que otras, se considera deforestación cuando los cambios ocurrieron de una cobertura natural a una antrópica o de una misma categoría de mayor densidad como el bosque de encino cerrado a una con menor densidad como el bosque de encino abierto, a continuación, se da una breve descripción de las zonas más grandes deforestadas.

Una de las áreas deforestadas más conspicuas en el mapa de deforestación del periodo 2003 – 2008 (figura 24), se ubica entre los límites de los municipios de Pénjamo y Manuel Doblado y la cobertura corresponde a la de uso de suelo de agricultura de temporal.

La mancha deforestada que le sigue en tamaño se encuentra al oeste de la cabecera del municipio de Pénjamo y también dejó lugar a la agricultura de temporal.

La tercer gran mancha de deforestación coincide con las localidades Cañada de Corralejo y Mesa de la Tienda, además es atravesada por una carretera de terracería.

Con respecto al mapa de deforestación del segundo periodo (figura 25), la zona deforestada con mayor tamaño se ubica al este de la presa Mariano Abasolo y la transición ocurrió de vegetación secundaria arbórea a la vegetación secundaria arbustiva, lo que demuestra que las transiciones no sólo son procesos de deforestación, sino también de degradación.

La siguiente gran zona deforestada de este mapa se ubica al norte de la localidad rural Mangas de Corralejo y la transición fue de matorral subtropical a pastizal inducido.

Finalmente, al noroeste de la cabecera municipal de Pénjamo entre dos carreteras de terracería se ubica la tercera área deforestada, por su localización se considera que los asentamientos humanos y las vías de acceso son factores que influyen en los procesos que van en contra de la conservación de los ecosistemas.

Los espacios considerados como recuperación corresponden a aquellas transiciones que ocurrieron de una categoría antrópica a una natural o a transiciones de la misma categoría con menor densidad a una de mayor.

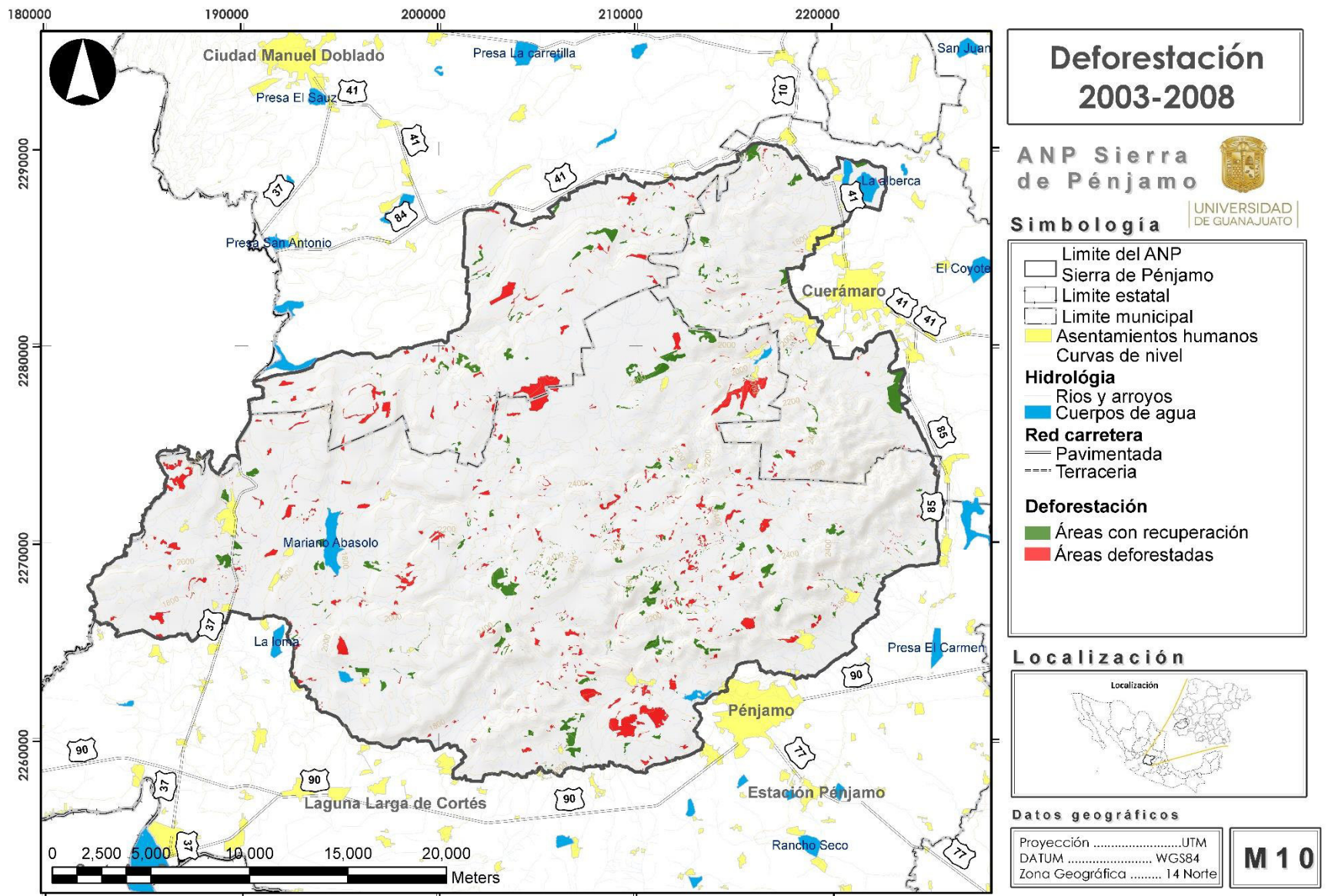


Figura 24. Cambios del uso del suelo y cobertura vegetal en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México en los años 2003 a 2008. Elaboración propia

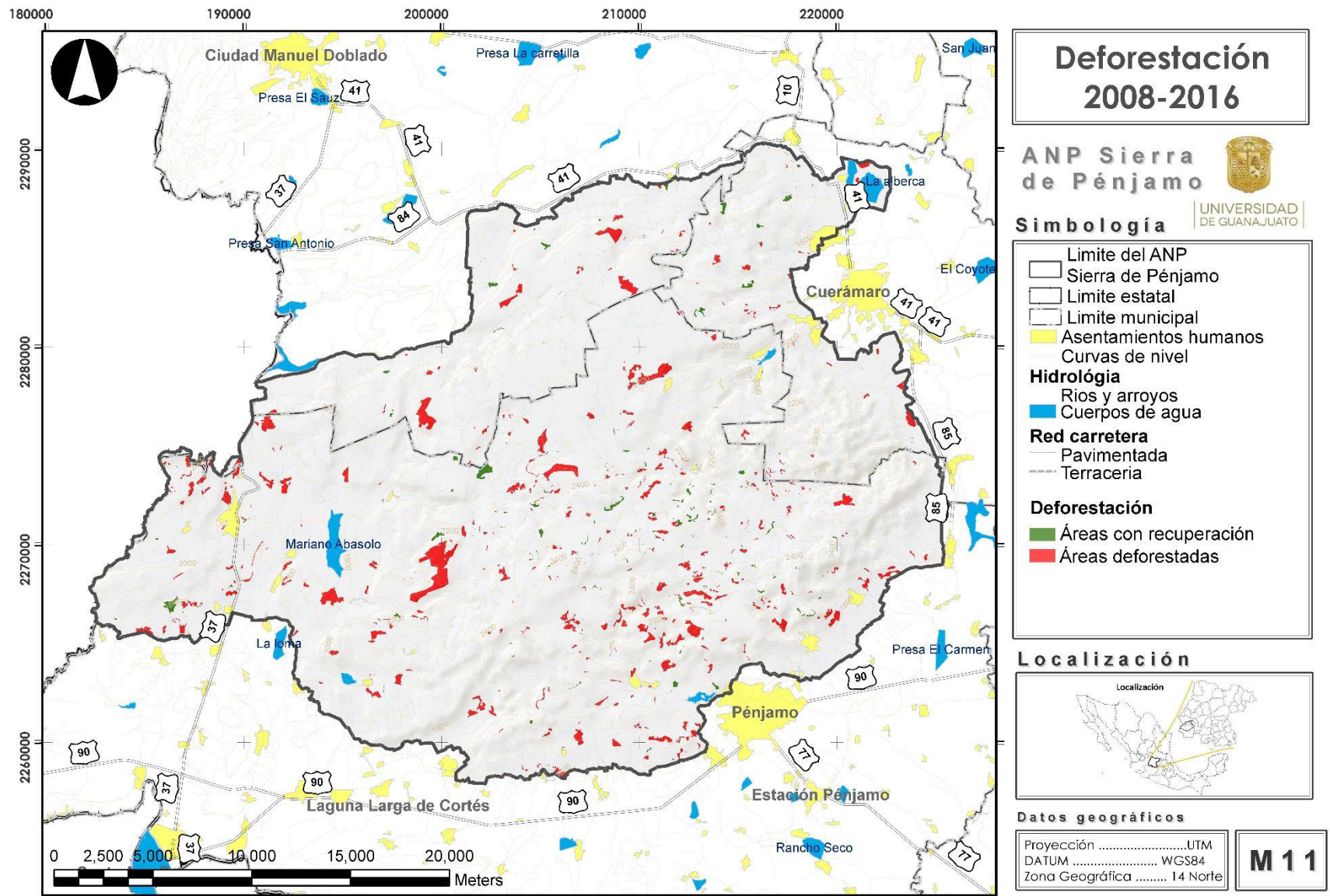


Figura 25. Cambios del uso del suelo y cobertura vegetal en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México en los años 2008 a 2016. Elaboración propia

Mediante la cuantificación de las superficies que se deforestaron, las que se recuperaron y las que permanecieron en los dos periodos de tiempo, se obtuvo la Tabla 15.

Tabla 15. Superficies del mapa de Deforestación

Categoría	Superficie (ha)	
	2003-2008	2008-2016
Permanencia cobertura natural	44,325	43,759
Deforestación	2,126	2,159
Recuperación	1,594	285
Permanencia cobertura antrópica	35,266	37,108

Al comparar los dos mapas de deforestación y conociendo las superficies resultantes para la deforestación y la recuperación, las superficies deforestadas fueron de 2,126 ha y 2,159 ha para el primer y el segundo periodo respectivamente lo que representan el 2.5% y 2.6% de la superficie total del ANP en los periodos 2003-2008 y 2008-2016 respectivamente, algunas de ellas coinciden en lugares donde se ubican los asentamientos humanos. Por otro lado, las superficies de las áreas de recuperación son: 1,594 ha (1.9% de la superficie total del ANP) y 285 ha (0.34% de la superficie total del ANP), claramente el primer periodo tiene más hectáreas de recuperación que el segundo periodo.

4.4 Tasas de cambio

La figura 26 muestra el comportamiento de las tasas de cambio para cada categoría en el primero periodo de tiempo, de 2003 a 2008. Claramente se puede observar que la categoría que tuvo el mayor incremento fueron las áreas sin vegetación, su tasa de cambio es de 9.4 %/año. Así mismo, la agricultura de riego que tiene una tasa negativa de -3.84% es la categoría que tuvo la tasa menor. En cuanto a los bosques de encino, el cerrado es el que tiene la tasa más grande de pérdida, seguido del bosque medio con una tasa de -0.56% y, por el contrario, el bosque de encino abierto tuvo un pequeño incremento.

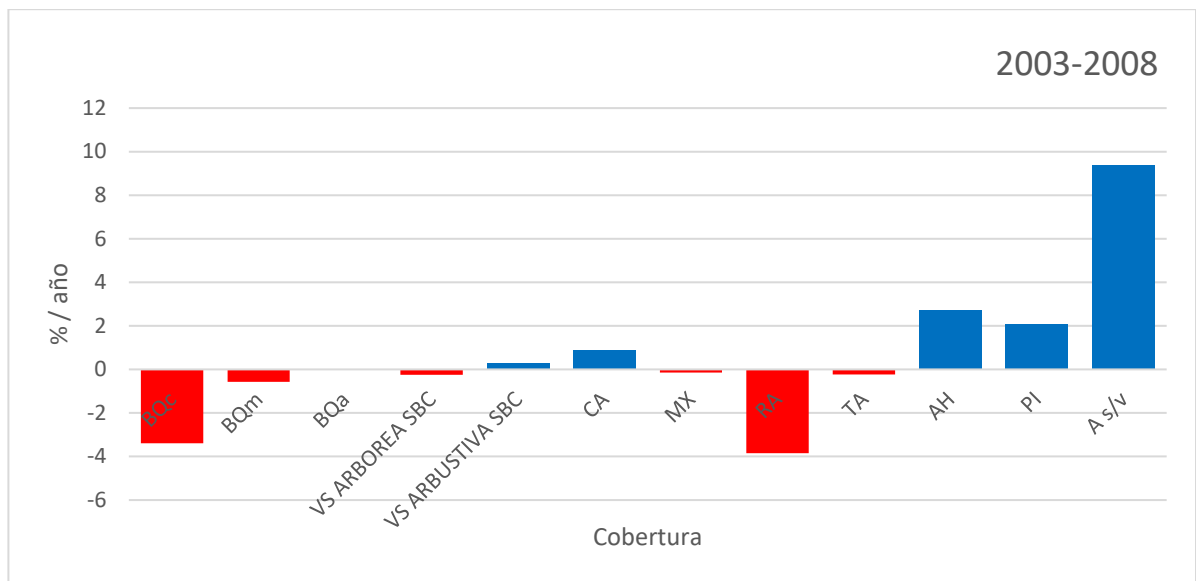


Figura 26. Tasas de cambio de cada cobertura y uso de suelo en el periodo 2003–2008 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA es agricultura de riego, TA es agricultura de temporal, As/v son áreas sin vegetación, BQa es bosque de encino abierto, BQm es bosque de encino medio, BQc es bosque de encino cerrado, CA son cuerpos de agua, Mx matorral subtropical, PI es el pastizal inducido, VS Arbo SBC es vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VS Arbu SBC vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH son asentamientos humanos

La figura 27 contiene las tasas de cambio para el segundo periodo de tiempo de 2008 al 2016.

Las categorías que ganan superficie son la agricultura de riego y de temporal, las áreas sin vegetación aparente, el bosque de encino abierto, los pastizales y los asentamientos humanos.

La tasa más grande de ganancia sigue siendo para las áreas sin vegetación aparente, en contraste con la del bosque de encino medio que es la cobertura que tiene la tasa de mayor pérdida, seguida por la del matorral subtropical y la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia.

La tasa negativa que tiene el bosque de encino en el primer periodo se demuestra en la figura 25, dónde hay áreas que se distribuyen por la parte este de la Sierra, donde se ubican los bosques de encino.

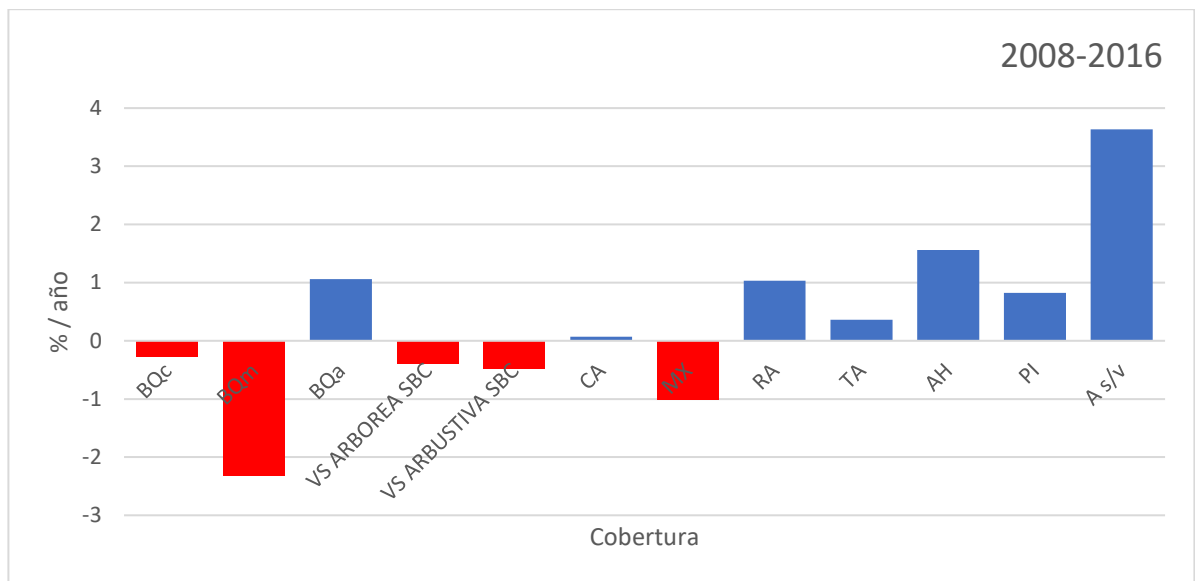


Figura 27. Tasas de cambio de cada cobertura y uso de suelo en el periodo 2008 – 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA es agricultura de riego, TA es agricultura de temporal, As/v son áreas sin vegetación, BQa es bosque de encino abierto, BQm es bosque de encino medio, BQc es bosque de encino cerrado, CA son cuerpos de agua, Mx matorral subtropical, PI es el pastizal inducido, VS Arbo SBC es vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VS Arbu SBC vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH son asentamientos humanos

La tasa de cambio que obtuvo la agricultura de temporal del 2008 al 2016 se muestra en el mapa de deforestación del segundo periodo ya que como se expuso en el apartado 4.3, las zonas deforestadas ocurren por transiciones que benefician a esta categoría.

La figura 27 deja ver que, en el segundo periodo, las tasas de cambio benefician a los usos del suelo como la agricultura de temporal y de riego y los asentamientos humanos, esto demuestra que las actividades antrópicas tienen mayor actividad aun cuando la ANP Sierra de Pénjamo en ese periodo ya era considerada como un área natural protegida.

4.5 Transiciones

Se elaboraron esquemas donde se presentan las transiciones que sufrieron las coberturas en los dos periodos de tiempo (figuras 29 y 30), para ello se calcularon los valores en porcentaje de cada transición con respecto a la superficie total de la ANP Sierra de Pénjamo (83,314.1 ha), es decir de la matriz de transición se tomó el

valor del cambio de una categoría a otra, se multiplicó por 100 y se dividió entre las 83,314.1 ha. Posteriormente, se agruparon en tres clases según sus valores, lo que permite determinar si la transición fue alta, media o baja.

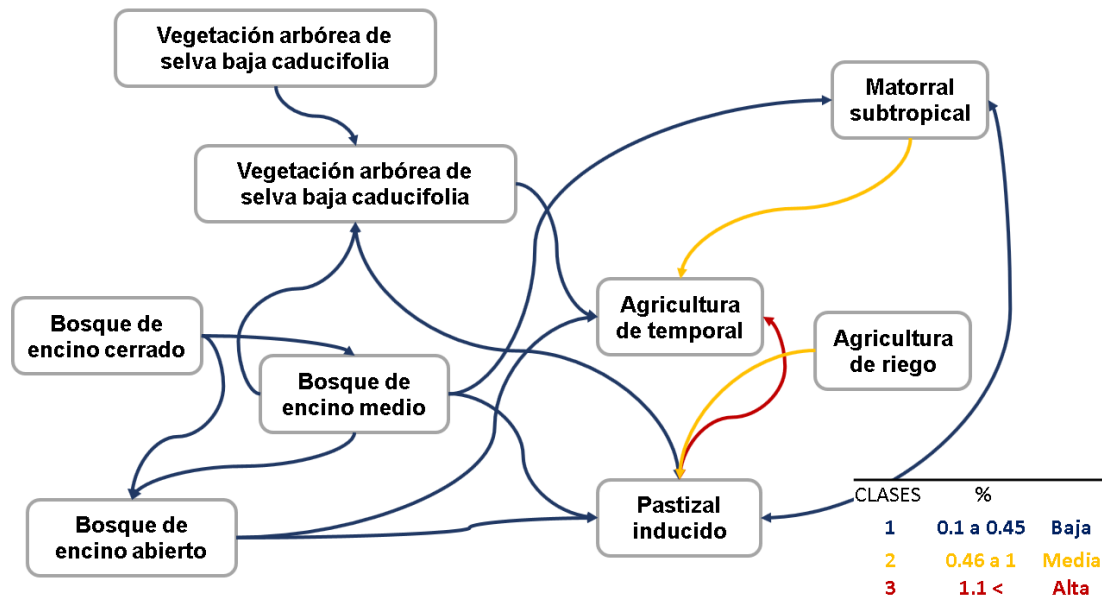


Figura 28. Transiciones en el periodo 2003 – 2008 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Los valores en porcentaje representan la superficie en hectáreas de cada transición respecto a la superficie total de cada categoría.

En las dos figuras (28 y 29) se puede identificar que existen tres tipos de transiciones por el color de las líneas, que representan los valores en porcentaje de cada transición y las flechas nos indican el sentido en que ocurrió.

En la figura 28, también se identifica que las coberturas con mayor actividad fueron el pastizal inducido, la agricultura de temporal, así como el bosque de encino medio.

Las mayores pérdidas fueron de la agricultura de riego y del matorral subtropical al ceder superficie al pastizal inducido y a la agricultura de temporal respectivamente.

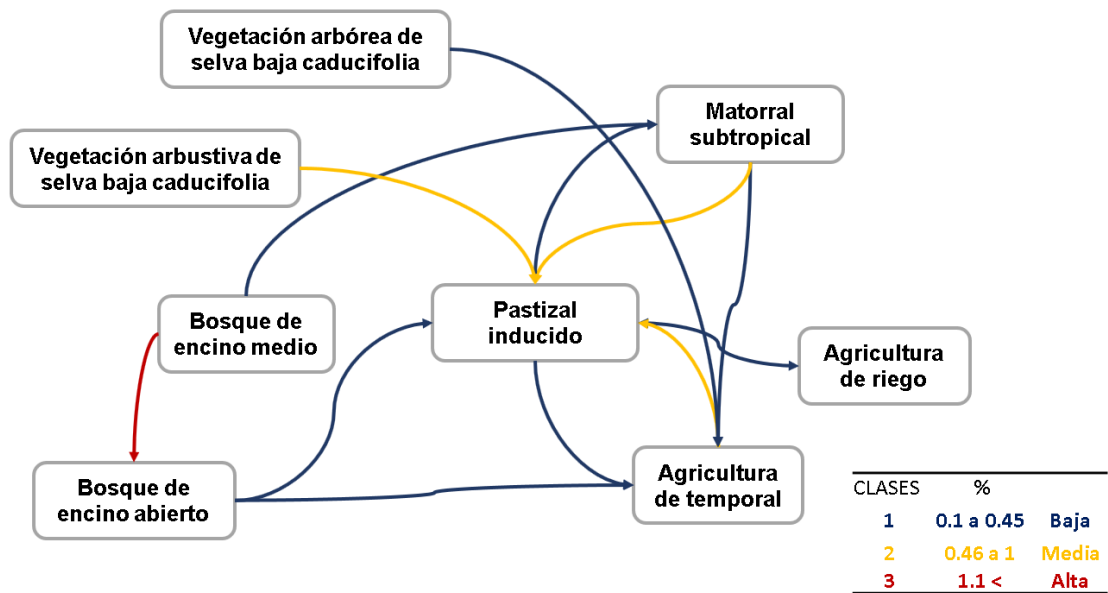


Figura 29. Transiciones de las distintas coberturas y usos del suelo en el periodo 2008 - 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. *Los valores en porcentaje representan la superficie en hectáreas de cada transición respecto a la superficie total de cada categoría.*

En la figura 29 podemos observar que la cobertura con mayor movimiento sigue siendo el pastizal. La transición de mayor peso es la del bosque de encino medio al bosque abierto, lo que indica un porcentaje considerable de degradación, seguida de las pérdidas que sufrieron el matorral, la vegetación secundaria arbustiva de selva baja y la agricultura de temporal al ceder ante el pastizal inducido, lo que indica que las actividades de pastoreo o aquellas que produzcan la pérdida de éstas coberturas son más intensas en el segundo periodo de tiempo, que como ya se ha mencionado antes, son las fechas cuando se decretó como área natural protegida a la ANP Sierra de Pénjamo.

4.6 Análisis de intensidad de cambio

El análisis permitió conocer en qué intervalo de tiempo la tasa anual de cambio es más rápida, cuáles son las categorías más activas y cuáles son latentes; cuáles son las categorías objetivo para las transiciones activas, y si el patrón de cambio es estable en el tiempo.

4.6.1 Análisis a nivel de intervalo

A nivel de intervalo de tiempo, se estimó que durante el primer periodo (2003 a 2008) el porcentaje de cambio anual de los dominios es de 2.07%, en contraste con el segundo periodo (2008 a 2016), el porcentaje de cambio anual de las categorías fue de 0.70%. Estos resultados muestran una desaceleración en el proceso general de transformación del uso de suelo.

La figura 30 muestra más claramente que el porcentaje de los cambios por categorías son iguales al porcentaje de cambio de todas las categorías.

Tabla 16. Porcentajes de cambio anual y cambio uniforme.

Intervalo de tiempo	% de cambio anual de cada categoría	% de cambio anual uniforme de todas las categorías
2003 - 2008	2.07	2.07
2008 - 2016	0.70	0.70

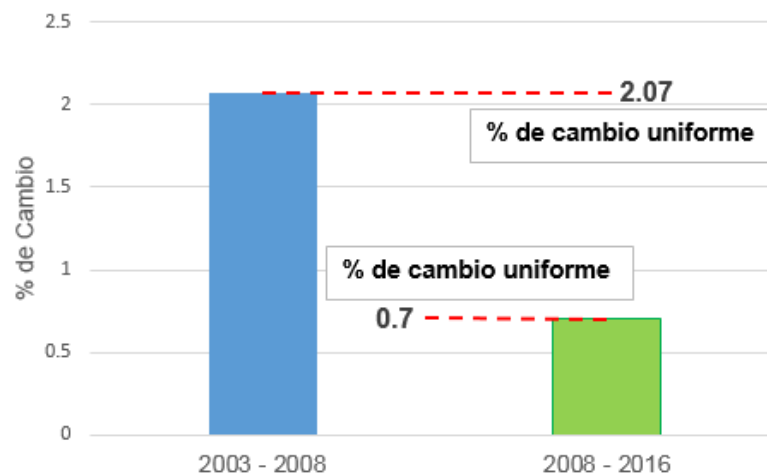


Figura 30. Cambio anual de coberturas en la ANP Sierra de Pénjamo.

4.6.2 Análisis a nivel de categorías

En este nivel se conocen cuáles fueron las categorías más activas y cuáles las más latentes de todo el periodo.

Las figuras 31 y 32 muestran la intensidad de las ganancias y las pérdidas anuales dentro de cada categoría. La línea roja representa la intensidad de cambio uniforme anual de todo el periodo de tiempo respectivamente.

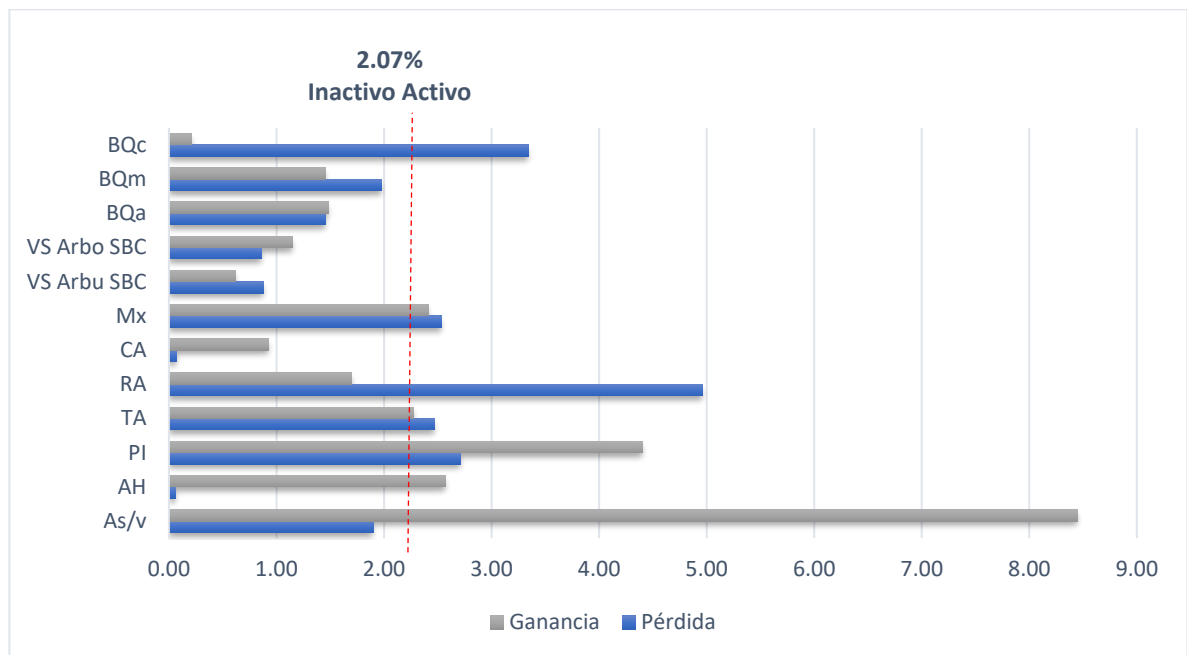


Figura 31. Análisis de intensidad de cambio a nivel de categoría en el periodo de 2003 a 2008 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA es agricultura de riego, TA es agricultura de temporal, As/v son áreas sin vegetación, BQa es bosque de encino abierto, BQm es bosque de encino medio, BQc es bosque de encino cerrado, CA son cuerpos de agua, Mx matorral subtropical, PI es el pastizal inducido, VS Arbo SBC es vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VS Arbu SBC vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH son asentamientos humanos

En la figura 31 se puede observar que la categoría con mayor intensidad de ganancia son las áreas sin vegetación aparente, que aumentaron considerablemente, seguida por el pastizal inducido y los asentamientos humanos, todas son actividades antrópicas. Del lado opuesto, se encuentra la agricultura de

riego que ocupa el primer puesto de intensidad de pérdida para el periodo 2003–2008, la segunda categoría que superó el cambio uniforme por una intensidad de pérdida fue el bosque de encino cerrado, que de acuerdo a los resultados de la matriz de transición correspondiente a este periodo (Tabla 13), fue cediendo superficie a las categorías de bosque medio y abierto principalmente.

La figura 32 muestra el análisis de intensidad de cambio a nivel de categorías del segundo periodo de tiempo (2008-2016), al igual que en el primer periodo, las áreas sin vegetación aparente tienen el primer puesto de intensidad de ganancias y no reflejan ningún porcentaje de pérdidas, lo que determina que sólo hubo aumento de estas áreas en la ANP. El bosque de encino abierto es la cobertura que continúa con la intensidad de ganancias lo que se reflejada claramente ante la intensidad de pérdidas que tuvieron las categorías del bosque de encino cerrado y medio, siendo esta primera (bosque de encino cerrado) la que obtuvo el primer puesto de intensidad de pérdida, seguido por el matorral subtropical. Le siguen los asentamientos humanos, el pastizal inducido y la agricultura de riego.

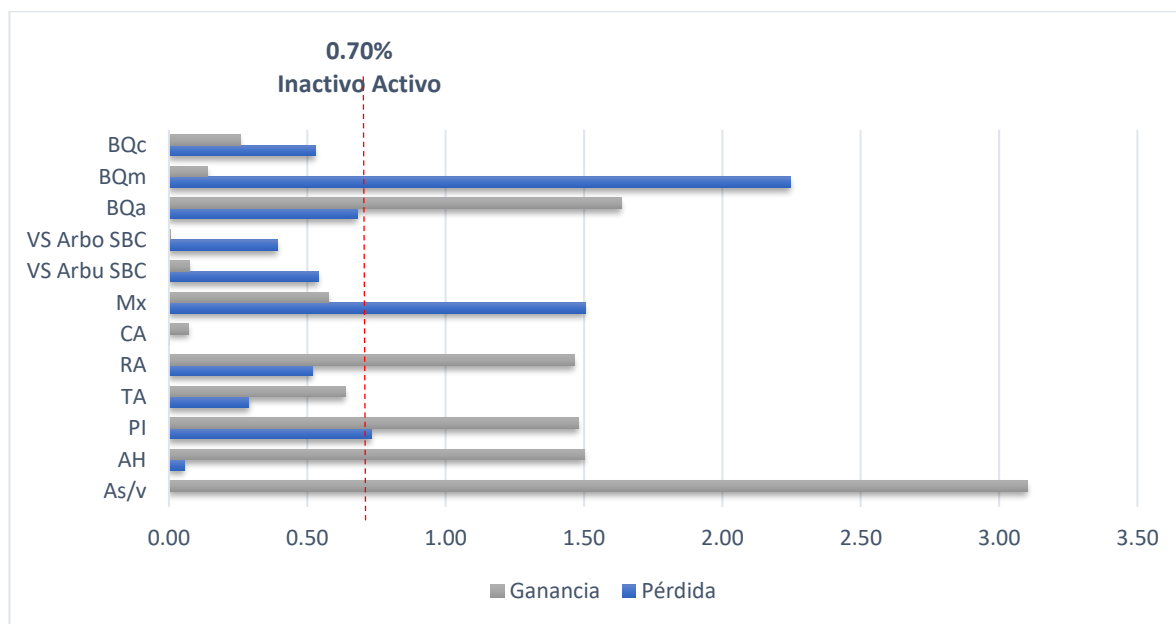


Figura 32. Análisis de intensidad de cambio a nivel de categoría en el periodo de 2008 a 2016 de la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México. Donde RA es agricultura de riego, TA es agricultura de temporal, As/v son áreas sin vegetación, BQa es bosque de encino abierto, BQm es bosque de encino medio, BQc es bosque de encino cerrado, CA son cuerpos de agua, Mx matorral subtropical, PI es el pastizal inducido, VS Arbo SBC es

vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia, VS Arbu SBC vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia y AH son asentamientos humanos

4.6.3 Análisis a nivel de transiciones

Este nivel de análisis es el más detallado. En él se parte de una categoría para conocer los cambios que tuvo respecto al resto de las coberturas.

Se presentan una serie de gráficos que muestran los principales cambios de cada una de las coberturas en los dos periodos de tiempo. Las figuras 33 a 38 muestran los cambios que sufrieron las coberturas forestales y de selva caducifolia hacia las otras categorías ubicadas en el eje de las y.

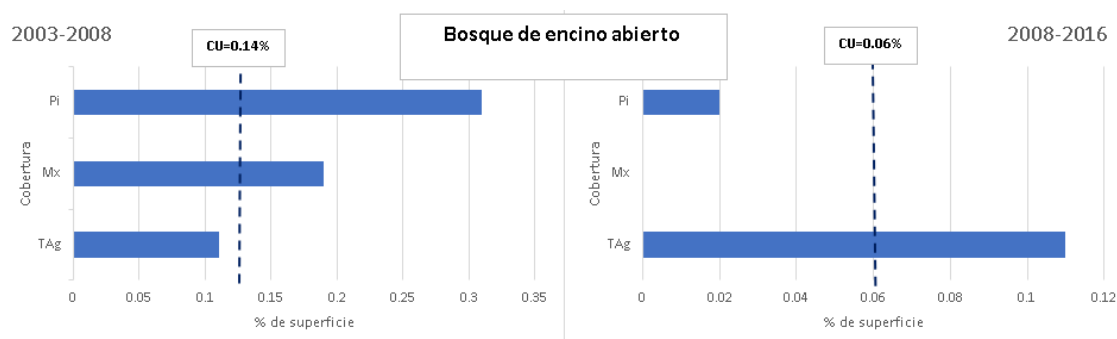


Figura 33. Análisis de intensidad de cambio a nivel de transiciones en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para el bosque de encino abierto en los dos periodos (2003-2008 y 2008-2016).

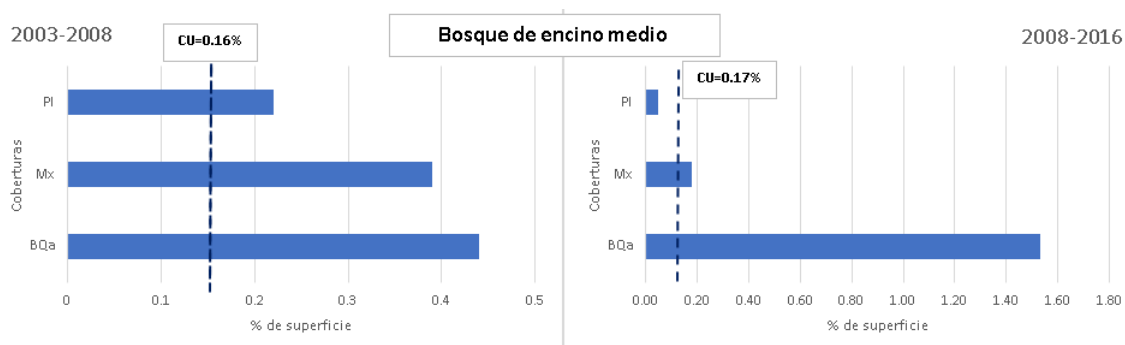


Figura 34. Análisis de intensidad de cambio a nivel de transiciones en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para el bosque de encino medio en los dos periodos (2003-2008 y 2008-2016).

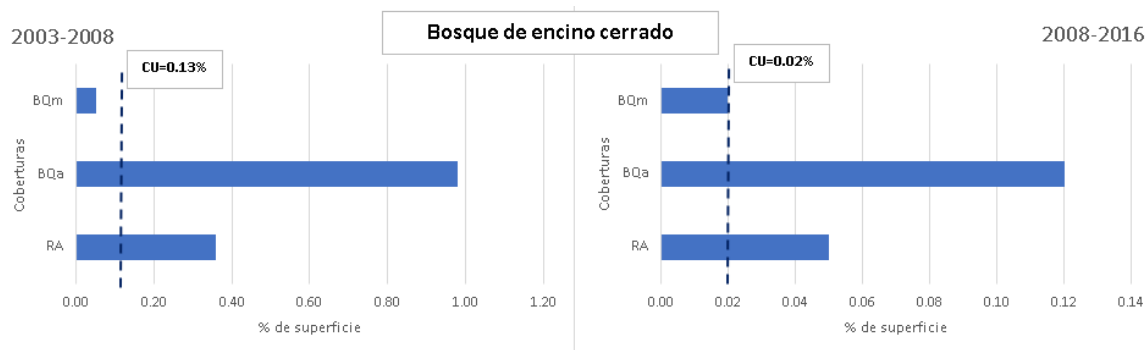


Figura 35. Análisis de intensidad de cambio a nivel de transiciones en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para el bosque de encino cerrado en los dos periodos (2003-2008 y 2008-2016).

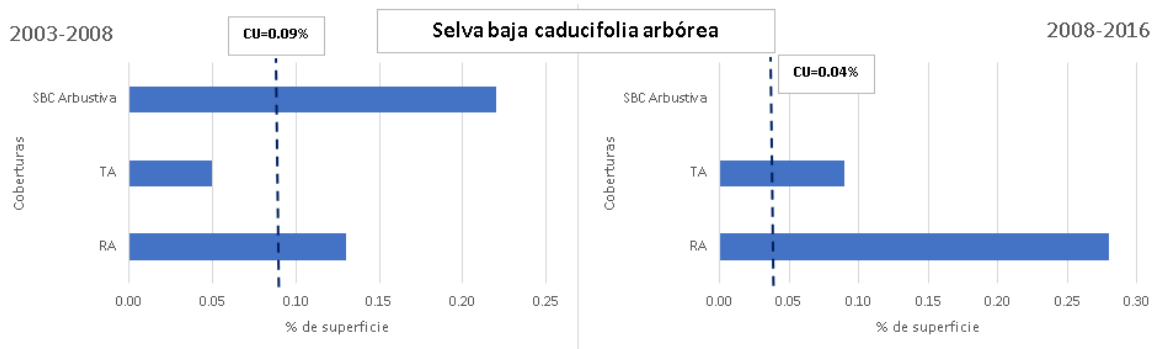


Figura 36. Análisis de intensidad de cambio a nivel de transiciones en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para la vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia en los dos periodos (2003-2008 y 2008-2016).

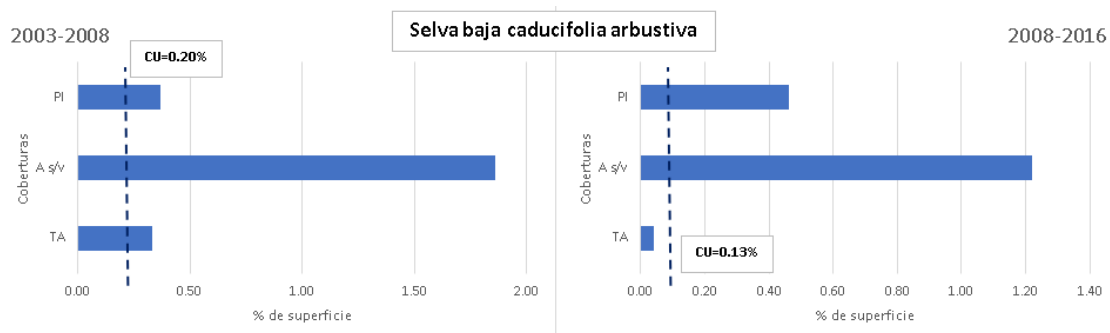


Figura 37. Análisis de intensidad de cambio a nivel de transiciones en la ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México para la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en los dos periodos (2003-2008 y 2008-2016).

El bosque de encino abierto tuvo mayor actividad en el primer periodo, es decir, sufrió mayores transformaciones o cedió superficie ante otras categorías, la cobertura que tuvo más incremento a partir del bosque abierto fue el pastizal inducido, seguido del matorral subtropical. En el periodo 2008-2016, el mayor incremento lo obtuvo la agricultura de temporal.

El bosque de encino medio se degradó al bosque abierto, también cedió superficie al matorral y al pastizal. De igual forma que en la cobertura anterior, hubo mayor actividad en el primer periodo que en el segundo, pero se sigue degradando al bosque de encino abierto que supera por mucho al cambio uniforme que es de 0.17% para este periodo.

En la figura 35, que corresponde al bosque de encino cerrado, se puede observar que tienen el mismo comportamiento en diferente intensidad; se degrada mayormente al bosque de encino abierto, seguido del cambio a la agricultura de riego, por su otro lado, la transferencia al bosque medio en ninguno de los dos periodos logra superar el cambio uniforme.

La vegetación secundaria arbórea de selva baja caducifolia tiene su mayor transferencia a la vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia en el primer periodo y en el segundo a la agricultura de riego.

Se observa algo similar a lo de vegetación secundaria arbustiva de selva baja caducifolia con el bosque de encino cerrado. Las coberturas que fueron beneficiadas por la vegetación secundaria arbustiva fueron las áreas sin vegetación, el pastizal inducido y la agricultura de temporal y con intensidad en ese orden, esto es únicamente un reflejo de que en la ANP Sierra de Pénjamo hay un mayor beneficio para las actividades antrópicas, lo que perjudica a las coberturas naturales del suelo, ya que son estas últimas las que ceden ante las necesidades de expansión de las primeras.

Capítulo 5 Discusión

La interpretación visual de ortofotos en pantalla que se realizó es una técnica ampliamente utilizada para generar cartografía detallada o actualizar cartografía existente. De acuerdo con Zhang *et al.* (2014) los procesos de cambio de cobertura y uso del suelo se extraen con mayor precisión mediante la interpretación visual interdependiente que por la clasificación digital automatizada.

Este trabajo mostró la generación de cartografía en tres fechas distintas para un área natural protegida de la cual hay poca información disponible en la literatura hasta ahora. Además, se presentan resultados del análisis en los cambios de coberturas y usos del suelo en el área natural protegida Sierra de Pénjamo. Se obtuvo una considerable tasa negativa de cambio, equivalente a $-3.05\%/año$, lo que corresponde a 2,126.39 hectáreas de bosque de encino cerrado que fueron deforestadas entre los años 2003 y 2008; y después, entre el 2008 y el 2016, la tasa de cambio fue de $-0.43\%/año$, que equivalen a una pérdida de 2,159.48 hectáreas. Un estudio realizado en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero (Osorio *et al.*, 2015), en el periodo del 2000 al 2011 estimó una tasa de deforestación superior para el bosque de encino con una tasa de $-5.54\%/año$. Lo cual podría implicar que para la Sierra de Pénjamo sino se tuviera la declaratoria de ANP tendría tasas de deforestación similares a las antes mencionadas.

En el ANP Sierra de Pénjamo, merece atención el pastizal inducido ya que fue la principal categoría que mostró las mayores ganancias en los dos periodos de tiempo analizados. Además, los resultados que arrojó el análisis a nivel intervalo mostró una desaceleración en el proceso general de transformación del uso de suelo, lo cual puede estar relacionado con que en el año 2012 se decretó a la Sierra de Pénjamo como área natural protegida.

Otros estudios reportaron similares como el de Osorio *et al.* (2015) encontraron que en la cuenca del río Coyuquilla, Gro., las tres cubiertas analizadas, bosque tropical seco, bosque de encino y bosque de pino-encino mostraron las más altas transiciones de cambio hacia el pastizal inducido en los periodos que analizaron (1986- 2000 y 2000-2011); sus resultados del primer periodo (1986-2000)

concuerdan con los obtenidos por Durán *et al.* (2011) quienes observaron que en el periodo 1979-2000, el pastizal inducido fue el principal uso del suelo que substituyó áreas forestales en la misma cuenca.

Por otro lado, Monjardin-Armenta *et al.* (2017), en su trabajo sobre la deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, observaron que las categorías con mayor intensidad de ganancia fueron coberturas antrópicas como los asentamientos humanos, los pastizales y la agricultura de temporal.

En su estudio, Oliver (2011) indica que la vocación natural de la Sierra de Pénjamo fue totalmente forestal en algún momento, y en este sentido el deterioro histórico de sus recursos forestales se ha debido a la falta de capacidades y de incentivos para diversificar las actividades productivas en el área estudio. Además, hace referencia de que las políticas públicas nacionales y estatales han privilegiado tradicionalmente las actividades agropecuarias.

También hace mención de que el uso del territorio de la ANP Sierra de Pénjamo no ha sufrido transformaciones graduales, pero sí lo suficientemente importantes para verse reflejadas en sus talleres y entrevistas, los participantes coincidieron en que en menos de 30 años las principales actividades productivas que se desarrollaban anteriormente eral el cultivo de maíz, frijol, haba, garbanzo y la explotación forestal para la extracción de carbón, la gente joven tiene más presentes las actividades agrícolas.

Todo esto, sumado a las superficies deforestadas que arrojó el presente análisis durante los 13 años de estudio, permite pensar que, aunque la Sierra tenga un decreto como ANP, las actividades productivas que en ella se desarrollan, principalmente las de ganadería y minería, no están teniendo el debido control ni supervisión por parte de los encargados, ya que esta última, considerada dentro de la categoría de áreas sin vegetación aparente fue la que obtuvo la mayor tasa de cambio positiva con 9.4%/año, es decir, fue la categoría que gano mayor porcentaje de superficie en el primer periodo de estudio y de seguir así, la proyección futura no es nada alentadora para las coberturas forestales.

Se puede pensar que las pérdidas que sufrieron las coberturas naturales ante los usos de suelo junto con la pérdida de superficies recuperadas, según los mapas de deforestación, en el segundo periodo del estudio, se debe a que junto con el decreto de un área natural protegida vienen una serie de restricciones para todas estas actividades productivas, lo que conlleva a incentivar la mayor extracción posible antes de que se restrinjan esto provoca pérdidas considerables en periodos de tiempo muy cortos.

Como se mencionó en la sección 4.2, las transiciones del bosque de encino a la selva baja caducifolia se consideran improbables, ya que es posible que ocurran este tipo de cambios, pero en lapsos más grandes de tiempo que los que se evalúan en este estudio, por eso es importante señalar que se consideraron residuales del análisis y que para efecto de continuar con el monitoreo de los cambios de uso de suelo y vegetación en la ANP sierra de Pénjamo es necesario poner más atención a la etapa de la interpretación visual interdependiente y posteriormente verificar con mayor detalle estas transiciones.

Capítulo. 6 Conclusiones

El objetivo principal del presente trabajo fue estudiar la dinámica de cambio entre las coberturas vegetales y los usos de suelo para monitorear el proceso de deforestación en el ANP Sierra de Pénjamo, Guanajuato, México, para ello se generó cartografía de los años 2003, 2008 y 2016 a escala 1: 10,000, con los mapas se generaron intersecciones de las fechas 2003 con 2008 y 2008 con 2016, lo que permitió identificar y cuantificar las porciones de territorio que registraron cambios en su cobertura vegetal o usos del suelo en cada intervalo de tiempo, así mismo se calcularon las tasas de cambio por categoría. Con todo lo anterior se pudieron generar los mapas de deforestación y recuperación, lo que ayudó a determinar si el instrumento decretado para la Sierra de Pénjamo ha cumplido con sus objetivos de conservación y protección como lo promueven las ANP.

Los análisis de cambio de coberturas vegetales y usos de suelo en la sierra de Pénjamo deben continuar para monitorear las dinámicas de cambio dentro del ANP.

La cobertura forestal de la ANP Sierra de Pénjamo se redujo 3.57 % (2,976 ha) entre 2003 y 2016, a pesar de su decreto como ANP. La deforestación de los ecosistemas: bosque de encino cerrado y medio, y selva baja caducifolia arbustiva y arbórea, es un proceso orientado para usos de suelo como pastizal inducido y agricultura de temporal, así como a asentamientos humanos y bancos de material.

El ANP de la Sierra de Pénjamo aún no cuenta con un plan de manejo desde su declaratoria en el año 2012, solamente se tiene antecedente de que en la tercera sesión ordinaria del Comité técnico en 2015 se aceptó un resumen del plan de manejo y desde entonces no se ha retomado.

La publicación del plan de manejo del ANP Sierra de Pénjamo es prioritario para establecer y justificar las acciones necesarias que garanticen la conservación de los ecosistemas que en ella se encuentran, ya que como se vio en los resultados, aún después de la declaratoria de ANP la deforestación y degradación son procesos que están impactando de manera importante los ecosistemas forestales dentro del área protegida, lo que indica que la declaratoria no ha garantizado su protección.

Cabe señalar que en el caso del ANP Sierra de Pénjamo la deforestación sufrió un aumento en el periodo 2008-2016, fechas en que ya se consideraba como un área de protección, pero es aún más relevante las cifras arrojadas de recuperación ya que en el primer periodo (2003-2008) la recuperación en los bosques de encino fue de mil quinientas noventa y cuatro hectáreas y en el segundo periodo fueron solamente doscientas ochenta y cinco, lo que permite pensar que las medidas y acciones de protección al ecosistema, no son las mejores para ese lugar y no se conocerá si es así hasta que se exista un instrumento que describa las acciones necesarias para resguardar ese ecosistema, se apliquen y se dé el debido seguimiento, ya que como se mencionó, sí es importante los procesos de deforestación pero también lo son los que permiten regenerar o recuperar los ecosistemas.

Además, la identificación de los puntos de deforestación indica que es bastante probable que continúen aumentando por los procesos y variantes como la cercanía de asentamientos humanos o vías de acceso, ya que se puede extender la degradación o deforestación.

Es por ello que se puede concluir que la declaratoria de un área natural protegida es relevante para la preservación de los ecosistemas, pero es muy importante que exista una mayor participación e interacción entre los actores e instituciones encargadas de dar seguimiento, evaluación y monitoreo a los objetivos de protección y conservación de las ANP, además de alentar y concientizar, a los pobladores de la importancia que tiene el hábitat en el que viven, para que así en conjunto puedan aplicar y ejercer las acciones de investigación, programación, regulación, gestión, procuración, evaluación y monitoreo ya establecidas normativamente para que de esta forma se pueda resguardar el ecosistema y cumplir con el propósito de las ANP.

Bibliografía

Capítulo de libro

Andrea Cruz Angón, Antonio Ordorica Hermosillo, Jessica Valero Padilla, Erika Daniela Melgarejo. 2017. La biodiversidad en Jalisco. Estudio de Estado Vol. II. https://www.researchgate.net/publication/320591951_La_biodiversidad_del_pasado

Buol S.W., Doan Hole F., McCracken R. J., Contin A. 1981. Génesis y clasificación de suelos. Trillas. México, DF 1990

Durán-Medina, E., Mas, J.F. y Velázquez, A. 2007. Cambios en las coberturas de vegetación y usos del suelo en regiones con manejo forestal comunitario y áreas naturales protegidas de México. En: Los bosques comunitarios en México. Manejo sustentable de paisajes forestales. David Bray, Leticia Merino-Pérez y Deborah Barry (editores). Primera edición: julio de 2007. Instituto Nacional de Ecología (INE-Semarnat). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible. pp. 267-299. Ciudad de México, México. Recuperado en http://www.ccmss.org.mx/descargas/los_bosques_comunitarios_de_mexico_manejo_sustentable_de_paisajes_forestales.pdf

Margules, C.R., Pressey, R.L. 2000. Systematic conservation planning. Nature volumen 405 , págs. 243 - 253 <https://doi.org/10.1038/35012251>

Monjardín-Armenta, S. A.; Pacheco-Angulo, C.E.; Plata-Rocha, W.; Corrales-Barraza, G. 2017. La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México Madera y Bosques, vol. 23, núm. 1, pp. 7-22 Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, México. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61750015001>

Stehman, S. V. 2001. Statistical rigor and practical utility in thematic map accuracy assessment. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol. 67, no 6, p. 727-734.

Artículos de revista

Aldwaik, S. y Pontius, R. 2012. Análisis de intensidad para unificar las mediciones de tamaño y la estacionariedad de los cambios de tierra por intervalo, categoría y transición. *Paisaje y planificación urbana*, 106, 103-114. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.010>

Chapa-Vargas L., Monzalvo-Santos K. 2012. Natural protected areas of San Luis Potosí, México: ecological representativeness, risks, and conservation implications across scales.. *International Journal of Geographical Information Science*. Taylor & Francis, páginas 1625-1641. /9/1

Congalton, Russell G.; Green, Kass. 2008. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press,.

Di Gregorio, A. y Jansen, L.J.M. 2005. Sistema de Clasificación de Cobertura Terrestre (LCCS): Conceptos de clasificación y Manual del usuario. <http://www.fao.org/docrep/003/x0596e/x0596e00.HTM>

Farfán Gutiérrez, M., Rodríguez-Tapia, G., Mas, J.F. 2016. Análisis jerárquico de la intensidad de cambio de cobertura/uso de suelo y deforestación (2000-2008) en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, México. *Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía*. (90). Pp. 89-104. México: Universidad Autónoma de México.

Figueroa, F., Sánchez-Cordero, V., Illoldi-Rangel, P. y Linaje, M. 2009. Evaluación de efectividad de las áreas protegidas para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. ¿Un índice es suficiente? *Rev. Mex, Biodiv.* 82(3). Distrito Federal, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad.

Ibarra-Montoya, J.L., Román, R., Gutiérrez, K., Gaxiola, J., Arias, V. y Bautista, M. 2011. Cambio en la cobertura y uso de suelo en el norte de Jalisco, México: Un análisis del futuro, en un momento de cambio climático. *Revista Ambiente y Agua*. 6(2). Pp. 111-128.

Martínez, F. y Martínez, A. 2018. Relieve de México. Provincias Fisiográficas. Recuperado en <https://www.paratodomexico.com/geografia-de-mexico/relieve-de-mexico/index.html>

Miranda-Aragón L., Treviño-Garza E. J., Jiménez-Pérez J., Aguirre-Calderón O., González-Tagle M. A., Pompa-García M., Aguirre-Salado C.A. 2013. Monitoreo de la deforestación mediante técnicas geomáticas en el centro-norte de México. Ciencia UANL. <http://eprints.uanl.mx/7243/1/Monitoreo-deforestacion.pdf>

Mas, J. 2005. Assessing protected area effectiveness using surrounding (buffer) areas environmentally similar to the target area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 105, 69-80. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-3156-5>

Monjardín-Armenta, S. A., Pacheco-Angulo, C.E., Plata-Rocha, W., & Corrales-Barraza, G. 2017. La deforestación y sus factores causales en el estado de Sinaloa, México. *Madera y Bosques*, 23(1), 7-22. <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=61750015001>

Osorio L.P., Mas J.F., Guerra F., Maass M. 2015. Análisis y modelación de los procesos de deforestación: un caso de estudio en la cuenca del río Coyuquilla, Guerrero, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. ISSN 0188-4611, núm. 88, pp. 60-74, [dx.doi.org/10.14350/rig.43853](https://doi.org/10.14350/rig.43853)

Pontius, R.G., Gao, Y., Giner, N.M. Kohayama, T., Osaki, M. y Hirose, K. 2013. Design and Interpretation of Intensity Analysis Illustrated by Land Change in Central Kalimantan. *Land*. 2(3), pp. 351-369. Indonesia.

Ramírez, M.I. y Zubieta, R. 2005. Análisis regional y comparación metodológica del cambio en la cubierta forestal en la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca. *Reporte Técnico preparado para el Fondo para la Conservación de la Mariposa Monarca*. Distrito Federal, México.

Sánchez-Azofeifa, G. A., C. Quesada-Mateo, P. González-Quesada, S. Dayanandan y K. S. Bawa. 1999. Protected areas and conservation of biodiversity in the tropics. *Conservation Biology* 13:407-411.

Sánchez-Cordero, V. y Figueroa, F. 2007. La efectividad de las reservas de la biosfera en México para contener procesos de cambio en el uso del suelo y la vegetación. *M3M: Monografías Tercer Milenio*. (Vol. 6). Pp. 161-171. Zaragoza, España: Sociedad Entomológica Aragonesa

Stephen V. S. 2009. Muestreo de diseños para la evaluación de precisión de la cobertura del suelo, *International Journal of Remote Sensing*, 30:20, 5243-5272, DOI: 10.1080 / 01431160903131000

Stephen V. S, Raymond L. C. 1998. Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles. *Remote Sensing of Environment*. Volume 64, pages 331-344,
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425798000108>.

Velázquez A., Mas J. F., Mayorga-Saucedo R., Alcántara P.C, Castro R., Fernández T., Bocco E., Ezcurra E., Palacio J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. *Gaceta Ecológica* (62), pp. 21-37. Distrito Federal, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat).

Vidal-Zepeda, R. 2005. Las regiones climáticas de México. Instituto de Geografía, UNAM, México, Colec. Temas Selectos de Geografía de México (I.2.2), 213., ISBN 970-32-2394-X. <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n59/n59a11.pdf>

Zhang, X.Z, Wan, C.H., Gao, X. Y., Nature. 2014/09/25 online. Nature Publishing Group, a division of Macmillan Publishers Limited. All Rights Reserved. <https://doi.org/10.1038/nature12590>

Zolla, C y Zolla Márquez, E. (S.F.) Índice. *Los pueblos indígenas de México, 100 preguntas. Segunda Edición*. México: Universidad Autónoma de México. Recuperado en <http://www.nacionmulticultural.unam.mx/100preguntas/indice.php>

Plataformas en línea.

Cámara de Diputados, Honorable Congreso de la Unión. 2018. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Última Reforma: DOF 05-06-2018. Recuperado en http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf

Comisión Estatal del Agua de Guanajuato (Visitado 13 de noviembre de 2018).
Comisión de Cuenca del Río Turbio.
http://agua.guanajuato.gob.mx/cuenca_turbio.php

Comisión Nacional del Agua. 2014. Atlas del agua en México 2014. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Recuperado en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-17-14.pdf>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2016. Áreas naturales protegidas decretadas. Recuperado en <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/areas-naturales-protegidas-decretadas>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2018. Áreas naturales protegidas decretadas. Recuperado en <http://sig.conanp.gob.mx/website/pagsig/datosanp.htm>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2012. Créditos. Recuperado en <http://www.biodiversidad.gob.mx/creditos/creditos.html>

Comisión Nacional Forestal. 2012. *Discusión de metodologías para el establecimiento de un protocolo de monitoreo de la deforestación*. http://www.camafu.org.mx/wp-content/uploads/2018/02/INFyS-base-monitoreo_CZERMENO.pdf

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (S.F.) Áreas protegidas en México. Recuperado en <http://www.biodiversidad.gob.mx/region/areasprot/enmexico.html>

FAO .1996. Forest resources assessment 1990, Survey of tropical forest cover and study of change processes. FAO Forestry Paper n° 130, 152

Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato 2016. Inventario de áreas naturales protegidas del estado de Guanajuato (INANPEG). *Áreas naturales protegidas*. Recuperado en <http://ecologia.guanajuato.gob.mx/sitio/areas-naturales-protegidas>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2012. Coberturas de la tierra. Consultado en <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/coberturas-tierra>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (S.F.) Relieve Guanajuato. Recuperado en <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/gto/territorio/relieve.aspx?tema=me&e=11>

Institutos Geográficos y Cartográficos de América Latina, España y Portugal (GeoInstitutos) (S.F.) *¿Qué es la cobertura vegetal?* La cobertura vegetal en la cuenca del canal de Panamá. Recuperado en http://www.geoinstitutos.com/art_03_cober2.asp

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI (c2014). Guía para la interpretación de cartografía. Uso del suelo y vegetación. Escala 1:250,000 Serie V. http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/recnat/usosuelo/doc/guia_interusosuelov.pdf

Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato (2014) SEBIO, Recuperado en <http://mapas.ecologia.guanajuato.gob.mx/libs/msfw/apps/multisearchcenter/>

INEGI. 2013. 'Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación escala 1:250 000, serie V (capa unión)', escala: 1:250000. edición: 2a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Aguascalientes.

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente (DOF 05-06-2018). Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Secretaria General. Secretaria de Servicios Parlamentarios

MinAmbiente. (01 de enero de 2011). Sistema de Información Ambiental de Colombia - SIAC. Recuperado el 13 de abril de 2015, de Coberturas de la tierra: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=471&conID=1447>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Rome, (FAO) 2005. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005. <http://www.fao.org/docrep/009/a0400s/a0400s00.htm>

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) 2013. Plan Nacional para el Buen Vivir 2009 – 2013. <http://www.planificacion.gob.ec/plan-nacional-para-el-buen-vivir-2009-2013/>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2012. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave y de Desempeño Ambiental. Edición 2012. México.

Takaki Takaki, F. (S.F) *Información Básica para la Construcción de la Tasa de Deforestación*. Consultado en <http://www.ccmss.org.mx/acervo/informacion-basica-para-la-construccion-de-la-tasa-de-deforestacion/>

World Conservation Monitoring Centre (IUCN-WCMC) 1998. Freshwater Biodiversity: a preliminary global assessment. By Brian Groombridge and Martin Jenkins. WCMC - World Conservation Press, Cambridge, UK. vii + 104 pp + 14 Maps.

Tesis.

Cabrera-Talib, Oliver. 2011. *Determinación de Áreas Protegidas Caso de Estudio: Sierra de Pénjamo, Gto.* (Tesis de pregrado) Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. Recuperado en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3267/tesis.pdf?sequence=1>

Rocha Álvarez, F. 2015. *Degradación forestal en la reserva de la biósfera Sierra gorda de Guanajuato*. (Tesis de pregrado). Universidad de Guanajuato, Guanajuato.

Velasco, Ch. M. 2017. *Análisis comparativo de cambios de área en coberturas en la parte alta de la subcuenca río Palacé, a través de imágenes Landsat entre 1989 y 2016*. (Tesis de grado). UNIVERSIDAD DE MANIZALES