

Tasa de cambio de uso del suelo en el Parque Nacional Pico de Orizaba, Veracruz, México en el periodo 2003–2011

Reporte final



Dr. Rafael Villegas Patraca
Dr. Carlos A. Muñoz Robles
Biol. Oscar Muñoz Jiménez
Geog. César A. Gallo Gómez
Geog. Jose Luis Ponce Ramos

Contenido

Resumen	i
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	3
General	3
Particulares.....	3
2. ANTECEDENTES	4
3. METODOLOGÍA	6
3.1. Imágenes de satélite empleadas.....	6
3.2. Pre-procesamiento de las escenas SPOT.....	6
3.3. Fusión de datos SPOT	7
3.4. Clasificación de los tipos de vegetación y uso del suelo	7
3.5. Detección de cambio y tasa de transformación.....	10
4. RESULTADOS.....	11
4.1. Fusión de datos SPOT	11
4.2. Clasificación y validación de la imagen más reciente (2011)	11
4.3. Clasificación de las imágenes 2011, 2007 y 2003.....	17
4.4. Tasa de cambio de uso del suelo y vegetación en los periodos de análisis	22
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	33
6. LITERATURA CITADA.....	35
ANEXO.....	37

Índice de Figuras

Figura 1. Sub-escena SPOT 5 del año 2003 en falso color (3, 2, 1).	13
Figura 2. Sub-escena SPOT 5 del año 2007 en falso color (3, 2, 1).	14
Figura 3. Sub-escena SPOT 5 del año 2011 en falso color (3, 2, 1).	15
Figura 4. Imagen clasificada del año 2003	18
Figura 5. Imagen clasificada del año 2007.	19
Figura 6. Imagen clasificada del año 2011.	20
Figura 7. Proporción de la superficie (%) ocupada por tipo de uso del suelo y vegetación dentro del PNPO en cada fecha analizada.	21
Figura 8. Cambios en el periodo 2003–2007 en el PNPO.....	28
Figura 9. Cambios en el periodo 2007–2011 en el PNPO.....	29
Figura 10. Cambios en el periodo 2003–2011 en el PNPO.....	30
Figura 11. Cambios en el periodo 2003–2011 en el área de influencia (5 km al exterior del límite del PNPO).	31

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Relación de imágenes SPOT 5 utilizadas en el análisis de cambio.	6
Cuadro 2. Tipos de vegetación identificados en la imagen SPOT 5 y en campo.....	9
Cuadro 3. Matriz de confusión para la clasificación del 2011.....	16
Cuadro 4. Matriz de cambio para el periodo 2003-2007 en al área del PNPO.....	23
Cuadro 5. Matriz de cambio para el periodo 2007-2011 en el área del PNPO.....	24
Cuadro 6. Matriz de cambio para el periodo 2003-2011 del área del PNPO.....	25
Cuadro 7. Matriz de cambio para el periodo 2003-2011 en al área de influencia (5 km).	27
Cuadro 8. Tasa de transformación de la superficie forestal en los periodos 2003-2011, 2007-2011 y 2003-2007 para el área del PNPO.	32
Cuadro 9. Tasa de transformación de la superficie forestal en los periodos 2003-2011, 2007-2011 y 2003-2007 para el área de influencia (5km).	32

Resumen

Se realizó un análisis multi-temporal del uso del suelo y vegetación en el Parque Nacional Pico de Orizaba (PNPO) y un área adyacente (5 km hacia el exterior del límite del parque) con el fin de detectar cambios y estimar la tasa de transformación en el periodo 2003-2011. Se usaron escenas SPOT multi-espectrales obtenidas en los años 2003, 2007 y 2011. La escena más reciente fue clasificada (fiabilidad global de 88%) con el método interdependiente y a partir de esta clasificación se actualizaron las escenas de 2003 y 2007. Los tipos de vegetación dominantes en el PNPO son el bosque de pino, bosque de oyamel y la pradera de alta montaña. Las áreas sin vegetación aparente que comprenden el glaciar y arenales en la cima del volcán Pico de Orizaba ocupan también una superficie considerable dentro del PNPO. Los cambios detectados en el periodo completo (2003-2011) comprendieron una superficie de ≈ 750 ha. En este periodo se perdieron 679.2 ha de bosque de pino y bosque de pino secundario, que fueron transformadas a pastizal y áreas agrícolas, y 73.1 ha fueron áreas incendiadas. En el periodo 2003-2007 se perdieron 190.4 ha de vegetación forestal (bosque de pino y pino secundario) que fueron transformadas a pastizal y áreas agrícolas. En el periodo 2007-2011 se transformaron 73.0 ha de pino como efecto de incendios, y se perdieron 607.6 ha de bosque de pino y pino secundario. Las tasas de transformación anuales para el PNPO fueron de 0.1%, 1.3% y 0.7% para los periodos 2003-2007, 2007-2011 y 2003-2011, respectivamente. En el área de influencia de 5 km se transformaron 209.1 ha de vegetación forestal en pastizal, áreas incendiadas y áreas agrícolas, y se estimó una tasa de transformación de 0.2%. Sin embargo, en el área de influencia también existieron recuperación y revegetación en áreas agrícolas y pastizales, aunque en una proporción muy baja. La corta ilegal de especies maderables y los incendios forestales resultaron los principales factores de cambio, seguidos por las actividades agropecuarias. Se sugiere desarrollar mecanismos de prevención y combate de incendios forestales y el manejo ecológico del fuego y fortalecer la vigilancia contra la corta ilegal. Las tasas de transformación relativamente bajas estimadas para el PNPO, coinciden con tasas estimadas para otras áreas naturales protegidas. Es posible que al ampliar el periodo de análisis se obtenga una perspectiva más completa de los cambios de uso del suelo y vegetación.

1. INTRODUCCIÓN

Las Áreas Protegidas (AP) en México representan la política gubernamental para la conservación de la biodiversidad y el aseguramiento en la prestación de bienes y servicios ambientales en las regiones con las que se relacionan. Una de las acciones que la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) ha realizado, es el monitoreo y evaluación de los proyectos realizados dentro de las AP para estimar el impacto que han tenido sus acciones de conservación y manejo. Para lograr una evaluación más robusta de los procesos de conservación promovidos por la CONANP, esta institución trata de diseñar indicadores biológicos y de sustentabilidad que permita el monitoreo de las AP en el mediano y largo plazo, y con ello medir su efectividad en el cumplimiento de su misión, que es el conservar el patrimonio natural de México a través de las áreas protegidas.

Uno de los indicadores que más información arrojan sobre los procesos de cambio dentro de los ecosistemas es el de la tasa de transformación del hábitat. Su antecedente directo es la cuantificación de la masa forestal de un territorio, como las publicadas de manera periódica por la FAO. Uno de los principales avances que se pretende obtener en los estudios de tasa de transformación es la homogeneización de los protocolos de evaluación, que permita hacer comparaciones temporales y espaciales de los procesos de cambio en los ecosistemas del mundo. La CONANP ya ha desarrollado un protocolo que se está aplicando en las AP del país (CONANP 2007).

A través de la teledetección, la CONANP ha determinado los cambios ocurridos en las masas forestales en diversas AP, y el cambio es considerado como el principal indicador de la desaparición de la biodiversidad y la disfunción de los mecanismos de regulación ambiental. Actualmente más de 15 AP ya cuentan con esta información base sobre la tasa de transformación del hábitat (CONANP 2010). En el estado de Veracruz, la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas es donde más se ha trabajado con este tipo de análisis multi-temporal (Dirzo & García 1992; Mendoza et al. 2005). En este sentido, y con el firme propósito de que cada una de las AP que integran la Región Planicie Costera y Golfo de México cuenten con información referente a los cambios de la vegetación, la Dirección Regional de la

CONANP está interesada en realizar las gestiones necesarias para conseguir recursos para el desarrollo de los estudios de tasa de transformación del hábitat. Así, el presente estudio preliminar pretende establecer la línea base de la tasa de cambio de uso de suelo y vegetación en el Parque Nacional Pico de Orizaba.

1.1. Objetivos

General

Determinar el uso actual del suelo y vegetación del Parque Nacional Pico de Orizaba, a través del análisis e interpretación de imágenes de satélite y validación de campo que permita identificar la tasa de cambio de uso del suelo y vegetación para al menos dos periodos.

Particulares

- a) Identificar los tipos de vegetación y los usos de suelo existentes en la actualidad (2011) dentro del Parque mediante el uso de técnicas geomáticas (p. ej. teledetección y sistemas de información geográfica).
- b) Identificar los cambios en la vegetación y el uso del suelo mediante un análisis multi-temporal (2003–2011).
- c) Cuantificar la superficie transformada y la tasa de cambio de uso del suelo y vegetación para el periodo 2003–2011.
- d) Determinar la dinámica de transformación del uso de suelo y vegetación del área, indicando tipo y dirección de los cambios en el periodo 2003–2011.

2. ANTECEDENTES

El Parque Nacional Pico de Orizaba (PNPO) fue establecido mediante Decreto Presidencial publicado en marzo de 1937, pero no fue sino hasta el año 2003 en que se inició su manejo y se asignó personal de la CONANP para trabajar en la región (CONANP 2011). Cuenta con una superficie de 19,750 ha, localizadas entre los 18° 56' 56" y 19° 09' 40" de latitud norte y los 97° 22' 17" y 97° 12' 17" de longitud oeste. Durante el periodo en que careció de manejo, el PNPO fue un sitio de recolección y extracción de flora y fauna para abastecer a poblaciones pequeñas, sin generar impactos negativos en los ecosistemas presentes. Sin embargo, en la medida en que la población aumentó, también las necesidades básicas de alimentación y espacio para el crecimiento de zonas urbanas aumentaron. Entre las décadas de 1960 y 1970, la región fue sometida a una intensa y permanente deforestación que impactó los ecosistemas y su biodiversidad. Las superficies forestales se redujeron de manera drástica al ser sustituidas por parcelas agrícolas, que a su vez afectaron las interrelaciones existentes entre suelo, clima, y vegetación (Werner 1996).

A partir de la década de 1980 y hasta la primera mitad de la década de 1990, la tala clandestina de arbolado para abastecer la construcción, la fabricación de carrocerías para camionetas, la elaboración de muebles rústicos, de rejas y tarimas y para la fabricación de muebles, así como la siembra de cultivos como la papa, maíz, trigo, cebada, avena, haba y chícharo, junto con la ganadería de caprinos y ovinos han sido los elementos más importantes de presión sobre los recursos forestales, a los que se suman en la actualidad los incendios forestales.

A pesar de que la región del Pico de Orizaba llamó la atención de renombrados naturalistas de los siglos XIX y XX (Luna et al. 2010), indudablemente, para el PNPO se cuenta con mayor información sobre los procesos de deterioro ocurridos en los ecosistemas dentro del parque que de los mismos ecosistemas en sí. Comparado con otras áreas protegidas de México y de Veracruz (p. ej. La Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas), el PNPO cuenta con pocos estudios sobre la flora y la fauna que alberga, y actualmente se estima que los inventarios de flora y fauna se encuentra incompletos (Luna et al. 2010).

Los escasos estudios sobre la flora que existen, se centran principalmente en la identificación y cuantificación de las principales comunidades vegetales presentes en algunas áreas del PNPO, como es el caso de la descripción de la vegetación de los municipios de Alpatláhuac y Calchualco (Blanco & Romero 1989), y la descripción de la zona noreste del PNPO (Martínez 1988). Otros estudios se han centrado en la comunidad de oyameles (*Abies spp.*) presentes en el parque, que son de especial interés para la conservación y forman parte uno de los principales objetos de conservación del PNPO. Estos estudios se han enfocado a (1) evaluar la distribución espacial de las comunidades de oyameles dentro del PNPO, relacionándola con factores ambientales como suelo, altitud y temperatura, (2) describir los principales atributos ecológicos como riqueza y estructura y (3) determinar las principales amenazas sobre esta comunidad vegetal (Ávila et al. 1994). En el PNPO también se han realizado estudios poblacionales principalmente de *Abies hickelii*, una de las especies más representativas de los oyameles del parque (Ávila 2000). Otro grupo que ha sido bien estudiado dentro del parque es el de los musgos (Delgadillo 1984). Hasta el momento se tienen registradas 52 especies de musgos, de las cuales 10 son especies endémicas para México.

A la fecha, se han realizado escasos estudios para caracterizar la vegetación y el uso del suelo en el PNPO utilizando técnicas geomáticas. Destaca la tesis doctoral de Cortés en el año 2009 titulada “Evolución espacio-temporal de la superficie del glaciar norte del Volcán Citlaltépetl utilizando sensores remotos”. El trabajo citado presenta un estudio cuantitativo del comportamiento y evolución del glaciar, desarrollando una nueva metodología con base en el procesamiento e interpretación de las imágenes satelitales.

Sin embargo, de manera general, se carece de información cuantitativa actualizada que refleje las transformaciones temporales de la cobertura vegetal en el PNPO o la distribución espacial de ésta y los usos del suelo. Por esta razón, y con el objetivo de enriquecer en un primer momento los procesos de planeación y la toma de decisiones por parte de la Dirección del PNPO, se propone la realización del estudio para generar información sobre los tipos de vegetación y los usos de suelo y su tasa de transformación en el periodo 2003–2011.

3. METODOLOGÍA

3.1. Imágenes de satélite empleadas

El análisis incluyó el uso de tres escenas obtenidas por el satélite SPOT 5 con nivel de procesamiento 1A. Los datos incluyeron bandas pancromáticas de 2.5 m de resolución espacial y bandas multi-espectrales (verde, roja y dos infra-rojas) con resolución espacial de 10 m de los años 2003, 2007 y 2011. Las tres escenas fueron capturadas en la temporada de invierno (Cuadro 1).

Cuadro 1. Relación de imágenes SPOT 5 utilizadas en el análisis de cambio.

Fecha de adquisición	Ángulo de incidencia	Cobertura de nubes
27/diciembre/2003	17.4°	0%
19/febrero/2007	-13.7°	< 10%
08/enero/2011	9.6°	0%

3.2. Pre-procesamiento de las escenas SPOT

Para minimizar los efectos de distorsión y desplazamiento ocasionados por el relieve, las escenas SPOT fueron orto-rectificadas en el módulo LPS 9.1 (Leica Photogrammetry Suite) contenido en el programa ERDAS 9.1. Para realizar este proceso, se requirió del uso de los metadatos que acompañan la imagen (archivo DIM), una imagen Landsat orto-rectificada con resolución espacial de 15 m (GLCF: <http://www.glcg.umd.edu>) usada como base para obtener coordenadas reales, y un modelo digital del terreno. Los valores de elevación en el área se obtuvieron del modelo digital de elevaciones (MDE) ASTER con 30 m de resolución espacial. El MDE ASTER fue procesado previamente para eliminar artefactos y llenar vacíos de datos. Para orto-rectificar las escenas SPOT se utilizaron al menos 40 puntos de control distribuidos en la escena. En todos los casos, el error de posicionamiento (RMS) fue menor a 1 pixel (ver Anexo A).

3.3. Fusión de datos SPOT

Con la finalidad de incrementar el detalle espacial sin perder la información multi-espectral de la imagen SPOT 5, se llevó a cabo la fusión de las bandas pancromáticas con las bandas multi-espectrales para todos los años (2003, 2007 y 2011) con el método Modified Intensity Hue (MIHS), implementado en ERDAS 9.1. La eficiencia de éste método para preservar los atributos multi-espectrales (menor resolución espacial) una vez fusionados con la banda pancromática (mayor resolución espacial) ha sido comprobada estadísticamente en otros estudios (Nikolakopoulos, 2008) y para su uso en la cartografía de la cubierta vegetal (Muñoz-Robles et al., 2011). El algoritmo MIHS produce una imagen de salida con tres bandas, y debido a esto, fue necesario realizar dos iteraciones (iteración 1 = combinación de bandas 3, 2, 1; iteración 2 = combinación de bandas 4, 3, 2) para obtener una imagen multi-espectral de cuatro bandas con características radiométricas similares a las de las bandas multi-espectrales originales.

3.4. Clasificación de los tipos de vegetación y uso del suelo

En esta sección se describe la metodología de la clasificación interdependiente que se llevó a cabo en el presente estudio. Esta metodología incluyó: (1) la clasificación y validación de la imagen más reciente (2011), (2) la modificación (visual) de los polígonos con cambio en 2003 y 2007 tomando como referencia la clasificación de 2011. La metodología se basó en lo establecido por el *Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México*, proporcionado por la CONANP

3.4.1. Clasificación de la imagen 2011

A partir del polígono del Parque Nacional Pico de Orizaba, se creó en ArcGis 9.2 un área de influencia (buffer) de 5 km al exterior del límite del Parque (a petición de la CONANP) con el propósito de identificar los tipos de uso del suelo y vegetación presentes en esta zona y su dinámica, además del análisis dentro del PNPO. Para la clasificación se usó un método de clasificación supervisada con base en muestreos de campo y la carta de uso de suelo serie IV del INEGI, de donde se obtuvo la leyenda (Cuadro 2). Dentro del área de estudio, se identificaron siete tipos de vegetación de acuerdo a la carta del INEGI. Adicionalmente,

se realizaron visitas de campo al PNPO para obtener información sobre los tipos de vegetación y uso del suelo. Se colectó un total de 95 puntos de muestreo, de los cuales 50 fueron utilizados como áreas de entrenamiento para clasificar la imagen 2011 y 45 para fines de validación de la clasificación. El número de puntos de muestreo estuvo condicionado a áreas con acceso, mientras que por razones de seguridad no se pudo acceder a algunas zonas del PNPO. La proporción de puntos de muestreo estuvo ponderada con la superficie ocupada por los tipos de uso del suelo y vegetación, además de la facilidad con la que éstos puedan ser discriminados en la imagen.

Mediante la sobreposición de los 50 puntos de muestreo en la imagen multi-espectral del 2011, se identificaron visualmente áreas homogéneas y se digitalizaron un promedio de 10 áreas de entrenamiento para cada tipo de vegetación. Las áreas urbanas se digitalizaron en pantalla. Una vez obtenidas las firmas espectrales para cada clase de uso del suelo y vegetación, se clasificó la imagen 2011 usando un algoritmo de máxima verosimilitud. El resultado fue verificado visualmente y se realizaron las modificaciones necesarias de acuerdo a lo establecido en el Protocolo de la CONANP. Posteriormente, se sobrepusieron los polígonos a la imagen multi-espectral y mediante un análisis visual se corrigieron los polígonos que habían generado confusión y se les asignó la clase correcta. Los polígonos menores de 1 ha fueron eliminados para cumplir con el criterio de la unidad mínima cartografiada para la resolución espacial empleada, y se suavizaron sus segmentos. Se construyó una matriz de confusión que permitió estimar la fiabilidad de la clasificación de la escena 2011 empleando los 45 sitios visitados en campo y un grupo de 84 puntos distribuidos aleatoriamente en el área y verificados usando imágenes actuales de alta resolución de *Google Earth*.

Cuadro 2. Tipos de vegetación identificados en la imagen SPOT 5 y en campo.

Tipo de vegetación/uso del suelo
Bosque de oyamel
Bosque de pino
Bosque de pino secundario
Bosque de pino-encino
Bosque de encino
Pradera de alta montaña
Pastizal
Agricultura
Sin vegetación aparente (incluye glaciar, arenal y suelo desnudo)*
Zona urbana

* Para fines de clasificación se separó el glaciar y el arenal de las áreas sin vegetación aparente con el fin de detectar cambios en el glaciar.

3.4.2. Clasificación de las imágenes 2003 y 2007

Los polígonos de tipo de vegetación y uso del suelo obtenidos de la clasificación de la escena 2011 fueron sobrepuestos a las escenas 2003 y 2007. Mediante análisis visual e interpretación de estas imágenes, se modificaron los polígonos en los que se detectaron cambios de acuerdo al método interdependiente y se registró el tipo de cambio conforme a lo establecido en el *Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México*, proporcionado por la CONANP. De esta forma, se obtuvo la vegetación y uso del suelo para los años 2003 y 2007. En la imagen de 2007 se apreció una pequeña proporción de nubes pequeñas cercanas a las cimas más altas (p. ej. volcán Pico de Orizaba). Se decidió considerar su efecto como mínimo en el proceso de clasificación, ya que en las imágenes 2003 y 2011, libres de nubes, no ocurrieron cambios en la superficie del suelo obstaculizada por nubes, y se asignó el tipo de vegetación obtenido de la clasificación 2011.

3.5. Detección de cambio y tasa de transformación

Mediante sobre-posición digital de los mapas clasificados de cada fecha, se identificaron las áreas de cambio en los periodos 2003–2007, 2007–2011 y 2003–2011. Este análisis se realizó para la superficie comprendida dentro del PNPO y además para la zona de influencia representada por un área de amortiguamiento de 5 km a partir de los límites del PNPO. Los resultados fueron representados mediante matrices de cambio para cada periodo, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el *Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México*.

Por otra parte, la tasa de cambio de uso del suelo y vegetación se estimó con la siguiente ecuación, obtenida del *Protocolo* antes mencionado, proporcionado por la CONANP:

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

Donde:

δ = tasa de cambio (para expresar en %, multiplicar por 100)

S_1 = superficie forestal, al inicio del periodo

S_2 = superficie forestal, al final del periodo

4. RESULTADOS

4.1. Fusión de datos SPOT

Se obtuvieron escenas orto-rectificadas SPOT 5 multi-espectrales y fusionadas (resolución espacial de 10 y 2.5 m, respectivamente (Figuras 1, 2 y 3). Los errores resultantes del proceso de orto-rectificación fueron < 1 pixel y se muestran en el ANEXO.

4.2. Clasificación y validación de la imagen más reciente (2011)

La fiabilidad global de la clasificación de la imagen más reciente (2011) fue de 88%. Esta fiabilidad es considerada aceptable y se encuentra del rango de fiabilidad reportada para diversos estudios que emplean criterios espectrales y visuales para la clasificación. El valor del estadístico de Kappa de 0.85 indica que la clasificación global es 85% mejor que una clasificación esperada al azar.

El error de omisión indica las áreas que perteneciendo a una categoría, no fueron incluidos en ella. Los errores de omisión más altos (Cuadro 3) fueron para las categorías de bosque de pino-encino (33.3%), que fue confundido con bosque de pino y de oyamel, debido principalmente a la dificultad de discriminar una firma espectral específica, que es similar a la de bosque de pino y de oyamel. Por otra parte, el error de omisión de los pastizales (17.6%) se debió a que en algunas áreas se confundió con áreas agrícolas con respuesta espectral similar a la de los pastizales, y como resultado, fueron confundidas con éstos; este error está también asociado con el nivel de verdor en la escena 2011 y la fecha de verificación de campo. El error de omisión para las categorías restantes fue $\leq 15\%$. Los bosques de pino (14.7 % de error de omisión) presentaron confusión con bosques de pino secundario, principalmente debido a la dificultad de separar distintos estados sucesionales en éste último, con bosques de oyamel debido al efecto de lagunas sombras y con bosques de encino.

El error por comisión, por el contrario al de omisión, representa las áreas que se incluyeron en una categoría perteneciendo realmente a otra (Cuadro 3). Los errores de comisión más

altos fueron para las áreas de bosque de oyamel (30%), que se confundieron con bosques de pino y pino-encino. Los bosques de encino (22.2%) pastizales (22.2%) y bosques de pino-encino (20%). Estas categorías se confundieron con excepción del pastizal, se confundieron principalmente con bosques de pino secundario, y, de igual forma que en el error de omisión mencionado anteriormente, fue debido a la dificultad de separar distintos estados sucesionales con respuesta espectral similar a bosques de pino y pino-encino. Los pastizales se confundieron principalmente con áreas agrícolas, debido también al ya mencionado factor en la fecha de toma de la escena y la fecha de verificación en campo. El error de comisión para las categorías restantes fue $< 10\%$.

Los errores de omisión y comisión expresan dos enfoques del mismo problema. Los primeros se refieren a una definición imperfecta de la categoría, mientras que los segundos, a una delimitación excesivamente amplia. Desde otra perspectiva, si para una categoría el error de omisión es bajo, existe una alta probabilidad de que la superficie realmente ocupada por esa categoría esté incluida en el mapa, lo que significa un logro para el productor de la clasificación. Para el caso de la clasificación presentada, se obtuvo una fiabilidad del productor global de 88.7%, y fiabilidades del productor entre 82 y 100% para todas las categorías (Cuadro 3), con excepción de los bosques de pino-encino (66.7%). Cabe señalar que no se identificaron bosques de pino-encino dentro del PNPO, lo cual fue verificado en la carta de vegetación serie III del INEGI, por lo que este error dentro del parque es mínimo.

Sin embargo, puede a la vez haberse producido un alto error de comisión, lo que implica que la probabilidad de que una zona clasificada en el mapa como tal categoría lo sea realmente es muy baja. Esto supone un riesgo para el usuario de esa información. La fiabilidad del usuario global fue de 86.8%, y a nivel de categorías fue \geq a 80% para la mayoría, y entre 70 y 77.8% para bosques de oyamel, bosques de encino y pastizales.

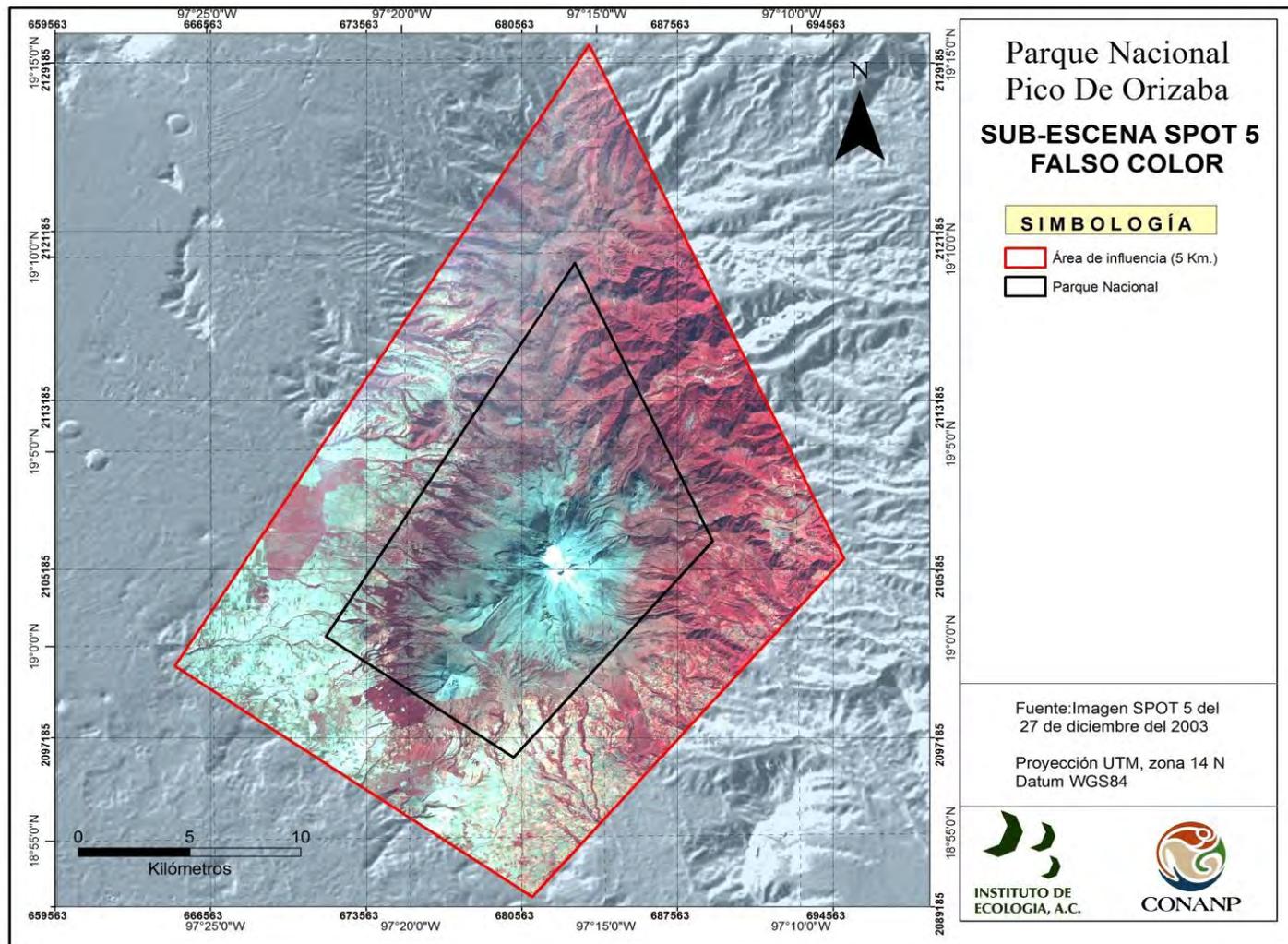


Figura 1. Sub-escena SPOT 5 del año 2003 en falso color (3, 2, 1).

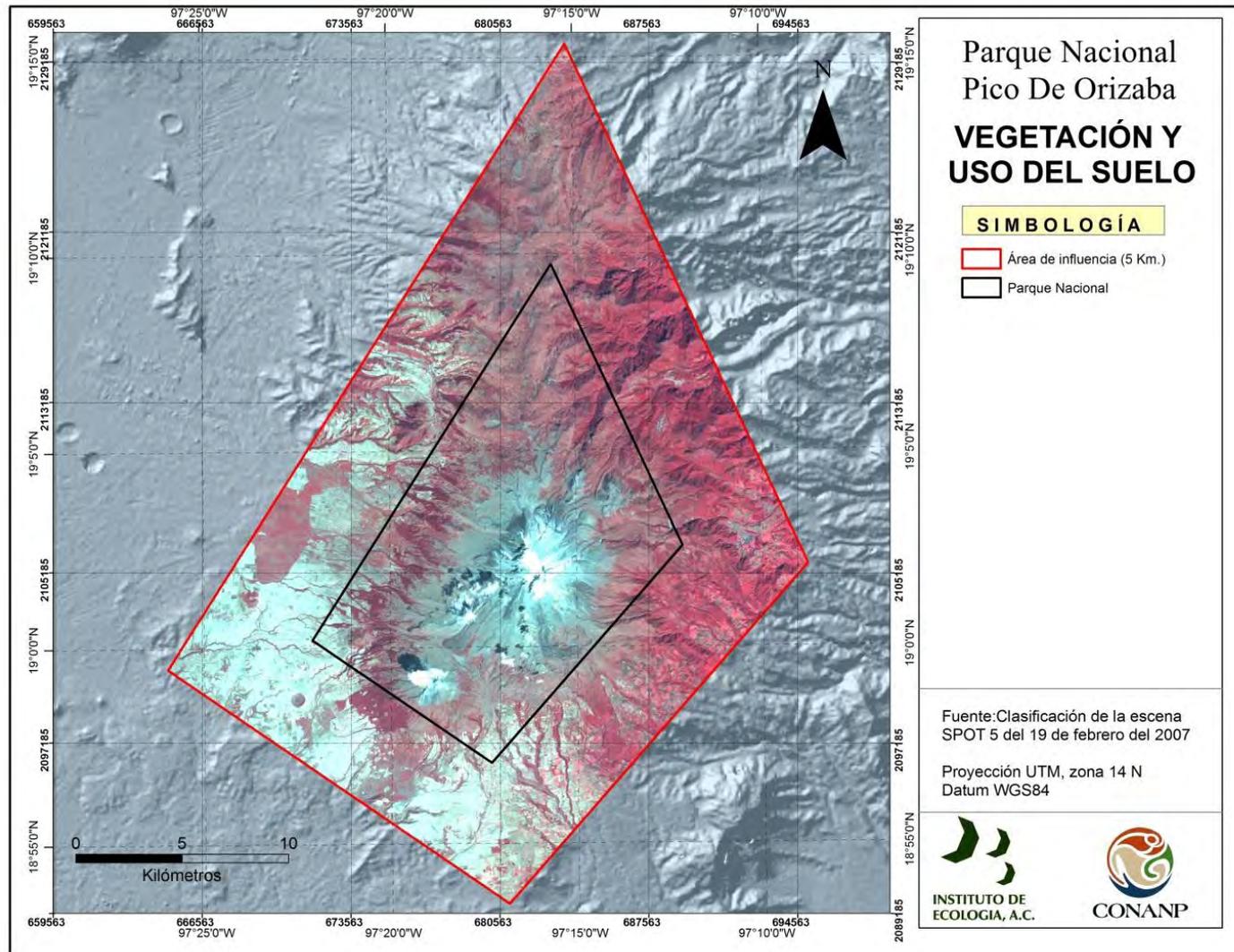


Figura 2. Sub-escena SPOT 5 del año 2007 en falso color (3, 2, 1).

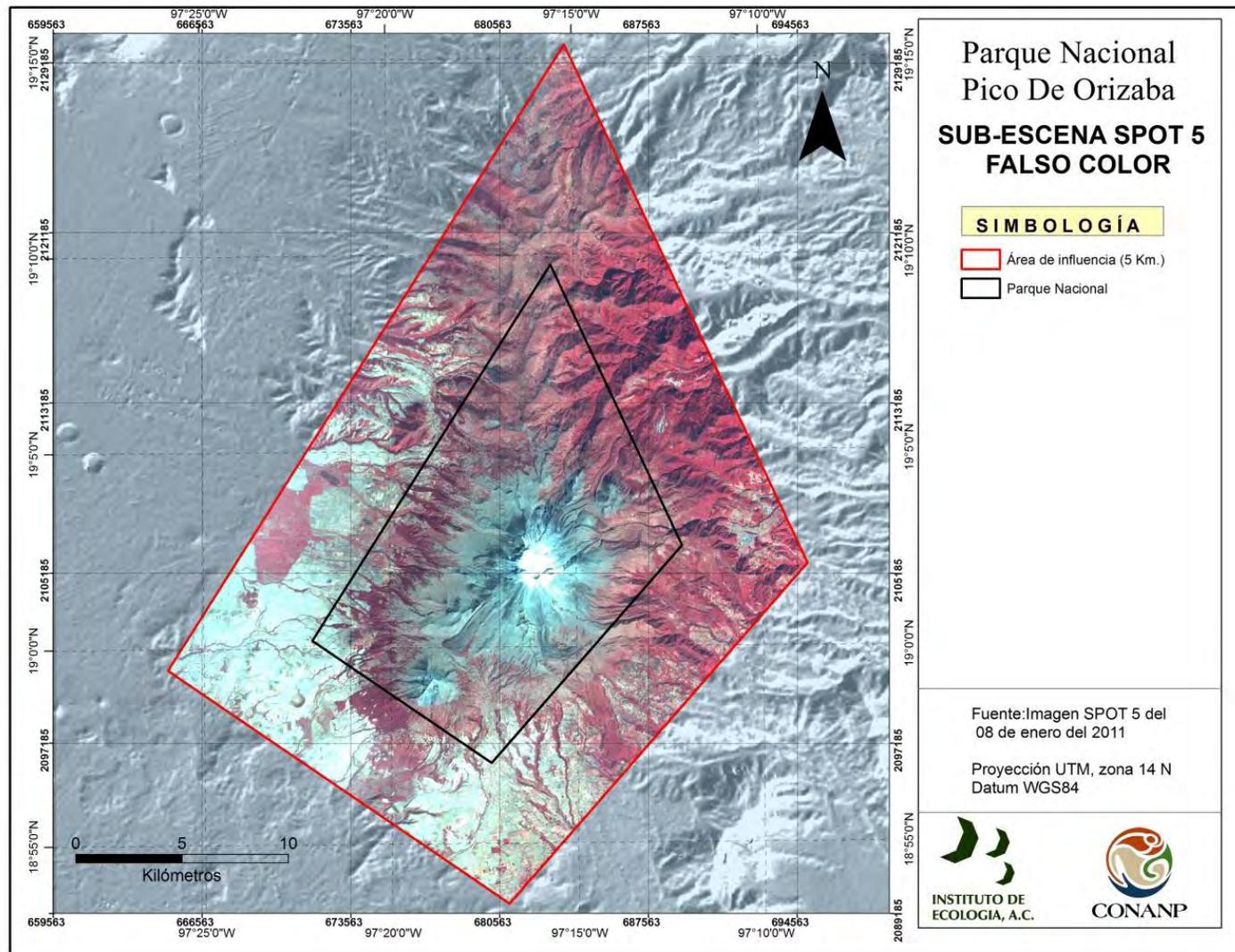


Figura 3. Sub-escena SPOT 5 del año 2011 en falso color (3, 2, 1).

Cuadro 3. Matriz de confusión para la clasificación del 2011.

TIPO	Bosque de oyamel	Bosque de pino	Bosque de pino secundario	Bosque de pino-encino	Bosque de encino	Pradera de alta montaña	Pastizal	Agricultura	Sin vegetación aparente	Fiabilidad del productor (%)	Error de omisión (%)	
Bosque de oyamel	7	0	0	0	0	0	0	0	0	100.0	0.0	
Bosque de pino	2	29	1	0	1	0	1	0	0	85.3	14.7	
Bosque de pino secundario	0	1	18	1	1	0	0	0	0	85.7	14.3	
Bosque de pino-encino	1	1	0	4	0	0	0	0	0	66.7	33.3	
Bosque de encino	0	0	0	0	7	0	0	0	0	100.0	0.0	
Pradera de alta montaña	0	0	0	0	0	7	1	0	0	87.5	12.5	
Pastizal	0	1	0	0	0	0	14	2	0	82.4	17.6	
Agricultura	0	0	0	0	0	0	2	19	0	90.5	9.5	
Sin vegetación aparente	0	0	0	0	0	0	0	0	8	100.0	0.0	
Fiabilidad del usuario (%)	70	90.6	94.7	80.0	77.8	100.0	77.8	90.5	100.0	86.8	88.7	11.3
Error de comisión (%)	30	9.4	5.3	20.0	22.2	0.0	22.2	9.5	0.0	13.2		

Fiabilidad global	88%
Estadístico de Kappa	0.85

4.3. Clasificación de las imágenes 2011, 2007 y 2003

Las clasificaciones resultantes del método interdependiente para los años 2003, 2007 y 2011 se muestran en las figuras 4, 5 y 6, mientras que la superficie ocupada por cada tipo de vegetación y uso del suelo para cada fecha de análisis se muestra en la Figura 7.

En esta sección se reportan los resultados de las clasificaciones del área comprendida dentro del PNPO. Para las tres fechas de análisis se observó un patrón muy similar en la distribución espacial y superficie de los tipos de uso del suelo y vegetación, debido al poco cambio temporal y espacial registrado entre las fechas de análisis.

La mayor superficie del parque está ocupada por bosque de pino ($\approx 28\%$), seguida por la pradera de alta montaña ($\approx 18\%$), bosque de oyamel ($\approx 13\%$), pastizal (11%), bosque de pino secundario ($\approx 7\%$), áreas agrícolas ($\approx 5\%$), bosques de encino y áreas urbanas ($< 1\%$). Las áreas sin vegetación aparente (arenal, glaciario y suelo desnudo) comprenden alrededor del 17% de la superficie del Parque (Figura 7). En la escena 2011 se detectó un área incendiada de 73 ha dentro del PNPO.

El bosque de pino se localiza en la parte norte del cono volcánico y rodeando al mismo. La pradera de alta montaña se encuentra rodeando al cono volcánico, por arriba de los 3,500 msnm. El bosque de oyamel se encuentra en manchones principalmente en la parte oeste y en la sección noreste del parque, en áreas que corresponden a cañadas. Las áreas de pastizal se encuentran al sureste del polígono del PNPO, mientras que el bosque de pino secundario se ubica en manchones en el oeste y noreste del Parque.

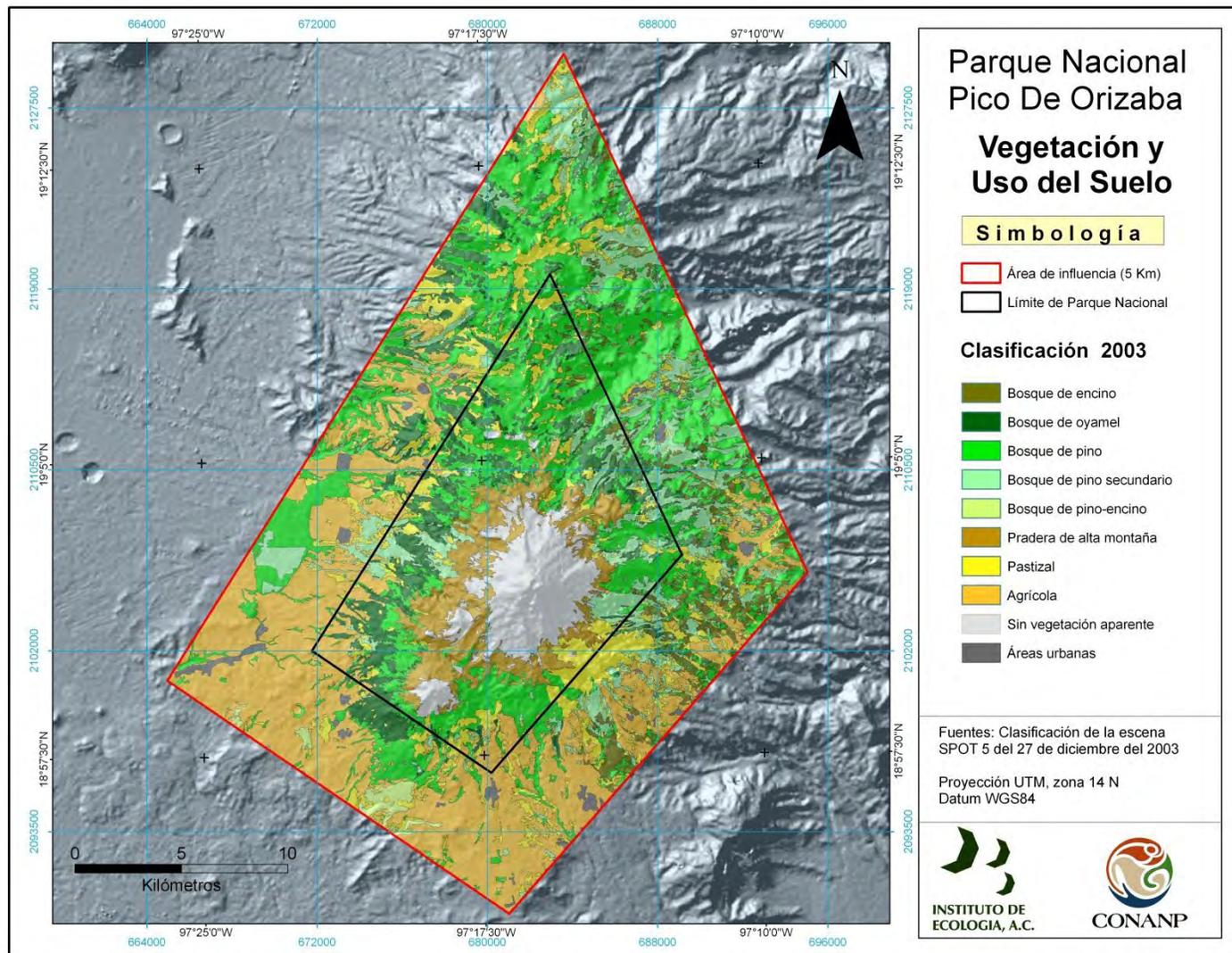


Figura 4. Imagen clasificada del año 2003

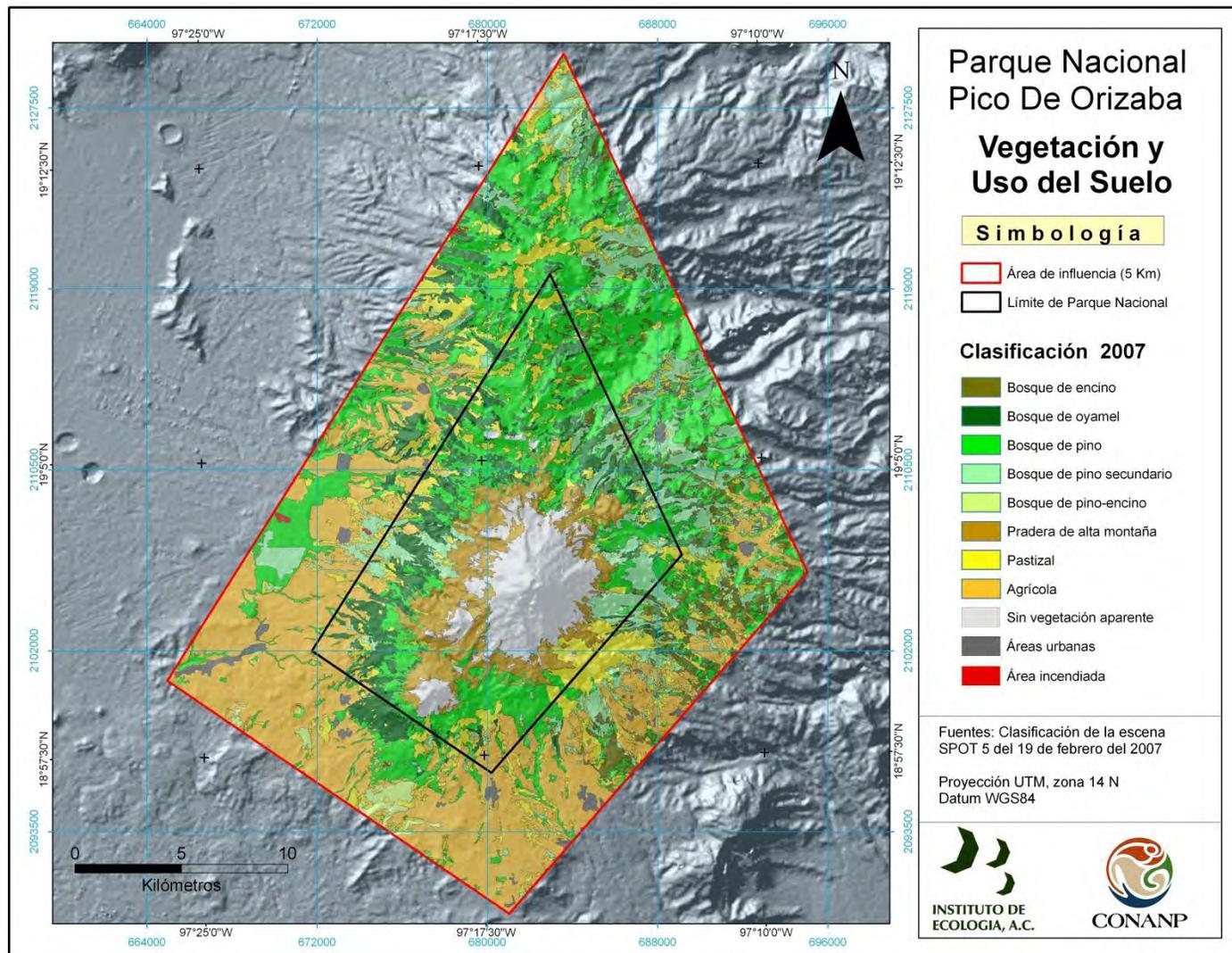


Figura 5. Imagen clasificada del año 2007.

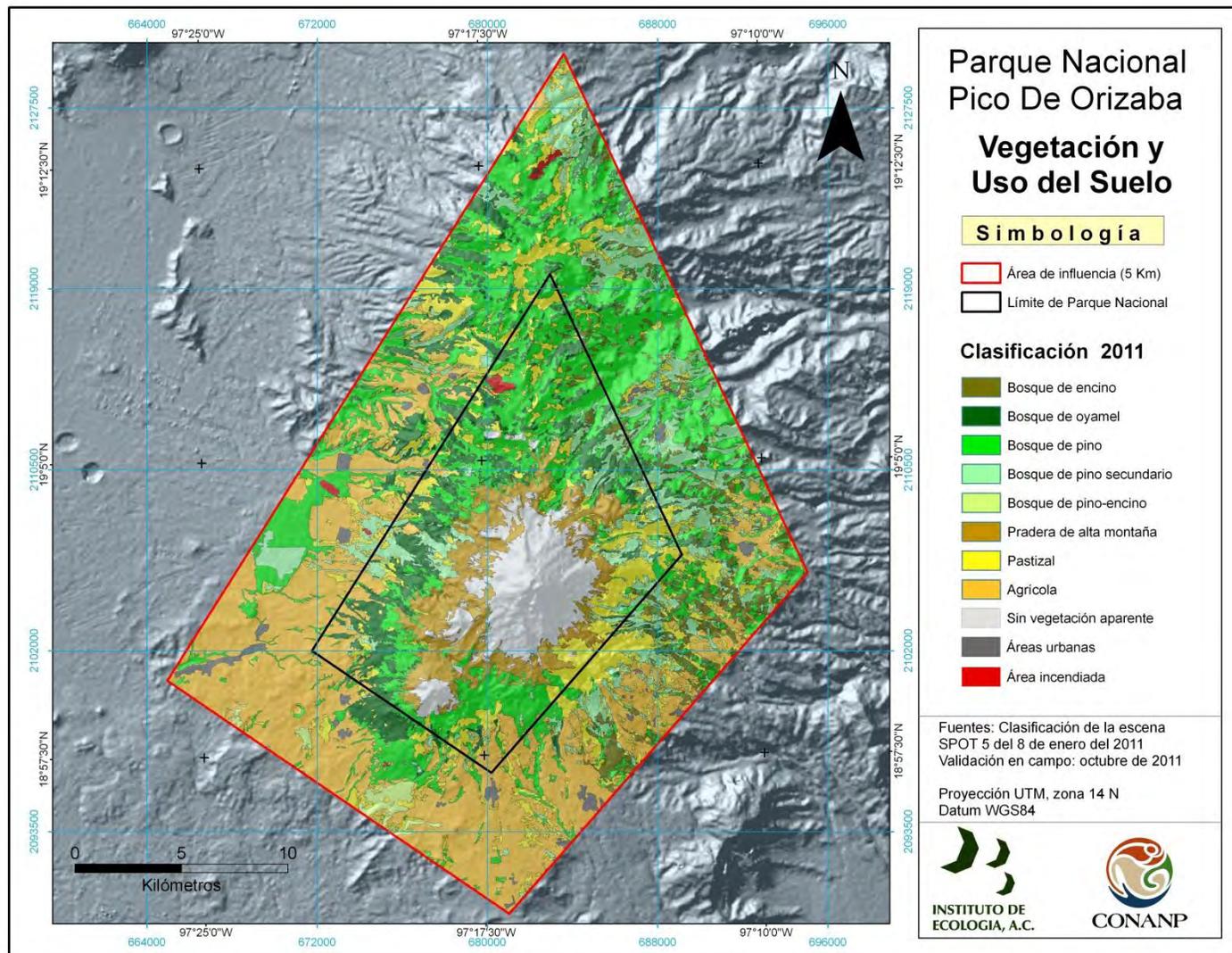


Figura 6. Imagen clasificada del año 2011.

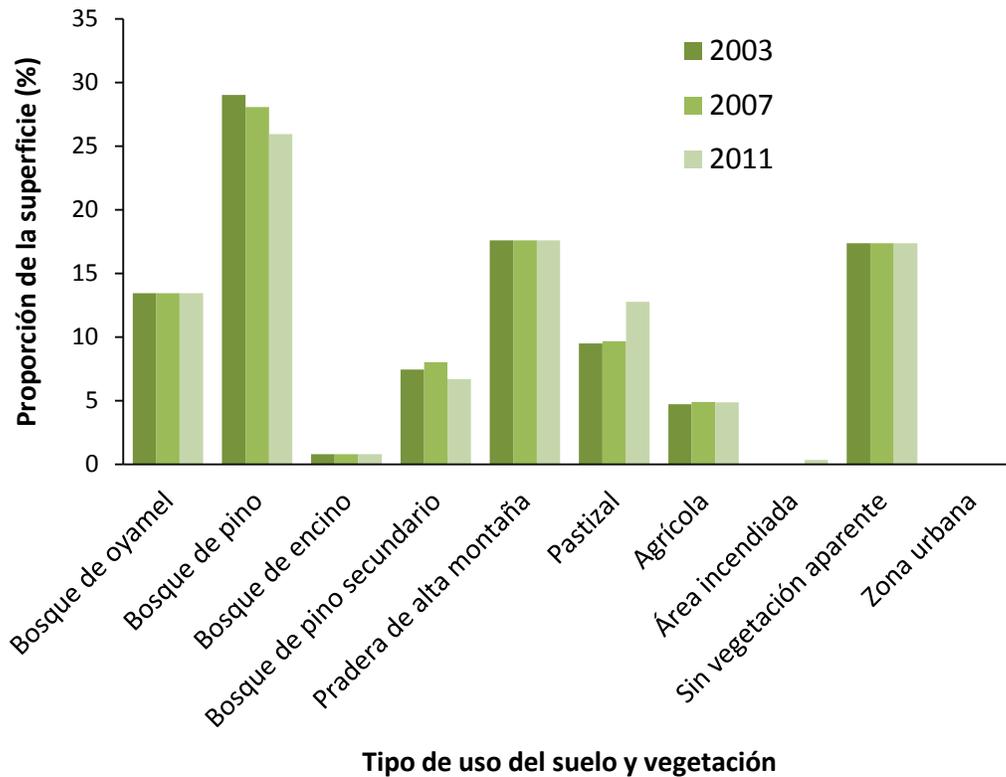


Figura 7. Proporción de la superficie (%) ocupada por tipo de uso del suelo y vegetación dentro del PNPO en cada fecha analizada.

4.4. Tasa de cambio de uso del suelo y vegetación en los periodos de análisis

4.4.1. Cambios en el área del PNPO

Los cambios detectados en el periodo 2003–2007 (Cuadro 4; Figura 8) fueron el paso de 119.3 ha de bosque de pino a bosque de pino secundario, y 69.1 a pastizal. Además, 2.1 ha de bosque de pino secundario cambiaron a pastizal. De esta forma, en el periodo 2003–2007 la pérdida de vegetación forestal fue de 190.4 ha.

En el periodo 2007–2011 (Cuadro 5; Figura 9), 345.5 ha de bosque de pino fueron transformadas a pastizal, y 73.0 ha de bosque de pino fueron afectadas por incendios forestales. Por otra parte, 262.1 ha de bosque de pino secundario fueron convertidas a pastizal. La totalidad de estos cambios en el periodo 2007–2011 significó una pérdida de vegetación forestal de 680.7 ha.

Para el periodo 2003–2011 (Cuadro 6; Figura 10) se detectó el cambio de bosque de pino a bosque de pino secundario y pastizal que representó 533.8 ha. Asimismo, incendios forestales transformaron 73.1 ha de bosque de pino, y 145.4 ha de bosque de pino secundario fueron convertidas a pastizal. El total de superficie forestal perdida en el periodo 2003–2011 fue de 752.3 ha.

Las tasas de transformación anuales estimadas en el PNPO para los distintos periodos de análisis fueron relativamente bajas, oscilando entre 0.1 y 1.3% (Cuadro 8).

Cuadro 4. Matriz de cambio para el periodo 2003-2007 en al área del PNPO.

Suma de HA 2003	2007									
	Bosque de oyamel	Bosque de pino	Bosque de encino	Pradera de alta montaña	Bosque de pino secundario	Pastizal	Agrícola	Sin vegetación aparente	Área urbana	Total general
Bosque de oyamel	2,659.33									2,659.33
Bosque de pino		5,546.13			119.27	69.05				5,734.45
Bosque de encino			159.89							159.89
Pradera de alta montaña				3,475.53						3,475.53
Bosque de pino secundario					1,468.87	2.07				1,470.93
Pastizal						1,837.78	41.35			1,879.14
Agrícola						5.87	928.95			934.82
Sin vegetación aparente								3,435.96		3,435.96
Área urbana									0.12	0.12
Total general	2,659.33	5,546.13	159.89	3,475.53	1,588.13	1,914.77	970.31	3,435.96	0.12	19,750.16

2003-2007	Bosque de pino secundario	Pastizal	Agrícola
Bosque de pino	-119.27	-69.05	
Bosque de pino secundario		-2.07	
Pastizal			
Agrícola			
TOTAL	-119.27	-71.12	
Ha transformadas en el periodo			-190.38

Cuadro 5. Matriz de cambio para el periodo 2007-2011 en el área del PNPO.

Suma de HA	2011										
2007	Bosque de oyamel	Bosque de pino	Bosque de encino	Pradera de alta montaña	Bosque de pino secundario	Pastizal	Agrícola	Área incendiada	Sin vegetación aparente	Área urbana	Total general
Bosque de oyamel	2,659.33										2,659.33
Bosque de pino		5,127.57				345.50		73.06			5,546.13
Bosque de encino			159.89								159.89
Pradera de alta montaña				3,475.52							3,475.52
Bosque de pino secundario					1,326.03	262.10					1,588.13
Pastizal						1,914.77					1,914.77
Agrícola						3.52	966.78				970.31
Área incendiada								0.00			0.00
Sin vegetación aparente									3,435.96		3,435.96
Área urbana										0.12	0.12
Total general	2,659.33	5,127.57	159.89	3,475.52	1,326.03	2,525.89	966.78	73.06	3,435.96	0.12	19,750.16

2007-2011	Pastizal	Área incendiada
Bosque de pino	-345.50	-73.06
Bosque de pino secundario	-262.10	
Agrícola		
TOTAL	-607.60	-73.06
Ha transformadas en el periodo		-680.66

Cuadro 6. Matriz de cambio para el periodo 2003-2011 del área del PNPO.

Suma de HA	2011										
2003	Bosque de oyamel	Bosque de pino	Bosque de encino	Pradera de alta montaña	Bosque de pino secundario	Pastizal	Agrícola	Área incendiada	Sin vegetación aparente	Área urbana	Total general
Bosque de oyamel	2,659.33										2,659.33
Bosque de pino		5,127.57			0.53	533.29		73.06			5,734.45
Bosque de encino			159.89								159.89
Pradera de alta montaña				3,475.53							3,475.53
Bosque de pino secundario					1,325.50	145.43					1,470.93
Pastizal						1,837.78	41.35				1,879.13
Agrícola						9.39	925.43				934.82
Área incendiada								0.00			0.00
Sin vegetación aparente									3,435.96		3,435.96
Área urbana										0.12	0.12
Total general	2,659.33	5,127.57	159.89	3,475.53	1,326.03	2,525.89	966.78	73.06	3,435.96	0.12	19,750.16

2003-2011	Bosque de pino secundario	Pastizal	Agrícola	Área incendiada
Bosque de pino	-0.53	-533.29		-73.06
Bosque de pino secundario		-145.43		
Agrícola				
TOTAL	-0.53	-678.72		-73.06
Ha transformadas en el periodo				-752.31

4.4.2. Cambios en el área de influencia de 5 km al exterior del PNPO

El total de superficie transformada en el área de influencia al exterior del PNPO en el periodo 2003-2011 fue de 285.5 ha (Cuadro 7; Figura 11). El bosque de pino cambió a pastizal (154.9 ha), a áreas incendiadas (97.0 ha), a áreas agrícolas (3.8 ha) y a bosque de pino secundario (2.9 ha). El bosque de pino secundario a pastizal (36.7 ha), a áreas agrícolas (7.9 ha), y a áreas incendiadas (7.2 ha). Sin embargo, también se observaron cambios de recuperación de 2.9 ha de bosque secundario a bosque de pino y la revegetación de 14.8 ha de áreas agrícolas pasando a ser bosques de pino (Figura 11). La tasa de transformación anual en la zona de influencia de 5 km para el periodo 2003–2011 fue de 0.2%.

Cuadro 7. Matriz de cambio para el periodo 2003-2011 en al área de influencia (5 km).

Suma de HA 2003	2011									
	Bosque de Oyamel	Bosque de Pino	Bosque de Encino	Bosque de pino-encino	Bosque de pino secundario	Pastizal	Agrícola	Área incendiada	Área urbana	Total general
Bosque de oyamel	2,385.25									2,385.25
Bosque de pino		11,167.11			2.93	154.92	3.79	96.96		11,425.71
Bosque de encino			2,012.51							2,012.51
Bosque de pino-encino				412.65						412.65
Bosque de pino secundario		2.90			4,653.44	36.69	7.87	7.23		4,708.14
Pastizal		4.66			2.58	5,055.46	72.83		2.37	5,137.90
Agrícola		7.81			6.94	14.14	13,514.37		14.84	13,558.11
Área incendiada								0.00		0.00
Área urbana									646.72	646.72
Total general	2,385.25	11,182.49	2,012.51	412.65	4,665.88	5,261.22	13,598.86	104.19	663.93	40,286.99

2003-2011	Bosque de pino	Bosque de pino secundario	Pastizal	Agrícola	Área incendiada
Bosque de pino		-2.93	-154.92	-3.79	-96.96
Bosque de pino secundario	2.90		-36.69	-7.87	-7.23
Pastizal	4.66	2.58			
Agrícola	7.81	6.94			
TOTAL	15.38	6.58	-191.61	-11.66	-104.19
Ha transformadas en el periodo					-285.50

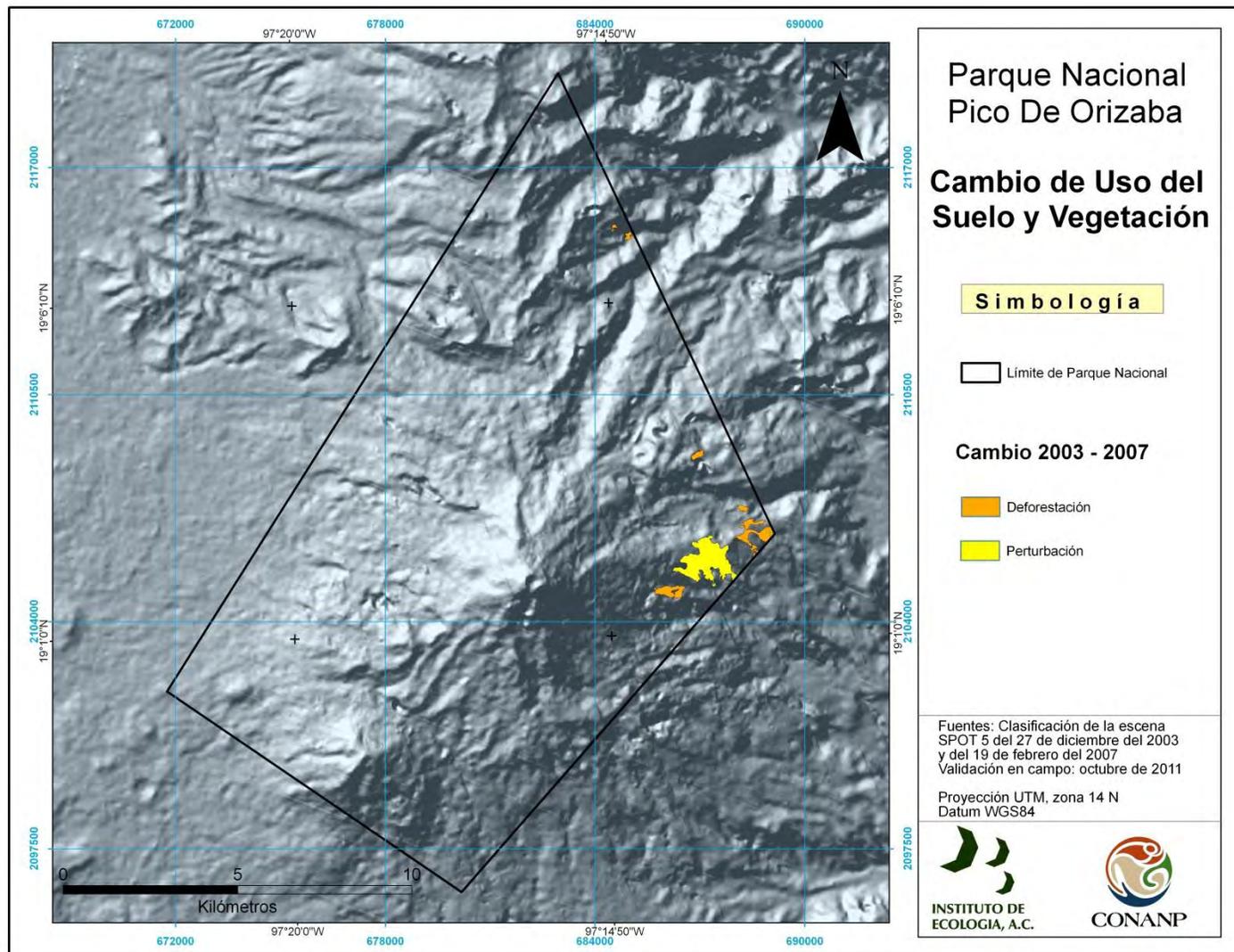


Figura 8. Cambios en el periodo 2003–2007 en el PNPO.

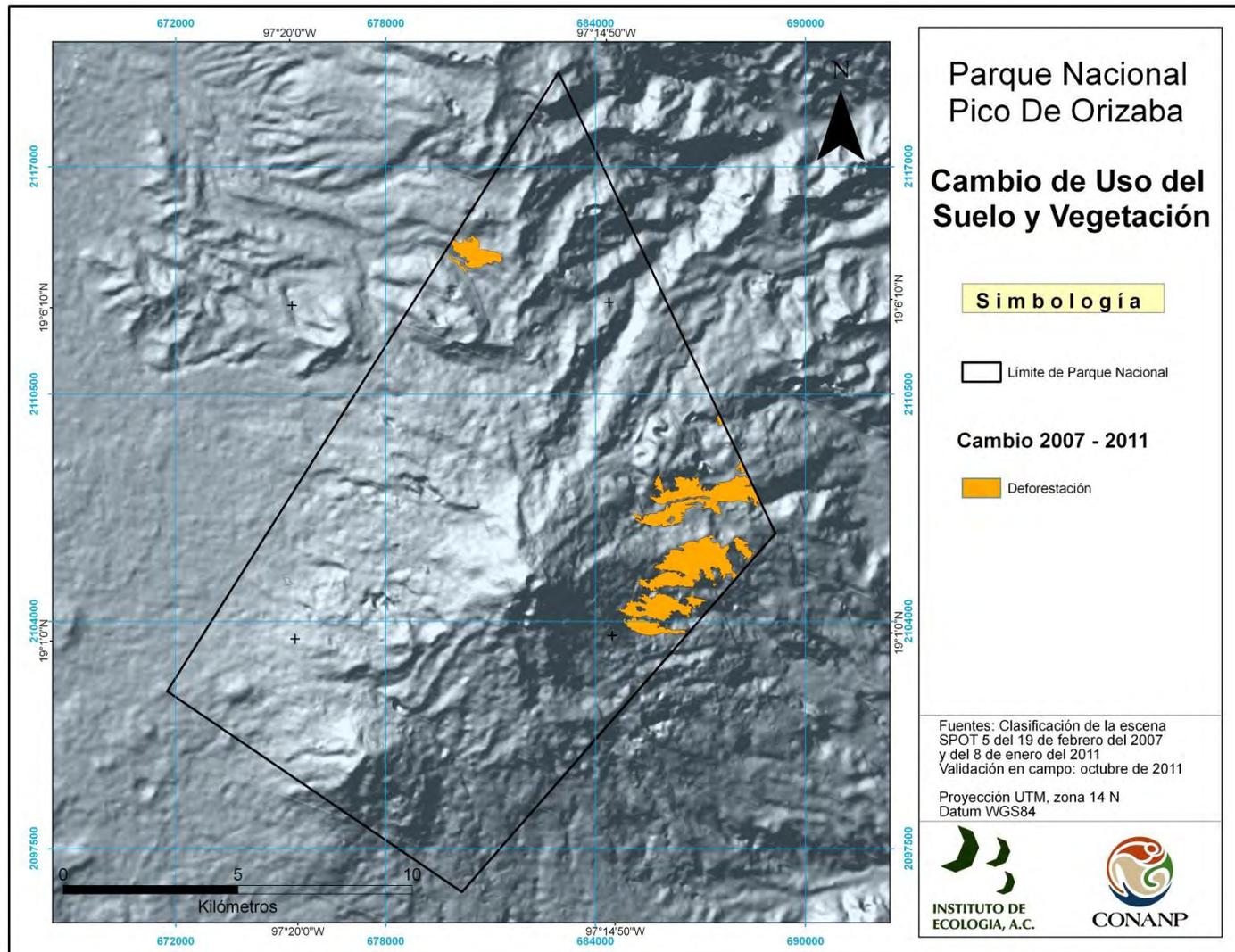


Figura 9. Cambios en el periodo 2007–2011 en el PNPO

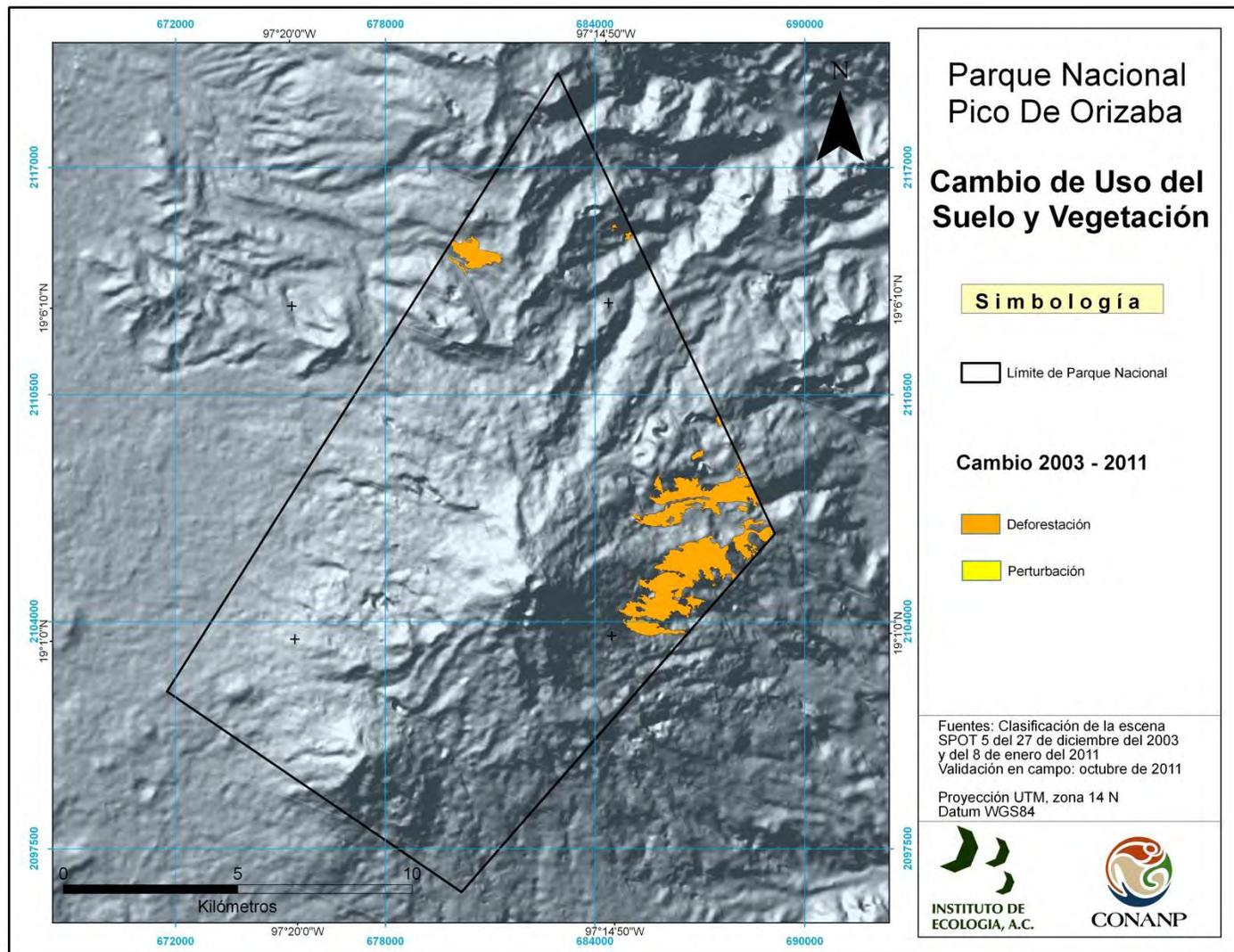


Figura 10. Cambios en el periodo 2003–2011 en el PNPO.

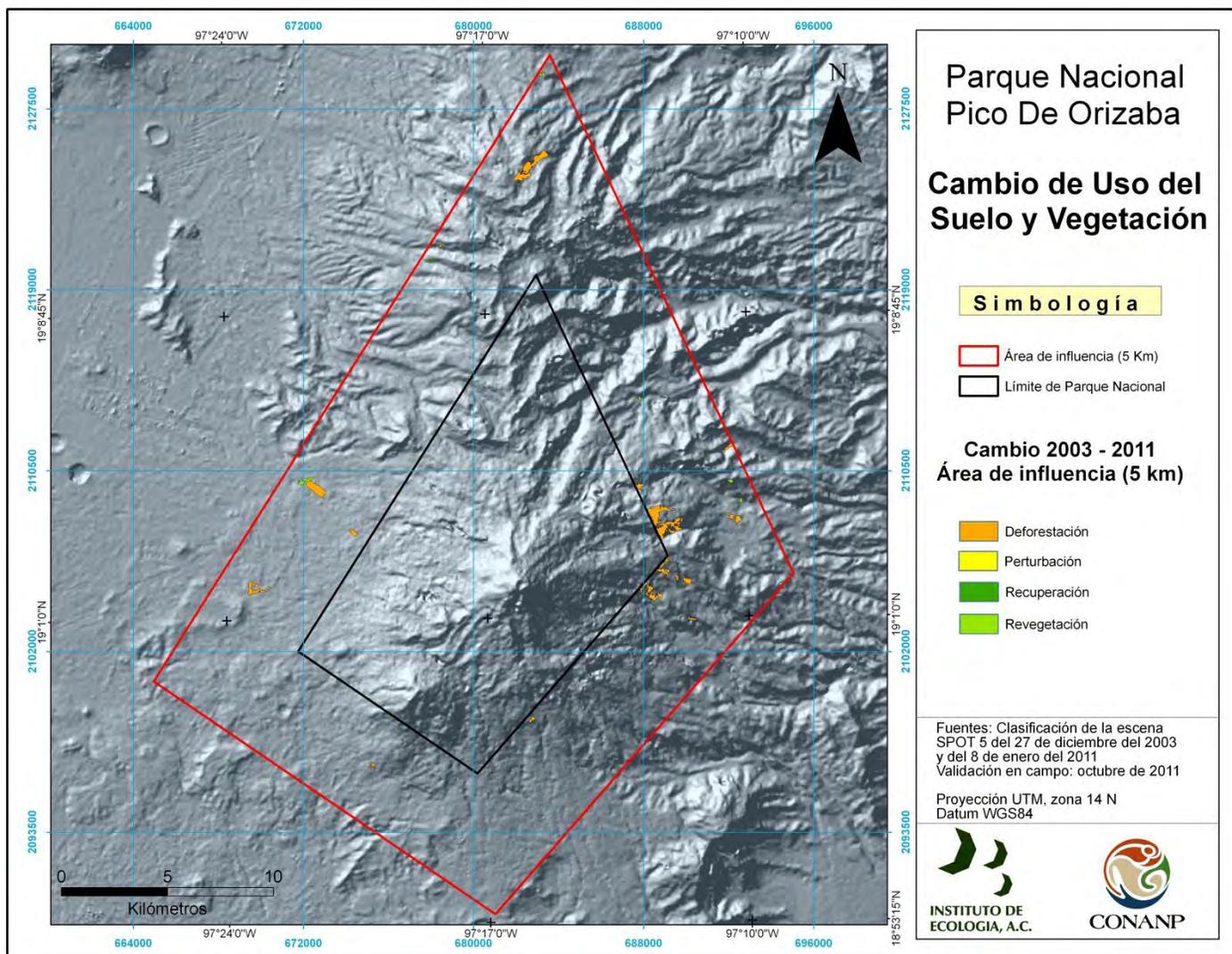


Figura 11. Cambios en el periodo 2003–2011 en el área de influencia (5 km al exterior del límite del PNPO).

Cuadro 8. Tasa de transformación de la superficie forestal en los periodos 2003-2011, 2007-2011 y 2003-2007 para el área del PNPO.

Periodo	Superficie tiempo 1	Superficie tiempo2	Cambio (Ha)	Años	Tasa de cambio	Tasa de cambio (%)	ha/Año	Cambio acumulado
2003-2007	13,460.56	13,389.44	71	4	0.001323	0.13	18	-71.12
2007-2011	13,389.44	12,708.78	681	4	0.012959	1.30	170	-751.78
2003-2011	13,460.56	12,708.78	752	8	0.007158	0.72	94	

Cuadro 9. Tasa de transformación de la superficie forestal en los periodos 2003-2011, 2007-2011 y 2003-2007 para el área de influencia (5km).

Periodo	Superficie tiempo 1	Superficie tiempo2	Cambio (Ha)	Años	Tasa de cambio	Tasa de cambio (%)	ha/Año	Cambio acumulado
2003-2011	20,944	20,659	285.47	8	0.001714	0.17	36	-285.47

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En general, los cambios detectados en cada periodo de análisis (2003–2007; 2007–2011; 2003–2011) tanto para el área del PNPO como para la zona de influencia de 5 km fueron pocos. La razón de este resultado puede deberse principalmente a tres factores: (1) el periodo temporal de estudio es corto, ya que incluye únicamente ocho años, y normalmente para detectar cambios se requiere de periodos mayores (20–30 años); (2) es probable que existan cambios en superficies menores a la unidad mínima cartografiada, que fue eliminada desde el principio de la clasificación, y (3) la inherente dinámica de cambio lenta en el PNPO, que concuerda con otras áreas naturales protegidas de México. Además de las tres razones mencionadas, los factores de altitud sobre el nivel del mar y la accesibilidad pueden ser factores que restringen el desarrollo de actividades agropecuarias, reduciendo o limitando el cambio de áreas forestales a estas actividades.

La actividad forestal es una causa de pérdida de cubierta forestal, principalmente en la parte este del PNPO, donde se pudo observar, durante la visita de verificación, áreas de bosque en proceso de regeneración y donde se presentan los principales conflictos forestales por la tala ilegal. De acuerdo con comunicaciones de las autoridades del PNPO y de la CONANP, los principales operativos que realiza la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPa) se realizan principalmente en esta parte del PNPO, donde se identificó la mayor pérdida de vegetación forestal.

Los resultados del análisis evidenciaron el efecto de los incendios forestales como otro factor de transformación tanto dentro del PNPO como en el área de influencia de 5 km. Los incendios en México son conceptuados como el factor de perturbación que más daño ha causado a los diferentes ecosistemas forestales (Sánchez 1989), y son la resultante de la interacción de diversos factores, principalmente de carácter socioeconómico e incluso político y cultural, que, influidos fuertemente por eventos de sequía intensos y prolongados, hacen difícil de minimizar sus efectos. De esta forma, los incendios forestales son fenómenos complejos que deben prevenirse con planes de prevención y combate y con un manejo ecológico del fuego para conservar los ecosistemas forestales del PNPO.

Las tasas de transformación obtenidas en el presente análisis son bajas, sin embargo, son similares a las estimadas por Smith (2002) para un periodo de siete años (1993-2000) en 62 áreas naturales de México, tomando como base cartografía de uso del suelo y vegetación del INEGI. Este autor reporta una tasa de transformación (pérdida de cobertura forestal) de alrededor de 0.2% en las 62 áreas naturales estudiadas, y señala que la mayor parte de la superficie de bosques, o alguna otra cobertura de vegetación nativa, dentro de las áreas naturales protegidas se conservó (98.8%). De esta manera, la tasa de transformación esperada en áreas naturales protegidas tiende a ser baja en comparación con áreas sin protección, debido a políticas legales de conservación.

Los valores de la tasa de transformación calculadas para el PNPO también están dentro del rango de valores que la propia CONANP ha estimado en nueve áreas protegidas (CONANP 2010), incluidos otros parques nacionales como el PN Cumbres de Monterrey, donde se calculó una tasa que fluctuó de 0.02 a 0.07% pero en un periodo mayor (29 años) que el considerado para el PNPO.

Es recomendable ampliar la escala temporal de forma retrospectiva para obtener una perspectiva más completa del cambio de uso del suelo y vegetación en el área y entonces contar con resultados concluyentes respecto a las tasas de transformación. Esto implicaría el uso de escenas SPOT más antiguas con resolución espacial de 20 m y escenas Landsat con resolución de 30 m. En todo caso, los resultados del presente estudio representan la línea base que se debe monitorear en el mediano y largo plazo como una forma de evaluar objetivamente la efectividad de las acciones de conservación realizadas por la CONANP en esta área protegida.

6. LITERATURA CITADA

- Ávila, H. C. 2000. Ecología poblacional de *Abies hickelii* en el Pico de Orizaba, Veracruz. in CONABIO, editor. Colegio de Postgraduados. Colegio de Postgraduados, México, D. F.
- Ávila, H. C., Aguirre, J. R. y García, E. 1994. Variación estructural del bosque de oyamel (*Abies hickelii* Flous & Gausson) en relación con factores ambientales en el Pico de Orizaba, México. *Investigaciones Agrarias, Sistemas y Recursos Forestales* 3: 5-17.
- Blanco, F. E., y Romero, S. Y. 1989. Estudio ecológico de la vegetación de los municipios de Alpatláhuac y Calchualco, Veracruz, México. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana, Córdoba, Veracruz. 119 p.
- CONANP. 2007. Protocolo para la evaluación del Uso del Suelo y Vegetación en Áreas Naturales Protegidas Federales de México. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D. F. 56 p.
- CONANP. 2010. Logros 2010. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., México, D. F. 251 p.
- Delgadillo, M. 1984. Musgos alpinos de México: Cofre de Perote y Pico de Orizaba. *Biótica* 9: 399-405.
- Dirzo, R., y García, M. C. 1992. Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a Neotropical area in southeast Mexico. *Conservation Biology* 6: 84-90.
- Jensen, J.R., 2007. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective. Pearson Education Inc., Singapore.
- Luna, E., Gómez-Pompa, A., López-Acosta, J., Velazquez, N. y Aguilar, Y. 2010. Atlas de los espacios naturales protegidos del Estado de Veracruz. Gobierno del Estado de Veracruz, Xalapa, Veracruz.
- Martínez, J. L. 1988. La vegetación de la zona noreste del Pico de Orizaba, Veracruz, México. Facultad de Biología. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz. 120 p.
- Mendoza, E., Fay, J. y Dirzo, R. 2005. A quantitative analysis of forest fragmentation in Los Tuxtlas, southeast Mexico: patterns and implications for conservation. *Revista Chilena de Historia Natural* 78: 451-467.
- Muñoz-Robles, C., Frazier, P., Tighe, M., Reid, N., Briggs, S. and Wilson, B., 2011. Assessing ground cover at patch and hillslope scale in semi-arid woody vegetation and pasture using fused Quickbird data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 14: 94-102.
- Nikolakopoulos, K., 2008. Comparison of nine fusion techniques for very high resolution data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 74: 647-659.

Smith, A. 2002. Evaluation de l'efficacité du système des aires naturelles protégées au Mexique d'après l'étude des changements de végétation et d'usage du sol pur deux périodes (1976-1993 et 1993-2000). Master's thesis, Université Paris XII Val de Marne.

Werner, G. 1996. La Vegetación destruida en el altiplano mexicano. *Elementos* 2: 9-25.

ANEXO

Reportes del error medio cuadrático (RMS) resultante del proceso de ortorectificación de las imágenes SPOT multi-espectrales y pancromáticas.

RMS imagen 2003 multi-espectral

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
1	gcp	4116.9666	2207.5216	0.2527	-0.1515
2	gcp	3973.6411	2116.9629	-0.3669	0.0140
3	gcp	4026.2389	1708.0087	0.0547	0.7723
4	gcp	4085.3101	1558.4454	0.5359	0.0516
5	gcp	3844.7417	1227.5052	0.6538	-0.6320
6	gcp	3133.2584	1212.1877	0.4747	0.8558
7	gcp	2516.1650	914.8411	0.4098	-0.8662
8	gcp	3795.3721	461.2037	-0.0412	0.5282
9	gcp	4848.4630	1057.8076	-0.5729	0.5362
10	gcp	4715.2228	2012.1493	0.4885	0.3844
11	gcp	4947.8832	1974.5939	0.4304	-0.2694
12	gcp	4594.3279	1675.6452	-0.1557	-0.5222
13	gcp	4170.1464	882.8972	0.0919	-0.4580
14	gcp	5739.3036	2039.1844	-0.6091	-0.7437
15	gcp	5456.5160	2403.0379	-0.5766	-0.3364
16	gcp	5889.1811	2664.1451	0.3971	0.4492
17	gcp	5837.0225	2734.5278	0.0695	-0.3661
18	gcp	4868.9461	5072.8674	-0.8191	-0.5272
19	gcp	5457.6376	4564.0754	-0.2161	-0.3977
20	gcp	5906.4625	4334.7917	0.4438	0.6846
21	gcp	5657.4186	4001.2107	0.1143	-0.3711
22	gcp	5263.5920	4692.3609	-1.2383	0.9250
23	gcp	4702.8084	4765.8072	0.4745	-0.6813
24	gcp	4402.2126	4857.5632	0.2235	0.9016
25	gcp	4191.9053	5000.2067	0.5776	-0.6727
26	gcp	4394.4382	4051.2082	0.4831	-0.0880
27	gcp	4456.7831	3993.0114	0.5648	0.4699
28	gcp	4697.5801	3737.7635	0.5015	0.8621
29	gcp	4709.2496	3629.7864	0.3293	-0.1490
30	gcp	5044.1959	2556.6073	-0.9491	0.8052
31	gcp	5700.1195	3689.6408	-0.0484	0.6060
32	gcp	5226.1226	5361.0751	0.4259	0.9203
33	gcp	4480.1250	1069.6250	-0.5955	-0.0202
34	gcp	5213.7114	672.4560	-0.0966	-0.2007

35 gcp	1977.0497	904.1848	-0.7979	0.2877
36 gcp	1688.5766	556.9946	-0.6648	0.2153
37 gcp	1462.3762	105.3097	-0.4689	-0.1232
38 gcp	1450.2184	57.0399	0.3094	0.2651
39 gcp	1083.0367	956.0607	0.1886	-0.3077
40 gcp	589.2355	1281.7399	0.2883	0.3064
41 gcp	942.2157	1401.9239	-0.8142	-0.2174
42 gcp	1069.1713	2272.0426	-0.4907	-0.0145
43 gcp	2214.2621	1948.2618	0.0164	-0.7639
44 gcp	3135.8475	1408.0634	0.4605	-0.5641
45 gcp	2543.1451	1666.2152	0.6309	-0.4636
46 gcp	1913.3504	2455.6174	-0.1836	0.6573
47 gcp	2492.1215	2829.1471	-0.5193	0.4525
48 gcp	2860.4469	2333.0479	0.4487	-0.7253
49 gcp	2923.6028	3236.8686	-0.6812	-0.6177
50 gcp	3079.6073	2940.7271	0.2348	-0.7789
51 gcp	3144.9627	1904.1533	0.5743	-0.6960
52 gcp	3384.7037	2122.5282	0.2224	0.4455
53 gcp	3268.8600	2701.3156	-0.5353	-0.0420
54 gcp	3103.0111	3304.4619	0.3307	0.7516
55 gcp	3189.8945	3037.9747	-1.0467	0.4856
56 gcp	2967.3761	2748.4706	-0.2240	-0.5207
57 gcp	1356.6506	3762.5303	0.1932	0.6157
58 gcp	433.6280	3150.8117	-0.6390	0.6441
59 gcp	773.0892	4557.3569	0.6223	0.5737
60 gcp	1606.1734	4505.7793	0.7126	-0.4293
61 gcp	2238.1652	3976.2823	0.2529	0.0461
62 gcp	2951.5643	3729.1573	0.2224	-0.9651
63 gcp	3335.2613	3704.6293	0.1144	-0.6737
64 gcp	2216.4776	4965.6387	0.2113	-0.8468
65 gcp	2528.0143	5258.3290	-0.0351	0.7657
66 gcp	1511.1359	5778.9523	-0.3712	0.0380
67 gcp	822.1764	5391.0821	0.3179	0.3904
68 gcp	3397.9656	5293.1571	-0.4192	0.2371
69 gcp	4321.9091	5634.3580	-0.1783	-0.7375

RMS Errors for 69 GCPs: x: 0.4864 y: 0.5586
total: 0.7406

RMS imagen 2003 pancromática

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels					
pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
1	gcp	7228.3750	963.1250	0.5015	0.1172
2	gcp	15022.0702	760.9363	0.3004	-0.3409
3	gcp	23180.2252	1100.4871	-0.1246	0.0228
4	gcp	23021.5128	7644.2865	0.0873	0.4115
5	gcp	16483.6705	6995.8210	-0.0019	0.3018
6	gcp	7760.8741	7249.8459	-0.1471	0.1277
7	gcp	1998.2969	7148.1508	-0.3643	0.0485
8	gcp	2007.2324	13643.0174	0.0808	0.2409
9	gcp	8193.6099	13855.3430	-0.0713	0.0184
10	gcp	16089.6554	13531.5358	0.1173	0.3531
11	gcp	21466.3020	14854.4223	-0.2020	0.0377
12	gcp	22491.3862	20983.3775	0.0018	-0.2499
13	gcp	15755.2393	21348.0823	-0.0488	-0.4604
14	gcp	8456.2244	21401.4881	-0.0451	0.4361
15	gcp	611.9089	23681.0687	-0.0480	0.0848
16	gcp	6488.6455	18095.2528	0.2047	0.1293
17	gcp	12139.8131	17300.4915	0.2243	0.0442
19	gcp	22622.7924	17057.3549	0.0252	-0.0435
20	gcp	20279.9681	11404.7819	-0.1379	0.3566
21	gcp	11780.7300	10409.7491	-0.3299	0.2233
22	gcp	7020.5945	10101.2608	0.0789	-0.1566
23	gcp	1306.1832	10204.5587	-0.1378	-0.0663
24	gcp	10591.0475	2561.9202	0.4208	-0.3047
25	gcp	16026.4841	3781.1164	0.2803	0.2573
26	gcp	12063.2181	6315.7796	-0.1768	-0.1267
27	gcp	21798.5174	4482.4177	-0.1292	0.3157
28	gcp	19601.1534	8126.6549	0.1695	-0.2957
29	gcp	20004.5070	2327.9188	0.0504	-0.4501
30	gcp	4357.3359	19814.7762	-0.1851	0.0172
31	gcp	5579.3429	14573.9893	-0.3265	-0.1629
32	gcp	4400.2010	3869.6574	0.2127	-0.3006
33	gcp	8220.6250	3311.3750	-0.3807	-0.2608
34	gcp	14813.6123	10063.3147	-0.0540	0.2872
35	gcp	17590.0067	23082.3626	-0.2223	0.1731
36	gcp	12667.5459	21381.1096	0.0614	-0.0318
37	gcp	1299.8588	16450.9190	0.2221	-0.0946
38	gcp	19135.9615	4676.3648	-0.1308	-0.2839
39	gcp	17824.7107	11091.3747	-0.0124	-0.3347
40	gcp	15653.3469	8236.9798	0.0444	0.3145
41	gcp	17779.0348	18188.7128	0.1903	-0.3545

RMS Errors for 40 GCPs: x: 0.2040 y: 0.2541
total: 0.3258

RMS imagen 2007 multi-espectral

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
1	gcp	4400.8750	2157.8750	0.4298	-0.2233
2	gcp	4630.3750	2239.8750	-1.6390	-0.0198
3	gcp	5169.6250	2085.3750	-0.0198	0.0632
4	gcp	5280.5905	2462.2180	-0.9783	-0.2479
5	gcp	5192.3624	1142.1970	-1.7864	-0.0838
6	gcp	3843.5625	1903.9375	0.1299	0.3956
7	gcp	4610.6875	1510.3125	0.3680	-0.4842
9	gcp	3398.9375	817.4375	-0.1146	-0.0917
10	gcp	4099.0625	100.1875	-0.3725	0.2271
12	gcp	5867.3125	643.0625	0.3723	-0.1310
13	gcp	4277.4375	1923.3125	0.1893	0.4670
14	gcp	3258.1875	1692.6875	-0.1177	-0.0543
15	gcp	5617.1875	1439.0625	0.3009	0.4007
16	gcp	5850.8125	2219.4375	-0.0118	0.3185
17	gcp	4056.5625	3004.5625	0.2468	-0.2308
18	gcp	4720.6875	3127.5625	1.2576	-0.0481
19	gcp	5784.1875	3211.4375	0.3779	-0.1860
20	gcp	4635.4063	3857.4063	-0.0918	-0.0832
21	gcp	5299.4688	4728.4063	0.1660	-0.3716
22	gcp	5539.8125	3749.8125	-0.0824	-0.1871
23	gcp	4643.4375	4702.4375	-0.6377	0.3799
24	gcp	4070.4375	3711.3125	0.0645	-0.1268
25	gcp	4030.8125	4194.8125	0.2615	0.5406
26	gcp	3416.6875	4632.6875	0.0789	-0.0642
27	gcp	3673.0625	5338.8125	0.0161	0.1420
28	gcp	3274.6875	4285.4375	0.3015	-0.3601
29	gcp	2971.4375	3531.0625	-0.0617	-0.6668
30	gcp	3141.9375	2753.9375	-0.3198	-0.1137
31	gcp	3504.1563	2187.1563	-0.0059	-0.4841
32	gcp	2048.1875	2347.1875	0.0764	-0.5433
33	gcp	2309.9375	847.8125	0.3948	0.6504
34	gcp	1108.5625	2360.4375	-0.7589	0.8547
35	gcp	1077.3125	1555.3125	-0.2414	-0.5310
36	gcp	2167.3438	285.4063	0.8765	1.0744
37	gcp	592.3125	2999.9375	-0.0991	-0.2195

38 gcp	1197.4375	3201.4375	0.0783	-0.5980
39 gcp	2474.4375	3279.5625	0.5806	-0.8166
40 gcp	1922.9375	3828.5625	0.0410	0.3715
42 gcp	631.0625	4330.0625	-0.6049	0.1150
43 gcp	715.9375	5458.6875	-0.5065	-0.2245
44 gcp	2380.3125	4777.1875	0.1514	-0.0646
45 gcp	2959.4375	5123.4375	-0.3691	-0.0129
46 gcp	2030.6875	5791.0625	0.1674	0.3996
47 gcp	4797.3125	5711.3125	0.6202	0.5529
48 gcp	1423.1875	774.5625	0.5688	0.3542
49 gcp	2289.3125	1723.3125	0.7005	-0.0368

RMS Errors for 46 GCPs: x: 0.5525 y: 0.4010
total: 0.6827

RMS imagen 2011 multi-espectral

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
1	gcp	214.2023	2490.2544	0.1256	-0.0271
2	gcp	1750.1794	2507.5153	-0.0896	-0.5359
3	gcp	2793.6085	2336.7864	0.1776	-0.2885
4	gcp	3788.6258	2492.0647	0.4075	0.3066
5	gcp	4964.6724	2673.3515	-0.0867	-0.0448
6	gcp	5885.2694	2564.4249	0.0727	0.1618
7	gcp	1809.6641	202.2889	0.0709	0.1559
8	gcp	3597.8111	229.5849	0.2579	-0.4554
9	gcp	5496.6873	119.6283	0.3660	0.1428
10	gcp	5777.6304	4329.3961	-0.2731	-0.3100
11	gcp	3538.8414	4364.9324	0.1019	-0.0986
12	gcp	1905.9727	4357.7221	-0.4492	-0.1525
13	gcp	135.8514	4674.9740	0.2933	0.0871
14	gcp	1030.6974	5552.5669	-0.0285	0.0627
15	gcp	3183.7356	5754.7120	0.0976	0.2600
16	gcp	4599.0087	5923.3808	-0.0253	-0.0751
17	gcp	4440.3827	1156.8771	-0.1578	0.2007
18	gcp	4537.2064	3244.7654	0.0983	0.1070
19	gcp	3110.0879	3197.6411	-0.1535	0.0668
20	gcp	2958.4147	1154.3020	-0.2108	0.2007
21	gcp	5612.3092	1898.2474	0.2255	0.0617
22	gcp	4832.5699	4120.8133	-0.0060	-0.0397
23	gcp	589.3259	1107.9503	0.4071	0.1768
24	gcp	1217.3919	3639.0127	0.1195	-0.2309

25 gcp	3471.6314	1743.2266	-0.4156	-0.2347
26 gcp	5094.9723	2027.5173	0.1967	0.4310
27 gcp	4882.5268	4760.7247	0.1712	0.3336
28 gcp	4115.6631	3582.6181	-0.1680	-0.3311
29 gcp	4447.0780	1691.7247	-0.4346	-0.1574
30 gcp	2311.2929	5322.0958	0.0201	0.1409
31 gcp	4049.1250	4937.3750	-0.0946	0.1979
32 gcp	5738.1250	5635.3750	-0.1867	0.1465
33 gcp	1079.1250	3095.8750	-0.3737	0.0558
34 gcp	2085.8750	1018.8750	-0.0220	-0.3677
35 gcp	5726.8750	815.1250	-0.3694	-0.2037
36 gcp	120.6250	5799.8750	-0.3383	-0.1908
37 gcp	2126.3750	3289.1250	0.3074	0.1968
38 gcp	1133.8750	1860.6250	-0.3817	0.1767
39 gcp	4754.8750	311.3750	-0.4218	0.4770
40 gcp	5408.6250	3271.6250	0.3095	-0.4727
41 gcp	3839.9139	3064.9821	0.0607	-0.1024
42 gcp	3863.7085	1051.7673	0.1680	0.4738
43 gcp	4481.0815	2295.8383	-0.2321	-0.0430
44 gcp	3369.1670	3903.2590	-0.1742	-0.3476
45 gcp	5372.4138	937.2961	0.1822	-0.1705
46 gcp	2751.1509	563.3352	0.1768	0.2830
47 gcp	1028.6158	4910.6703	0.0671	0.2162
48 gcp	5716.1491	1158.1998	0.1643	-0.2361
49 gcp	2596.4861	4569.1858	0.4484	-0.004

RMS Errors for 49 GCPs: x: 0.2465 y: 0.2482
total: 0.3498

RMS imagen 2011 pancromática

Triangulation Report With LPS

Output image units: pixels

pid	type	image_x	image_y	residual_x	residual_y
2	gcp	933.9858	10067.8972	0.0838	-0.3348
1	gcp	6676.2092	9704.2256	-0.0094	0.3719
3	gcp	11982.1829	10329.7893	-0.3499	-0.3763
4	gcp	15639.3641	12295.9936	-0.0873	-0.1881
5	gcp	21173.0216	11320.9096	0.0733	0.4723
6	gcp	23250.5825	1126.6276	-0.1483	0.0153
7	gcp	16493.9707	549.4881	-0.3211	0.0770
8	gcp	9394.0999	522.2208	0.0345	0.2362
9	gcp	4481.7994	4415.5518	0.0927	-0.2346

10 gcp	23109.3581	17301.6451	0.1425	0.1818
11 gcp	10039.7115	5113.2386	-0.0086	0.2878
12 gcp	17690.8478	6291.6910	-0.0059	0.2838
13 gcp	22063.3127	4851.8118	-0.2949	-0.1357
14 gcp	17649.5343	17004.0945	0.3628	0.2013
15 gcp	11088.1278	16702.0314	-0.0191	0.0792
16 gcp	5266.9792	15754.5286	-0.1212	0.2348
17 gcp	1066.5413	16154.1188	0.5136	-0.2061
18 gcp	152.9020	23519.4465	-0.3857	0.3700
19 gcp	5500.6379	23170.6516	0.1266	-0.2490
20 gcp	12722.3840	23007.4292	0.0555	-0.0145
21 gcp	21307.4777	21810.0132	-0.0142	-0.1107
22 gcp	4119.0040	19692.8624	0.0202	-0.0503
23 gcp	9308.2583	19694.8942	-0.0677	-0.2616
24 gcp	16395.9047	19726.7260	0.1245	-0.3132
25 gcp	13260.8149	1871.1398	-0.0639	0.1318
26 gcp	22392.4667	14834.7939	0.3430	-0.3933
27 gcp	3642.2048	13273.0057	-0.4072	0.0973
28 gcp	7556.8342	12584.2206	-0.1565	0.2401
29 gcp	4243.6219	438.0333	0.3355	0.4627
30 gcp	2599.8840	6953.3853	-0.0345	0.1376
31 gcp	15354.2611	5169.4521	0.1669	0.1098
32 gcp	20378.2612	8112.1968	0.0805	-0.3217
33 gcp	18142.5302	13118.4353	0.2226	0.0610
34 gcp	16158.1824	15946.1964	-0.0530	0.0295
35 gcp	20849.6422	2302.5618	-0.1828	0.0718
36 gcp	16752.1495	9367.1809	-0.3108	-0.3321
37 gcp	11901.5309	12950.6245	-0.1995	-0.0884
38 gcp	11649.5859	19682.0261	0.1809	0.3553
39 gcp	549.7831	18755.5186	0.0631	-0.4252
40 gcp	7187.0439	7442.3753	0.2219	-0.4870

RMS Errors for 40 GCPs: x: 0.2093 y: 0.2630

total: 0.3361