

La evaluación de la gestión del riesgo de los incendios forestales en áreas naturales protegidas tropicales: el caso de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (México)

The evaluation of the management of forest fire risk in tropical protected areas: the case of the Los Tuxtlas Biosphere Reserve (Mexico)

CHRISTOPH NEGER¹  0000-0001-5210-5005

LILIA DE LOURDES MANZO-DELGADO ¹  0000-0003-4833-6497

¹ Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Resumen

Una de las principales estrategias para conservar las selvas tropicales del planeta es la declaración de áreas naturales protegidas. No obstante, se ha cuestionado si esta protección es efectiva para mitigar uno de los mayores riesgos para las selvas: los incendios forestales. El presente estudio analizó esta situación en un área natural protegida específica, la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (México). La investigación se inició con una revisión del marco normativo y de los instrumentos de gestión relevantes, así como de su implementación por parte de los actores locales, con base en entrevistas semi-estructuradas. A continuación, se evaluó la efectividad de esta gestión, basada tanto en datos estadísticos oficiales como en el análisis de imágenes satelitales. Si bien los datos disponibles carecen de continuidad y precisión, se puede reconocer que las actividades de gestión empleadas han logrado evitar los impactos a gran escala que ocurrieron previos a la creación del área protegida en 1998 y que se ha observado una tendencia a la baja entre 2005 y 2020. Aun así, sigue siendo preocupante el número de hectáreas afectadas anualmente. Se indica que esto se debe principalmente al presupuesto limitado de las dependencias involucradas, restringiendo su alcance temporal y espacial.

Palabras clave: incendios forestales, áreas naturales protegidas, gestión de riesgos, puntos de calor, Los Tuxtlas.

Fechas • Dates

Recibido: 2020.10.21
Aceptado: 2021.03.10
Publicado: 2021.12.01

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Christoph Neger
neger@igg.unam.mx

Abstract

One of the main strategies to conserve the planet's tropical rainforests is the declaration of protected areas. Nevertheless, it has been questioned if these areas are effective in mitigating one of the rainforest's major risks: forest fires. The present study analyses this situation in a specific protected area, the Los Tuxtlas Biosphere Reserve (Mexico). The research starts with a revision of the relevant normative framework and the management instruments and their implementation by local actors, based on semi-structured interviews. Subsequently, it evaluates the effectivity of this management, based on official statistical data and the analysis of satellite images. Although the available data lack continuity and precision, it can be recognized that the management activities have been successful in avoiding large scale impacts, which had been occurring previous to the protected area's declaration in 1998, and a lowering tendency has been observed from 2005 to 2020. Even so, the number of hectares affected every year is still worrying. It is indicated that this is principally due to the limited budget of the involved organisms, restricting their temporal and spatial scope.

Keywords: forest fires, protected areas, risk management, thermal hotspots, Los Tuxtlas.

1. Introducción

En las últimas décadas se ha observado un aumento de incendios forestales en las zonas tropicales del planeta (IUFRO, 2018; Withey et al., 2018), las cuales albergan ecosistemas que no están adaptados al fuego, como la selva alta perennifolia, por lo que los efectos pueden ser devastadores (Hirschberger, 2016; Rodríguez, 2014). Tan solo para el año de 2015, se estimó que el 4 % de la selva tropical a nivel mundial sufrió incendios (FAO, 2020); esto considerando que ya está muy reducida en el mundo la extensión de estas selvas. De acuerdo a Brandon (2014) originalmente ocuparon el 12 % de la superficie terrestre, y hoy día se limitan a solo el 5 %. Esta situación es de gran preocupación desde el punto de vista de la conservación ambiental, ya que se trata de los ecosistemas con las tasas más altas de biodiversidad en el mundo (Challenger y Soberón, 2008; Swamy et al., 2017). Además, afecta a la humanidad por la pérdida de los servicios ecosistémicos que brindan, como: abastecimiento de agua, provisión de alimentos y plantas medicinales, y prevención de desastres naturales como deslizamientos e inundaciones, entre otros (Brandon, 2014). A esto se suman los efectos negativos que emanan directamente de los incendios, incluyendo en el nivel local, la muerte de personas y animales, y daños económicos por la destrucción de cosechas, recursos forestales, viviendas e infraestructuras de transporte (Banco Mundial, 2019; Neary y Leonard, 2019; OMS, 2019). Con respecto al nivel regional e incluso global se pueden mencionar las emisiones que se generan y que contribuyen al efecto invernadero, y al aumento de riesgo de una muerte prematura por enfermedades respiratorias en las personas que inhalan las partículas emitidas (Hirschberger, 2016; IUFRO, 2018).

Una de las estrategias para hacer frente a las amenazas que ponen en peligro los bosques y las selvas tropicales es la declaración de áreas naturales protegidas (ANP). No obstante, el establecimiento de un ANP, si bien puede entenderse como un logro de la conservación, no garantiza per se la protección de los recursos naturales (Crespo y Peyroti, 2016; Ferraro y Pressey, 2015). En el caso de los incendios forestales, se han realizado estudios con base en datos satelitales para evaluar la efectividad de las ANP, en comparación con áreas adyacentes en la mitigación de los incendios. Nelson y Chomitz (2011) concluyeron que a nivel global se pudo evidenciar que las ANP tuvieron un impacto significativo en la mitigación de los incendios forestales en áreas

tropicales donde el principal objetivo de gestión es reducir a un mínimo la superficie afectada, debido a la presencia primordial de ecosistemas sensibles al fuego. Sin embargo, en zonas donde se combina la presencia de vegetación adaptada y dependiente del fuego, la evaluación se vuelve más compleja (Rodríguez, 2014).

A nivel nacional, mientras que varios estudios confirman las observaciones de Nelson y Chomitz (IUFRO, 2018), en algunos países con importantes superficies de bosques y selvas tropicales se obtuvieron resultados contrarios: tanto Carmenta et al. (2016) para el caso de Brasil (para los años 2001 a 2009) como Román-Cuesta y Martínez-Vilalta (2006) para el estado mexicano de Chiapas (1995 a 2000) coincidieron en que las ANP estudiadas eran inefectivas para la mitigación de los efectos nocivos del fuego. En un estudio más reciente, no obstante, Manzo-Delgado y López-García (2020) encontraron que al menos en una de las ANP tropicales de Chiapas, la Reserva de la Biosfera Montes Azules, en la comparación de los años 1998, 2003 y 2015 sí se pudo ver un impacto positivo que podría tener que ver con las medidas de gestión que conlleva el estatus de conservación del área. Para el resto de las ANP tropicales de México, igual como en muchos otros lugares del mundo, hasta el momento se carece de estudios específicos acerca de su efectividad con respecto a la reducción de la superficie afectada por incendios forestales.

Además de considerar la superficie quemada como un indicador de eficiencia, también es importante considerar la intensidad de los incendios y la afectación en los diferentes estratos de vegetación. Así mismo, es importante analizar las medidas de gestión, incluyendo las leyes y reglas que las fundamentan, la implementación y organización de las medidas y el sistema de monitoreo para revisar su funcionamiento (CENAPRED, 2008). De esta manera, se puede evaluar si la disminución o el aumento en la superficie quemada se pueden relacionar a la presencia del ANP. En este contexto, son de interés los estudios de índole social que se ocupan de los actores involucrados en la gestión del riesgo de los incendios forestales. Mientras que estos estudios han tenido un auge fuerte en los últimos años a nivel global (Bodin y Nohrstedt, 2016; Evers, 2020; Górriz-Mifsud et al., 2019; Martínez-Torres et al., 2018; Spies et al., 2018), en las ANP tropicales aún se han realizado pocas investigaciones al respecto. Las publicaciones existentes en su gran mayoría se enfocan exclusivamente en la problemática del uso del fuego en las actividades agropecuarias (Carreón-Arroyo et al., 2006; Guevara-Hernández et al., 2013; Gutiérrez et al., 2015; Monzón, 2018; Monzón-Alvarado y Keys, 2017).

Esta investigación reúne la evaluación de la incidencia de los incendios forestales y el estudio de la gestión del riesgo, enfocándose en un área específica, la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (RBLT) en el sur del estado mexicano de Veracruz, declarada el 23 de noviembre del 1998 (Diario Oficial de la Federación, a partir de aquí abreviado como DOF, 1998). Aparte de un estudio local de carácter antropológico realizado antes de la declaración de la reserva en el 1995 (Langill, 2000), hasta la fecha no se ha hecho ninguna investigación científica acerca de la problemática de los incendios forestales en este territorio.

El objetivo principal del presente estudio es analizar los instrumentos y actores involucrados en la prevención y el control de los incendios forestales en la RBLT, con la finalidad de evaluar su efectividad en la gestión del riesgo. Para cumplir con dicho objetivo se establecieron tres objetivos particulares:

- Describir los instrumentos legales y herramientas de gestión que intervienen en la gestión integral del riesgo de incendios.

- Analizar el alcance de la implementación de las actividades de gestión estipuladas por parte de los actores involucrados, tomando en cuenta las dificultades y limitaciones que se pueden presentar en este proceso.
- Analizar la tendencia de la incidencia e impacto de los incendios forestales.

Los criterios de efectividad en este sentido son, en cuanto al primer objetivo particular, la coherencia entre los lineamientos establecidos entre los diferentes instrumentos normativos y de gestión, y su conformidad con el estado de arte acerca del manejo del fuego y la prevención de los incendios forestales. Con respecto al segundo objetivo, se analiza si la implementación de las actividades en la RBLT corresponde a lo que está estipulado en los documentos anteriormente mencionados. Finalmente, en cuanto al tercer objetivo, se valora la disminución de los efectos nocivos de los incendios forestales, sobre todo de sus impactos en los ecosistemas sensibles al fuego. Para lograr los objetivos planteados se desarrolló un método holístico, tomando en consideración la identificación y análisis de los instrumentos legales, los registros oficiales elaborados por los diversos organismos gubernamentales, la información de incendios derivados de imágenes satelitales, así como datos cualitativos generados mediante la realización de entrevistas con los actores involucrados en la prevención y el combate de los incendios forestales en la región.

2. Metodología

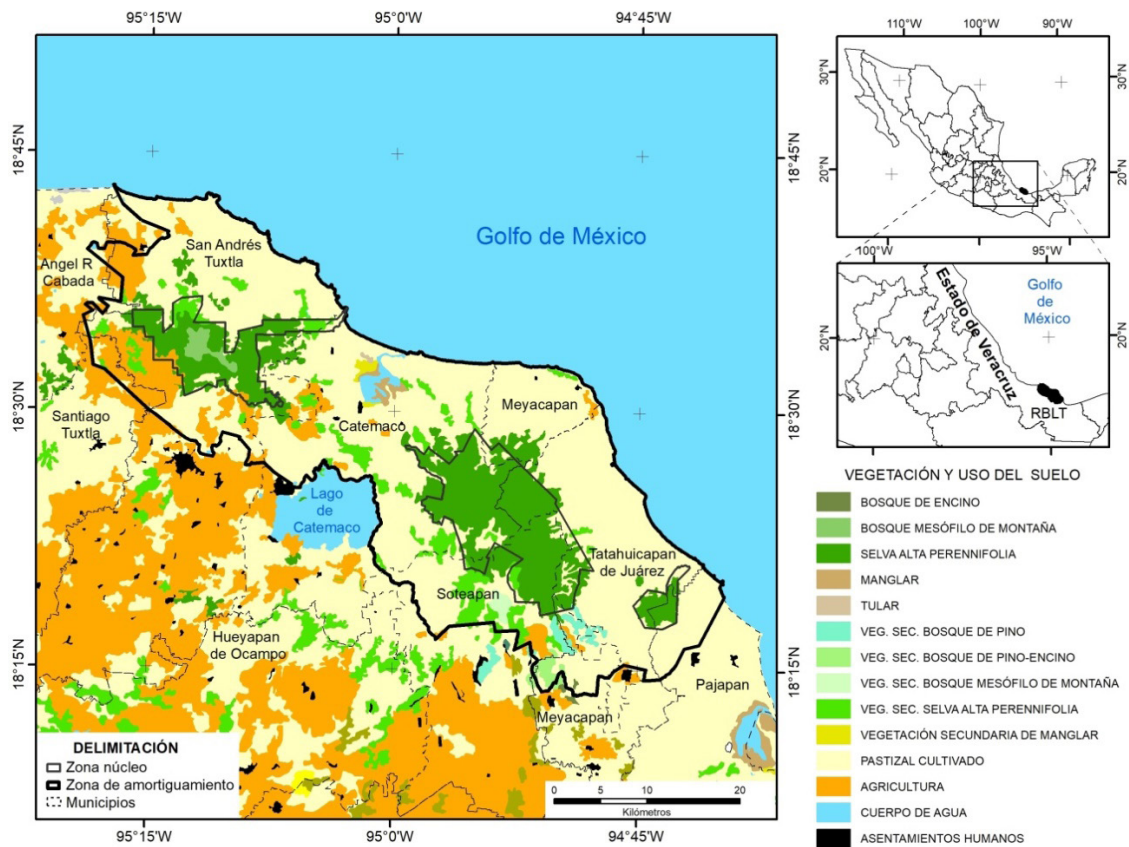
2.1. Área de estudio

La RBLT se ubica en el sur del estado de Veracruz, con una superficie de 155 122 ha. Incluye tres zonas núcleo (al norte Volcán San Martín Tuxtla con 9805 ha, en la región centro la Sierra Santa Marta con 18 031 ha y al sur San Martín Pajapan con 1883 ha) y la zona de amortiguamiento con 125 401 ha. La parte norte forma parte de los municipios Ángel R. Cabada, Santiago Tuxtla, San Andrés Tuxtla y Catemaco, en tanto que la parte sur se conforma por los municipios Sotepan, Mecayapan, Tatahuicapan de Juárez y Pajapan (Figura 1). Así mismo, forma parte de la sierra de Los Tuxtlas, de origen volcánico y con elevaciones hasta 1680 m sobre el nivel del mar (Guevara et al., 2004). Debido a su ubicación entre 18°13' y 18°43' latitud norte y sus características geomorfológicas y climáticas, influenciadas por la cercanía del mar, alberga una biodiversidad sumamente alta y una gran variedad de tipos de vegetación (véase la Figura 1 y la Tabla 1). El tipo más importantes es la selva alta perennifolia que se distribuye tanto en la zona núcleo (22 584,42 ha) como en la zona de amortiguamiento (6940,72 ha), seguida por el bosque mesófilo de montaña que se encuentra primordialmente en la zona núcleo de Volcán San Martín Tuxtla (1072,93 ha); en menor extensión y solo en la zona de amortiguamiento se encuentran manglares (520,05 ha), encinares (60,55 ha) y vegetación secundaria de pinares tropicales (1640,12 ha) (Castillo-Campos y Laborde, 2004; Villaseñor et al., 2018; INEGI, 2016).

Fuera de los pastizales cultivados, creados por el ser humano a través de la deforestación de los bosques y las selvas (Castillo-Campos y Laborde, 2004; Dirzo y García, 1992), y que ocupan el 65 % de la superficie de la reserva de acuerdo con INEGI (2016), la mayor parte de la cobertura del suelo de la RBLT es vegetación forestal. Ésta se define por las autoridades mexicanas como "(...) el conjunto de plantas y hongos que crecen y se desarrollan en forma natural (...)" (DOF, 2018a), incluyendo también la vegetación secundaria donde la vegetación original había sido afectado por las actividades antrópicas, pero se regenera nuevamente de manera natural. Entre estos ecosistemas naturales, los bosques de pino y encino en México generalmente se pueden clasificar

como ecosistemas adaptados al fuego, mientras que la selva, el bosque mesófilo de montaña y los manglares son sensibles al fuego (Rodríguez, 2014). Los bosques y selvas de Los Tuxtlas tienen una gran importancia desde el punto de vista de la conservación ambiental, causa por la cual se decretó la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (RBLT), administrada por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) a través de una dirección a nivel regional (CONANP, 2006). Aparte de su importancia para la conservación de la biodiversidad, la cobertura forestal de la sierra brinda diferentes servicios ecosistémicos a la población local. Dentro de los límites de la reserva, de acuerdo con el último censo del 2010, vivían alrededor de 28 mil habitantes. Cabe mencionar que el 22 % de ellos son hablantes de una lengua indígena (cálculos con base en INEGI, 2013), pertenecientes a los pueblos nahua y popoluca que viven principalmente en los municipios de Soteapan, Mecayapan, Tatahuicapan de Juárez y Pajapan en el sur de la reserva (CONANP, 2006).

Figura 1. La vegetación de la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas



Fuente: información de INEGI (2016). Elaboración propia.

Sin embargo, la persistencia de este recurso natural está amenazada. Previo a la declaración como reserva de la biosfera ya se había perdido más del 80 % de la vegetación original de toda la sierra de Los Tuxtlas (Dirzo y García, 1992), incluyendo áreas que no están comprendidas en el decreto de la RBLT. Desde la creación del ANP, la velocidad de la deforestación ha disminuido. Sin embargo, con base en imágenes de satélite se estimó una tasa anual de reducción de la cobertura forestal dentro de la reserva del 0,23 % para el periodo de 2000 a 2011, y una pérdida neta (ganancias por reforestación y regeneración natural menos deforestación) de 1871 ha (PSSM, 2011). No se pudieron obtener datos que demostraran claramente cuáles tipos de vegetación han sido los más afectados por la deforestación en términos relativos.

Van Thaden et al. (2018), estimaron que, si la tendencia de los últimos años previo al 2011 persistía, desde este año hasta el 2025 se iba a perder el 14 % de la cobertura forestal. Los estudios citados carecen de un análisis exhaustivo de las causas del cambio del uso del suelo. No obstante, se han identificado los incendios forestales como una de las razones principales de la deforestación y degradación de la vegetación forestal en Los Tuxtlas. El año con mayor deforestación en el periodo de observación de 2000 a 2011 fue el 2005, con una pérdida de 1266 ha, lo cual se atribuyó principalmente a incendios (Velasco, 2009, citado en PSSM, 2011). También anteriormente, en los años 70, 80 y 90 del siglo XX habían ocurrido incendios forestales extendidos que causaron la deforestación de grandes superficies, como reportan Castillo-Campos y Laborde (2004), Langill (2000) y Siemens (2009); no obstante, en ninguna de estas fuentes se presentan datos exactos acerca de la magnitud del impacto de estos eventos.

Tabla 1. Superficie de los tipos de vegetación y uso de suelo en la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas en el año 2016

TIPO DE VEGETACIÓN Y USO DE SUELO	HECTÁREAS	%
Vegetación forestal primaria		
Selva alta perennifolia	29 525,17	19,11
Bosque mesófilo de montaña	1072,93	0,69
Manglar	520,05	0,34
Tular	62,74	0,04
Bosque de encino	60,55	0,04
Vegetación forestal secundaria		
Vegetación secundaria de selva alta perennifolia	8022,50	5,19
Vegetación secundaria de bosque de pino	1021,20	0,66
Vegetación secundaria de bosque de pino-encino	618,92	0,40
Vegetación secundaria de bosque mesófilo de montaña	527,91	0,34
Vegetación secundaria de manglar	320,26	0,21
Uso de suelo no forestal		
Pastizal cultivado	100 445,25	65,00
Agricultura	10 841,59	7,02
Cuerpo de agua	1191,70	0,77
Asentamiento humano	256,19	0,17
Sin vegetación aparente	39,02	0,03
Total	154 525,97	100,00

Notas: La categoría 'Sin vegetación aparente', por su extensión limitada, no está representada en la Figura 1; La superficie total calculada con base en los datos del sistema de información geográfica difiere ligeramente de la superficie oficial de la RBLT.

Fuente: datos de uso de suelo y vegetación a escala 1:250 000 del INEGI (2016). Elaboración propia.

2.2. Materiales y métodos

El procedimiento metodológico y la selección de las fuentes se orientaron en los objetivos del presente trabajo. Para llegar a una comprensión holística de los diferentes factores involucrados en el control de los incendios forestales en la RBLT se establecieron cuatro etapas:

- Revisión de los textos de leyes y planes de manejo, que establecen las bases para las intervenciones de los organismos involucrados.
- Aplicación de entrevistas semi-estructuradas para analizar el alcance de la implementación de las actividades de gestión estipuladas en las leyes y programas.

- Revisión de los registros estadísticos elaborados por las instancias gubernamentales que participan en la prevención y combate de incendios, para analizar la tendencia de la incidencia y de los impactos de los incendios.
- Revisión del registro de incendios, asociados a puntos de calor, generado con imágenes satelitales para completar el análisis de la incidencia de los incendios forestales.

2.2.1. Revisión de los textos de leyes y planes de manejo

La investigación referente al primer objetivo se basó en gran parte en una revisión de los textos de leyes y planes de manejo de los organismos involucrados, todos disponibles en internet. En el caso de los instrumentos de carácter local como los reglamentos internos de los ejidos, la información se recogió en las entrevistas (véase la siguiente sección).

2.2.2. Aplicación de entrevistas semi-estructuradas

En el caso de la implementación de la gestión en el territorio, a falta de investigaciones previas en este ámbito, la fuente principal fueron las entrevistas. Debido a la pandemia del COVID-19, la mayoría de las entrevistas se realizaron vía telefónica o videollamada. Se realizaron en total 31 entrevistas semi-estructuradas (Dunn, 2010) con los siguientes grupos de actores: autoridades de diferentes niveles de gobierno (cuatro federales, dos estatales y seis municipales), autoridades locales involucradas en actividades de la gestión del riesgo de los incendios (seis autoridades ejidales y un agente municipal), representantes de organizaciones de la sociedad civil (seis), y habitantes locales involucrados en brigadas contraincendios (seis). Además, se trabajó con residentes del área de estudio, que realizaron cuestionarios con preguntas cerradas a cinco agentes municipales que no pudieron ser contactados de otra manera, atendiendo a todas las medidas sanitarias establecidas (Secretaría de Salud, 2020).

Las preguntas fueron dirigidas hacia la percepción de los actores con respecto a la incidencia de los incendios forestales en años anteriores y posteriores al establecimiento de la reserva, hacia su involucramiento en las actividades de prevención y combate, así como su opinión acerca del funcionamiento de la gestión del riesgo de los incendios en la RBLT en general. Las preguntas se adaptaron a cada uno de los actores, tomando en cuenta sus áreas de interés (toda la RBLT o solamente ciertos municipios o comunidades) y sus responsabilidades estipuladas en los diversos instrumentos legales y de planeación (véase el subcapítulo 3.1). Aparte de las preguntas específicas, siempre que las condiciones lo permitieron, se les pidió a los entrevistados relatar libremente y de forma extensa sus experiencias y opiniones, lo cual arrojó información adicional valiosa. Las entrevistas fueron dadas por terminadas cuando se llegó a un estado de saturación de la información en cuanto a las cuestiones relevantes para el presente estudio (Weller et al., 2018). El procesamiento de los datos obtenidos en esta etapa de la investigación se realizó, por un lado, con la asignación de códigos, permitiendo la identificación de temas principales en las entrevistas y su comparación y enlazamiento (Silver y Lewins, 2014), y por otro lado, mediante su triangulación con los datos cuantitativos acerca de la incidencia de incendios y la confrontación de la información acerca de la gestión con los textos de los instrumentos legales y de planeación.

2.2.3. Revisión de registros estadísticos de incendios

Para la evaluación de la efectividad de las actividades de control de incendios se revisaron las diferentes fuentes de datos estadísticos elaboradas por las instancias gubernamentales que parti-

cipan en la prevención y combate de incendios como la CONAFOR, la CONANP y el Gobierno del Estado de Veracruz. No es posible combinar estas fuentes, por incongruencias y diferencias de clasificación en las distintas bases de datos. Optamos por basar nuestro análisis principalmente en los datos de la CONANP que presentan el mayor alcance temporal y ventajas en cuanto a la coherencia y exactitud de la información. Para una presentación detallada de las diferentes fuentes oficiales, véase el Anexo 1.

Uno de los problemas más importantes de las fuentes es que ninguna incluye el tiempo previo a la declaración de la RBLT. Datos disponibles que se remontan a este tiempo solo existen a nivel estatal (Gobierno del Estado de Veracruz, 2020; SEMARNAT, 2020), lo que puede ayudar a aproximarse a una evaluación contrafactual (Ferraro y Pattanayak, 2006; Ferraro y Pressey, 2015). Una comparación entre el área de la reserva y su zona de influencia no generaría información relevante ya que, en primer lugar, parte de la zona de influencia se incluye en las actividades de gestión, y, por otro lado, las áreas restantes que circundan la reserva, tienen muy poca presencia de vegetación natural. Además de los datos mencionados, existen datos anecdóticos de los entrevistados, que relataron sobre incendios extensos y sus impactos que acontecieron en las décadas de los años 70 en toda la reserva y los 90 en la parte norte de Los Tuxtlas y la información mencionada en las fuentes citadas en el apartado 'Área de estudio'.

2.2.4. Revisión del registro de incendios satelitales

Las imágenes satelitales han constituido una herramienta alternativa para detectar incendios forestales, los cuales se identifican en su fase activa como puntos de calor (Giglio et al., 2003). Por más de una década, la detección y el seguimiento de los incendios a escala global y regional ha sido apoyada principalmente por las imágenes MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo de los satélites Terra y Aqua, cuya detección inició en el año 2001. En los últimos años las imágenes MODIS han disminuido la detección de puntos de calor, lo cual se atribuye a que muy pronto dejarán de funcionar los satélites; sin embargo, sus actividades serán reemplazadas por otros satélites, incluyendo VIIRS. Las imágenes VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) a bordo de los satélites Suomi NPP, iniciaron la detección en 2012. Ambos satélites proporcionan la ubicación geográfica de los puntos de calor dos veces al día (Giglio et al., 2003, Csiszar et al., 2014).

La ubicación de los puntos de calor está representada por las coordenadas centrales de los píxeles que forman las imágenes satelitales. Dependiendo de la resolución espacial de las imágenes (tamaño del píxel), cada punto de calor puede incluir uno o más incendios. De esta manera, las imágenes MODIS detectan puntos de calor en píxeles de 1000 m (Giglio et al., 2003) y las imágenes VIIRS-NPP en píxeles de 375 m y 750 m (Schroeder et al., 2014). Las llamas de un incendio alcanzan temperaturas entre 570 K (297°C) y 1800 K (1527°C). Los incendios pueden ser detectados desde un satélite en órbita terrestre, situado a más de 800 km, por medio de la radiación que estos emiten en forma de calor en longitudes de onda del infrarrojo térmico del espectro electromagnético (energía emitida o temperatura de brillo). La energía térmica que emite un incendio es mayor que el ambiente circundante, alcanzando un valor máximo en las longitudes de onda ubicadas en el infrarrojo medio (MIR: 3-5 μm) y un valor menor en el infrarrojo térmico (TIR: 10,30-12,50 μm). Tales propiedades son fundamentales para construir los algoritmos de detección de incendios con imágenes satelitales. Los algoritmos contextuales han sido utilizados ampliamente para detectar incendios con satélites de órbita polar incluyendo los Terra/Aqua y Suomi NPP (Giglio et al., 2003, Csiszar et al., 2014; Schroeder et al., 2014). Los algoritmos inclu-

yen varias etapas, la primera de ellas elimina superficies altamente reflectivas que pueden confundirse con el fuego como las nubes, cuerpos de agua y suelos claros. En una etapa posterior se eligen píxeles candidatos de fuego con temperatura de brillo elevada en canales del infrarrojo, por ejemplo: $MIR \geq 311 \text{ K}$ y $MIR-TIR \geq 8 \text{ K}$. En la etapa final los píxeles candidatos se someten a una prueba de contexto estadística para comparar el promedio y la desviación estándar de su temperatura con los píxeles vecinos, la cual confirma que son diferentes y por tanto son considerados puntos de calor asociados a incendios.

Aun con este procedimiento meticuloso, los puntos de calor no pueden distinguir entre incendios forestales y el fuego controlado de quemadas agrícolas extensas. Para poder conocer el origen del fuego se puede revisar cuál es el tipo de vegetación y uso del suelo en el lugar donde ocurre. Además, se pueden analizar imágenes satelitales que ayudan a ubicar y distinguir la extensión exacta de las áreas quemadas (Thompson y Morrison, 2020). Esto es posible con imágenes satelitales con moderada resolución espacial, como Landsat, con píxeles de 30 m y baja resolución temporal, captadas para un mismo lugar cada 16 días, al igual que imágenes Sentinel-2, con resolución espacial de 20 m y resolución temporal de 10 días (Mouillot et al, 2014, Markuse, P. 2017, Roteta et al. 2019, Nagadze et al. 2020). La visualización y delimitación de áreas quemadas se basa en la respuesta espectral de los depósitos de ceniza y carbón que se generan en la combustión del material vegetal y diferentes daños ocasionados en el dosel forestal. El proceso incluye la identificación visual del área quemada en compuestos de color verdadero y falso color RGB (por sus siglas en inglés, en las bandas Landsat TM 4-3-2 y 7-4-3). La delimitación y estimación de las áreas quemadas se apoya en la generación de los índices como el NBR (Normalized Burn Ratio), utilizando imágenes previas y posteriores al registro de incendio (Key y Benson, 2006). Cabe mencionar que la presencia de nubes es un factor limitante para visualizar y delimitar las áreas quemadas en imágenes de satélite de moderada resolución, lo cual sucede con alta frecuencia en las regiones tropicales, como es el caso de la RBLT.

Con respecto a los puntos de calor, para el presente estudio se revisaron imágenes MODIS del periodo 2001 a 2019 y VIIRS del periodo 2012 a 2019, como un apoyo alternativo para analizar la tendencia de la incidencia de incendios. El material se descargó del sistema FIRMS de la NASA (2020). Al analizar los registros disponibles, se detectó una diferencia importante entre los dos productos, con un número de puntos de calor detectados en menor cantidad por MODIS. En total, MODIS reportó 282 eventos para el periodo 2001 a 2011, y 120 para el periodo 2012 a 2019, mientras que VIIRS reunió 995 registros tan solo en el periodo 2012 a 2019. En la zona núcleo, que es de particular interés para el presente trabajo, MODIS entre 2012 y 2019 solo detectó 3 puntos de calor, y VIIRS 84. Debido a estas diferencias, que se atribuyen principalmente a la escala espacial de las imágenes y a las condiciones de nubosidad durante el paso de los satélites, se decidió trabajar solamente con los datos VIIRS.

De manera complementaria, se realizó un análisis visual de compuestos de color (Nagadze et al., 2020) generados con imágenes satelitales para dos de los años de mayor interés para la interpretación de la incidencia y los impactos de los incendios forestales, el 1998 y el 2019. Para el 1998, se utilizaron imágenes Landsat TM del 19 de marzo y 6 de mayo y para el 2019 imágenes Sentinel-2 del 21 de abril y 21 de mayo, para ubicar las áreas quemadas que afectaron parte de la zona núcleo de la reserva (Nagadze et al., 2020). Las imágenes fueron descargadas libremente del Visualizador Global del Servicio Geológico de Estados Unidos (<http://glovis.usgs.gov>) y de Sentinel Hub (Sinergise Laboratory, 2020).

3. Resultados

3.1. Instrumentos legales y de gestión en diferentes escalas espaciales

El manejo del fuego en la RBLT, como se muestra en la Tabla 2, se basa en diferentes leyes y otros instrumentos normativos y programas de gestión en los niveles local, regional, estatal y federal. El decreto de la reserva delimita el polígono general, las zonas núcleo y la zona de amortiguamiento (DOF, 1999), con base en la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (DOF, 2018b). Además, la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS) prohíbe la aplicación negligente del fuego en áreas forestales y la provocación de incendios forestales (DOF, 2018a), y la Norma Oficial Mexicana NOM-015 establece las técnicas de uso del fuego que son aplicables y determina la obligación de hacer un Aviso de Uso del Fuego a las autoridades municipales y a las autoridades agrarias correspondientes, así como a los dueños de los terrenos vecinos (DOF, 2009).

La LGDFS y la NOM-015 definen también las responsabilidades de los diferentes actores: a los propietarios de terrenos forestales y las administraciones de ANP les compete realizar actividades de prevención y el ataque inicial de los incendios forestales que se presentan. Los propietarios además deben restaurar las áreas afectadas, aunque pueden pedir apoyo de las autoridades. En este contexto, cabe mencionar que en las reglas de operación de los programas de apoyo de la Comisión Nacional Forestal (CONFOR) se define que las comunidades beneficiarias de pagos por servicios ambientales (PSA) deben establecer brigadas comunitarias (DOF, 2020). La CONANP, por su parte, incluye el apoyo a brigadas de contingencia comunitarias en las reglas de operación del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCODES) (DOF, 2019). Después del ataque inicial, el combate de los incendios forestales es competencia de las autoridades municipales; en el caso que se supere su capacidad operativa, deberá acudir a la instancia estatal y, si esto resulta insuficiente, se debe acudir a nivel federal a la CONAFOR (DOF, 2018a). Tanto los actores mencionados como la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) deben difundir la NOM-015 y orientar a los usuarios del fuego. La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), por su parte, debe salvaguardar la aplicación de la norma (DOF, 2009). A nivel estatal, la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Veracruz define además la responsabilidad del Servicio Estatal Forestal, perteneciente a la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) de prevenir, combatir y controlar los incendios forestales (SEDEMA, 2020).

Tabla 2. Instrumentos legales y de gestión en torno a los incendios forestales y el uso del fuego en la RBLT

NIVEL ESPACIAL	LEYES Y REGLAMENTOS	INSTRUMENTOS DE GESTIÓN
Federal	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, NOM-015, Decreto de la RBLT, Reglas de Operación de los programas de CONANP y CONAFOR	Programa de Manejo del Fuego (CONAFOR), Estrategia y Lineamientos de Manejo Integral del Fuego en Áreas Protegidas (CONANP)
Estatal	Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Veracruz	Programa Especial de Protección Contra Incendios Forestales y Manejo del Fuego (Protección Civil estatal)
Regional (RBLT)	Ordenamiento territorial y reglas administrativas del Plan de Conservación y Manejo de la RBLT	Subprogramas de gestión del Plan de Conservación y Manejo de la RBLT (CONANP)
Municipal	-	Planes de desarrollo municipales
Local (Ejidos)	Reglamentos internos de los ejidos	-

Fuente: Revisión bibliográfica y trabajo de campo. Elaboración propia.

Con base en las leyes anteriormente mencionadas se han elaborado documentos de planeación y gestión en los cuales destaca a nivel nacional el Programa de Manejo del Fuego que emite la CONAFOR y que define las líneas generales para todas las actividades en este rubro (CONAFOR, 2019). Para el caso de las ANP, la Estrategia y Lineamientos de Manejo Integral del Fuego en Áreas Protegidas provee las bases para la elaboración de planes de manejo del fuego para cada ANP y subraya que el manejo debe basarse en la ecología del fuego, pero también en la cultura de su uso por parte de la población (CONANP, 2011). Las dos estrategias ponen énfasis en la cooperación entre las dependencias gubernamentales, los actores de la sociedad civil y las comunidades. A nivel estatal, existe el Programa Especial de Protección Contra Incendios Forestales y Manejo del Fuego, publicado por la Secretaría de Protección Civil (a partir de aquí abreviado PC) del Estado de Veracruz, que detalla el procedimiento de atención en caso de ocurrir un incendio. Menciona también a la PROFEPA y la Procuraduría Estatal de Protección al Medio Ambiente (PMA) a las que se deben reportar las irregularidades ambientales (SPC, 2020).

Todos estos programas, así como como también la LGDFS, la NOM-015 y la Ley de Desarrollo Forestal Sustentable del Estado de Veracruz parten de una visión de manejo integral del fuego que incluye el uso estratégico del fuego para fines ecológicos e indicaciones para el uso correcto del fuego en las actividades agropecuarias. Este enfoque ha experimentado un auge importante en los últimos años (Martínez-Torres et al., 2018). Al contrario, en el nivel regional, el Programa de Conservación y Manejo de la RBLT (CONANP, 2006), que incluye tanto reglas administrativas como también subprogramas de manejo, está casi completamente enfocado en la prevención de los incendios forestales. Como única concesión hacia el uso del fuego, el programa define que éste se permite en la subzona de uso tradicional donde habita la población nahua y popoluca. No obstante, también ahí se expone la meta de reducir las quemadas agrícolas de manera gradual, en un 5 % bianual. Fuera de esto, el Subprograma de Protección, que contiene un componente de prevención y control de incendios, define la meta de reducir a cero la presencia de incendios forestales causados por el ser humano en la RBLT. Para lograr esto se propone la implementación de un programa de prevención, control y combate de los incendios, con participación de la población local, a través de la formación de brigadas comunitarias y grupos de voluntarios, la instalación de un sistema de brechas cortafuego, campañas de información en las comunidades y la coordinación con otras dependencias, los municipios y las comunidades de la reserva. Aparte del Subprograma de Protección también es de relevancia el Subprograma de Restauración, que comprende acciones de reforestación en las áreas quemadas.

Todo el territorio de la RBLT pertenece a algún municipio (véase la Figura 1). A nivel municipal, en una revisión de los planes de desarrollo puestos a disposición por los ayuntamientos, solo se encontró la atribución general de responsabilidad a las direcciones de PC de proteger a la ciudadanía de los riesgos ambientales y a las direcciones de fomento agropecuario de conservar las áreas forestales. A nivel local, el 58 % de la superficie de la RBLT es de propiedad social, organizada en 92 unidades denominadas ejidos (cálculos con base en datos del Registro Agrario Nacional, 2019), que cuentan con sus propias autoridades y reglamentos internos. Sin embargo, de acuerdo con las personas entrevistadas, los reglamentos generalmente no hacen referencia a la temática en cuestión, aunque hay algunas excepciones donde sí especifican las medidas aplicables para realizar quemadas controladas.

Un aspecto relevante para el presente trabajo es lo establecido por las leyes y programas sobre el monitoreo de la ocurrencia y de los impactos de los incendios forestales. En este contexto, la LGDFS determina que la CONAFOR debe integrar un Inventario Nacional Forestal, que conten-

ga los impactos en los ecosistemas causados por actividades humanas y fenómenos naturales. Del mismo modo a los estados les corresponde implementar un Inventario Estatal Forestal, lo cual se corrobora en el texto de la legislación forestal del Estado de Veracruz. No obstante, no se especifica cuál debe ser el contenido de estos inventarios (DOF, 2018a; SEDEMA, 2020). Asimismo, la NOM-015 solo determina que la CONAFOR puede establecer sitios de monitoreo para evaluar los efectos del fuego para generar información relevante para su uso (DOF, 2009). En cuanto a las herramientas de gestión, el Programa de Manejo del Fuego de la CONAFOR (2019) solamente define que los centros regionales de manejo del fuego, ubicados en seis estados estratégicos (Veracruz no forma parte), deben llevar un registro y control estadístico de los incendios ocurridos en su región. Más concreto es el texto de la estrategia de manejo del fuego de la CONANP (2011) que incluye una línea estratégica de investigación y conocimiento, en la cual se define la generación de un sistema de información geográfico, para apoyar en la toma de decisiones; en el Programa de Conservación y Manejo de la RBLT, al contrario, no se encuentra ninguna referencia al respecto (CONANP, 2006). El programa de manejo del fuego del Gobierno Estatal, a su vez, presenta los registros anteriores de incendios forestales en el estado, pero no especifica cómo se realiza este registro (SPC, 2020).

3.2. Implementación de las actividades de control de los incendios forestales

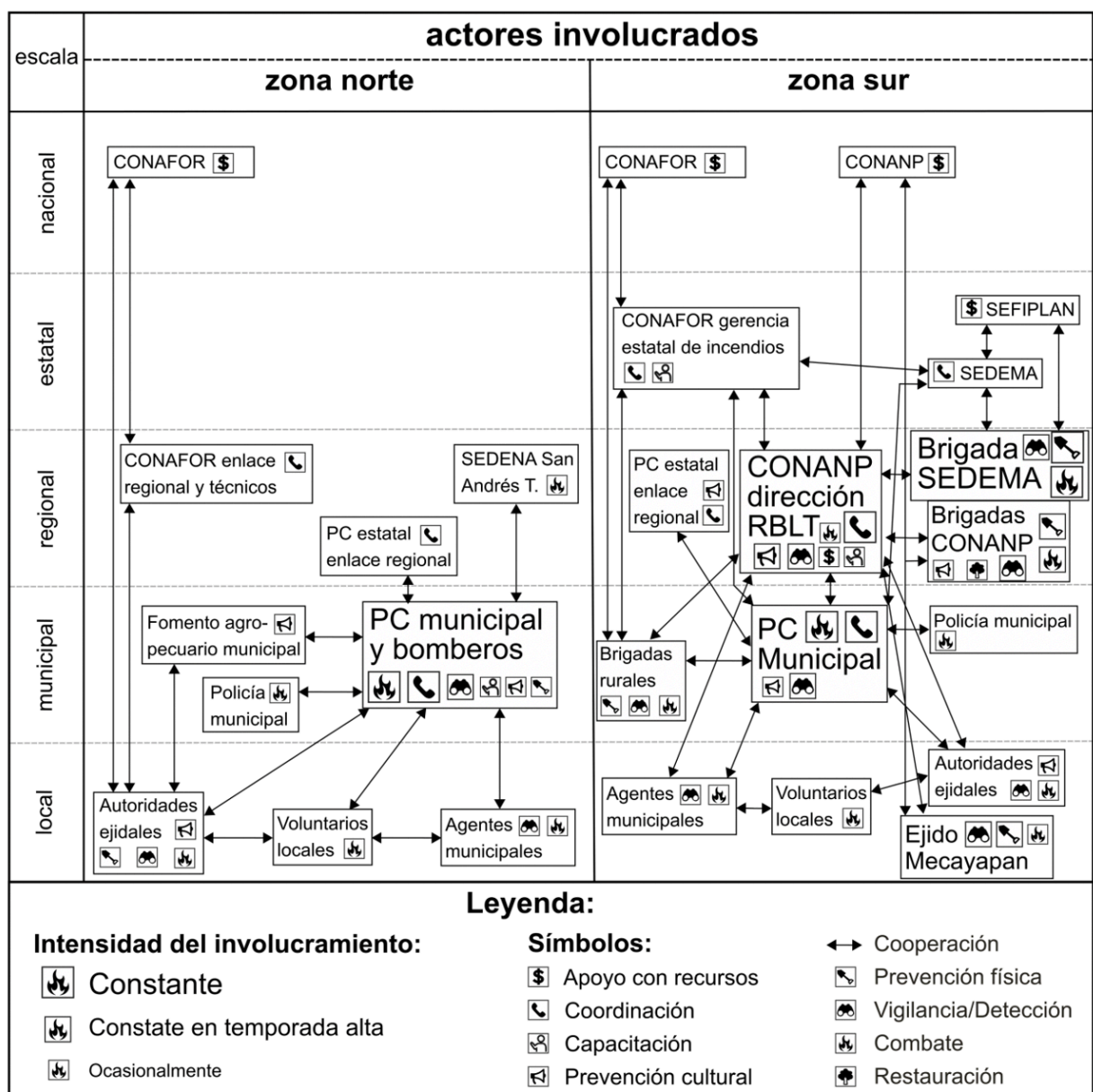
Mediante las entrevistas realizadas se pudo analizar la manera cómo las medidas concebidas en las leyes y los programas son implementadas en la práctica y cuáles son los retos y dificultades de esta implementación, la cual no siempre está en sintonía con las responsabilidades establecidas en la legislación. Como se muestra en la Figura 2, se pudo encontrar una separación de la región en dos partes, norte y sur. La zona norte tiene un clima altamente húmedo y el uso del fuego agropecuario es menor. La zona sur se caracteriza por un menor nivel anual de precipitación y con mayor extensión del uso tradicional del fuego en la agricultura.

En la zona norte la gestión del riesgo de los incendios forestales se aborda por actores municipales y locales. A nivel local, participan las autoridades de los ejidos, como representantes de los propietarios individuales de los predios de uso agropecuario y forestal, y los agentes municipales, un cargo que representa a las localidades frente al gobierno municipal. El actor central es la PC municipal, acompañada en el caso de San Andrés Tuxtla por la asociación local de bomberos. Combate los incendios, realiza actividades de prevención física y cultural, realiza recorridos de vigilancia y capacita a voluntarios locales para el combate. En los incendios de mayor extensión, también se involucran los policías municipales, los soldados de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) ubicados en San Andrés Tuxtla, y a través de la coordinación del enlace regional de PC estatal se realizan apoyos entre los municipios de la región. Tanto la CONANP como la SEDEMA subrayaron que no tenían mayor presencia en esta zona – a pesar de la responsabilidad que le confiere la ley a las administraciones de las áreas protegidas y a los gobiernos estatales – para poder dirigir los pocos recursos económicos disponibles a las áreas de mayor incidencia de incendios. El único involucramiento de la CONAFOR en la zona es la incorporación de 13 ejidos en el sistema de PSA; por lo tanto, las autoridades ejidales beneficiarias están obligadas a conformar brigadas contraincendios y establecer brechas cortafuego en los límites de los ejidos antes del inicio de la temporada de incendios (CONAFOR, 2020).

En la zona sur, el manejo del fuego es más complejo, con un gran número de actores involucrados; este esquema se ha ido consolidando con el paso de los años; un impulso importante se dio a raíz de los fuertes incendios en el año 2005. Es importante resaltar que el proceso de implemen-

tación de la reserva desde su establecimiento oficial en 1998 ha sido lento (Paré y Fuentes, 2007). Un ejemplo de esto es el hecho que su Programa de Conservación y Manejo (CONANP, 2006) se publicó ocho años después. En la actualidad, la dirección de la RBLT es el actor principal en esta zona y encabeza el Mando Único que se establece durante la temporada de incendios forestales en la región (de marzo a junio). A través de este sistema, se coordina el combate de los incendios forestales en la zona entre tres brigadas comunitarias instaladas por la misma CONANP (algunas veces con acompañamiento de personal de la reserva), una brigada de la SEDEMA, las direcciones de PC de los municipios y brigadas rurales de la CONAFOR. Contrario a las autoridades locales y los actores municipales, las brigadas (con excepción de la brigada de la SEDEMA) sólo trabajan en la temporada de incendios forestales.

Figura 2. Actores involucrados en la gestión del riesgo de incendios forestales en la RBLT en la actualidad (2019/2020)



Fuente: Revisión bibliográfica y trabajo de campo. Elaboración propia.

Las brigadas de la CONANP, dos en el municipio Soteapan y una en Tatahuicapan, con un total de 30 integrantes, tienen un plan de trabajo constante en cada año, desde hace al menos seis años. Incluye actividades extendidas de prevención física y recorridos de vigilancia, así como la reforestación anual de 6 hectáreas, aunque en algunos años con un mayor número de incendios no alcanzan a cumplir todas estas metas. Cuentan con financiamiento de la CONANP a través del PROCODES y apoyo logístico financiado por la dirección de la reserva. En cuanto al combate, las brigadas de la CONANP son, sin duda, el actor más importante en la zona, aunque tienen dos limitantes importantes: en primer lugar, la mencionada temporalidad de su trabajo (en la mayoría de los años están activos solamente de mediados de marzo a mediados de junio), y en segundo lugar, por la falta de un medio de transporte. Los integrantes principalmente se desplazan a pie; de manera ocasional cuentan con apoyo de las direcciones de PC y con un vehículo de la dirección de la RBLT.

La dirección de la RBLT y las direcciones de PC municipal colaboran también en las actividades de prevención cultural. En el año 2020 se reportaron asambleas con una asistencia de 829 campesinos. La dirección colabora además desde el 2019 de manera cercana con el ejido Mecayapan para la realización de actividades de prevención, con financiamiento de la CONANP federal: Tanto en el 2019 como en el 2020 se abrieron 20 km de brechas cortafuego, se realizó manejo mecánico de combustible y se hicieron recorridos para la detección de incendios. Las direcciones de PC municipales también se involucran en el combate de manera directa, en algunas ocasiones asistidas por la Policía Municipal, y coordinan el trabajo de las brigadas rurales. Estas últimas son brigadas de diez integrantes, financiadas y capacitadas por la CONAFOR. Se activan de manera temporal y discontinua, dependiendo de la disponibilidad de recursos en la dependencia federal. Además del combate, también realizan actividades de prevención física. El enlace regional de PC estatal se involucra en la coordinación de las direcciones municipales y algunas veces en las actividades de prevención cultural.

La mayoría de los ejidos no cuenta con un proyecto específico de prevención de incendios forestales. Generalmente, los comisariados ejidales y los agentes municipales están comunicados con PC municipal y, en las áreas de mayor interés, con la dirección de la RBLT, para reportar incendios. Asimismo, cuando la dirección de la reserva registra un punto de calor a través de los sistemas de alerta disponibles en internet, se les avisa a las autoridades locales por mensaje de WhatsApp (la mayor parte de las localidades cuenta con servicio de internet) para que verifiquen si se trata de un incendio forestal o si es una falsa alarma debido a una quema controlada. También se han reportado casos de colaboración espontánea de voluntarios locales, que participan en el combate con sus herramientas de campo como palas, machetes y bombas aspersoras.

En los últimos años (desde el 2018), el Gobierno Estatal se ha integrado también en las actividades de combate en la región, con el establecimiento de una brigada con siete integrantes ubicada en Mecayapan, bajo la coordinación de la SEDEMA y con financiamiento de la SEFIPLAN (Secretaría de Finanzas y Planeación). La particularidad de esta brigada es que cuenta con vehículo propio y trabaja durante todo el año. Sin embargo, su área de atención abarca una región de alrededor de 10 000 km² en toda el área costera del sur de Veracruz, por lo que no siempre está presente en Los Tuxtlas. Dicha brigada también realiza actividades de prevención física y recorridos de vigilancia.

En algunas comunidades en Tatahuicapan y también en la zona cafetalera al norte de Soteapan existen mecanismos locales que establecen que aquellas personas que provoquen una afectación

por quemas descontroladas, deberán cubrir el monto equivalente al daño causado. Fuera de eso, tanto en el norte como en el sur de la RBLT no se aplica ningún procedimiento legal para denunciar y sancionar a los incendiarios. Los recorridos de vigilancia que se realizan tienen más bien un carácter preventivo y de detección de incendios, sin detener ni castigar a los incendiarios. Esta situación también tiene que ver con el hecho de que los actores involucrados no tienen la competencia jurídica de aprehender a personas, ni de aplicar multas o sanciones. Incluso se reportó una falta de respeto generalizada hacia los policías municipales, por lo que muchos actores hicieron un llamado por un involucramiento del Ejército y de la Guardia Nacional (que en pocas ocasiones hacen recorridos de vigilancia en la zona) y de la PROFEPA y la PMA. Estos dos últimos organismos, definidos en las leyes y los programas aplicables como los órganos responsables de la vigilancia, en la actualidad están prácticamente ausentes en la RBLT. En el caso de los ejidos, algunas de las autoridades entrevistadas se unieron a este llamado, mientras que en otras comunidades la opinión fue que debería ser tratado como un asunto interno, sin el involucramiento de actores externos.

Otro aspecto general en toda la RBLT es la falta de involucramiento de la SADER y la omisión generalizada del requerimiento de la NOM-015 de dar aviso de quema por parte de los campesinos que pretenden usar el fuego de manera controlada. Un caso excepcional en este contexto es el municipio de Tatahuicapan, donde en el 2020 se empezó a trabajar en la promoción de la aplicación de los avisos de quema. Entre los factores que impulsaron estas actividades se pueden ver los fuertes incendios en este municipio en el 2019 y una capacitación que les dio la SEDEMA a inicios del 2020 a los directores de PC de los municipios del estado de Veracruz. La campaña para fomentar la práctica de los avisos de quema en Tatahuicapan se realizó en estrecha cooperación entre PC municipal con los agentes municipales. Consistió en pláticas y el envío de oficios a las personas que suelen usar el fuego y que no realizaron sus avisos y la advertencia de aplicar sanciones administrativas. También se explicó en las pláticas que realizar el aviso de quema tendría el beneficio de que la PC municipal y la brigada contraincendios pudieran estar al tanto, para intervenir de manera inmediata en caso de que la quema se saliera de control.

En general, el trabajo de los actores en la región se orienta en el objetivo de cero incendios estipulado en el Plan de Conservación y Manejo de la reserva. Cuestionando el papel ecológico de los incendios en los bosques de pino y encino en el sur de la RBLT, los entrevistados en su mayoría desconocieron que el fuego podía tener un efecto benéfico y todos rechazaron la posibilidad de su uso estratégico. Esto se justificó con diferentes motivos, entre los cuales destacan los siguientes: (1) el peligro de afectar ecosistemas sensibles al fuego en cercanía a los bosques de pino y encino, (2) el “mal ejemplo” que presentaría la realización de quemas prescritas por parte de las autoridades para productores locales que podrían tomar esto como motivo de quemar descontroladamente, y (3) la observación de que en los bosques de pino y encino de la región que no han sufrido ningún incendio durante muchos años, sí hay una repoblación natural del bosque y no se registra una acumulación excesiva de material combustible.

3.3. Incidencia e impactos de los incendios forestales

De acuerdo con Langill (2000), Siemens (2009) y los relatos de los entrevistados, en los años 70, 80 y 90 del siglo XX ocurrieron incendios forestales de grandes magnitudes en toda la reserva, que deforestaron superficies considerables de selvas y bosques, incluyendo las áreas que hoy en día se encuentran protegidas, como en la zona núcleo de la RBLT. No hay datos publicados acerca de los impactos de estos eventos; no obstante, en la actualidad se puede apreciar un área defo-

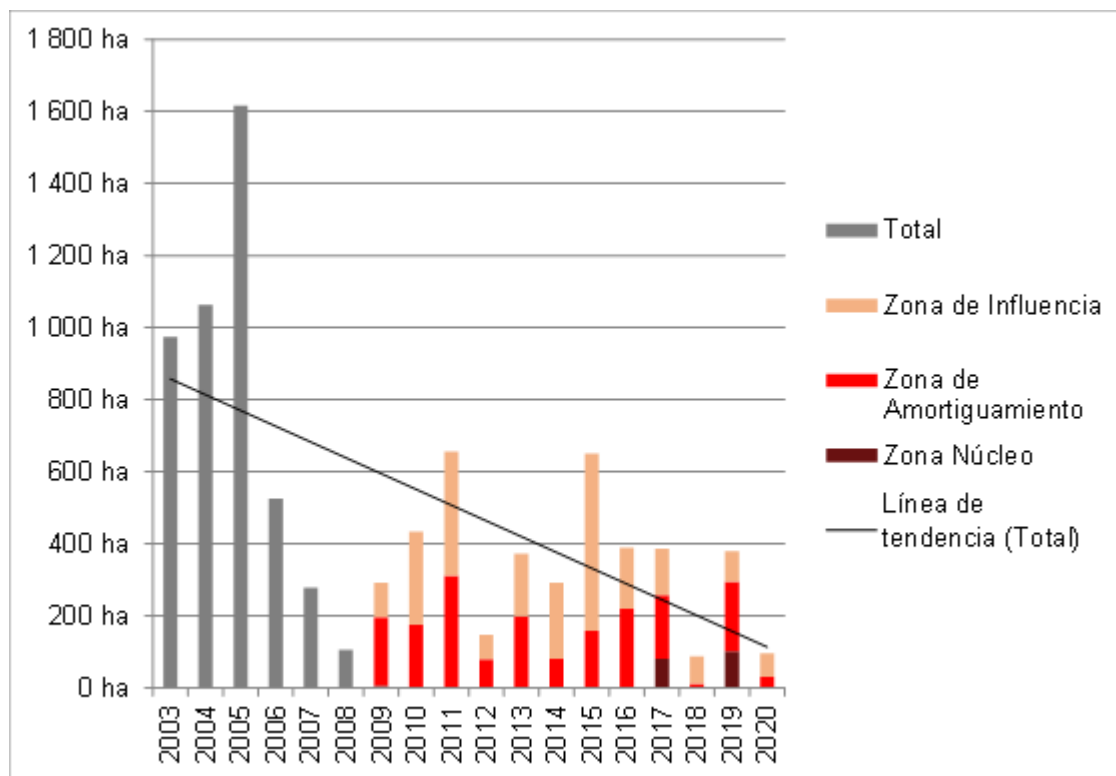
restada, con más de 300 ha, en el sureste de la zona núcleo Sierra Santa Marta, que no se volvió a recuperar debido a la topografía escarpada (véase la Figura 1). Todavía en el 1998, el año de la declaración de la reserva, ocurrieron incendios forestales importantes. Desde entonces, según la información proporcionada por los actores entrevistados ya no se llegó a condiciones tan extremas, aunque aún en el 2005 se quemaron cientos de hectáreas, como se registró en los estudios citados.

Como se explica en el Subcapítulo 2.2, y más detalladamente en el Anexo 1, existen tres fuentes de datos oficiales principales, los cuales presentan ciertas deficiencias e incongruencias. No obstante, pueden dar una idea generalizada del desarrollo de los incendios forestales en la RBLT, sobre todo los datos de la CONANP, que presentan el mayor alcance y coherencia. A continuación, se presentan los resultados del análisis de los datos de este organismo; para algunos aspectos para los cuales la CONANP no dispone de datos o de datos con menor precisión, se incluye también la base de datos de la CONAFOR. Más adelante, las deficiencias de estos datos se complementan con la inclusión de productos del análisis satelital.

Con los datos de incendios de la CONANP, disponibles del 2003 al 2020 (Figura 3), se puede demostrar que desde los primeros años para los que existen registros, la incidencia de incendios forestales en la RBLT y su zona de influencia ha bajado considerablemente, como lo demuestra la Figura 3. En total, el promedio de 2003 a 2020 fue de 479,6 ha, no obstante, en los últimos diez años ya solamente dos veces se sobrepasó este promedio, con 655,99 ha en el 2011 y 650 ha en el 2015. Tomando en consideración solamente los últimos diez años (2011-2020), el promedio fue de 345,3 ha, y en el 2018 y el 2020, la incidencia incluso fue menor que 100 ha, con 87,5 ha y 95,5 ha, respectivamente. Al contrario, en los primeros tres años de existencia de la reserva, el promedio anual fue de 1217,5 ha, con el máximo absoluto en el 2005 de 1615 ha. A pesar de esta tendencia en general, es notable el número importante de hectáreas afectadas en la zona núcleo, el área de mayor importancia para la conservación y con presencia de vegetación sensible a los incendios, en el 2017 (80,7 ha) y 2019 (10,7 ha). Esto contrasta fuertemente con el periodo de 2009 a 2016 cuando los incendios forestales -de acuerdo con los datos registrados- fueron prácticamente ausentes de esta zona (como demuestra la Tabla 1, para los años 2003 a 2008 no se dispone de información acerca de las afectaciones por zona).

Es importante señalar que no toda la superficie considerada en los registros de incendios son áreas forestales. Entre 2016 y 2020 el 42,3 % de la superficie reportada por la CONANP fueron superficies de pastizales cultivados. En el mismo periodo, los tipos de vegetación más afectados fueron el bosque de encino (27,6 %), diferentes tipos de vegetación secundaria (19,9 %) y el bosque de pino (8,9 %). Tan solo el 1,4 % fue clasificado como selva, y no hubo afectaciones en el bosque mesófilo de montaña y el manglar. La CONAFOR, por su parte, registró para el periodo de 2016 a 2019 los siguientes valores (en este tiempo solo tomó en cuenta la vegetación forestal): 44,6% bosque de pino y pino-encino, 29,2 % bosque de encino y encino-pino, 26,0 % diferentes tipos de selva (0,1 % arbolado adulto) y 0,1 % bosque mesófilo de montaña. Para los años anteriores, de acuerdo con los registros de la CONAFOR (para los problemas inherentes en estos datos véase la descripción en la Metodología), los tipos de vegetación afectados fueron: 50,8 % bosque de encino y encino-pino, 24,1 % bosque de pino y pino-encino, 18,3 % diferentes tipos de selva (0,2 % arbolado adulto), 3,3 % manglar (vegetación arbustiva), 2,6 % pastizal, 0,9 % bosque mesófilo de montaña (vegetación arbustiva).

Figura 3. Superficie afectada por incendios en la RBLT y zona de influencia (principalmente en la zona sur) registrada por la CONANP en los meses de marzo – junio durante el periodo 2003-2020.



Fuente: Información proporcionada por la dirección de la RBLT. Elaboración propia.

En total, según los registros de la CONAFOR, solo el 1,0 % de la vegetación afectada se compuso de arbolado adulto. La CONANP, por otra parte, califica los incendios por gravedad del impacto en severo, moderado y mínimo. Entre 2009 y 2020, solo en dos casos se anotó la categoría ‘severo’, con una superficie conjunta de 64,4 ha (1,5 % de toda la superficie afectada). El impacto moderado ha sido otorgado en 31 casos, cubriendo 379,28 ha (9,1 %) y el impacto mínimo es considerado el más común, con el 89,4 % de la superficie afectada. Otro aspecto interesante es la recurrencia de incendios en el mismo lugar, los cuales son frecuentes en la zona sur de Los Tuxtlas. Entre 2015 y 2019, de acuerdo con los datos de polígonos de áreas quemadas de la CONANP, 80,9 ha fueron afectados por incendios forestales al menos en dos ocasiones.

Otra información relevante que presentan los datos oficiales son las causas de los incendios, aunque en muchos casos, el registro es marcado como ‘desconocido’. Este es el caso de 40,7 % de los incendios reportados por la CONANP entre 2016 y 2020. Aparte de esto, 32,5 % de los incendios fueron registrados como intencionales, 17,1 % como causados por quemas agrícolas descontroladas, 8,9 % por cazadores y 0,8 % por fogatas. La CONAFOR, por su parte, para los años 2016 a 2019 apuntó como causa en 36,4 % de los casos ‘desconocido’, en 34,3 % de los casos los incendios fueron intencionales (17,2 % por rencillas y litigios, 9,1 % para cambio de uso del suelo y 8,1 % por actos de vandalismo), el 14,1 % fue causado por quemas agrícolas, el 12,1 % por cazadores, el 2,0 % por fogatas y el 1,0 % por fumadores. Esto contrasta de manera marcada con los registros de la CONAFOR para años anteriores. Entre 2005 y 2015, la dependencia reportó como principal causa las quemas agropecuarias, en 58,1 % de los casos, seguidas por 19,8 % incendios intencionales (15,7 % por cambio de uso de suelo y 4,1 % por rencillas), 11,6 % por fumadores, 6,4 % por cazadores, 0,6 % por la quema de basureros y solo el 0,6 % fue registrado como no determinado.

A pesar de que los datos reportados ofrecen información valiosa sobre la incidencia y los impactos de los incendios forestales en Los Tuxtlas, también presentan algunas limitaciones, las cuales restringen su utilidad para evaluar la efectividad de las actividades de gestión adoptadas en la RBLT. Las principales deficiencias son las siguientes:

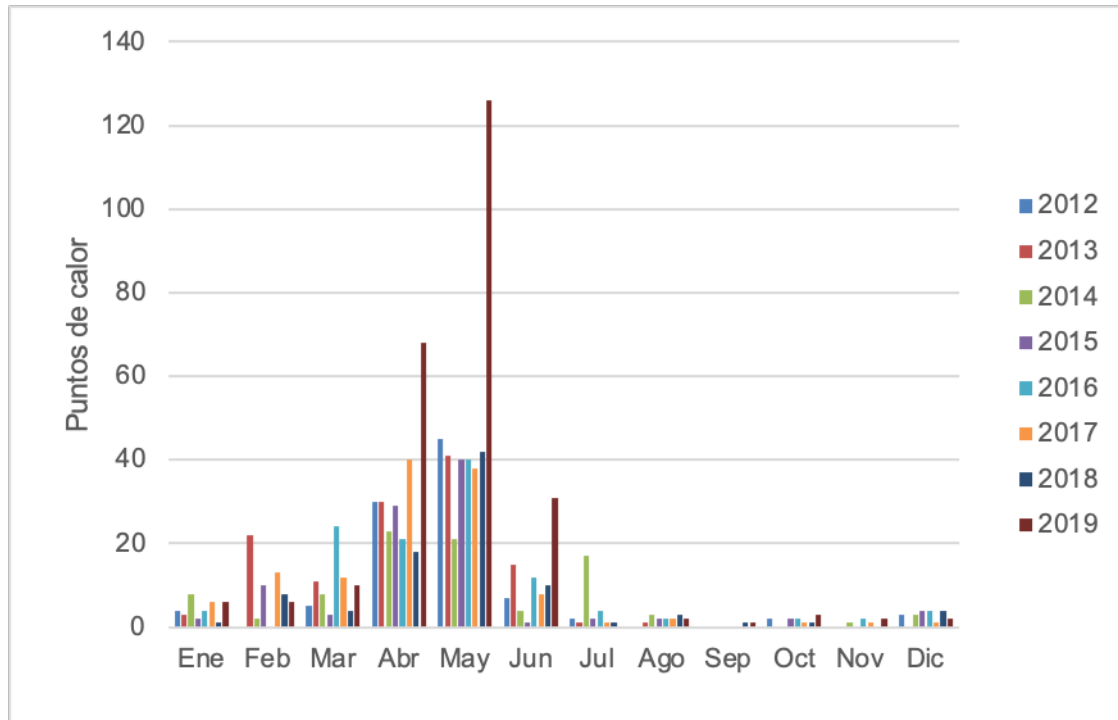
- Ninguna de las bases de datos es completa. La base con el mayor número de registros es la de la CONANP, sin embargo, casi todos sus registros (98,6 %) son de los meses de marzo a junio cuando suelen trabajar las brigadas contraincendios financiadas por la dependencia, el 1,4 % restantes son de febrero, es decir, ningún registro cubre todo el año. Esto bien podría significar que no hubo incendios, pero también podría darse el caso que sí hubo incendios, pero éstos no fueron reportados (en los otros registros oficiales, la situación es parecida, por ejemplo, en el caso de la CONAFOR el 97,8 % de los registros son de marzo a junio).
- Generalmente los patrones que se aprecian en los registros que proporciona la CONANP coinciden con las declaraciones de las personas entrevistadas, sin embargo, hay dos excepciones: Primero, los entrevistados argumentaron que si bien es mucho menor la incidencia de incendios en la zona norte, sí hay afectaciones importantes regularmente. Segundo, la observación de prácticamente todos los entrevistados fue que en el 2019 la incidencia fue mayor que en el pasado reciente, sobre todo también en la zona norte (en comparación, en los datos de la CONANP solo hay un registro para aquel año en la zona norte, y el número de hectáreas afectadas en total es menor que en los años 2015, 2016 y 2017).
- No hay datos de antes de la creación de la RBLT, así que los registros oficiales no permiten hacer una evaluación preliminar y posterior (pre-post) de los efectos del establecimiento de la reserva. A continuación, se revisa cómo se pueden suplir estas faltas de datos, con la utilización de los puntos de calor y el análisis de imágenes satelitales. Finalmente, los resultados se comparan también con los datos de la incidencia de incendios forestales a nivel estatal, como contrafactual del desarrollo en la RBLT.

Con respecto a las discrepancias entre las declaraciones de los entrevistados y los registros de la CONANP, se realizó, como primer paso, una revisión cartográfica del posicionamiento de los puntos de calor VIIRS. Además, se agregó la subzonificación de la reserva, que demuestra que hay un gran número de puntos de calor fuera de la subzona de uso tradicional (donde el uso del fuego está permitido). Gran parte de estos puntos de calor fueron registrados en el norte de la zona de amortiguamiento. Sin embargo, las concentraciones notables de puntos hacia el noreste de la zona coinciden con áreas de cultivo de tabaco y caña (Guevara et al., 2004), en los cuales el uso del fuego es parte de las prácticas convencionales. No obstante, como confirmaron los entrevistados de esta área, en la mayoría de los casos se trata de quemas controladas.

Otro aspecto que llama la atención en el mapa de la Figura 5 es el gran número de puntos de calor VIIRS registrados en 2019. En total fueron 257 puntos, en comparación con un promedio anual de 2012 a 2018 de 105,4 puntos; el año con el segundo mayor número fue el 2013 con 124 puntos, seguido por el 2017 con 123. Para analizar mejor la situación en el 2019, y poder revisar si hubo incendios forestales no registrados, o si el aumento de puntos de calor se debió principalmente a quemas agrícolas, se acudió a la visualización de las zonas quemadas con imágenes de satélite Sentinel-2. En la Figura 6 se ve la zona de mayor relevancia en el tiempo más crítico, con un gran número de puntos de calor dentro de la zona núcleo. Se puede ver claramente la coincidencia de los puntos de calor VIIRS con las áreas rojas que marcan las zonas quemadas en la imagen Sentinel-2 (Figura 6). Muchas de estas áreas, no reportadas como incendios por la CONANP, tienen una forma rectangular o se encuentran en áreas abiertas, factores que indican que de hecho se

trata de quemas agrícolas controladas. No obstante, hay varias áreas dentro de la zona núcleo y rodeadas por vegetación forestal, que sí podrían haber sido incendios asociados a la deforestación ilegal. Los representantes de las instancias gubernamentales que se entrevistaron explicaron que es un área de difícil acceso, por lo que está fuera del alcance de las brigadas.

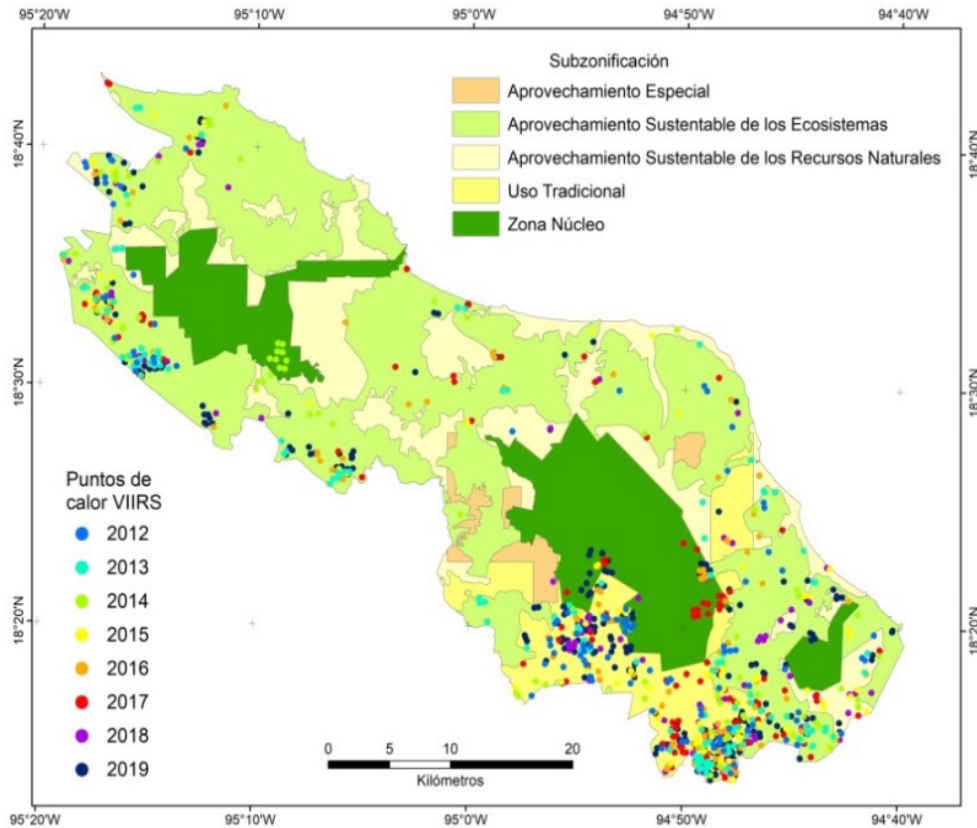
Figura 4. Distribución mensual de los puntos de calor VIIRS en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (2012 – 2019)



Fuente: Información de la NASA (2020). Elaboración propia.

Los datos presentados hasta este punto exponen un panorama parcial del comportamiento de los incendios forestales en la zona, y hacen falta muchos datos para realizar un diagnóstico detallado. Lo que sí permiten estimar, con un alto grado de confianza, es que la incidencia y la severidad de los impactos de los incendios forestales han disminuido considerablemente desde algunos años antes del establecimiento de la RBLT y en los primeros años de su existencia. Esto, no necesariamente tiene que ser resultado de la existencia de la reserva y la gestión relacionada, sino podría tener que ver con otros efectos, por ejemplo, con las condiciones climáticas. Para poder analizar esta posibilidad, se compararon los datos de la RBLT con los datos a nivel estatal. Estos datos, en parte obtenidos a través de Gobierno del Estado de Veracruz (2020) y en parte a través de SEMARNAT (2020), se basan en los registros de la CONAFOR, con las problemáticas mencionadas en la Metodología. Por ejemplo, para el 2005, se da un número de 1265 ha afectadas para todo el estado, cuando la CONANP contó 1615 ha solamente para Los Tuxtlas, y no solo fueron pastizales cultivados -que a menudo no son registrados por la CONAFOR- sino, de acuerdo con Velasco (2009, citado en PSSM, 2011) se deforestaron grandes superficies de vegetación natural.

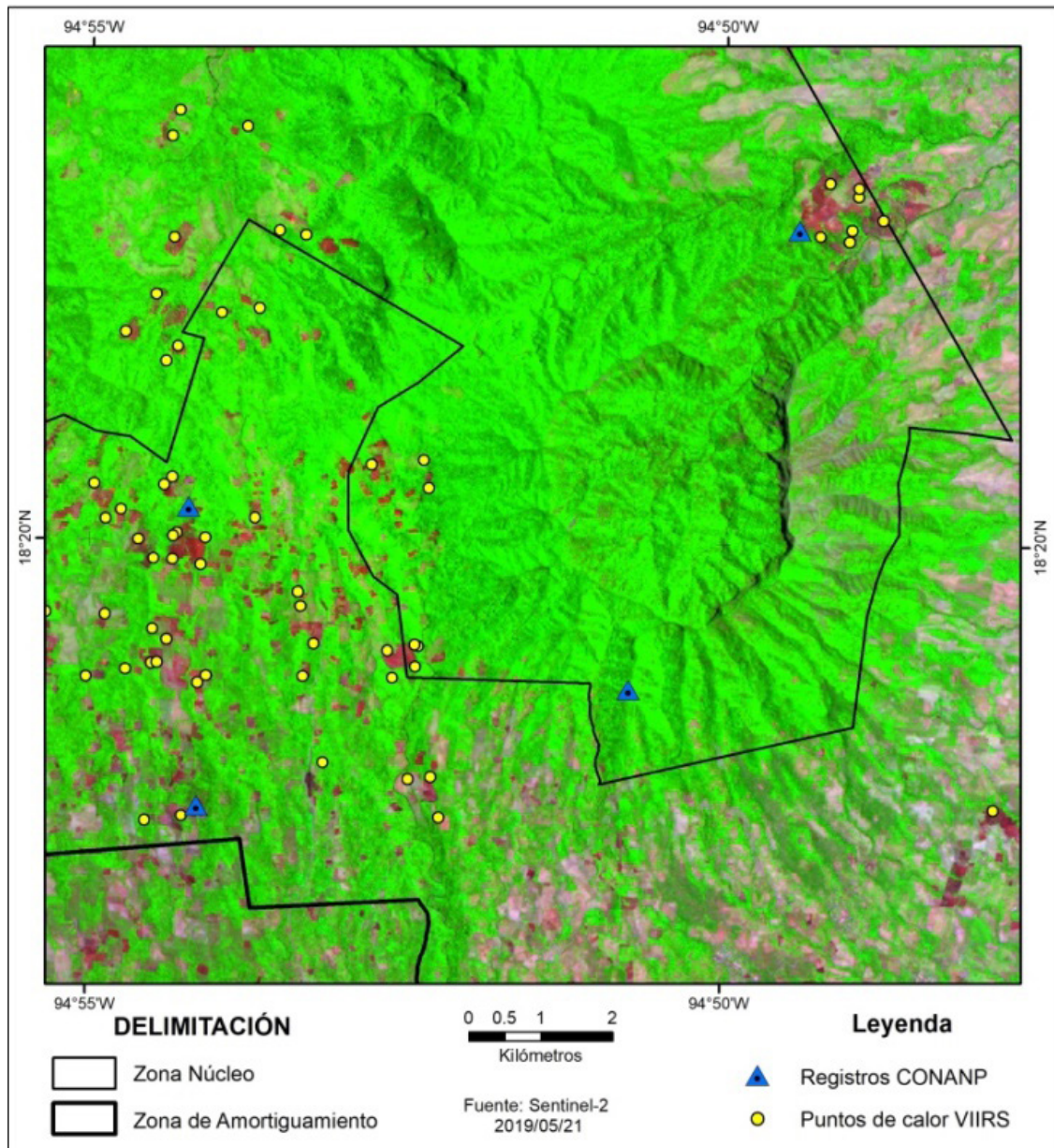
Figura 5: Puntos de calor VIIRS detectados en la RBLT (2012 – 2019)



Fuente: Información de CONANP (2020) y NASA (2020). Elaboración propia.

No obstante, son de interés las siguientes cifras: En el 1998 a nivel estatal se afectaron 9690 ha. A continuación, en los años para los cuales se cuenta con datos (2000, 2005, 2010-2018), el número fue mucho menor (promedio 2173,4 ha), pero en el 2019 se alcanzó un nuevo récord de 11 841 ha afectadas. Esto se relacionó principalmente con la fuerte sequía que se presentaba en este año, la más intensa desde que se tienen registros (inicio de los registros en 1981, información de la PC estatal, citado en el Diario de Xalapa, 27 de agosto de 2019); algunos de los entrevistados lo relacionaron también con la implementación del programa Sembrando Vida del Gobierno Federal, que podría haber motivado a los campesinos a quemar los bosques en sus predios para acceder a un apoyo económico considerable para el establecimiento de un sistema agroforestal (en tierras sin vegetación forestal).

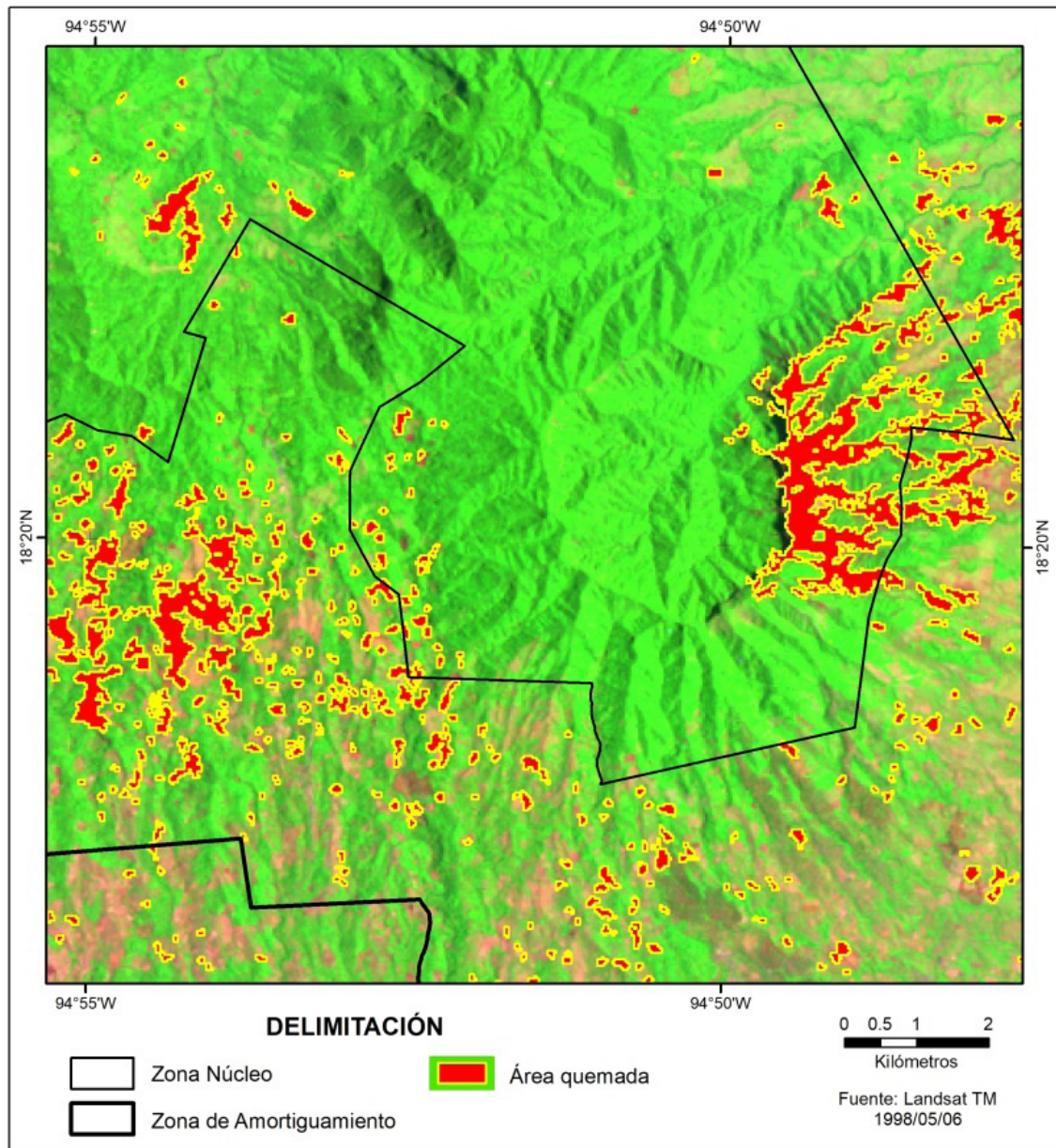
Figura 6: Puntos de calor VIIRS, registros CONANP (abril-mayo 2019) y áreas quemadas (color rojo) detectadas en el compuesto de color RGB (12,8,4) Sentinel-2 en el sur de la zona núcleo en la Sierra Santa Marta



Fuente: Información de CONANP (2020), NASA (2020), Sinergise Laboratory (2020) y datos proporcionados por la dirección de la RBLT. Elaboración propia.

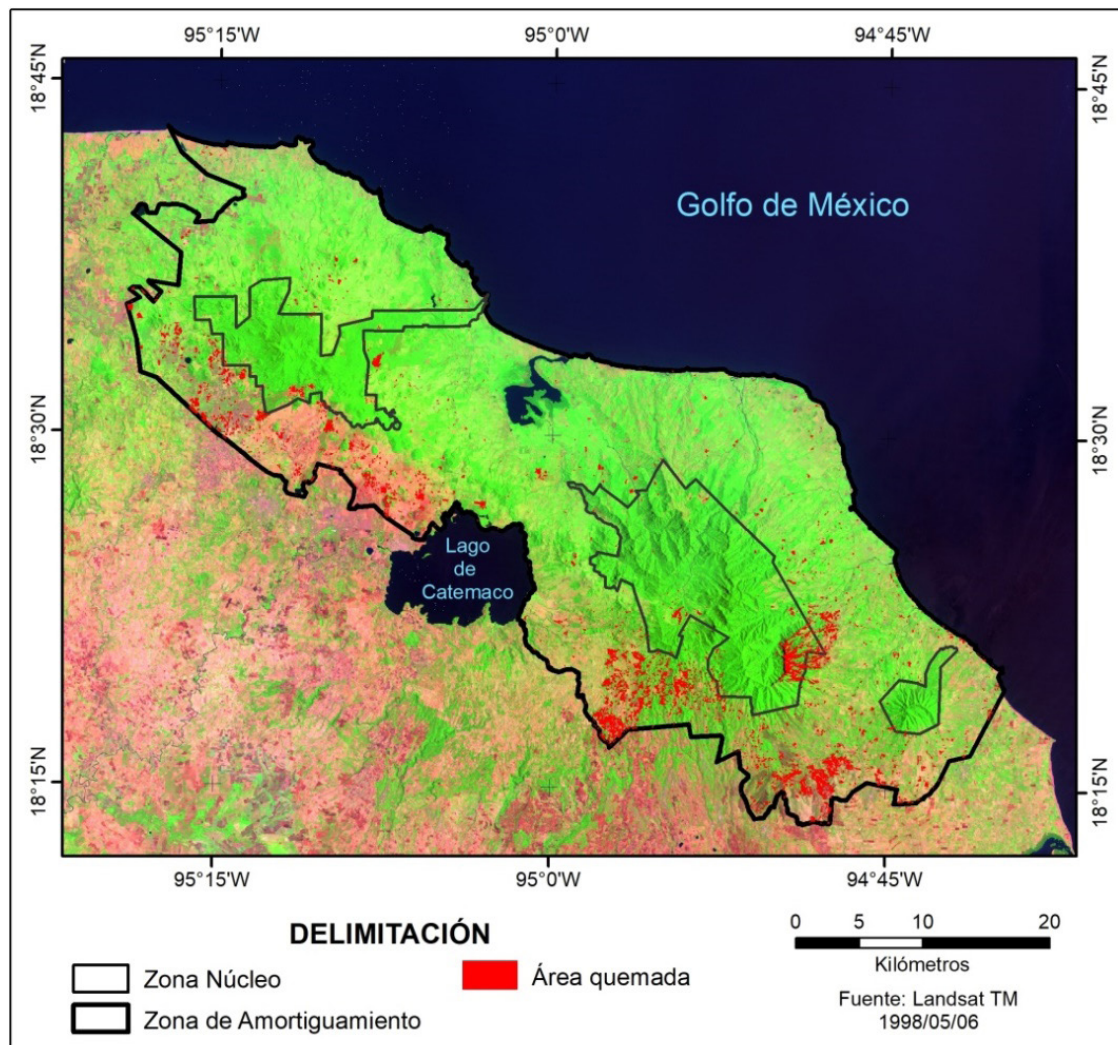
En este contexto, es notable que aunque Los Tuxtlas también registró un número de incendios y sobre todo de puntos de calor alto en este año, la relación fue mucho menor que a nivel estatal. Cabe mencionar que de acuerdo con el Comité Estatal de Protección Contra Incendios Forestales y Manejo del Fuego (SPC, 2020), gran parte de estas afectaciones se dieron en el valle del Uxpanapa, una región cercana en la que también predominan los bosques tropicales pero que carece de un estatus de conservación, aparte de una pequeña reserva estatal, y donde se quemaron 4555 ha (para Los Tuxtlas esta fuente dio un valor de 313,5 ha para el 2019, similar al valor que presenta la CONANP).

Figura 7. Distribución de las áreas quemadas (en color rojo) en la RBLT en 1998, delimitadas por la diferencia de los índices NBR Landsat TM, pre-incendio (19/03/1998) y pos-incendio (06/05/1998), representadas en el compuesto Landsat TM RGB (7,4,3) del 06 de mayo de 1998



Fuente: Información de CONANP (2020) GLOVIS-USDS (2020). Elaboración propia.

Figura 8: Distribución de las áreas quemadas (en color rojo), delimitadas por los índices NBR, en el sur de la zona núcleo en la Sierra Santa Marta en 1998, representadas en el compuesto Landsat RGB (7,4,3) del 06 de mayo de 1998



Fuente: Información de CONANP (2020) GLOVIS-USDS (2020). Elaboración propia.

4. Discusión

Los ecosistemas del mundo, y en particular los bosques de las zonas tropicales, sufren graves impactos por la acción del ser humano; entre otras afectaciones, se puede mencionar el papel del cambio de los regímenes de incendios forestales y la provocación de incendios incluso en tipos de vegetación donde éstos naturalmente son ausentes. Una de las principales herramientas para proteger los bosques y las selvas tropicales de cualquier amenaza, incluyendo los efectos nocivos de los incendios forestales, es el establecimiento de ANP. Para poder conservar los recursos de manera óptima es de suma importancia evaluar si realmente se alcanzan los objetivos esperados con la creación de una reserva o de cualquier otra política ambiental (Ferraro y Pattanayak, 2006; Ferraro y Pressey, 2015). En este sentido, el presente trabajo presentó una aproximación a la evaluación de los efectos de las actividades de control de incendios forestales en un área específica, la RBLT. Para esto, se planteó un acercamiento mediante tres pasos: primero, la revisión de las herramientas legales y de planeación en las cuales se basa la gestión; segundo, el análisis de cómo

los lineamientos y la asignación de responsabilidades estipuladas en estos textos se implementan en la práctica; y tercero, la reconstrucción de la incidencia y la gravedad de los impactos de los incendios forestales. A continuación, se discuten los resultados de este esquema de evaluación, empezando con la revisión de los posibles efectos de la gestión. A la luz de estos efectos, se examinan nuevamente las actividades realizadas por los diferentes actores y el contenido de los documentos normativos y de planeación en las cuales se basan sus actuaciones.

En cuanto a la incidencia y los impactos de los incendios forestales, con base en la información presentada, se puede hacer el siguiente diagnóstico: En los últimos quince años, del 2006 al 2020, la incidencia y sobre todo los impactos de los incendios forestales han sido mucho más bajos que en los años anteriores, del 2003 al 2005 y sobre todo previo al establecimiento de la reserva. En el pasado, este fenómeno en algunos años fue una de las principales causas de la deforestación en el área, incluyendo la selva alta perennifolia. Al contrario, en la actualidad los impactos en la mayoría de los casos son clasificados como mínimos, y parte de éstos se registran en bosques de pino y encino que están adaptados al fuego (Rodríguez, 2014). No obstante, después del 2006, la tendencia ya no ha bajado considerablemente, con un promedio anual de 339 ha (véase la Figura 3). En los últimos años, la situación es compleja: En 2018 y 2020 se alcanzaron los valores más bajos hasta la fecha, debajo de las 100 ha, pero en el 2017 y 2019 hubo afectaciones considerables que incluso afectaron la zona núcleo. Aun así, los impactos del 2019, bajo condiciones climáticas extremas que no se habían registrado anteriormente, estuvieron muy debajo del promedio estatal.

El análisis realizado indica que las actividades de gestión han tenido efectos positivos para disminuir el riesgo que presentan los incendios forestales para la vegetación de Los Tuxtlas. De este modo, los resultados del trabajo están en línea con lo reportado por Nelson y Chomitz (2011) y Manzo-Delgado y López-García (2020), de que las ANP sí pueden ser eficientes para la mitigación de este riesgo. Aun así, queda camino por recorrer para poder proteger los ecosistemas de la RBLT de manera óptima. Cabe mencionar, en este contexto, que la disminución de la incidencia y severidad de los incendios forestales que se ha observado en la reserva no solo se atribuye a la gestión de la autoridad que administra el ANP, la CONANP, sino al involucramiento de diferentes actores y una estrecha coordinación multi-nivel y policéntrica en la zona sur de la RBLT. Estas actividades coordinadas se han ido consolidando sobre todo desde el 2005, con efectos notables en la incidencia de los incendios forestales.

Con respecto a los actores involucrados en las actividades de control de incendios, se puede observar, aparte de la cooperación funcional, que se trabaja de acuerdo con las pautas del manejo integral del riesgo, incluyendo un fuerte énfasis en la prevención, tanto física como cultural. Sin embargo, se pueden identificar dos obstáculos principales, que afectan a todos los actores involucrados, tanto las dependencias federales y estatales como también los municipios y las autoridades locales: primero, la falta de presupuesto, y segundo, la ausencia de una vigilancia eficaz de las causas de los incendios y la falta de aplicación de la normatividad en cuanto a las consecuencias por el uso negligente del fuego.

La falta de presupuesto obliga a las brigadas financiadas por la CONANP, la CONAFOR y la SE-DEMA a delimitar su trabajo de manera temporal y espacial. De este modo, fuera de los meses de marzo a junio, la capacidad de atención es fuertemente reducida, aunque sí han ocurrido incendios forestales durante este tiempo, y es cuando se podrían realizar acciones de reforestación, de concientización y de capacitación, las cuales, bajo las condiciones actuales, muchas veces no se pueden concluir satisfactoriamente. En cuanto a la delimitación espacial, queda completamente

desatendida por los actores federales y estatales toda la zona norte, un vacío que hasta cierto grado llenan los actores municipales. Sin embargo, también hay áreas, sobre todo en la zona núcleo en el sur de la reserva, adonde no llega ninguno de los actores. Esto también tiene que ver con el poco personal disponible y el bajo nivel de equipamiento. En muchas ocasiones las brigadas incluso deben desplazarse a pie, reduciendo la velocidad de respuesta en la atención de los incendios. Esta insuficiencia de recursos para el sector ambiental en México ha sido señalada también por otros autores (López-Vallejo, 2013; Madrid, 2020) y es altamente problemática, considerando la importancia de los servicios ecosistémicos y la prevención de los desastres ambientales para el bienestar de la sociedad.

En los municipios y las comunidades, en la mayoría de los casos no existe ningún presupuesto específico para la gestión de los incendios forestales. Las direcciones de PC municipales, con excepción de San Andrés Tuxtla (el municipio con mayor número de población y que además cuenta con un cuerpo de bomberos parcialmente financiado por donativos particulares) tienen poco personal y tienen que repartir su tiempo entre diferentes obligaciones aparte del combate de los incendios. Por lo tanto, dependen de la asignación (temporal y discontinua) de brigadas rurales por parte de la CONAFOR para poder contar con el personal suficiente. Las comunidades que reciben pagos por servicios ambientales, principalmente ubicados en el norte de la región, reciben recursos para la realización de brechas cortafuego y en algunos casos cuentan con equipo rudimentario. Al contrario, la mayoría de las comunidades en la zona de mayor riesgo de incendios, al sur de la reserva, al contar con menores superficies de bosque dentro de sus tierras, no cumplen los requerimientos para entrar a los PSA y no reciben apoyo alguno; la única excepción es el ejido Mecayapan que recibe apoyo económico por parte de la CONANP para los trabajos de prevención física.

Existen diferentes alternativas para atender estos problemas. En primer lugar, se tiene que hacer énfasis, por parte de los mismos actores y la sociedad civil, en la responsabilidad por parte del gobierno mexicano de dotar a las diferentes instancias, incluyendo los municipios, de los recursos que necesitan para cumplir las funciones que les confiere la legislación. Además se necesitan ajustes en la aplicación de los programas de apoyo; por ejemplo, sería deseable que las brigadas rurales se asignen a los municipios por un tiempo prolongado, con un presupuesto constante, para garantizar la continuidad del trabajo del combate de incendios, de las actividades de prevención y de reforestación. En cuanto a los PSA, sería conveniente explorar modalidades que permiten la entrada de comunidades que en sí no cuentan con una superficie forestal tan grande, pero se encuentran en posiciones estratégicas para la mitigación de riesgos como los incendios forestales. También se podría pensar en la creación de un mecanismo de apoyo con base en donativos de particulares, como se aplica en San Andrés Tuxtla, para los actores que trabajan en el sur de la RBLT. En este afán sería conveniente buscar donantes no solo en los municipios afectados sino también en las ciudades al sur de la RBLT, como Minatitlán y Coatzacoalcos, que se benefician de los servicios ecosistémicos que brinda la reserva.

La ausencia de vigilancia y de un seguimiento legal de los incendios provocados son una problemática que también se ha reportado en otras partes de México (Monzón-Alvarado et al., 2014) y que en parte tiene que ver con la problemática del presupuesto del sector ambiental, así como también con un aparente desinterés de los cuerpos de seguridad pública de involucrarse en este asunto, así como con la falta de autoridad de las instancias locales, como la policía municipal, comisariados ejidales y agentes municipales. En la actualidad, muchas de las acciones de prevención de los incendios, tanto en Los Tuxtlas, como en México en general (Martínez-Torres y

Pérez-Salicrup, 2018) están dirigidas hacia el uso del fuego en la agricultura, aunque en la RBLT, de acuerdo con el registro de la CONANP, solo en el 17.1 % de los casos entre 2016 y 2020 se pudo evidenciar que haya sido la causa del incendio, y de acuerdo con los datos de la CONAFOR solo fue el 14,1 % - muy al contrario de lo que se reporta en otros lugares del mundo (Kull, 2002; 2004) y del estereotipo de los campesinos como los principales incendiarios que se ha generado también en México (Mathews, 2005).

En este sentido, es preciso aumentar los esfuerzos de vigilancia de otros causantes, como la cacería y la provocación malintencionada de incendios. Para esto, se tendría que buscar una mejor colaboración de los actores locales con los cuerpos de seguridad, y capacitarlos para tener el conocimiento necesario para vigilar el correcto cumplimiento de la ley. También puede pensarse en aumentar las atribuciones legales que tienen la CONANP y sus guardaparques o los brigadistas contraincendios, así como las autoridades ejidales, para poder procesar estos ilícitos. Este empoderamiento de las personas locales -incluyendo la toma autónoma de decisiones a nivel comunitario- también ha sido identificado como clave para la resolución de esta problemática en otras regiones con una fuerte incidencia de incendios forestales (véase Kull, 2002, para el ejemplo de Madagascar).

En cuanto a los incendios forestales ocasionados por el uso del fuego en la agricultura, es importante resaltar el ejemplo de Tatahuicapan. En este municipio, desde el 2020 se está promoviendo la realización de avisos de quema, por parte de la dirección de PC municipal en coordinación con las autoridades locales, de manera similar como se ha observado en otros lugares, como en el municipio de Calakmul, Campeche (Monzón-Alvarado y Keys, 2017), pero sin mayores restricciones en cuanto a la aplicación de las quemas (al contrario de Campeche, por ejemplo, donde los campesinos se tienen que apegar a un calendario rígido que especifica cuando se puede quemar, véase Monzón, 2018). Aunque es temprano para poder evaluar los efectos de este programa, sí es notable que en el mismo año solo se hayan quemado 4,5 ha en este municipio, muy por debajo del promedio de los cinco años anteriores (63,7 ha, de acuerdo con el registro de la CONANP).

Entre los factores que podrían haber ayudado para que esta iniciativa tenga éxito se pueden mencionar los siguientes: (1) en el 2019 en Tatahuicapan se registró un aumento importante de incendios forestales, por encima del promedio a nivel regional, lo que podría haber llevado a una mayor conciencia en la ciudadanía, como indicaron dos de los entrevistados; (2) la cooperación estrecha entre las autoridades locales y municipales; (3) la estrategia de promover los avisos de quema que incluyó tanto la advertencia de imponer sanciones administrativas como también la explicación del beneficio de realizar avisos de quema, para así poder contar con el apoyo de la PC municipal y de la brigada rural contraincendios. En resumen, se trata de una aplicación adaptada de manera flexible por los actores en el nivel local y municipal a su situación, de acuerdo con el empoderamiento local del que escriben Kull (2002) y Mathews (2005).

Un rezago importante detectado en este trabajo es el monitoreo incompleto de los incendios forestales. Los datos estadísticos analizados permiten ver una tendencia a grandes rasgos y a manera de estimación. Esto se debe parcialmente al mencionado alcance territorial y temporal limitado de los actores involucrados y por otra parte a mecanismos de registro heterogéneos entre los diferentes actores, y metodologías cambiantes incluso en los registros de una misma dependencia. A la fecha, el registro más coherente y detallado es el que prepara la dirección de la RBLT, por lo que sería recomendable estandarizar los registros de todos los agentes bajo este esquema y en un mismo registro en conjunto. Los puntos de calor derivados de las imágenes de satélite

VIIRS y el análisis visual con las imágenes Landsat y Sentinel-2 son un complemento importante para validar la exactitud de los datos estadísticos y conocer más detalladamente la distribución espacial y temporal de los incendios, como se pudo demostrar en este trabajo. Esta metodología también se podría aplicar en otras ANP que carecen de una base estadística sobre el desarrollo de los incendios forestales.

La necesidad de un monitoreo con mayor exactitud y homogéneo entre las diferentes dependencias debería incluirse en los diferentes herramientas normativas y de planeación, dado la importancia de la evaluación para garantizar una gestión exitosa (Ferraro y Pattanayak, 2006). Fuera de esto, se puede concluir que las leyes y normas aplicables en México, en general, presentan un marco adecuado para la protección de los bosques contra los efectos nocivos de los incendios forestales. Lo que hace falta son más bien algunas adaptaciones, tanto en estos documentos como en otros textos como en la legislación agraria, y especialmente en las leyes anuales de presupuesto federales, para que permitan a los actores cumplir adecuadamente con sus atribuciones, como se ha discutido anteriormente. Además, esto puede ir acompañado de convenios entre diferentes organismos, para alcanzar una mejor coordinación de las actividades requeridas.

Por último, es preciso resaltar la discrepancia que existe entre la meta de cero incendios de este programa y la visión de manejo integrado del fuego que se encuentra en los textos de las leyes y programas de manejo a nivel estatal y federal. Esta visión, que ha experimentado un auge notable en los últimos años, con base en los resultados de la investigación científica acerca de la ecología del fuego, incluye el uso estratégico de este elemento en ecosistemas adaptados a su presencia (Martínez-Torres et al., 2018). En Los Tuxtlas, a pesar de que la reserva cuenta con áreas de vegetación forestal adaptada al fuego (bosques de pino y encino), los actores entrevistados coincidieron que no era conveniente utilizar el fuego en las actividades de manejo y justificaron esta postura con diferentes argumentos, como por ejemplo el peligro de que involuntariamente se pudiera afectar a los ecosistemas aledaños sensibles al fuego. A pesar de la unanimidad de las opiniones de los actores acerca de este tema, convendría impulsar la realización de estudios que indaguen en los regímenes naturales de incendios forestales en la RBLT, para que los objetivos del Plan de Conservación y Manejo tengan una sólida base científica que garantice la conservación adecuada de todos los ecosistemas de la reserva.

5. Conclusiones

Al igual que en otras ANP tropicales del mundo, los incendios forestales presentan una amenaza importante para la vegetación natural de la RBLT. No existe ningún registro completo de la incidencia de incendios en la zona, no obstante, mediante la combinación de datos oficiales de incendios, registros de puntos de calor, la detección de áreas quemadas con imágenes de satélite y los relatos de actores locales, se definió un sistema de información para analizar la efectividad en la gestión del riesgo de incendios en la reserva. Se estima que el número de hectáreas afectadas en la actualidad es por mucho inferior a los fuertes eventos de incendios forestales previos a la declaración de la reserva y en los primeros años de su existencia; esto a pesar de condiciones climáticas inusualmente secas en los últimos años. Se puede deducir, por lo tanto, que esta disminución se basa en las acciones de prevención y combate empleadas por parte de diferentes actores, especialmente la dirección de la RBLT, los ayuntamientos y las brigadas locales financiadas por la CONAFOR, la CONANP y el Gobierno del Estado. Este manejo se basa en diferentes reglamentos y leyes, así como instrumentos de gestión, entre los cuales resalta el Plan de Conservación y

Manejo de la reserva con un subprograma específico destinado al manejo del fuego. Aun así, el número de hectáreas quemadas cada año sigue en un promedio de 339 ha del 2006 al 2020 en la RBLT y su área de influencia, muy por encima de la meta de reducir a cero la superficie afectada. Se identifica como principal problemática la falta de presupuesto en los organismos gubernamentales involucrados, que permitiera un trabajo constante y una atención inmediata en todo el territorio, así como la ausencia de una vigilancia eficaz. La evaluación más detallada de las estrategias aplicadas se dificulta además debido a la falta de un registro completo y coherente de los eventos de incendios forestales en el área.

Agradecimientos

Agradecemos cordialmente a todas las personas que apoyaron este trabajo, sobre todo a quienes nos brindaron información valiosa mediante entrevistas o el envío de datos. De manera particular les damos las gracias a los integrantes de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Dirección General de Operación Regional y Dirección de la Reserva de la Biosfera de Los Tuxtlas, la Secretaría de Protección Civil del Estado de Veracruz y las direcciones municipales de Protección Civil de la región.

Contribución de autorías

El presente trabajo se desarrolló de manera conjunta por ambos autores. Christoph Neger fue el principal responsable del trabajo de campo y de la redacción de la Introducción, los subcapítulos 3.1 y 3.2 y la Discusión. Lilia de Lourdes Manzo-Delgado fue la principal responsable del análisis de los datos oficiales y las imágenes de satélite y de la redacción del subcapítulo 3.3.

Financiación

El financiamiento de este estudio fue proporcionado por el proyecto PAPIIT-IA300521 de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la Universidad Nacional Autónoma de México (DGAPA-UNAM).

Conflicto de intereses

Los/as autores/as de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

Bibliografía

- Banco Mundial. (2019). *Indonesia Economic Quarterly: Investing in People. December 2019*. Recuperado de/Retrieved from <http://documents1.worldbank.org/curated/en/622281575920970133/pdf/Indonesia-Economic-Quarterly-Investing-in-People.pdf>
- Bodin, Ö., & Nohrstedt, D. (2016). Formation and performance of collaborative disaster management networks: evidence from a Swedish Wildfire Response. *Global Environmental Change*, 41, 183–194. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2016.10.004
- Brandon, K. (2014). *Ecosystem Services from Tropical Forests: Review of Current Science. CGD Working Paper 380*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.cgdev.org/publication/ecosystem-services-tropical-forests-review-current-science-working-paper-380>
- Carmenta, R., Blackburn, G.A., Davies, G., de Sassi, C., Lima, A., Parry, L., et al. (2016). Does the Establishment of Sustainable Use Reserves Affect Fire Management in the Humid Tropics? *PLoS ONE* 11 (2), e0149292. doi: 10.1371/journal.pone.0149292
- Carreón-Arroyo, G., Gómez, A., Chávez, C., Austria, Y., Corzo, M., & Sepúlveda, C. (2006). *Percepción social del manejo y prevención de incendios forestales, en seis comunidades de la Selva Lacandona, Chiapas, México*. Recuperado de/Retrieved from http://www.parkswatch.org/spec_reports/incendios_spa.pdf
- Castillo-Campos, G., & Laborde, J. (2004). La Vegetación. En S. Guevara, J. Laborde, J. & G. Sánchez-Ríos (Eds.), *Los Tuxtlas: el paisaje de la Sierra* (pp. 231-265). Xalapa, México: Instituto de Ecología.

- Challenger, A., & Soberón, J. (2008). Los ecosistemas terrestres. En CONABIO (Ed.), *Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad* (pp. 87-108). Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad.
- CENAPRED (2008). *Incendios Forestales*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/112858/159-FASCCULOINCENDIOSFORESTALES.PDF>
- CONAFOR (2019). *Programa de Manejo del Fuego 2019*. Recuperado de/Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/464834/PROGRAMA_DE_MANEJO_DEL_FUEGO_2019.pdf
- CONAFOR (2020). *Apoyos CONAFOR*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.gob.mx/conafor/acciones-y-programas/apoyos-conafor>
- CONANP (2011). *Estrategia y Lineamientos de Manejo de Fuego en Áreas Naturales Protegidas*. Ciudad de México: CONANP. Recuperado de/Retrieved from https://www.camafu.org.mx/wp-content/uploads/2017/12/estrategia_de_manejo_del_fuego_ANP.pdf
- CONANP (2006). *Programa de Conservación y Manejo: Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas*. Ciudad de México: CONANP. Recuperado de/Retrieved from https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/138_libro_pm.pdf
- CONANP (2020). *Información Espacial*. Recuperado de/Retrieved from http://sig.conanp.gob.mx/website/pag-sig/info_shape.htm
- Crespo, J.M., & Peyroti, G.F. (2016). Las áreas naturales protegidas de Córdoba (Argentina): desarrollo normativo y ausencia de gestión territorial. *Cuadernos Geográficos*, 55 (1), 33-58.
- Csiszar, I., Schroeder, W., Giglio, L., Ellicott, E., Vadrevu, K.P., Justice, C O., & Wind, B. (2014). Active fires from the Suomi NPP Visible Infrared Imaging Radiometer Suite: Product status and first evaluation results. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119, 803–816. doi: 10.1002/2013JD020453
- De Santis, A., & Vaughan, P. (2009). Revisión de las técnicas de identificación cartográfica de áreas quemadas. *Recursos rurales: revista oficial do Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural (IBADER)*, (5), 93-100.
- Diario de Xalapa (27 de agosto de 2019). *Desde hace 38 años no se había registrado sequía tan severa en Veracruz*. Recuperado de/Retrieved August 27th, 2019, from diariodexalapa.com.mx/local/desde-hace-38-anos-no-se-habia-registrado-sequia-tan-severa-en-veracruz-4094903.html
- Dirzo, R., & García, M.C. (1992). Rates of deforestation in Los Tuxtlas, a neotropical area in Southeast Mexico. *Conservation Biology*, 6 (1), 84-90. doi: 10.1046/j.1523-1739.1992.610084.x
- DOF (1998). *DECRETO por el que se declara área natural protegida, con el carácter de reserva de la biosfera, la región denominada Los Tuxtlas, ubicada en los municipios de Angel R. Cabada, Catemaco, Mecayapan, Pajapan, San Andrés Tuxtla, Santiago Tuxtla, Soteapan y Tatahuicapan de Juárez, en el Estado de Veracruz, con una superficie total de 155,122-46-90 hectáreas*. Recuperado de/Retrieved from http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4900167&fecha=23/11/1998
- DOF (2009). *NORMA Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007, Que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario*. Recuperado de/Retrieved from https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135256/42.-_NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-015-SEMARNAT-SAGARPA-2007.pdf
- DOF (2018a). *Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable*. Recuperado de/Retrieved from http://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/juridico/leyes/LG_DE_DESARROLLO_FORESTAL_SUSTENTABLE.pdf
- DOF (2018b). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. Recuperado de/Retrieved from http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf
- DOF (2019). *ACUERDO por el que se establecen las Reglas de Operación del Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible (PROCOCODES)*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.conanp.gob.mx/procodes2020/ReglasOperacionPROCOCODES2020.pdf>
- DOF (2020). *REGLAS de Operación del Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable 2020*. Recuperado de/Retrieved from <http://www.dof.gob.mx/2020/CONAFOR/ROPADFS2020.pdf>
- Dunn, K. (2010). Interviewing. En I. Haz (Ed.), *Qualitative Research Methods in Human Geography, tercera edición* (pp. 101-138). Ontario, Canadá: Oxford University Press.
- Evers, C.R. (2020). *Tending the Fire: Wildfire Risk Management at the Interface* (Tesis de doctorado). Portland State University, Portland.
- FAO (2020). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020: Principales resultados*. Roma, Italia: FAO. doi: 10.4060/ca8753es

- Ferraro, P.J., & Pattanayak, S.K. (2006). Money for nothing? A call for empirical evaluation of biodiversity conservation investments. *PLoS Biol*, 4(4), e105. doi: 10.1371/journal.pbio.0040105
- Ferraro, P.J., & Pressey, R.L. (2015). Measuring the difference made by conservation initiatives: protected areas and their environmental and social impacts. *Philosophical Transactions B*, 370, 20140270. doi: 10.1098/rstb.2014.0270
- Giglio, L., Descloitres, J., Justice, C.O., & Kaufman, Y.J. (2003). An enhanced contextual fire detection algorithm for MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 87, 273-282. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00184-6
- Gobierno del Estado de Veracruz (2020). *Plan de Incendios Forestales*. Recuperado de/Retrieved from <http://www.veracruz.gob.mx/proteccioncivil/publicaciones/plan-de-incendios-forestales/>
- Górriz-Mifsud, E., Burns, M., & Govigli, V.M. (2019). Civil society engaged in wildfires: Mediterranean forest fire volunteer groupings. *Forest Policy and Economics*, 102, 119-129. doi: 10.1016/j.forpol.2019.03.007
- Guevara, S., Laborde, J., & Sánchez-Ríos, G. (Eds.) (2004). *Los Tuxtlas: el paisaje de la Sierra*. Xalapa, México: Instituto de Ecología.
- Guevara-Hernández, F., Gómez-Castro, H., Medina-Sansón, L., Rodríguez-Larramendi, L.A., Mendoza-Nazar, P., McCune, N.M., ... Pinto-Ruiz, R. (2013). Traditional fire use, governance and social dynamics in a Biosphere Reserve of Chiapas, Mexico. *Pensee Journal*, 75 (11), 110-125.
- Gutiérrez, A., García, L.E., Parra, M., & Rosset, P. (2017). De la supresión al manejo del fuego en la Reserva de la Biosfera La Sepultura, Chiapas: perspectivas campesinas. *Región y Sociedad*, 70, 31-71.
- Hirschberger (2016). *Forests ablaze: Causes and effects of global forest fires*. Recuperado de/Retrieved from <https://mobil.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Study-Forests-Ablaze.pdf>
- INEGI (2013). *Principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/?ps=microdatos>
- INEGI (2016). *Encuesta Intercensal 2015*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.inegi.org.mx/programas/intercensal/2015/>
- IUFRO (2018). *Global Fire Challenges in a Warming World*. Viena, Austria: International Union of Forest Research Organizations.
- Key, C.H., & Benson, N.C. (2006). *Landscape assessment (LA). FIREMON: Fire effects monitoring and inventory system*. Fort Collins, EEUU: US Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Kull, C.A. (2002). Empowering pyromaniacs in Madagascar: ideology and legitimacy in community-based natural resource management. *Development and Change*, 33, 57-78.
- Kull, C.A. (2004). *Isle of Fire: the Political Ecology of Landscape Burning in Madagascar*. Chicago, EEUU: University of Chicago Press.
- Langill, S. (2000). *Indigenous knowledge and wildfires in the Sierra de Santa Marta, Mexico* (Tesis de maestría). Carleton University, Ottawa.
- López-Vallejo, M. (2013). La agenda ambiental mexicana ante la Gobernanza global y regional. *Revista de El Colegio de San Luis*, 4(7), 102-130.
- Madrid, L. (2020). *El desmantelamiento institucional del sector ambiental: un balazo en el pie*. Ciudad de México: Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible.
- Manzo-Delgado, L.L., & López-García, J. (2020). Análisis espacial y temporal de áreas quemadas en 1998, 2003 y 2015 en la Reserva de la Biosfera Montes Azules, Chiapas, México. *Bosque*, 41 (1), 11-24. doi: 10.4067/S0717-92002020000100011
- Markuse, P. (2017). *Visualizing (Wild) Fires in Sentinel-2 Imagery Through EO Browser Using the Sentinel Hub EO Browser to Quickly Create Images of Wildfires*. Recuperado de/Retrieved from <https://pierre-markuse.net/category/science/remote-sensing/>
- Martínez-Torres, H.L., & Pérez-Salicrup, D.R. (2018). El papel del campesinado ante la regulación de los incendios forestales en México: Consecuencias inesperadas. *Perspectivas Rurales Nueva Época*, 16(31), 51-89. doi: 10.15359/prne.16-31.5
- Martínez-Torres, H.L., Pérez-Salicrup, D.R., Castillo, A., & Ramírez, M.I. (2018). Fire Management in a Natural Protected Area: What Do Key Local Actors Say? *Human Ecology*, 46, 515-528. doi: 10.1007/s10745-018-0013-z
- Mathews, A.S. (2005). Power/Knowledge, Power/Ignorance: Forest Fires and the State in Mexico. *Human Ecology*, 33(6), 795-820. doi: 10.1007/s10745-005-8211-x
- Mouillot F., Schultz, M.G., Yue, C., Cadule, P., Tansey, K., Ciais, P., & Chuvieco, E. (2014). Ten years of global burned area products from spaceborne remote sensing-a review: Analysis of user needs and recommendations

- for future developments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 64-79. doi: 10.1016/j.jag.2013.05.014
- Monzón, C. (2018). El manejo del fuego en Calakmul, Campeche: incendios forestales, gobernanza y variabilidad local de la precipitación. *CIENCIA ergo-sum*, 25 (3), e23. doi: 10.30878/ces.v25n3a1
 - Monzón-Alvarado, C., Waylen, P., & Keys, E. (2014). Fire management and climate variability: Challenges in designing environmental regulations. *Land Use Policy*, 39, 12-21.
 - Monzón-Alvarado, C.M., & Keys, E. (2017). Synergistic vulnerabilities: climate variability and fire management policy increase farming challenges in southeastern Mexico. *Regional Environmental Change*, 17, 489-500. doi: 10.1007/s10113-016-1035-y
 - Ngadze F, Mpakairi, K.S., Kavhu, B., Ndaimani, H., & Maremba, M.S. (2020). Exploring the utility of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in burned area mapping for a heterogenous savannah landscape. *PLoS ONE*, 15(5), e0232962. doi: 10.1371/journal.pone.0232962
 - NASA (2020). *Fire Information for Resource Management System (FIRMS)*. Recuperado de <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data/near-real-time/firms>
 - Neary, D.G., & Leonard, J.M. (2019). Physical Vulnerabilities from Wildfires: Flames, Floods, and Debris Flows. En E.R. Rhodes & H. Naser (Eds.), *Natural Resources Management and Biological Sciences*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.87203
 - Nelson, A., & Chomitz, K.M. (2011). Effectiveness of Strict vs. Multiple Use Protected Areas in Reducing Tropical Forest Fires: A Global Analysis Using Matching Methods. *PLoS ONE*, 6 (8), e22722. doi: 10.1371/journal.pone.0022722
 - Ngadze F, Mpakairi, K.S., Kavhu, B., Ndaimani, H. & Maremba, M.S. (2020). Exploring the utility of Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI in burned area mapping for a heterogenous savannah landscape. *PLoS ONE*, 15 (5), e0232962. doi: 10.1371/journal.pone.0232962
 - OMS (2019). *Acción sanitaria en las crisis humanitarias: incendios forestales*. Recuperado de/Retrieved from https://www.who.int/hac/techguidance/ems/vegetation_fires/es/
 - Paré, L., & T. Fuentes (2007). *Gobernanza Ambiental y políticas públicas en áreas naturales protegidas. Lecciones desde Los Tuxtlas*. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
 - Proyecto Sierra de Santa Marta-PSSM (2011). *Actualización de la tasa de cambio del uso del suelo en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas, informe final*. Recuperado de/Retrieved from https://simec.conanp.gob.mx/pdf_evaluacion/tuxtlas.pdf
 - Registro Agrario Nacional (2019). *Catastro Rural*. Recuperado de/Retrieved from <https://datos.gob.mx/busca/organization/ran>
 - Rodríguez, D.A. (2014). *Incendios de Vegetación. Su Ecología, Manejo e Historia. Volumen 1*. Texcoco, México: Colegio de Postgraduados.
 - Rodríguez-Trejo, D.A., Tchikoué, H., Cíntera-González, C., Contreras-Aguado, R., & de la Rosa-Vázquez, A. (2011). Modelaje del Peligro de Incendio Forestal en las Zonas Afectadas por el Huracán Dean. *Agrociencia*, 45 (5), 593-608.
 - Rodríguez-Trejo, D.A., Pulido-Luna, J.A., Martínez-Muñoz, P., Martínez-Lara, P.J., & Monjarás-Vega, N.A. (2018). Análisis comparativo de quemas prescritas aplicadas a encinares tropicales. *Agrociencia*, 52 (6), 784-801.
 - Román-Cuesta, R.M., & Martínez-Vilalta, J. (2006). Effectiveness of Protected Areas in Mitigating Fire within Their Boundaries: Case Study of Chiapas, Mexico. *Conservation Biology*, 20 (4), 1074-1086.
 - Roteta, E., Bastarrika, A., Padilla, M., Storm, T., & Chuvieco, E. (2019). Development of a Sentinel-2 Burned Area Algorithm: Generation of a Small Fire Database for Sub-Saharan Africa. *Remote Sensing of Environment*, 222, 1-17. doi: 10.1016/j.rse.2018.12.011
 - San Andrés Tuxtla (2018). *Plan Municipal de Desarrollo 2018-2021*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.sanandrestuxtla.gob.mx/>
 - Schroeder, W., Oliva, P., Giglio, L., & Csiszar, I. (2014). The New VIIRS 375 m Active Fire Detection Data Product: Algorithm Description and Initial Assessment. *Remote Sensing of Environment*, 143, 85-96. doi: 10.1016/j.rse.2013.12.008
 - Secretaría de Salud (2020). *Sana Distancia COVID-19*. Recuperado de/Retrieved from <https://www.gob.mx/salud/documentos/sana-distancia>
 - SEDEMA (2020). *Leyes*. Recuperado de/Retrieved from <http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/leyes/>

- SEMARNAT (2020). *Recursos forestales*. Recuperado de/Retrieved from http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/01_ambiental/forestales.html
- Siemens, A.H. (2009). *Una manera de ver Los Tuxtlas: paisaje de Mesoamérica*. Ciudad de México, México: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Silver, C., & Lewins, A. (2014). *Using software in qualitative research: a step-by-step guide, segunda edición*. Londres, Reino Unido: Sage.
- Sinergise Laboratory (2020). *Sentinelhub Playground*. Recuperado de/Retrieved from <https://apps.sentinel-hub.com/sentinel-playground/>
- SPC (2020). *Programa Especial de Protección Contra Incendios Forestales y Manejo del Fuego: "Temporada de Incendios Forestales" 2020*. Xalapa, México: Secretaría de Protección Civil, Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave.
- Spies, T.A., Scheller, R.M., & Bolte, J.P. (2018). Adaptation in fire-prone landscapes: interactions of policies, management, wildfire, and social networks in Oregon, USA. *Ecology and Society*, 23 (2), 11. doi: 10.5751/ES-10079-230211
- Swamy, L., Drazen, E., Johnson, R.W., & Bukoski, J.J. (2017). The future of tropical forests under the United Nations Sustainable Development Goals. *Journal of Sustainable Forestry*, 37 (2), 221-256. doi: 10.1080/10549811.2017.1416477
- Thompson, D.K., & Morrison, K. (2020). A classification scheme to determine wildfires from the satellite record in the cool grasslands of southern Canada: considerations for fire occurrence modelling and warning criteria. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20, 3439-3454. doi: 10.5194/nhess-20-3439-2020
- Villaseñor, J.L., Ortiz, E., & Campos-Villanueva, A. (2018). High Richness of Vascular Plants in the Tropical Los Tuxtlas Region, Mexico. *Tropical Conservation Science*, 11, 1-12. doi: 10.1177/1940082918764259
- Van Thaden, J.J., Laborde, J., Guevara, S., & Venegas-Barrera, C.S. (2018). Forest cover change in the Los Tuxtlas Biosphere Reserve and its future: The contribution of the 1998 protected natural area decree. *Land Use Policy*, 72, 443-450. doi: 10.1016/j.landusepol.2017.12.040
- Weller, S.C., Vickers, B., Bernard, H.R., Blackburn A.M., Borgatti, S., Gravlee, C.C., & Johnson, J.J. (2018). Open-ended interview questions and saturation. *PLoS ONE*, 13 (6), e0198606. doi: 10.1371/journal.pone.0198606
- Withey, K., Berenguer, E., Palmeira, A.F., Espíritu-Santo, F., Lennox, G.D., Silva, C.V.J., ... Barlow, J. (2018). Quantifying immediate carbon emissions from El Niño-mediated wildfires in humid tropical forests. *Philosophical Transactions B*, 373, 20170312. doi: 10.1098/rstb.2017.0312

Anexo 1: Datos oficiales acerca de los incendios forestales en Los Tuxtlas

Las tres principales fuentes de datos oficiales acerca de los incendios forestales en Los Tuxtlas provienen de la CONAFOR, la CONANP y del Atlas de Riesgos del Estado de Veracruz. La Tabla 3 representa las características principales de estos datos. El Atlas de Riesgos está abierto al público a través de un portal en internet (SSPC et al., 2020), mientras que los demás datos fueron solicitados directamente con las instancias gubernamentales. Estas son las únicas fuentes disponibles de datos oficiales con un alcance temporal y espacial relevante, ya que ninguno de los ejidos examinados tenía un registro y en los municipios, los registros eran inexistentes o solo cubrían el tiempo de la administración actual (los gobiernos municipales activos durante el trabajo de campo habían iniciado su mandato en 2018). Los datos del Atlas de Riesgos coinciden en parte con los datos de la CONAFOR, aunque también hay diferencias notables, lo cual se ve simplemente con la diferencia del número de registros expuesta en la tabla.

En cuanto a las tres fuentes mencionadas, para la evaluación del desarrollo de la incidencia de incendios, se eligió trabajar principalmente con los datos proporcionados por la CONANP, a través de su Sistema de Respuesta con Calidad, y en el caso de los datos más recientes, directamente por la dirección de la RBLT. Esta decisión se tomó por las siguientes razones:

- El alcance temporal más amplio, con los datos más antiguos (2003) y más recientes (2020); los otros dos registros, al contrario, inician en el 2005 y van, en el caso de los datos de la CONAFOR hasta el 2019, mientras que los datos públicamente accesibles en el portal del Atlas de Riesgos del Estado solo van hasta el 2017 (se intentó en repetidas ocasiones y por diferentes vías averiguar si había datos más recientes del Gobierno Estatal, no obstante, no hubo respuesta a las solicitudes).
- La continuidad de los datos: ninguno de los registros está completo, como se ve en los pocos registros para el norte de Los Tuxtlas (en 2019, por ejemplo, las personas entrevistadas reportaron una incidencia importante en esta zona, pero la CONANP solo registró un incendio, y las demás fuentes ninguno); aun así, el registro de la CONANP es todavía más completo que los otros dos, que presentan huecos importantes, con muy pocos registros en años en los que la CONANP registró un número importante. En el 2005, por ejemplo, cuando de acuerdo a Velasco (2009, citado en PSSM, 2011) ocurrió una importante deforestación por incendios forestales, en el Atlas de Riesgos y los datos de la CONAFOR sólo reportan cuatro incendios; además, se tiene que tomar en cuenta que la gran mayoría de los datos de la CONANP se registran en la temporada que laboran sus brigadas (generalmente de marzo a junio), así que podría haber una falta importante de registros fuera de esta temporada.
- La coherencia de los datos; los registros de la CONANP han ido aumentando en su grado de detalle, agregando datos adicionales con el transcurso de los años. A pesar de estos cambios se consideran coherentes porque las categorías iniciales se han mantenido. En los datos del registro de la CONAFOR se han realizado varios cambios en las categorías (causas, vegetación afectada, severidad e impacto), lo cual limita la comparabilidad de los datos de diferentes años.

Tabla 3. Fuentes de datos sobre incendios forestales en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas

INDICADOR	REGISTRO UMAFOR LOS TUXTLAS (CONAFOR)	REGISTRO RBLT (CONANP)	ATLAS DE RIESGOS DEL ESTADO DE VERACRUZ
Acceso	Consulta	Consulta	Público
Alcance espacial	Unidad de Manejo Forestal Los Tuxtlas (área más amplia que la RBLT)	RBLT incluyendo la zona de influencia alrededor del ANP	Todo el estado de Veracruz
Relación de registros norte y sur de Los Tuxtlas	259 registros zona sur, 12 zona norte	512 registros zona sur, 34 zona norte (2009-2020)	105 registros zona sur, 5 zona norte
Alcance temporal en general	2005-2019	2003-2020 (2003 a 2008 solo no. de hectáreas en total)	2005-2017 (más 2 registros de 2019)
Polígonos	-	2015-2019 (para 112 incendios de mayor tamaño)	-
Gravedad del impacto	-	2009-2020	2005-2017
Ecosistema	2005-2019 (categorías cambiantes)	2016-2020	2005-2012 poco detallado, 2013-2017 más exacto
Estrato de vegetación afectado	2005-2019	2016-2020	2013-2017
Causa	2005-2019 (categorías cambiantes)	2016-2020	2005-2017
Posición en el ANP	Registros erróneos	2009-2020	Registros vacíos o erróneos
Comentarios	Aparentemente incompleto, abundancia de incongruencias		Aparentemente incompleto

Notas: La zona norte se refiere a los municipios Ángel R. Cabada, Santiago Tuxtla, San Andrés Tuxtla y Catemaco, mientras que la zona sur se conforma de los municipios Sotepan, Mecayapan, Tatahuicapan de Juárez y Pajapan. Fuente: Elaboración propia.

- El aspecto más importante para la selección fue la exactitud de la información proporcionada. En este contexto, existe una problemática importante con respecto a los datos de la CONAFOR y, en menor medida, las del Atlas de Riesgos. Un primer elemento que sale a la vista es que los dos registros contienen la categoría ANP, pero en una gran parte de los casos, ignoran la existencia de la RBLT. Al revisar más detalladamente los datos, se encuentran otras fallas, como la inclusión de incendios de otras partes del estado en la lista de Los Tuxtlas de la CONAFOR o la categoría de ecosistema 'pastizal natural' en siete registros de la CONAFOR, un tipo de vegetación que no existe en Los Tuxtlas (Castillo-Campos y Laborde, 2004; INEGI, 2016). La falta de exactitud también se observa en la localización y el registro de los incendios (por ejemplo, variaciones considerables en el número de hectáreas registradas para un incendio en el mismo lugar y fecha en dos fuentes diferentes), por lo que se considera inviable sintetizar la información de las tres fuentes en una sola base de datos.