



Universidad Autónoma de Baja California
Facultad de Ciencias

Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas

Evaluación de las Estrategias de Manejo de Fuego en el
Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, Baja California
México

Tesis

Que para obtener el grado de Maestra en Ciencias
Presenta

Aurora Torres Valle

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE ECOSISTEMAS DE ZONAS ÁRIDAS

EVALUACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE MANEJO DE FUEGO EN EL
PARQUE NACIONAL SIERRA DE SAN PEDRO MÁRTIR, BAJA CALIFORNIA
MEXICO

TESIS

Para obtener el grado de

MAESTRA EN CIENCIAS

Presenta

Aurora Torres Valle


Aprobado por:



Dr. Gonzalo De León Girón
Director



Dr. Hiram Rivera Huerta
Sinodal de tesis



Dra. María Cristina Garza Lagler
Sinodal de tesis


MSC. Christopher Ives

MSC. Christopher Ives
Sinodal de tesis

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis y a la Dra. Cristina que siempre me apoyaron durante el proceso, a mis amigas que me acompañaron, también a los voluntarios del USFS que me brindaron su asesoría y conocimiento en manejo de fuego para entender con mayor profundidad algunos temas.

A CONACYT por haberme becado para poder estudiar el posgrado.

A mis jefes del trabajo por apoyarme para poder terminar la tesis.

A mis padres por todo su apoyo siempre.

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mi nana Aida que me acompañó en el proceso del fuego y siempre creyó en mí.

A mi Baham que si no fuera por su compañía y cariño no seguiría aquí.

RESUMEN

El fuego es un elemento que tiene efectos positivos sobre la salud de los ecosistemas que dependen de él, generando adaptaciones evolutivas que les permite a las especies vegetales aprovechar los efectos de los incendios (Myers, 2006). En el Noroeste de Baja California el fuego juega un rol importante en la composición, la estructura y la función de la vegetación, sin embargo, si el régimen de fuego se altera o suprime, se promueve la presencia de incendios forestales complicados de manejar (PMIF, 2108). Por lo anterior es importante el desarrollo de estrategias que prioricen acciones enfocadas en el Manejo Integral del Fuego. Derivado de estas necesidades en 2018 se desarrolló el Programa de Manejo Integral del Fuego, para reducir la vulnerabilidad y conservar los bosques. Por lo tanto el presente estudio se enfoca en evaluar las estrategias de Manejo integral del Fuego que se han llevado a cabo en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir (PNSSPM), a través de la evaluación de la eficiencia de las estrategias de manejo tomadas durante el combate de incendios de la temporada 2018 a 2022, así como la distribución de estrategias de prevención, lo cual a través del mapeo de la distribución de cargas totales de combustibles y las actividades que se realizan dentro del PNSSPM, se obtuvo una metodología para la implementación de una herramienta para evaluar el riesgo de incendio que presentan para aportar a la toma de decisiones para el manejo del fuego y así lograra acciones más eficientes, desde el momento que se detecta un incendio hasta el trabajo en campo.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIA.....	III
RESUMEN.....	IV
ÍNDICE.....	V
Índice de tablas.....	VI
Índice de figuras.....	VII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
I. 2 Antecedentes.....	3
I.3 Problemática.....	11
I.4 Justificación.....	11
I.5 Objetivos.....	13
I.6 Área de estudio.....	14
CAPÍTULO II. OBJETIVO PARTICULAR I.....	19
2.1 Introducción.....	19
2.2 Metodología.....	20
2.3 Resultados.....	24
2.4 Reflexiones finales del objetivo particular II.....	33
CAPÍTULO III OBJETIVO PARTICULAR II.....	34
3.1 Introducción.....	34
3.2 Metodología.....	37
3.3 Resultados.....	43
3.4 Reflexiones finales del objetivo particular II.....	49
CAPITULO IV. OBJETIVO PARTICULAR III.....	51
IV.1 Introducción.....	51
IV.2 Metodología.....	52
IV.4 Reflexiones finales del objetivo particular III.....	64
V. DISCUSIÓN.....	65
VI. CONCLUSIÓN.....	66
BIBLIOGRAFÍA.....	68
ANEXOS.....	75
Anexo 1. Tablas Capitulo II.....	76

Anexo 2. Cuestionarios de entrevistas con personal del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir.....	81
Anexo 3. Tablas del Capítulo IV	82
Anexo 4. Propuestas de manejo.....	85
GLOSARIO DE TERMINOS	89
GLOSARIO DE ACRÓNIMOS.....	91

Índice de tablas

Tabla 1 Número de incendios y superficie afectada durante el periodo de este estudio (2018-2022). Elaboración propia.	9
Tabla 2 Clasificación de las variables ambientales y económicas involucradas en los incendios forestales.....	21
<i>Tabla 3 Clasificación sistemática de variables ambientales y de ecología del fuego involucradas en los incendios forestales</i>	<i>21</i>
Tabla 4 Tipos y cantidades de combustibles (Ton/ha) para el PNSSPM.....	25
<i>Tabla 5 Variables ambientales de cada uno de los incendios evaluados.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 6 Promedios de temperatura, Humedad relativa y velocidad del viento, de los incendios de interés para esta investigación</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 7 Abstracción de las variables operativas para este estudio por concepto .</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 8 Actores clave entrevistados.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 9 Componentes de la revisión de casos de la Fase 2</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 10 Costo por hectárea en los incendios de Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 11 Recursos implicados y estimación de costos en el manejo del incendio de Santa Rosa en el PNSSPM</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 12 Recursos implicados y estimación de costos en el manejo del incendio de Botella Azul en el PNSSPM.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 13 Recursos implicados y estimación de costos en el manejo del incendio de Bajío del Toro en el PNSSPM.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 14 Fechas utilizadas para el índice de Quema Normalizado (NBR).....</i>	<i>54</i>

<i>Tabla 15 Categoría de peligro resultante de la herramienta de ponderación</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 16 Herramienta de ponderación de las variables involucradas en el incendio</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 17 Ponderación final de los incendios de Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro PNSSPM</i>	<i>60</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1 Número de incendios y superficie afectada en Baja California (2018-2022)</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2 Diagrama de flujo de la metodología del objetivo particular II.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3 Mapa de localización de los incendios de interés dentro del PNSSPM....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4 Mapa del polígono de la superficie del incendio Santa Rosa.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 5 Mapa del polígono de la superficie del incendio Botella Azul.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6 Mapa del polígono de la superficie del incendio Bajío del Toro.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 7 Superficie afectada en los incendios del estudio.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 8 Mapa de riesgo por cargas totales de combustibles (ton/ha) para los incendios evaluados para este estudio en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir</i>	<i>61</i>
<i>Figura 9 Mapa de riesgo por cargas totales de combustibles (ton/ha) para el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir.....</i>	<i>63</i>

I. INTRODUCCIÓN

El fuego ha estado presente de manera natural en los ecosistemas, el cual tiene efectos positivos sobre la salud de los ecosistemas que dependen de él, generando adaptaciones evolutivas que les permite a las especies vegetales sobrevivir y aprovechar los efectos de los incendios (Myers, 2006). Algunas de estas adaptaciones pueden presentarse como lo son: las cortezas gruesas, conos seróticos y rápido desarrollo (Nájera-Díaz, 2013).

El reconocimiento del rol ecológico del fuego y su influencia en diferentes biomas ha permitido clasificar en cuatro categorías de acuerdo con su respuesta al fuego, siendo las siguientes: independientes, influidos, sensibles y dependientes del fuego (Myers, 2006). En el caso de los ecosistemas cuentan con un clima tipo mediterráneo, el cual solamente cubre el 2% de la superficie de la tierra y que albergan el 165 de las especies que se han adaptado a estos procesos (Pausas y Keeley, 2009).

Estas especies vegetales están bien adaptadas al fuego y se regeneran fácilmente después de un evento ya sea a través de brotes en la base o por semillas almacenadas en el suelo, ya que la germinación se estimula a través de las reacciones químicas que se generan por el humo, el calor y la madera carbonizada (Keeley, *et.al.*, 2012 y PEMF, 2023).

Un elemento ecológico que se debe considerar para la adaptación de este tipo de vegetación es la frecuencia con la que se presentan los incendios forestales, el cual es un registro histórico o régimen de fuego, que es el conjunto de condiciones recurrentes para que inicie un incendio en un ecosistema determinado, por ejemplo; tomando en cuenta el número de eventos por unidad de tiempo arroja un promedio o frecuencia prolongado, con promedios de 50 años entre sí, particularmente en lo que se refiere a casos de bosques mixtos de coníferas y chaparral (PMIF, 2018).

En caso del estado de Baja California, presenta características propias del clima mediterráneo y en su mayoría está conformado por pastizales, matorrales, chaparrales y bosques mixtos de coníferas (en las zonas más altas), los cuales son similares a los de California, E.U.A. (Minnich, 1987). Estos bosques de coníferas

tienen estructuras abiertas y cuentan con praderas inter montanas, donde sus densidades son de 50 a 150 árboles/hectárea, los cuales, al igual que el chaparral, presenta intervalos de frecuencia en promedio de 50 años entre cada incendio forestal y generalmente son superficiales a lo cual se le conoce como regímenes de fuego sanos (Minnich y Franco Vizcaino, 1997).

Por lo tanto, el fuego juega un rol importante en la composición, la estructura y la función de los bosques mixtos de coníferas y el chaparral que se encuentran en Baja California; esto se debe a que las condiciones meteorológicas predominantes de la región son las temperatura y porcentaje de humedad, lo que no favorecen la descomposición de la materia orgánica acumulada, pero por otro lado, si favorecen la acumulación de los combustibles forestales en el dosel, lo cual resulta en una alta probabilidad de que se presenten incendios forestales (PEMF, 2021). Sin embargo, a partir de los incendios forestales esta se descompone e incorpora al sustrato. Si el régimen de fuego se altera o suprime, se promueve la presencia de incendios forestales complicados de manejar (PMIF,2108).

Derivado de lo anterior, se han desarrollo estrategias para identificar y priorizar las acciones de la prevención y combate de los incendios forestales a través del Manejo Integral del Fuego (MIF), el cual se enfoca haciendo frente a los problemas y a las preocupaciones causadas por los incendios tanto dañinos como benéficos, dentro del contexto de los ambientes naturales y de los sistemas socioeconómicos en los que suceden, mediante la evaluación y el balance de los riesgos relativos planteados por el fuego sobre los roles ecológicos (benéficos o necesarios), la economía y las características del sitio, por ejemplo, las áreas de conservación o áreas forestales prioritarias.

El Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir es un Área Natural Protegida (ANP) que se encuentra dominada principalmente por ecosistema de chaparral, bosque mixto de coníferas y algunos pastizales (Ruíz-Campos, 2017).

Derivado de las características y las necesidades de esta ANP, en 2018 se desarrolló el Programa de Manejo Integral del Fuego de la Región Mediterránea en las Áreas Naturales Protegidas Parque Nacional Constitución de 1857 y Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, el cual tiene la finalidad de ser una medida de

adaptación y reducir la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático, a través de la conservación de los bosques y sus servicios, para lo que es necesario un manejo de fuego que lo garantice y que no ponga en peligro a sus usuarios (PMIF, 2018).

Por lo tanto, el presente estudio evaluará las estrategias de manejo de fuego que se han llevado a cabo en el PNSSPM durante el periodo de 2018 a 2022 una vez establecido el Programa de Manejo Integral del Fuego.

I. 2 Antecedentes

I. 2.1 Manejo del fuego o incendios forestales. Situación mundial

La caracterización de la historia de fuego en este estudio es base para el entendimiento del comportamiento y papel del fuego en la dinámica de los ecosistemas (Jardel Peláez, 2014), así como para poder realizar acciones de gestión y de manejo del fuego, en cuestiones preventivas y de eficiencia de recursos. Comprender el régimen de fuego y como este influye en la dinámica de las especies a escala regional, que se han moldeado a través de su evolución y, estos también se ven influenciados de manera directa por los patrones climáticos y de la productividad primaria de la vegetación (Keeley, *et.al.*, 2012).

Recientemente a través del manejo de fuego, se han creado estrategias de soluciones sociales y ambientalmente aceptables a los problemas que la conservación de los ecosistemas plantea, sin embargo, estas no han sido del todo adecuadas ya que la comprensión de su dinámica y los regímenes de fuego no ha sido la más adecuada (TNC, 2006) y debido a ello, las estrategias de manejo que se han desarrollado de manera general, no son las más eficientes tanto para el ecosistema como para la gestión de recursos. De acuerdo con Ázqueta (2007) la eficiencia se logrará al cumplir los objetivos planteados, presentando el menor desgaste de recursos y teniendo un costo reducido, ya sea por el lado de los recursos materiales, económicos o de personal que se utilicen para el manejo de

los ecosistemas y siempre basándose en las necesidades de este, para así contar con estrategias adecuadas.

1.2.2 Situación bosques templados

El estado de Oregón (OR), California (CA) en Estados Unidos de América (EUA) y Baja California (BC) en México, comprenden la mayoría de la masa forestal de la zona mediterránea del Noroeste de Norte América, siendo OR y CA estados donde se han presentado incendios forestales y afectaciones más notorias en la última década y si bien, en BC no se han alcanzado situaciones de alerta como las que presentan en EUA, las cifras por incendios forestales y las afectaciones van en aumento.

De acuerdo con el reporte *2022 Wildfire Activity Statistics* de California Department of Forestry and Fire Protection (CalFIRE) durante este año se presentó un total de 7 477 incendios dañando 134,095.825 ha de superficie en el estado de California.

Para los trabajos de combate de algunos de los incendios que presentó California en 2022 se emplearon más de 2 mil bomberos y guardaparques, avionetas Air Tanker 162 y 17 helicópteros (CalFIRE, 2022), lo cual en gran medida se atribuye al incremento de la temperatura a nivel mundial (Fischer, 2022). Sin embargo, también se debe comprender un poco la historia de manejo de fuego en EUA: a principios del siglo pasado la política de supresión del fuego, lo consideraba como "El enemigo público número uno" y debía ser combatido de inmediato para evitar que causara daños a los ecosistemas y a los bienes, llegando a mediados de siglo donde entre las décadas de 1960 y 1970, se sugirieron nuevas políticas más controladas considerando el manejo del fuego para así restaurar los regímenes naturales de fuego, ya que al liquidar los incendios tan pronto comenzaban produjo una acumulación de combustibles forestales, lo que ha provocado los incendios graves y fuera de control que ahora presenta la región Oeste de los Estados Unidos de América (Palley, 2018).

Por otro lado, en el estado de Arizona (Az) EUA el 11 de junio de 2022 se presentó un incendio forestal denominado como *Contreras Fire*, el cual tuvo inicio por la caída de un rayo durante las tormentas de verano y, por el tipo de topografía y la disponibilidad de combustibles forestales se propagó a la cima de una cordillera donde se localiza el Observatorio Astronómico Kitt Peak (KPNO), quemando cuatro de sus edificios. Este incendio fue bastante complicado para su liquidación ya que, el sitio es de difícil acceso para los bomberos debido a su topografía escarpada, también afectaba la presencia del viento fuerte y cálido y la cantidad de vegetación presente en el sitio, se estima que este incendio afectó alrededor de 7625.491 ha (KPNO, 2022).

1.2.3 Cambio climático

Diversos estudios indican que en las últimas décadas hay una creciente tendencia de la superficie afectada principalmente en la zona Boreal de Norte América debido al aumento de las temperaturas derivadas del cambio climático, tendencia que se prevé aumente y se desplace hacia las latitudes septentrionales (De Groot, *et.al.* 2013).

Del mismo modo vemos evidencia del incremento en la severidad de los incendios forestales en diversas regiones del mundo (Pyne 2001, Bowman 2009) como lo es Australia, Francia, España, Chile, EUA, Canadá y México. Los regímenes de fuego son dinámicos y son estimulados por factores atmosféricos como el clima, la temperatura y humedad, etc. y estos varían de región a región en el mundo. Sin embargo, el cambio climático tendrá un impacto sobre ellos, por ejemplo, en los regímenes de fuego de los bosques boreales están cambiando de manera rápida y continua sin permitir la regeneración entre un incendio y otro, lo cual se puede ver como indicador temprano de los efectos que pueden sufrir otras regiones del mundo (DeGroot, *et.al.* 2013).

El Oeste de E.U.A. cada vez es más caluroso y seco con nueve días más en promedio de riesgo alto de presentar incendios forestales cada año y las temperaturas de verano durante la temporada de incendios también van en aumento, lo cual está presentando récords de días calientes en California, Oregón

y Washington (Westerling, *et.al.*, 2006). Por ejemplo, en Noviembre de 2017 el Servicio Meteorológico de Los Ángeles reportó que California había roto 14 récords de temperaturas elevadas las cuales no se mostraban desde 1877.

Por su parte, Abatzoglou y Williams (2016), estiman que el cambio climático causado por acción antrópica ha contribuido con aproximadamente 4,2 millones de hectáreas de incendios forestales entre 1984 y 2015, lo cual casi duplico el área afectada que se tenía prevista para este periodo, también señala la presencia de mayor aridez en las temporadas donde se presentan incendios forestales lo cual está fomentando entornos más favorables para la presencia de estos eventos en los sistemas boscosos.

1.2.4 Proyecto Resiliencia en Áreas Naturales en México

Entre 2018 y 2020 se llevó a cabo el Proyecto Resiliencia para el fortalecimiento de las Áreas Naturales Protegidas contra el cambio climático, a través del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) el cual se desarrolló en diversas ANP del país entre las cuales estuvo el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir (CONANP, 2019).

Durante este proyecto se realizaron acciones que tienen la finalidad de reducir los impactos negativos del cambio climático, a través de los programas de manejo de las ANP. Para el caso del PNSSPM se llevaron a cabo acciones de conservación de suelo y manejo de combustibles (CONANP, 2019).

A través de este proyecto se obtuvieron diversos instrumentos para ayudar en el manejo y la conservación del ANP, como la actualización del Programa de manejo donde se incluyeron estrategias para impulsar la investigación sobre los servicios que brinda la sierra, la conservación forestal y recursos hídricos, entre otros. Del mismo modo se creó el Programa de Manejo Integral del Fuego de la Región Mediterránea en las Áreas Naturales Protegidas: Parque Nacional Constitución de 1857 y Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, Baja California

y el Programa de Adaptación al Cambio Climático del Complejo de Parques Nacionales Sierra de San Pedro Mártir y Constitución de 1857.

1.2.5 Incendios forestales en México

En México los programas de manejo del fuego tuvieron sus inicios en 1970, a través de la Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), actualmente la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), la cual se fortaleció en 1980 con soporte técnico y capacitación en combate y prevención de incendios forestales con el Servicio forestal de los Estados Unidos (USFS), Canadá y España (Rodríguez-Trejo, *et.al.*, 2011).

Durante 1998, se registró una temporada de incendios en la que se contabilizaron 849,633 hectáreas (ha) afectadas, cifra que representó un incremento del 63% a comparación de las reportadas en 1997. Esto se debió a las condiciones climáticas críticas que se presentaron en ese año, siendo las más adversas de las 7 décadas anteriores a este año, produciendo graves sequias y temperaturas con valores históricos en el noroeste, centro y sur del país (FAO,1998). Con la finalidad de controlar estos incidentes, México movilizó una gran cantidad de recursos, por ejemplo, los bomberos que trabajaron durante esta temporada fue 86% mayor que la temporada anterior y los costos se cuadruplicaron al promedio anual anterior (FAO, 1998).

Lo ocurrido en ese año llevo a que se realizaran cambios a las estrategias y políticas de supresión total del fuego en el territorio mexicano. En agosto de ese año se llevó a cabo un Foro Regional en la Ciudad de México, donde estuvo presente EUA y diversos países de América Latina, y derivado de estese obtuvieron diversas propuestas las cuales fueron un parteaguas para estrategias de manejo basadas en capacitaciones, educación, el destinar recursos económicos para acciones de prevención así como un manejo que vaya de acuerdo con las necesidades y objetivos de conservación de cada área.

Debido a esto, el manejo del fuego en México ha podido encaminarse de un enfoque del fuego como amenaza para la vida humana y los bienes materiales,

hacia el Manejo Integral del Fuego (MIF). Para poder realizar estos cambios de visión se continuaron realizando reuniones y talleres para establecer las prioridades de trabajo, así como las líneas de investigación para ayudar disminuir la brecha de información, integrando el manejo basado en las necesidades de cada ecosistema (Rodríguez-Trejo *et.al.*, 2011).

1.2.6 Baja California

Para Baja California se ha reportado un aumento considerable en la ocurrencia de incendios forestales durante los últimos 20 años, donde 2005 presentó 374 incendios afectando 38 959 ha, 2009 tuvo 274 incendios afectando 71 855 h, 2012 con 230 incendios afectando 27 222 ha, 2017 con 193 incendios afectando 50 949 ha y 2019 tuvo 102 incendios afectando 38 518 ha, siendo 2009 y 2020 los años donde hubo mayor superficie afectada (PEMF, 2021). Tomando en cuenta los datos publicados en el Programa Estatal de Manejo de Fuego (PEMF) para el periodo de tiempo en el que esta investigación se basa (2018-2022), se puede observar lo siguiente para Baja California:

Para el año 2018 se presentaron 78 incendios forestales, afectando 17,999 ha de superficie; para el año 2019 fueron 102 incendios forestales que afectaron 38,518 ha de superficie; para 2020 son 141 incendios forestales los cuales afectaron 79,299 ha de superficie; para 2021 se presentaron 78 incendios forestales los cuales afectaron 19,290.14 ha de superficie; y para 2022 se presentaron 54 incendios forestales los cuales afectaron 7,095.42 ha de superficie en Baja California (Tabla 1).

Tabla 1 Número de incendios y superficie afectada durante el periodo de este estudio (2018-2022). Elaboración propia.

AÑO	No. DE INCENDIO	SUPERFICIE (ha)
2018	78	17 999
2019	102	38 518
2020	141	79 299
2021	78	19 290.14
2022	54	7 095.42
TOTAL	453	162 201,51

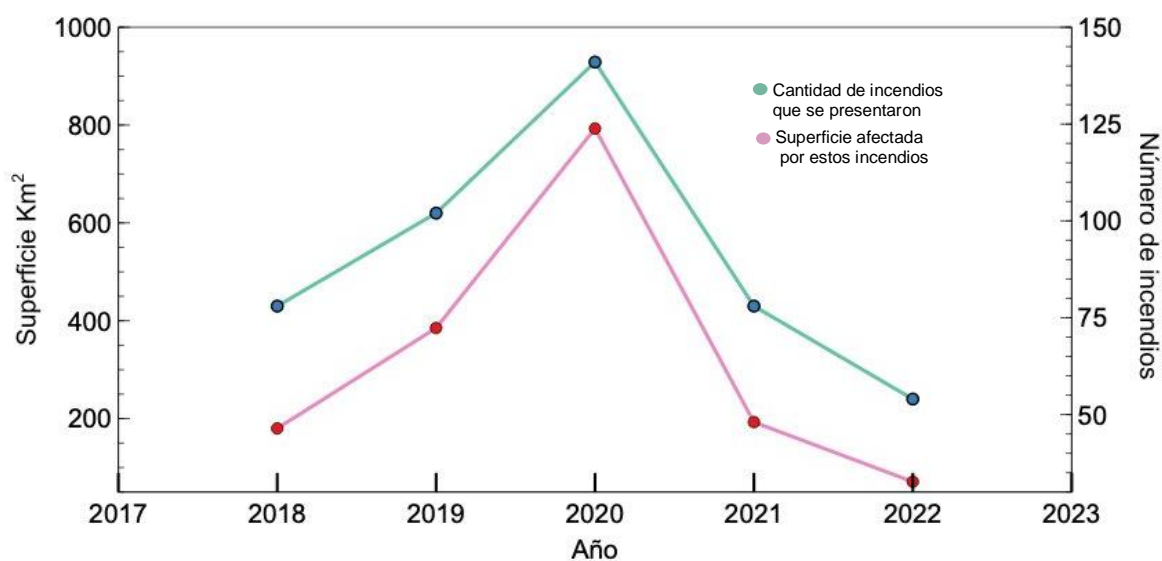


Figura 1 Número de incendios y superficie afectada en Baja California (2018-2022)

Elaboración propia.

En la Figura 1, se puede observar la comparativa entre la cantidad de incendios que se presentaron (*verde*) en contraste con la superficie que éstos afectaron (*rosa*), donde se observa el año 2020 siendo el más afectado, como se ha mencionado en el PEMF (2021).

En Baja California se determinaron áreas prioritarias para el Manejo Integral del Fuego, de acuerdo con la característica de sus ecosistemas, la disponibilidad de

combustibles forestales y el peligro de presentar incendios forestales, dentro de las que se encuentran con **Prioridad Alta**, son el ANP Parque Nacional Constitución de 1857 y el PNSSPM, la Reserva de la Biosfera isla de Guadalupe (RBIG) , Sierra Blanca- Ejido San Antonio Necua y el Bosque de los Attenuatas-Ejido Adolfo Ruiz Cortínez. Tan solo para 2022 dentro del PNSSPM se registró una superficie afectada por incendios forestales de 247.27 ha, la cual es el 3.48% de la superficie total en el estado (PEMF, 2023).

1. 2.7 Estrategias de Manejo de Fuego local

El Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir y Constitución de 1857 son los que presentan la mayor parte de los bosques mediterráneos de México y son un *hotspot* de biodiversidad, donde sus ecosistemas y organismos están bien adaptados, por lo cual, dentro de la agenda 2030 son referentes de adaptación ante el cambio climático, ya que a través de medidas de adaptación se garantiza la conservación de los ecosistemas, sus interacciones y se reduce la vulnerabilidad de los sitios (PACC, 2019).

El Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir es un Área Natural Protegida (ANP) que se encuentra dominada principalmente por ecosistema de chaparral, bosque mixto de coníferas, por lo cual es muy importante mantener regímenes de fuego sanos, los cuales varía por cada especie, sin embargo, están adaptados a los incendios recurrentes (15 a 20 años de acuerdo con los regímenes de Stephens et al. 2003, Skinner et al. 2008) asociados con las lluvias de monzones de verano con presencia de relámpagos, los cuales son la fuente de ignición natural en estos ecosistemas (Ruiz Campos, 2017).

En este tipo de ecosistemas la precipitación es mayor al promedio estatal, lo cual genera que la humedad se mantenga en el ambiente durante más tiempo y que se facilite la presencia de esta acumulación de humedad en forma de nieve por las bajas temperaturas presentes en las zonas altas como la sierra, lo cual se traduce en un mayor crecimiento de plantas y renuevos, que, al inicio de la temporada seca (verano), se traduce en una alta acumulación de combustible (PEMF, 2021).

I.3 Problemática

Con el reconocimiento del rol ecológico del fuego se ha logrado clasificar en cuatro categorías a los ecosistemas de acuerdo con su respuesta: independientes, influidos, sensibles y dependientes del fuego (Myers, 2006). Dentro de los dependientes al fuego, se encuentra el caso de los ecosistemas que presentan un clima tipo mediterráneo, el cual solamente cubre el 2% de la superficie de la Tierra y los roles ecológicos y la distribución de las especies, los cuales se han moldeado a estos procesos, donde el fuego es un elemento clave para la salud de estos (Pausas y Keeley, 2009).

Sin embargo, aunque se cuenta con diversos estudios sobre la importancia del fuego en los ecosistemas que son dependientes, una problemática que con frecuencia subyace en la alteración de estos ciclos naturales, principalmente por la intervención antropogénica y que propicia modificaciones a los regímenes sanos de fuego en estos ecosistemas, dando como resultado, la presencia de incendios con mayores frecuencias e intensidades (Rivera-Huerta, 2017).

Esta investigación se enfoca en realizar una evaluación de las estrategias de manejo de fuego que se llevaron a cabo en tres incendios forestales en el periodo 2018 a 2021 en Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, con el fin de identificar elementos claves sobre la organización, combate y administración de los recursos (humanos y económicos) para manejo y conservación de esta Área Natural Protegida mediterránea.

I.4 Justificación

El combate de incendios forestales en México ha sido ampliamente influenciado por las estrategias que se realizan en otras partes del mundo, durante las décadas pasadas fueron principalmente de supresión total y sin tomar en cuenta las distintas características y necesidades de cada uno de los ecosistemas y regiones del país. En este sentido y como se ha señalado con anterioridad, esta forma de trabajar no han sido efectivas en algunos ecosistemas, como los presentes en el Noroeste de México, sin embargo, el combate de incendios ha ido cambiando

poco a poco en las últimas décadas, gracias a la integración de Manejo Integral del Fuego (MIF), que como se mencionó con anterioridad se enfoca en la evaluación y el balance de los riesgos que el fuego plantea a los ecosistemas y a los sistemas socioeconómicos, tomando en cuenta el papel que el fuego juega en cada uno de ellos, lo cual lleva a la implementación de métodos de manejo más adecuados a través de la información y contexto que proveen los incendios ocurridos (PMIF, 2018).

En 2018 el Parque Nacional San Pedro Mártir desarrolló un Programa de Manejo Integral del Fuego (PMIF) clasificando diferentes áreas del ANP de acuerdo con su disponibilidad de combustibles forestales y existen áreas de peligro que están consideradas en los mapas de riesgo del PMIF, las que deberían ser consideradas prioritarias por la presencia de zonas donde se realizan actividades antrópicas como son la subzona de Uso Público, la subzona de preservación I: Cóndor, la carretera y la Subzona de Preservación III: Observatorio. Por lo que es imperativo evaluar las estrategias de combate de incendio que se llevaron a cabo en tres distintos incendios forestales que tuvieron lugar dentro del PNSSPM y así poder promover actividades de manejo de combustibles en áreas prioritarias, ya sea por la disponibilidad de combustibles, el historial de fuego o el tipo de actividades que se lleven a cabo.

I.5 Objetivos

Objetivo general

Evaluar las estrategias de manejo de fuego que se han llevado a cabo en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir durante el periodo 2018 a 2022.

Objetivos específicos

1. Caracterizar las condiciones ambientales de los sitios afectados por incendios forestales (Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro) el periodo de 2018 a 2022 en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir.
2. Evaluación de la eficiencia de las acciones y estrategias de manejo de fuego en los incendios forestales de Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro) Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir.
3. Proponer acciones y estrategias para eficientizar el manejo de fuego en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir.

I.6 Área de estudio

El Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir se localiza en la parte central del estado de Baja California, formando parte del municipio de Ensenada. Cuenta con una superficie de 72 910 68 hectáreas y una cota altitudinal que va de los 760 metros sobre el nivel del mar (msnm) en las partes más bajas del lado oeste, elevándose hasta los 2 940 msnm (INEGI, 2013).

Para esta investigación se analizaron tres polígonos, los cuales comprenden las áreas donde ocurrieron los incendios de Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro; Esta última área se toma en cuenta por la historia de fuego que presenta, la disponibilidad de combustible y que en ésta se encuentra la Subzona de Uso Público (PMPNSSPM, sin publicar), la cual cuenta con la infraestructura de recepción, cabañas y zonas de campamento.

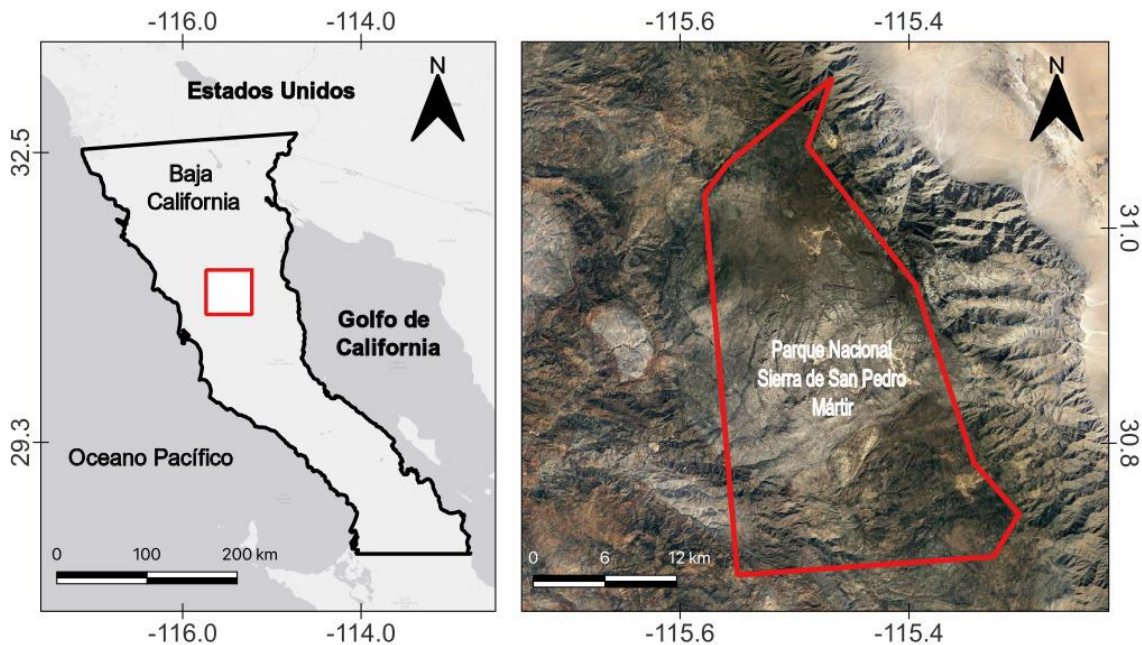


Figura 2 Mapa de localización del PNSSPM. Elaboración propia.

I.6.1 Fisiografía

La Sierra de San Pedro Mártir se formó debido a un conjunto de esfuerzos tectónicos y procesos geológicos que ocurrieron simultáneamente. Por un lado, la formación de la corteza continental (250-140 millones de años (Ma)) y la formación

del Golfo de California hace aproximadamente 10 Ma, lo cual provocó el estiramiento y adelgazamiento de la corteza continental que se ubica entre la Sierra Madre Occidental y la Península de Baja California, aproximadamente hace 12 a 6 Ma el cual llevo al levantamiento de la SSPM (Garduño, 2018).

La sierra está conformada por rocas batolíticas del Mesozoico y rocas ígneas que conforman la mayoría de la sierra son principalmente tonalitas y granodioritas (PMPNSSPM, sin publicar); mientras que las áreas más altas de la sierra presentan intrusiones de granodioritas, rocas metasedimentarias y complejos batolíticos (Gastil *et.al.*, 1975). La zona comprendida de Vallecitos hasta la Grulla y la Encantada se distinguen por la presencia de un plutón masivo de granito, mientras que las laderas y la zona sur de la sierra presentan rocas metamórficas (Delgadillo, 2004).

1.6.2 Topografía

Las montañas que atraviesan la Península de Baja California forman parte del sistema montañoso del sur de California (Nelson, 1921) y la región que abarca la Sierra de San Pedro Mártir va de los 600 a los 3 098 msnm, la cual, debido a las fallas geológicas, presenta un descenso rápido y escarpado hacia el Este en el desierto de San Felipe (PMPNSSPM, sin publicar). El PNSSPM se ubica en las zonas más altas y boscosas de la SSPM entre los 760 y 2 940 msnm; la topografía de la Sierra es muy característica ya que presenta escarpes muy abruptos y marcados por cañones profundos y despeñaderos casi verticales hacia el Este; mientras que la zona central se caracteriza por una amplia meseta de extensas praderas y cuencas. La altitud va disminuyendo gradualmente de 2 400 msnm en la zona norte de Vallecitos a 2 200 msnm en los valles de La Encantada y La Grulla, hasta los 1 600 msnm en el arroyo de Santa Eulalia (PMPNSSPM, sin publicar).

Los picos hacia el Este que dividen la altiplanicie tienen altitudes máximas de 2 940 msnm el más conocido de ellos es La Botella Azul, la cual presenta unas vertientes occidentales con relieve relativamente homogéneo y relieves casi verticales. Por otro lado, hacia la zona Oeste del PNSSPM las mesetas abruptas y

colinas a pie de montaña se encuentran bordeados por planicies y terrazas marinas a lo largo de la costa (PMPNSSPM, sin publicar).

1.6.3 Clima

El clima en la Sierra se encuentra influenciado por las vertientes Este y Oeste de manera asimétrica, por el lado Oeste la vertiente del Pacífico se caracteriza por presentar clima mediterráneo, mientras que la vertiente del Golfo de California se encuentra expuesta a un clima árido con diagramas ombrotérmicos tropical-desérticos (Peinado, 1994).

De acuerdo con la clasificación de Köpen (Modificado por García, 1973): Templado, semifrío subhúmedo con lluvias de invierno, veranos cálidos algo extremo C(E)s(x'); este clima se presenta a partir de los 1,800 msnm y se encuentra en la mayoría de la superficie del PN. Templado subhúmedo con lluvias invernales, semifrío con temperaturas medias anuales entre los 5 y 12 °C, donde los veranos son largos y frescos C(s); este clima se encuentra entre los 1,500 y 1,800 msnm y se encuentra en las escarpes del suroeste del PN. Seco mediterráneo BSk, con porcentajes de lluvia mayores que el clima C(s), con veranos cálidos y se encuentra mayormente por debajo de los 1 500 msnm.

1.6.4 Vegetación

El Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, es parte de la porción más sureña de la Provincia Florística de California (PFC), que va desde el sur de California, E.U.A., hasta el desierto central de Baja California aproximadamente a la altura de El Rosario (Delgadillo, 2004). Además, se encuentra localizado en un gradiente latitudinal y altitudinal térmico que se caracteriza por los pisos bioclimáticos Mesomediterráneo y Supramediterráneo, los cuales se distinguen por las comunidades vegetales que tienen correlaciones con determinados intervalos termo climáticos (Peinado, 1994).

Estos son algunos elementos que coinciden e influyen en el desarrollo de factores ecológicos y de algunos tipos de vegetación como la xerófila, mesófila, y

estructuras boscosas abiertas con dominancia de especies del género *Pinus* (PMPNSSPM, sin publicar).

Dentro del Área Natural Protegida (ANP), la vegetación dominante es el chaparral, bosque de pino, bosque de pino encino, bosque de galería y pastizales (INEGI, 2017), siendo algunas de las especies dominantes, las manzanitas (*Arcostaphylos* sp.), chamizo (*Adenostoma fasciculatum*), pino negro (*Pinus jeffreyi*), pino de azúcar (*Pinus lambertiana*), piñón de California (*Pinus quadrifolia*), entre otras (Vanderplank, 2017). Mientras que, por el lado de la flora vascular, son 500 especies de 251 géneros y 78 familias; de las cuales 453 especies de 236 géneros son nativas y 23 especies más son una variedad que se considera como endémicas de la sierra (Thorne, 2010).

Área Natural Protegida

El PNSSPM tiene una superficie de 72 910. 68 ha que desde 1923 son de conservación de la zona boscosa más extensa de la Sierra de San Pedro Mártir y en 1947 se decretó como Parque Nacional.

Si bien, por la naturaleza del área, no se permiten actividades económicas o extractivas, existen zonas en las cuales convergen actividades sociales y ecológicas, las cuales son la subzona de Uso Público, la carretera, subzona de preservación I: Cóndor y subzona de Preservación III: Observatorio (PMPNSSPM, sin publicar). En la zona conocida como la Corona (subzona de Uso Público), se encuentra la recepción del ANP, cabaña de Guardaparques, un almacén para equipo y herramienta de trabajo y uno más para baterías y paneles solares, también encontramos cuatro cabañas, un quiosco y asadores para los visitantes del PN; sobre la carretera principal se encuentra el Centro de Cultura y Conservación *Semeel Jak*, del mismo modo sobre ella se movilizan a diario personal del PNSSPM, Proyecto Cóndor, del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) y de la Secretaría de Defensa de la Nación (SEDENA), así como turistas y visitantes.

En la subzona de preservación I: Cóndor se encuentra infraestructura propia del proyecto de conservación de cóndor de California (*Gymnopsis californicus*), sin embargo, esta área no está abierta al público y por último se encuentra la subzona de Preservación III: Observatorio, donde se encuentra la infraestructura para el

desarrollo de las investigaciones astronómicas, siendo la subzona con mayor infraestructura y movilidad de personas. En esta subzona se permite en algunas ocasiones la entrada de turistas, solo en la base del telescopio 2 metros, pero no dentro de las instalaciones de investigación científica (PMPNSSPM, sin publicar).

1.6.5 Antrópico

El Parque Nacional colinda hacia el Norte con el ejido Tepi, al Este con el ejido Plan Nacional Agrario y al Sur y Oeste con el Ejido El Bramadero, en estos ejido las actividades principales son la ganadería, actividades cinegéticas, un poco de agricultura, aprovechamientos forestales de yuca (*Yucca schidigera*) y algunas actividades turísticas (RAN, 2018), Los usuarios de esta zona denominada de Influencia del Parque Nacional, hacen uso de los terrenos de este para sus actividades ganaderas, principalmente en las zonas de las praderas durante el verano.

CAPÍTULO II. OBJETIVO PARTICULAR I

Caracterizar las condiciones ambientales de los sitios afectados por incendios forestales (Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro) durante el periodo de 2018 a 2022 en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir.

2.1 Introducción

Dentro de los incendios forestales se involucran diversos factores que son clave comprender y que juegan un rol importante en el comportamiento y severidad que presenten, los cuales son la topografía, las variables meteorológicas, el tipo de vegetación, las cargas y tipo de combustible forestal. En términos de combustible forestal es necesario definir su clasificación la cual es por horas (1,10,100 y 1000 horas), lo cual representa el tiempo en que éste perderá o ganará dos terceras partes de su humedad a través de la evapotranspiración (PMIF, 2018). Por ejemplo, la capa de hojarasca, acículas y material en descomposición sobre el suelo el material leñoso caído sería el combustible de 10 y 100 horas y se conforma por la madera muerta que encontramos por encima del suelo, como ramas, troncos, tocones, y el de 1000 horas por árboles muertos grandes sobre el suelo (Flores-Garnica, *et.al.*,2018). Esto hace referencia a la carga de combustibles que se presentan por unidad de superficie y se expresan en toneladas por hectárea (Ton/ha) (Torres,1994).

Las condiciones atmosféricas como temperatura, humedad relativa del ambiente, velocidad y dirección del viento, etc., influyen directamente en el comportamiento de los incendios forestales, por lo tanto, es necesario contar con lecturas frecuentes durante la temporada de incendios, ya que, al contar con las lecturas y el conocimiento del historial del fuego del sitio, se puede analizar el comportamiento que los incendios pueden presentar y ayudar a prever el efecto que tendrán. Sin embargo, cabe mencionar que solo son predicciones ya que los incendios forestales son variables e impredecibles. Los monitoreos previos de dichas condiciones ayudarán a la prevención y manejo de combustibles adecuado en los sitios identificados como de riesgo a presentar incendios forestales.

2.2 Metodología

Se caracterizaron las variables involucradas en los incendios forestales y en el manejo de fuego, de acuerdo con su importancia y mayor relevancia tanto en la literatura consultada, como en las consultas realizadas con expertos en el tema. En la *Figura 2* se describe el proceso metodológico seguido en la revisión sistemática, de la que se desprenden las categorías descritas en la Tabla 2.

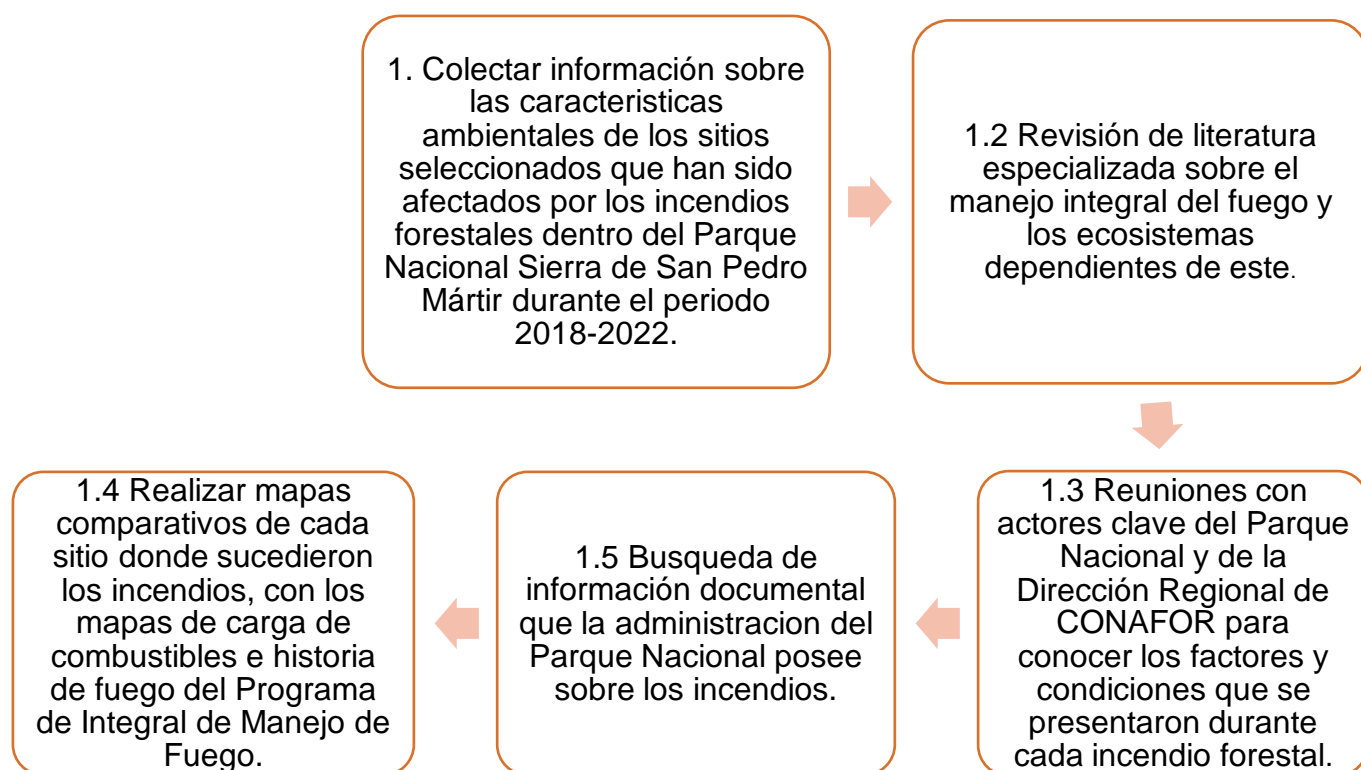


Figura 2 Diagrama de flujo de la metodología del objetivo particular II

Tabla 2 Clasificación de las variables ambientales y económicas involucradas en los incendios forestales

AMBIENTALES	ECONÓMICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones atmosféricas • Topografía • Vegetación • Carga de combustible • Tipo de combustible • Regímenes de incendio • Tipo de combustible • Severidad de incendio • Comportamiento del fuego 	<ul style="list-style-type: none"> • Recursos involucrados • Días de combate • Personal involucrado • Equipo para el manejo de fuego • Vehículos • Suministros alimenticios • Capacitación

Se clasificaron las variables en dos categorías generales; ambientales y económicas, para llevar a cabo la sinterización de información y realizar una revisión literaria mas fluida.

Tabla 3 Clasificación sistemática de variables ambientales y de ecología del fuego involucradas en los incendios forestales

Categoría	Variable	Definición	Menciones por Autores consultados (%)	Autores
Ambiental	Condiciones atmosféricas	Variaciones a corto plazo en las condiciones del clima o la atmosfera.	16%	PEMF, 2021 PACC, 2019 Keeley, J.E., 2012 PMIF, 2018 Jardel-Pelaez, 2014 Rivera-Huerta, 2017
Ambiental	Topografía	Es la configuración de la superficie de la tierra, como el relieve y sus características tanto naturales como las construidas por el hombre.	16%	PEMF, 2021 Keeley, J.E., 2012 PMIF, 2018 Mortix, M.A., 2014 Jardel-Pelaez, 2014 Underwood, 2018 Rivera-Huerta, 2016
Ambiental	Tipo de vegetación	Agrupaciones de distintas especies vegetales en una región, las cuales están directamente	10%	Bullock, S.H., 1999 PM PNSSPM, sin publicar INEGI, 2017 PMIF, 2018 PEMF, 2021

		influenciadas por las características		Keeley, J.E., 2012 Mortix, M.A., 2014 Jardel-Pelaez, 2014 Underwood, 2018 Rivera-Huerta, 2016 Rivera-Huerta, 2017
Ecología del fuego	Disponibilidad de combustible	Cantidad total de combustible en un área determinada. Está estrechamente relacionada con la humedad que contenga la materia orgánica.	16%	PMIF, 2018 Flores-Garnica, <i>et.al.</i> , 2018 Torres, 1994 PEMF, 2021 Mortix, M.A., 2014 Jardel-Pelaez, 2014
Ecología del fuego	Tipo de combustible	Varían entre regiones, influyen diversos factores para esta variación como las lluvias, topografía, etc.	10%	PMIF, 2018 Flores-Garnica, <i>et.al.</i> , 2018 Torres, 1994 Mortix, M.A., 2014 Underwood, 2018 Rivera-Huerta, 2016
Ecología del fuego	Régimen de incendio	Variación natural o histórica en la frecuencia, intensidad, estacionalidad, severidad y patrones espaciales de los incendios forestales.	6%	PMIF, 2018 PEMF, 2021 Keeley, J.E., 2012 Jardel-Pelaez, 2014 Rivera-Huerta, 2017
Ecología del fuego	Carga de combustible	Cantidad de combustible presente como peso por unidad de área; tonelada por hectárea (ton/ha).	7%	PMIF, 2018 Flores-Garnica, <i>et.al.</i> , 2018 Torres, 1994 PEMF, 2021 Underwood, 2018 Rivera-Huerta, 2016 Rivera-Huerta, 2017
Ecología del fuego	Acumulación de combustible	Es el resultado de los procesos ecosistémicos de productividad primaria y descomposición	10%	PMIF, 2018 Flores-Garnica, <i>et.al.</i> , 2018 Torres, 1994 Keeley, J.E., 2012 PEMF, 2021

		de materia orgánica.		Mortix, M.A., 2014 Underwood, 2018 Rivera-Huerta, 2016 Rivera-Huerta, 2017
Ecología del fuego Ecología del fuego	Comportamiento del fuego	Son los procesos físicos resultados de la combustión de un incendio forestal se determina por las interacciones entre el combustible, condiciones atmosféricas y la topografía.	6%	Keeley, J.E., 2012 PEMF, 2021 Mortix, M.A., 2014 Varela y Soliño, 2015 PMIF, 2018 Jardel-Pelaez, 2014 Rivera-Huerta, 2017
Ecología del fuego	Severidad del fuego	Es el efecto de los incendios forestales sobre los ecosistemas y sus componentes.	3%	Keeley, J.E., 2012 Mortix, M.A., 2014 Varela y Soliño, 2015 PMIF, 2018 Jardel-Pelaez, 2014 Underwood, 2018 Rivera-Huerta, 2016 Rivera-Huerta, 2017

Derivado de la revisión bibliográfica y de los reportes existentes de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) y la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) de los incendios y conatos de incendios que se presentaron en el PNSSPM de 2018 a 2022, se consideraron para el periodo de esta investigación los denominados: Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro; localizados al Sureste, Noreste y Norte del Parque Nacional respectivamente, como se observa en la Figura 3, los cuales tuvieron ocurrencia en verano, otoño y verano respectivamente y todos durante años niña (PEMF, 2022).

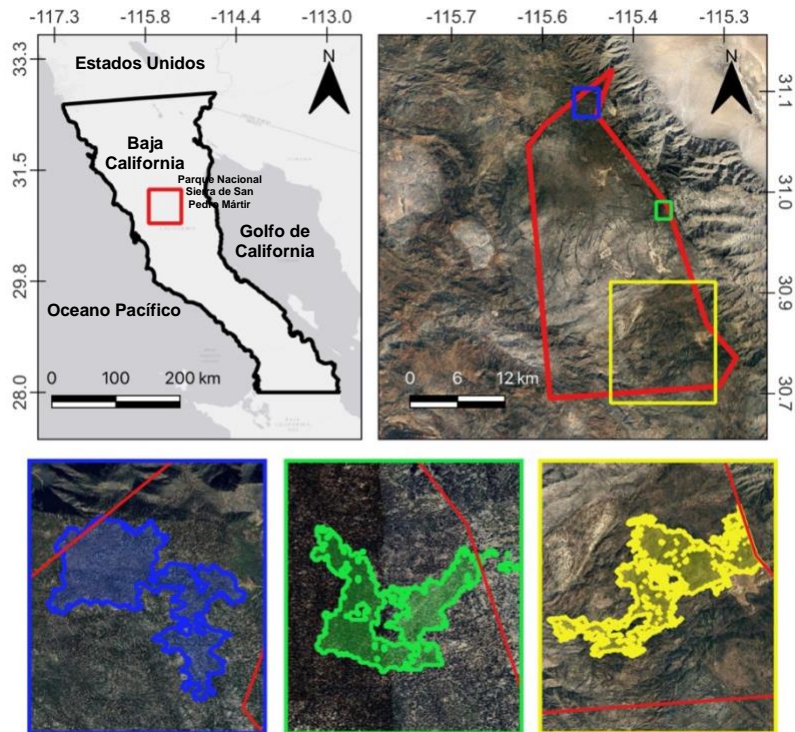


Figura 3 Mapa de localización de los incendios de interés dentro del PNSSPM
Elaboración propia.

2.3 Resultados

En la Sierra de San Pedro Mártir y el Parque Nacional, se ha registrado una mayor presencia de incendios forestales durante los meses de mayo a octubre, lo cual, de acuerdo con datos del PMIF (2018), la información del estado del tiempo y la diferencia entre los estratos de vegetación, los combustibles forestales se encuentran más disponibles debido a las baja humedad del ambiente. Para el año 2010 el Servicio Forestal de Estado Unidos (USFS) formó una colaboración con el PNSSPM, a través del cual se creó un mapa de vegetación a gran detalle, lo que ayudo a definir sitios de muestreo permanente para medir y registrar información sobre las especies forestales y la estructura del bosque con el objetivo de realizar una verificación de campo de la vegetación para el inventario de material leñoso caído *in situ*, utilizando el método de muestreo de Brown (1974), validado por imágenes satelitales de mayor resolución (Imagen QuickBird) lo cual es de suma

importancia para los análisis de los sitios de riesgo por cargas de combustibles, las cuales se relacionan con la vegetación dominante, la pendiente y la exposición (PMIF, 2018).

Tabla 4 Tipos y cantidades de combustibles (Ton/ha) para el PNSSPM

Tipo de combustible	Promedio	Mediana	Maxima	Minima
1 h (ton/ha)	0.57	0.29	7.93	0.00
10 h (ton/ha)	2.09	1.85	7.68	0.00
100 h (ton/ha)	3.00	2.30	16.23	0.00
1000 h (ton/ha)	14.86	2.60	127.15	0.00
Total (ton/ha)	20.24	9.89	137.67	0.00

Elaboración propia, con datos del Programa de Manejo del Fuego de la Región Mediterránea, PMIF 2018.

En 2018 para el Programa Integral de Manejo del Fuego se realizaron trabajos para conocer los regímenes de fuego del PN a partir de estudios de tendencia y severidad de fuego, los cuales arrojaron que el 90% de las cicatrices de fuego se localizan en áreas de madera temprana, donde se han presentado incendios relacionados con mayor frecuencia en la temporada de monzones de verano periodo de 1970 a 2018 (Skinner *et.al.*, 2008).

Tomando en cuenta estos análisis realizados y empalmando los polígonos de los incendios de interés para este estudio, se observan las cargas de combustibles totales presentes (Tabla 4) de ± 75.79 ton/ha para Santa Rosa, ± 37.89 ton/ha para Botella Azul y ± 18.94 ton/ha para Bajío del Toro; el historial de fuego se obtuvo a través del estudio realizado por Minnich (1983) donde se llevó a cabo un registro y documentación que compara los tamaños de los incendios del sur de California y Baja California durante el periodo de 1972 a 1980; así como la reconstrucción de los incendios a partir de una serie de fotografías aéreas de 1925

a 1996, lo cual arroja como resultado un periodo de retorno de 53 años para la SSPM (PMIF, 2018).

Para el periodo de 1984 a 2010 se realizó registro de las cicatrices de fuego a través de estudios de tendencia y severidad de fuego. Debido a la necesidad de información para comprender el historial de fuego a partir de 2010 CONAFOR implementó la integración de los polígonos de cada incendio en los formatos de registro para complementar las bases de datos sobre los terrenos forestales (PMIF, 2018).

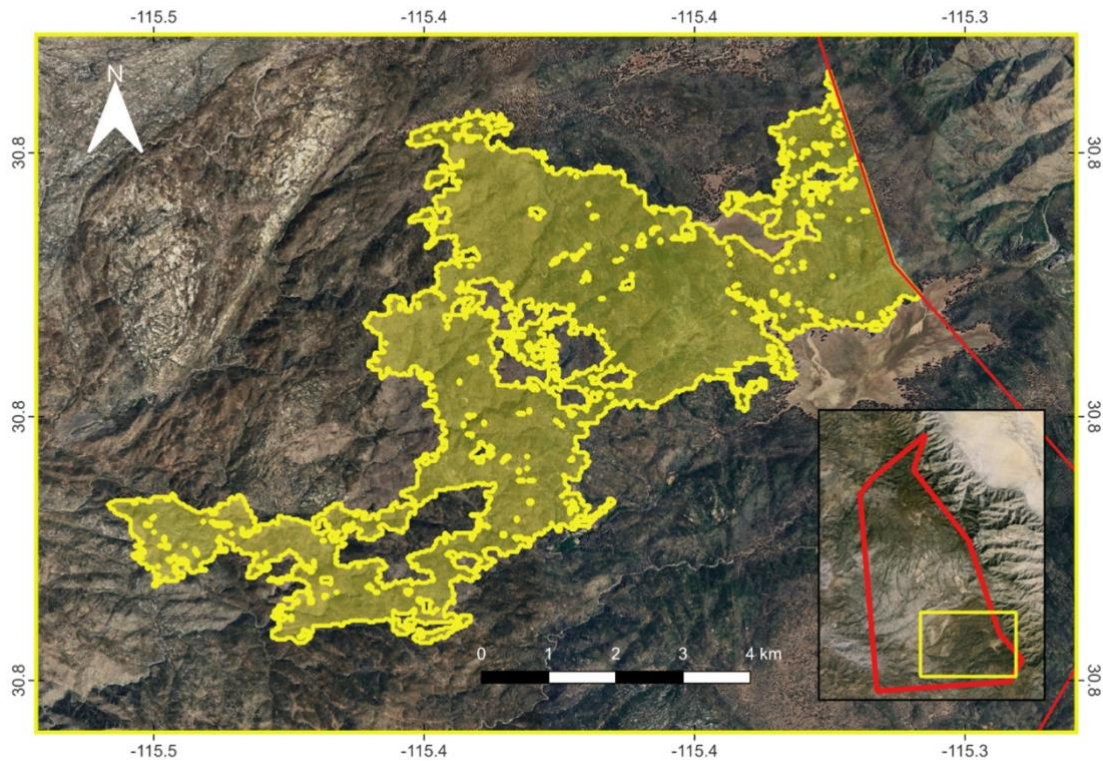
De acuerdo con los datos del historial de fuego para el periodo de 1970 a 2018 se observa que Santa Rosa presentó incendios en 2018, Botella Azul no contó con ningún incidente durante el periodo y Bajío del Toro en el año 2022 (PMIF,2018).

1a. Santa Rosa

El sitio se caracteriza por ser una pradera rodeada por bosque de pino y chaparral, no presenta topografía muy abrupta en la pradera, sin embargo, el resto del área presenta topografía muy escarpada por lo cual el acceso y el traslado a la zona es muy complicado (ver *Figura 4*). El incendio se presentó durante el verano en el mes de julio y en año con fenómeno Niña. Durante el incendio las condiciones en promedio fueron temperaturas de 34°C, con humedad relativa promedio de 23% y velocidad del viento promedio de 25 km/h con direcciones E-W; las cargas de combustible totales para el sitio son de ± 75.79 ton/ha y tomando en cuenta los datos publicados por el PMIF (2018) y los periodos de retorno de 53 años quiere decir que cumple con un régimen de fuego sano, ya que no hay registros de incendios previos en el historial de fuego desde 1970.

El incendio de Santa Rosa tuvo lugar el día 02 de julio de 2018 reportado a las 14h, y sucedió dentro del polígono de Preservación II del PNSSPM hacia el Sureste, en las orillas de la pradera conocida por el mismo nombre, con una superficie afectada de 2800 ha (CONAFOR, 2018) y se desconocen las causas que dieron origen al incendio. Tuvo fecha de liquidación oficial el día 08 de julio de 2018

a las 14 h. El combate duro cinco días y participaron tres elementos de la Brigada San Pedro Mártir (SPM), ocho de CONAFOR, tres de la Secretaría de Protección al Ambiente (SPA) y CONANP, cinco de brigadas rurales y 11 de la SEDENA. Del mismo modo los recursos utilizados por parte de la SPA y CONANP fue un vehículo, 10 herramientas manuales para el combate de incendios, dos aparatos de radiocomunicaciones y un GPS; mientras que por el lado de CONAFOR fueron tres vehículos, 30 herramientas manuales de combate, siete aparatos de radiocomunicación y dos GPS. De acuerdo con los reportes brindados por parte de la administración del PNSSPM (2018) esta es la única información sobre los recursos que fueron utilizados para este incendio.

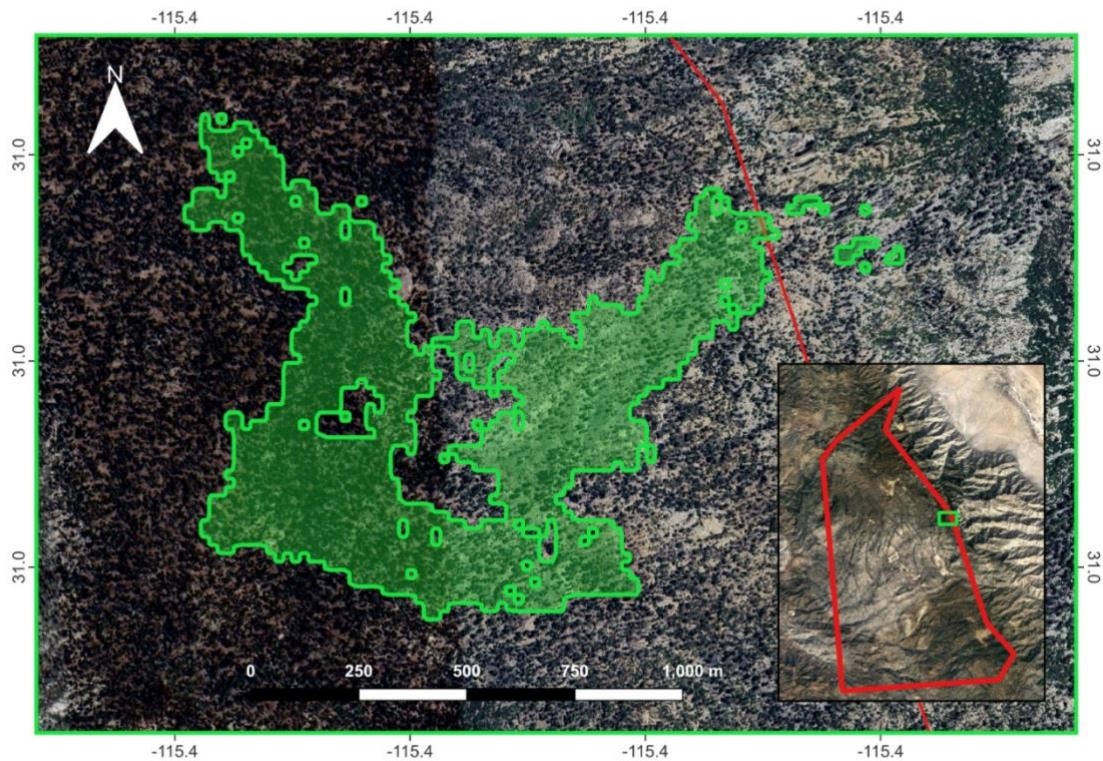


*Figura 4 Mapa del polígono de la superficie del incendio Santa Rosa
Elaboración propia*

1b. Botella Azul

El sitio se caracteriza por ser una zona muy escarpada y de difícil acceso. Esta área se encuentra dominada por bosque de pino mixto y chaparral, se presentan muchas aglomeraciones de rocas grandes que también dificultan el acceso y por lo general las corrientes de viento son fuertes e inestables. Este incendio se presentó en otoño en el mes de octubre fenómeno Niña. Durante el incendio las condiciones que se presentaron en promedio fueron temperaturas de 19°C, humedades relativas de 23% y velocidades del viento de 8 km/h con direcciones inestables; las cargas de combustible total para el sitio son de ± 37.89 ton/ha y tomando en cuenta los datos publicados por el PMIF (2018) tiene un periodo de retorno de 53 años y no se cuenta con registros de incendios previos en el historial de fuego desde 1970.

El incendio de Botella Azul tuvo lugar el día 13 de octubre de 2021 reportado a las 11h, este sucedió dentro del polígono de preservación II del PNSSPM hacia el Este, en el límite del PNSSPM y en las crestas Este de la sierra que se encuentran fuera del PN (véase *Figura 5*). Se desconocen las causas que dieron origen al incendio, solo se localizó que el inicio en el área del sendero que lleva el mismo nombre; y tuvo una superficie de 73.652 ha afectadas (CONAFOR, 2021). La fecha de liquidación fue el día 25 de octubre a las 15h. El combate duro 11 días y participaron 36 elementos en total de la brigada SPM, CONAFOR, SPA, CONANP, brigadas rurales, Bomberos Tijuana y SEDENA (en este caso se anota el número total de personal, debido a que es la información disponible de acuerdo con los reportes oficiales). Durante el combate se utilizó por un día una avioneta para recorrer la zona la cual es propiedad de la Secretaria de Marina (SEMAR), así como dos vehículos de CONAFOR. De acuerdo con los reportes brindados por parte de la administración del PNSSPM (2021) esta es la única información sobre los recursos que fueron, sin embargo, para este incendio ya se incluyen datos de valores económicos sobre la supresión y uso de recursos.



*Figura 5 Mapa del polígono de la superficie del incendio Botella Azul
Elaboración propia.*

1c. Bajío del Toro

El sitio se caracteriza por ser una zona escarpada y de muy difícil acceso y traslado para llegar a esta zona, tanto por el tipo de terreno, como por la vegetación. Se encuentra dominado por bosque de pino mixto y chaparral, por lo general las corrientes de viento son fuertes. El incendio se presentó durante el verano, en el mes de julio y en un año con fenómeno Niña, al igual que los otros dos. Durante el incendio las condiciones que se presentaron en promedio fueron temperaturas de 30°C, humedades relativas de 30% y velocidades del viento de 13 km/h con direcciones inestables; las cargas de combustibles totales del sitio son de ±18.94 ton/ha, tomando en cuenta los datos publicados por el PMIF (2018), hubo un incendio previo en la zona en el año 2000, esto marca un periodo de retorno de 22

años, lo cual entra dentro del régimen de fuego que marca un periodo de entre 15 y 20 años para la SSPM (Stephens *et.al.*,2003, Skinner *et.al.*, 2008).

El incendio de Bajío del Toro tuvo lugar el día 02 de julio de 2022 reportado a las 16h, este sucedió dentro del polígono de preservación II del PNSSPM hacia la porción Norte de éste. La superficie afectada de acuerdo con el reporte final es de 254.62 ha (véase *Figura 6*) y se reportó que se desconocen las causas que dieron origen al incendio (CONAFOR, 2022).

La fecha de liquidación fue el día 28 de julio a las 10 50 h. El combate duro siete días y participaron elementos de la brigada SPM, CONAFOR, SPA y CONANP, brigadas rurales, Bomberos Tijuana, Secretaria de Marina (SEMAR), Protección Civil de Baja California, SEDENA y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con equipo aéreo para transporte de personal y descarga de agua; para este caso el reporte no integra el número total de elementos que participaron en este incendio, o por institución. Se tuvo disponibles dos vehículos de CONANP, dos vehículos de la SPA y cinco vehículos de CONAFOR. Para este incendio se contó con un Plan de Atención de Incidente (PAI) el cual fue recolectando datos sobre cómo fue avanzando el incendio y las estrategias de combate durante los días que se mantuvo activo, el cual es un protocolo que se activa ante una situación de alto riesgo y cuando se ven involucradas diversas instituciones y ayuda a la planificación y organización de recursos conforme va avanzando el incidente.

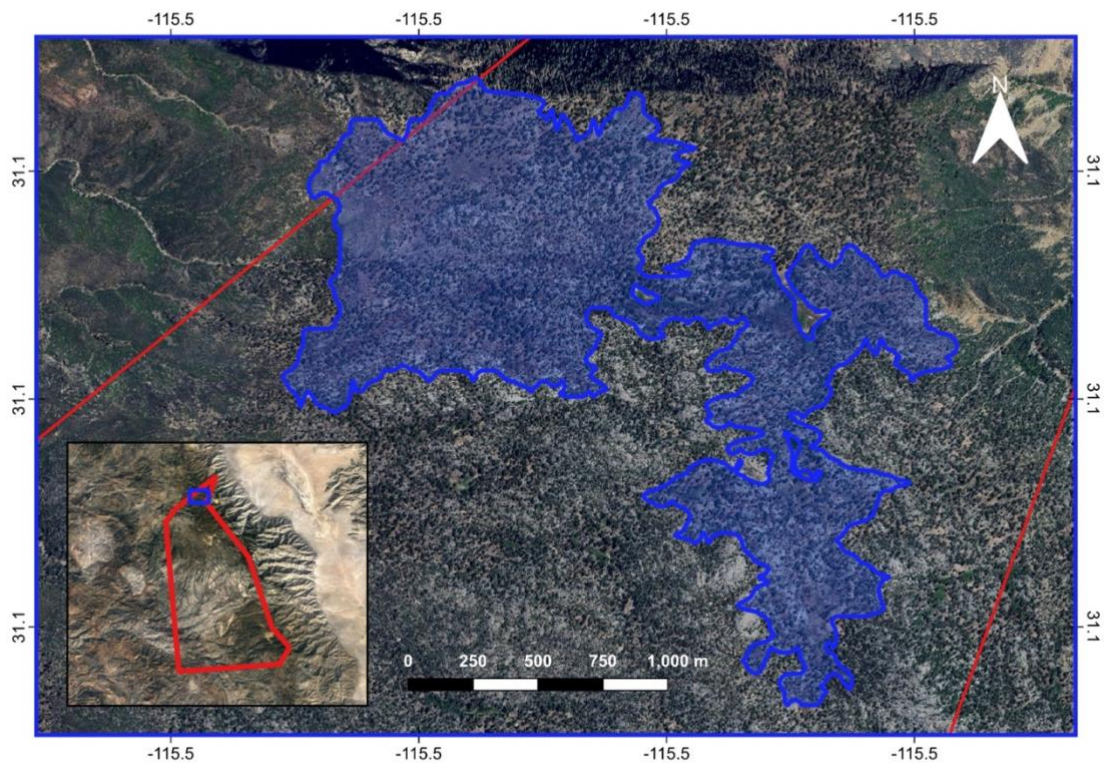


Figura 6 Mapa del polígono de la superficie del incendio Bajío del Toro

Elaboración propia.

Tabla 5 Variables ambientales de cada uno de los incendios evaluados

Criterio/ incendio	Santa Rosa 2018	Botella Azul 2021	Bajío del Toro 2022
Mes dentro de la temporada	Julio	Octubre	Julio
Bosque de pino		X	
Chaparral			
Bosque de Pino-Chaparral	X	X	X
Temperatura ambiental promedio	34°C	19°C	30°C
HR% promedio	23%	23%	30%

Velocidad del viento promedio	25 km/h	8 km/h	10km/h
Dirección del viento	E-W	Inestable	Inestable
Año niña	X	X	X
Año niño			
Cargas de combustible	±75.79 ton/ha	±37.89 ton/ha	±18.94 ton/ha
Ha afectadas	2800 Ha	73.6520	254.62 ha
Intervalo de retorno	53 años	53 años	22 años
Días de combate	5 días	11días	7 días

Elaboración propia, con base en el estudio de Ruiz González, 2009.

Condiciones meteorológicas

Dentro de las condiciones meteorológicas principales que influyen en el comportamiento del fuego y que forman parte de la gran triada del fuego, se encuentran la temperatura ambiental, la humedad relativa del ambiente y la velocidad del viento. Dentro de los reportes de los incendios de interés se encuentra el registro de estos datos, de los cuales se tomó un promedio de las lecturas (*Tabla 6*) *Tabla 6*), las cuales muestran temperaturas altas por arriba de los 15°C, humedades ambientales bajas por debajo del 30% y velocidades de viento bajas, todas influidas por vientos dirección E-N.

Tabla 6 Promedios de temperatura, Humedad relativa y velocidad del viento, de los incendios de interés para esta investigación

Incendio	Temperatura promedio (°C)	Humedad relativa promedio (HR%)	Velocidad viento promedio (km/h)
Santa Rosa	34	23	25
Botella Azul	19	23	8
Bajío del Toro	30	30	13

Superficie afectada ¿?

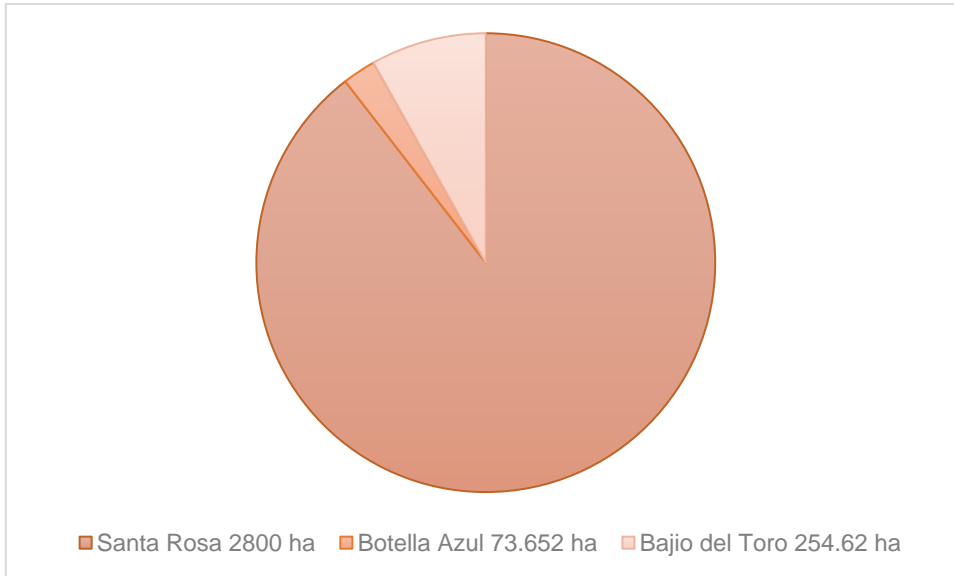


Figura 7 Superficie afectada en los incendios del estudio

2.4 Reflexiones finales del objetivo particular II

En síntesis en los incendios forestales se involucran diversos factores clave que tienen un papel importante para entender el comportamiento y severidad que presentan en las categorías ambientales y de ecología de fuego, así como estas juegan un papel clave para desarrollar estrategias de manejo adecuadas con base en las características ecológicas de cada sitio y enfocadas en el Noroeste de Baja California que presenta clima mediterráneo, siendo un punto crítico (*hotspot*), es de suma importancia tomar en cuenta los incidentes previos y cómo fueron manejados y así comprender los puntos clave a tomar en cuenta para lograr una eficiencia en situaciones futuras ya que en las últimas décadas la frecuencia, intensidad y extensión de los incendios forestales han ido en aumento en el mundo (Bowman, *et al*, 2009). Los grandes incendios o mega incendios son relativamente nuevos en este tipo de ecosistemas y llegan a superar la capacidad de recuperación ecosistémica (Pausas, *et al*, 2008).

CAPÍTULO III OBJETIVO PARTICULAR II

Evaluación de la eficiencia de las acciones y estrategias de manejo de fuego en los incendios forestales de Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro, Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir

3.1 Introducción

Al hablar de manejo integral de fuego (MIF), se debe tomar en cuenta que además de los componentes de prevención y combate, están también las acciones de planificación, comunicación, capacitación y administración de recursos, las cuales incluyen procesos más amplios de gestión de Áreas Naturales Protegidas (ANP), gestión de territorio, manejo de ecosistemas, entre otros (Jardel, 2010). Desde la perspectiva económica, los incendios forestales tienen impactos importantes sobre los recursos naturales, la provisión de servicios ambientales, así como los costos que generan las acciones de MIF (Varela y Soliño, 2015). En los capítulos anteriores se habló de la importancia de manejar cada ecosistema con base en sus necesidades ecológicas, sin embargo, también cabe mencionar que dentro de la planeación se deben incorporar elementos económicos, ya que todas las actividades que involucra el MIF requieren recursos financieros, humanos y materiales para llevarse a cabo (Jardel, 2010). Del mismo modo, estos recursos deben ser evaluados para llegar a una aproximación económica de la eficiencia de las acciones de manejo.

Los planes de manejo de fuego están basados principalmente en criterios técnicos y presupuestarios que, de primera mano, pueden ser suficientes, pero en ocasiones, se hace necesario analizar los servicios forestales, como la calidad del aire, del suelo, la retención hídrica, el hábitat de flora y fauna nativas, patrimonio cultural, las actividades recreativas, etc. (Venn y Calkin, 2011), componentes importantes al momento de tomar decisiones de gestión y manejo para el sitio. Sin embargo, para fines de este estudio no se evaluarán estos factores debido a limitantes como tiempo y recursos para llevar a cabo un análisis más completo.

Diversos estudios realizados en zonas mediterráneas de Europa muestran que los fondos aplicados a estrategias de combate de incendios tienen una

capacidad limitada para reducir los riesgos que involucran, mientras no sean combinados con otras enfocadas al manejo de combustibles previos (Duguy, *et.al.*, 2007, Moreira, *et.al.*, 2011, Valbuena-Carabaña, *et.al.*, 2012 y Varela y Soliño, 2015). En este mismo panorama, los presupuestos para los incendios forestales nunca han sido sometidos a un análisis económico riguroso y puntual (Varela y Soliño, 2015).

Dentro del MIF, como componente de gestión, algunas estrategias que deben tomarse en cuenta al ser un proceso amplio que integra capacidad técnica, administrativa y comunicativas enfocadas en el logro eficiente del manejo. Estas acciones implican contar con elementos de respuesta, como la coordinación, capacitación, equipo necesario y en buen estado (Jardel Peláez, 2014), la sistematización de la toma de datos y su archivo, la implementación de técnicas nuevas que ayuden a monitorear el desempeño y así facilitar la mejora continua en las estrategias (Thompson, 2016).

De acuerdo con Ázqueta (2007) la eficiencia se logra cuando se minimizan todos los costos debido a una asignación óptima de recursos para ser aprovechados de la mejor manera para lograr los objetivos propuestos y aumentar su rentabilidad, para lo cual es fundamental analizar todos los elementos que se involucran durante cada etapa. De este modo se promueve el uso responsable de los recursos con los que se cuenta.

Por otro lado, se debe considerar que existen periodos de escasez de recursos, y que, durante éstos se debe hacer una mayor aproximación a la eficiencia de lo que se tiene disponible tras una distribución óptima de recursos, para así cubrir las necesidades que se plantean. Esto se logra a través de estrategias de mejora que se basen en los antecedentes, evidencias, bases de datos y evaluando sus procesos y el impacto económico que pueda tener (Iguñiz, 2010).

En tanto a los incendios forestales, analizar la eficiencia en el manejo de estos, permite minimizar los daños ambientales, económicos y sociales que pueden propiciar. Acorde con Thompson y colaboradores (2017), esta eficiencia se puede aproximar a través de la respuesta que se da a los incendios forestales, la cual se

expresa por la combinación de tres factores que incluye el tiempo de respuesta, los costos operativos y la coordinación efectiva.

Se entiende por tiempo de respuesta al tiempo que transcurre desde que se ha detectado el incendio hasta que se da la intervención para su control o liquidación; éste es crucial y puede afectar significativamente a los resultados de manejo (Castillo y Rodríguez, 2015). Por su parte, la coordinación efectiva consta de la organización y la dirección de los recursos involucrados, la comunicación entre los equipos, el enlace entre agencias y su distribución adecuada para atender el incendio, es crucial para asegurar una rápida y organizada respuesta y así minimizar daños, proteger la vida y los recursos materiales (Thompson, et al., 2017). De esta forma, los costos operativos permiten gestionar los gastos asociados con la respuesta, control y gestión de un incendio, cabe resaltar que estos variaran de acuerdo con las características que presente cada incendio y su planeación operativa (Thompson, et al., 2016).

Si bien, el análisis de estos tres componentes da como resultado la eficiencia, para fines de esta investigación nos enfocamos en identificar y cuantificarlos, mediante unidades monetarias, pues es esencial desarrollar un entendimiento de estos antes de desarrollar estrategias de mejora proporcionando un punto de partida (Thompson, et al., 2016). De esta forma, no solo los costos operativos dan muestra de que hace falta llenar huecos en el uso de las estrategias y herramientas de manejo de fuego, sino que aproxima el costo de la respuesta y/o la coordinación de los recursos, dando como resultado una eficiencia monetaria en términos económicos (Thompson, et al., 2017). Esto resulta práctico para la toma de decisiones en materia presupuestal (Calfire, 2022).

Este capítulo se enfoca en aproximar una evaluación de las estrategias de manejo de fuego que se llevaron a cabo en tres incendios forestales en el periodo 2018 a 2021 en Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, con el fin de identificar elementos claves sobre la organización, combate y administración de los recursos (humanos, materiales y económicos) para el manejo y conservación de esta Área Natural Protegida mediterránea.

Dentro de este capítulo se llegará a una aproximación económica de la eficiencia, ya que no se pueden contabilizar todos los recursos empleados en los tres casos de estudio, puesto que, dentro de los reportes oficiales de estos, no se presenta la información completa, ni desglosada por días de operación.

3.2 Metodología

El proceso metodológico para este capítulo requirió una estrategia en tres fases. En la primera, se llevó a cabo una recopilación de información acorde con los incendios estudiados, definidos y caracterizados en el capítulo anterior. Aunado a ello, se llevaron a cabo entrevistas semiestructuradas con actores clave, dando seguimiento a la técnica de bola de nieve, como se describe más adelante. La segunda fase, tomó como guía la revisión de casos, para estructurar el análisis de la aproximación de la eficiencia considerando las variables que entran dentro de los tres componentes claves para esta aproximación a la eficiencia del manejo de los incendios forestales.

Acorde con la definición de eficiencia que guía este estudio, la cual se compone de tres categorías de análisis: tiempo de respuesta (TR), costos operativos (CO) y coordinación efectiva (CE), las variables que de esta emergen para hacer operativos estos conceptos clave antes descritos se expresan en la *Tabla 7*.

Tabla 7 Abstracción de las variables operativas para este estudio por concepto

Concepto	Variable	Definición	Unidad de medida
TR CO CE	Personal	Es quien actúa de manera directa en el control y liquidación de los incendios forestales, así como el personal de logística y administración (Estándares Conocer, 2023).	Cantidad de personal involucrado necesario para el manejo
TR CO CE	Días de combateT	Total de días de trabajo desde que se detectó el incendio hasta su liquidación (CONAFOR, 2019).	Horas trabajadas
CO CE	Capacitación	Permite al personal estandarizar conceptos, términos, protocolos, nomenclatura y procesos en materia, para así obtener las mismas bases del conocimiento común en incendios forestales con bases teóricas y prácticas solidas (CONAFOR, 2019).	Capacitaciones técnicas y de calidad para el personal encargado del manejo del fuego
CO	Vehículos	Se definen por el tipo de vehículo, la cantidad y tipo de combustible que requiere cada uno, así como la cantidad en litros y cuánto cuesta el combustible (\$/L) (CalFIRE, 2020).	Combustible utilizado durante el tiempo operativo
CO	Equipo y herramientas para el manejo del fuego	La herramientas forestales se dividen en tradicionales y especializadas y todas las temporadas de incendios deben estar listas y en las mejores condiciones operativas gracias a un mantenimiento y cuidado adecuado. La eficacia de su uso dependerá ampliamente de la capacitación y habilidad que el personal tenga sobre ellas (CONAFOR, 2019).	Equipo funcional disponible para todo el personal involucrado
CO	Equipo de primeros auxilios	<p>Su principal finalidad es ayudar a estabilizar y brindar atención inmediata y efectiva para estabilizar a una persona hasta que pueda recibir atención médica. Es fundamental que este equipo este completo, en buen estado y que las personas que lo utilicen estén capacitadas (Cruz Roja, 2023).</p> <p>Los equipos de trabajo como las brigadas forestales requieren apoyo de otro tipo de recursos, para cualquier operación en emergencias de primeros auxilios, como paramedicos, medios de transporte para llegar a la atencion medica y personal que pueda ayudar a recuperar equipo, para llegar a la atencion medica o ambulancias (REMS, 2017).</p>	Equipo disponible y vigente adecuado para las necesidades de los equipos de primera intervención rápida (REMS)

CO	Suministros alimenticios	Estos suministros deben de ser balanceados, incluyendo principalmente alimentos de los principales grupos, un combatiente forestal puede quemar de 300 a 600 calorías por hora y más de 6000 al día y llegar a presentar síntomas de deshidratación, por lo cual se debe tener presente suministros alimenticios y de rehidratación disponibles y suficientes a lo largo del periodo operativo (CONAFOR, 2019).	Disponibilidad de alimentos altos en macronutrientes y punto de rehidratación durante el periodo operativo.
----	--------------------------	---	---

***Tiempo de respuesta (TR), Costos operativos (CO), Coordinación efectiva (CE)

Fase 1

Tomando en cuenta las estrategias actuales del ANP en manejo de fuego, es preciso contar con una valoración apropiada de los recursos utilizados para el manejo de las áreas de mayor peligro, por sus características físicas, biológicas y ubicación.

Al contar con la caracterización de variables realizada en el Capítulo 1 de esta investigación, más los datos cualitativos obtenidos a través de la caracterización de variables (Tabla 1), se puede lograr una aproximación más asertiva de los recursos actuales y las necesidades futuras para un mejor manejo integral del fuego en el ANP.

La revisión de casos incluye una búsqueda en literatura gris, acopio y revisión de informes y manuales, información que permitió la obtención de las variables como Días de combate, Personal involucrado, Equipo para el manejo de fuego, Vehículos, Suministros alimenticios y capacitación. Con esto se construyó una matriz de casos de estudio de análisis empleando Microsoft Excel.

Por otro lado, se realizaron cuestionarios de entrevistas (Anexo 2. Cuestionarios de entrevistas con personal del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir) las cuales se realizaron siguiendo la técnica de bola de nieve con personal del PNSSPM y miembros del Servicio Forestal de los Estados Unidos (USFS), colaboradores del PNSSPM (ver Tabla 8) lo cual tuvo el objetivo de adquirir información detallada para así puntualizar los elementos fundamentales de las estrategias seguidas durante los incendios de importancia para esta investigación, ya que en los informes no muestran de manera detallada información para todas las variables. La transcripción y el análisis de estas ayudó alimentando los análisis de

las variables ambientales, ecología de fuego y económicas involucradas en cada incendio para continuar con el llenado de la mencionada matriz.

Tabla 8 Actores clave entrevistados

Clave	Institución que representan	Rol asociado con el manejo de fuego	Fecha
001	Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir	Encargado del ANP	Octubre 2021
002	Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir	Brigada Forestal San Pedro Mártir	Octubre 2022
003	Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir	Encargado del ANP	Octubre 2022
004	Servicio Forestal de los Estados Unidos	Combatiente Forestal	Noviembre 2022 Diciembre 2022 Noviembre 2023
005	Bomberos Tijuana	Bombero Forestal	Abril 2022
006	CONAFOR	Encargado Regional	Septiembre 2022

Fase 2

Para llevar a cabo la revisión de casos y la determinación de las variables, se realizó una revisión minuciosa en Manuales, libros, síntesis, reportes de incendios forestales, Programas de Manejo de Fuego Estatales y Nacionales, Reportes estadísticos, artículos científicos, reportes de proyectos, artículos periodísticos, casos de incendios en diferentes partes del país y casos de incendios en otras partes del mundo que comparten características (ver Tabla 9), logrando contrastar la literatura, la evidencia y reportes de los casos evaluados (incendios forestales dentro del PNSSPM 2018-2022). De manera paralela a dicha revisión y análisis, se llevó a cabo la solicitud de información a la Oficina Regional de Manejo Forestal de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Con la información obtenida a través de la revisión de 34 ítems se observó en estos que, por el lado de los documentos de Baja California se presentan los resultados y metas que se esperan

de los planes que trabajo al final de la temporada de incendios, las características ecosistémicas de la región y las necesidades y retos que presenta. Sin embargo, en la mayoría de estos casos, la presentación de los resultados es incompleta debido a la falta de datos registrados. Por ejemplo, se observan muchas estrategias deseables para el manejo de incendios forestales pero no los fondos ni los recursos con los que se espera se logren. Por otro lado, en los elementos de la revisión de literatura que son de los países de Europa se observa la planeación de las estrategias deseables para reducir la presencia de incendios forestales, la impresión que los pobladores tienen sobre el fuego y se plantea como se desea lograrlas, así como la asignación o la distribución de los recursos y a qué actividades se les debe designar a fin de prevenir incendios forestales catastróficos.

La literatura revisada que proviene o trata de áreas en EUA, se puede observar un meticuloso análisis de los recursos que se emplean para cada una de las estrategias que involucra el manejo del fuego, así como lo que costaría que un incendio forestal causara daños a la población y los bienes materiales. Del mismo modo se observa el reporte de datos por cada uno de los días desde la detección del incendio hasta su liquidación. De la literatura revisada para México, subyace un análisis de eficiencia de manejo de fuego fue el realizado por la Ciudad de México, el cual estandariza la toma de datos, buscando la mejora de las estrategias mientras se minimizan los riesgos a la población y bienes materiales.

En general, los ítems revisados tuvieron en común las metas y objetivos esperados o ideales para las temporadas de incendios haciendo hincapié de la mejora de las acciones mientras se reducen los posibles daños; del mismo modo se observa gran diferencia con lo revisado de EUA ya que en estos se presenta con sumo detalle los resultados de la toma de datos, así como el uso y la cantidad de recursos, contraste o diferencia con los casos de estudio para esta investigación.

Tabla 9 Componentes de la revisión de casos de la Fase 2

Tipo de Ítem	Origen de la publicación	Cantidad
Reportes de incendios forestales	Baja California	3
Programas de Manejo de Fuego estatales	Baja California	3
Programas de Manejo de Fuego Nacionales	México	1
Reportes estadísticos	México, California, Arizona, Ciudad de México	5
Reportes de proyectos forestales	Baja California	4
Programas de Manejo de ANP	Baja California, Chihuahua	2
Manuales	Baja California, California, EUA	3
Síntesis	Chile, Arizona, USA	4
Artículos periodísticos	Arizona, Baja California	3
Libros	México, California	3
Artículos científicos	Wisconsin, Europa, EUA, Colorado	6
TOTAL		34

Fase 3

Para esta última fase, se tomó la información recabada y procesada en las fases anteriores para el análisis de la eficiencia. Para ello, con base en el trabajo realizado por Medina Vega (2009) y Thompson y colaboradores (2017) se generó una herramienta de aproximación para la contabilización del manejo de cada incendio de interés para esta investigación. Para ello se homologaron las unidades de medida en unidades monetarias (pesos mexicanos a precios corrientes) y la superficie afectada por los incendios en hectáreas, esto con una extracción de cuánto es el costo por hectárea combatida sobre el costo total reportado de manera oficial del combate del incendio. Contar con una homologación de unidades de

medida para evaluar la eficiencia del manejo del fuego es de ayuda para llegar a entender como fueron distribuidos los recursos implementados y tener bases para futuras implementaciones y evaluaciones de eficiencia.

A raíz de lo descrito anteriormente se llegó a la homologación de unidades de medida a través de una operación matemática con la cual se obtendrá en costo por hectárea. Tomando el valor total del costo del combate de incendio y dividiéndolo por la superficie total del polígono del incendio.

$$\text{Costo por hectárea} = \frac{\text{Costo total del combate}}{\text{Área total combatida}}$$

Es importante destacar que el costo total del combate incluye todos los gastos relacionados con todas las acciones tomadas para combatir y liquidar el incendio; y el área total combatida, es el área total que se ha manejado o controlado reportados en los informes (Medina Vega, 2009).

3.3 Resultados

Cada uno de estos incendios presentó retos y necesidades distintas, sin embargo, tomando en cuenta los reportes estadísticos de CalFIRE (2022), los reportes de los proyectos PROCODES realizados en el PNSSPM (2021), así como lo publicado en el PMEF (2021) cada uno contó con los recursos mínimos necesarios para poder combatir el incendio. Dentro de la literatura citada se contemplan dichos recursos, los cuales son la cantidad de personal que mínimo para trabajar (que debe ser 4 personas), las herramientas básicas de uso forestal, así como las más especializadas, las cuales varían de acuerdo con el combate del incendio y con forme avanza. También se hace énfasis en el grado de capacitación que deben tener el personal para poder realizar esta labor, misma que se puede observar cómo evolucionó durante este periodo para el caso del personal involucrado en el PNSSPM, siendo cada vez más especializadas para cubrir las necesidades que el ecosistema y el tipo de combustibles que se presentan en esa ANP. Sin embargo, el personal que labora muestra una alta rotación, es decir, no

se ha mantenido el mismo durante todas las temporadas. Esto representa inversión en capacitaciones que probablemente no tengan continuidad más allá de un empleo de temporada (mayo-noviembre).

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (2018, 2021 y 2022), los costos de inversión para obtener capacitaciones en materia de gestión y aplicación de nuevas tecnologías, los montos otorgados son de \$40,000 para 2018 y 2021 y de \$45,000 para 2022. Por el lado de la compra de equipamiento no se incluye la inversión en los reportes de incendio, posiblemente debido a que este recurso se contabiliza como parte del equipo con el que ya cuenta el PNSSPM y que ha sido donado a través de proyectos con Organizaciones sin Fines de Lucro cuyo objetivo ha sido brindar apoyo a las operaciones del PN (Clave 001, octubre 2021).

Por el lado del tiempo o los días de combate que implica cada incendio desde su detección hasta su liquidación total, no se puede determinar de manera exacta ya que este tiempo depende de diversos factores que no se pueden controlar y no siempre son iguales (factores ambientales y ecológicos los cuales ya se han abordado con mayor detalle anteriormente en este estudio), sin embargo, esto se podría registrar a través del tiempo de respuestas estandarizando, un tiempo respuesta promedio (ideal o planificado) y comparado contra el tiempo real que tomó responder al incendio (Thompson, 2016) y así determinar la eficiencia del tiempo de respuesta, haciendo una correlación de datos del tiempo total que implica cada incendio y evaluando cómo han mejorado el tiempo de respuesta. Por ejemplo, la Secretaria de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA) cuenta con un registro del tiempo promedio en el que se atienden los incendios forestales de la Ciudad, donde se observa que el tiempo promedio de atención de 2019 fue de 65 minutos y de 39 minutos en 2023, mientras que el tiempo de liquidación paso de 266 minutos para 2019 a 161 minutos en 2023 (SEDEMA, 2023).

Derivado del análisis de las variables anteriores se pudo identificar que el incendio de Santa Rosa tuvo un costo de combate estimado de \$104,445 y de acuerdo con el reporte de incendios (CONAFOR, 2018) duró cinco días de trabajo y se afectaron 2800 ha; Botella Azul tuvo un costo de \$380 631.67, de acuerdo con

el reporte de incendio (CONAFOR, 2021) fueron 11 días de combate y se afectaron 73.652 ha; y Bajío del Toro tuvo un costo de \$2,780 249 por siete días de combate donde se afectaron 254. 62 ha (CONAFOR, 2022); siendo este último el incendio que involucro más inversión de recursos y tuvo menor superficie afectada. Esta información se expresa en la *Tabla 10* por variable. Se puede determinar el costo de operación que tuvo cada hectárea combatida a través obtener el costo total del combate, así como el área total de superficie que abarcó el incendio.

Tabla 10 Costo por hectárea en los incendios de Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro

Incendio	Costo total/superficie total	Costo por hectárea
Santa Rosa	\$104 445/2800 ha	\$37.30/ha
Botella Azul	\$380 631.67/73.652 ha	\$5 167.97/ha
Bajío del Toro	\$2,780 249/ 254. 62 ha	\$10 919.20/ ha

Si bien los factores ambientales y de ecología del fuego influyen en el comportamiento de los incendios, la respuesta que se tiene ante ellos es lo que da pauta para hablar de la eficiencia y en estos tres casos analizados se encontró que los costos fueron elevados esto debido a la capacidad de respuesta y la falta de coordinación (tablas 11, 12, 13).

Tabla 11 Recursos implicados y estimación de costos en el manejo del incendio de Santa Rosa en el PNSSPM

Recurso	Santa Rosa	Aproximación a unidades de análisis	Unidades de medición
Personal involucrado	5 brigadas de combate por parte de: CONANP con 3 personas, PROCODES con 3 personas, CONAFOR 8 personas, Brigada rural con 5 personas y SEDENA con 11 personas	\$220/ día	Pesos corrientes de 2018
Días de combate	cinco días de combate	5 días/ \$220= \$1 100	Pago de jornadas laborales en pesos corrientes de 2018
Vehículos	Se utilizaron 4 vehículos 1 por parte de CONANP	Al no contar con la información referente a la	Costos de combustible para México en 2022

	y 3 por parte de CONAFOR	inversión de combustible para operar estos vehículos se utilizó el valor de lo utilizado en 2022 restándole el porcentaje de inflación correspondiente, que en este caso es de 31.1% de 2018 a 2022 (INEGI, 2023)	
Equipo para el manejo de fuego	40 herramientas manuales 10 por parte de CONANP 30 por parte de CONAFOR	No se cuenta con información del costo de la herramienta o el mantenimiento	Pesos corrientes de 2018
Equipo de primeros auxilios	No hay información disponible	No hay información disponible sobre el equipo disponible para brindar primeros auxilios durante todo el incendio	Pesos corrientes mexicanos 2018 para adquisición de equipo de primera respuesta a emergencias medicas
Suministros alimenticios	No hay información disponible	No se brindó información sobre los gastos logísticos para alimentación de los combatientes forestales durante este periodo	Pesos corrientes de 2018
Capacitación con la que contaba el personal operativo	El personal contaba con capacitación básica como combatiente forestal tipo 3 y el personal de CONANP también en Sistema de Mando de incidentes (con excepción del personal de la SEDENA)	\$ 40 000 para capacitaciones brindado por CONANP	Pesos corrientes de 2018
Expresiones monetarias	No hay información disponible Estimado de \$104 445 tomando en cuenta los costos de los otros dos incendios se calculó este valor.	Con base en los reportes oficiales se tomó la cantidad de recursos utilizados por categoría y se llegó a un estimado del costo total del incendio tomando los costos reportados para los otros incendios	Pesos corrientes de 2024

***Pesos corrientes, en pesos mexicanos de 2018.

Tabla 12 Recursos implicados y estimación de costos en el manejo del incendio de Botella Azul en el PNSSPM

Recurso	Botella Azul	Aproximación a unidades de análisis	Unidades de medición
Personal involucrado	36 elementos en total para el combate de este incendio, a cargo de la SPM, CONAFOR, SPA, CONANP, brigadas rurales, Bomberos Tijuana y SEDENA divididos en 7 brigadas de trabajo	\$300/día	Pesos corrientes de 2021
Días de combate	11 días de combate	11 días/ \$300= \$3 300	Pesos corrientes de 2021
Vehículos	Avioneta de la SEMAR para reconocimiento de la zona 2 vehículos por parte de CONAFOR	\$75 066. 67 avioneta \$ 25 350 combustible para vehículos	Pesos corrientes de 2021
Equipo para manejo de fuego	No hay información disponible sobre la cantidad exacta de herramienta utilizada	No se cuenta con información del costo de la herramienta o el mantenimiento	Pesos corrientes de 2021
Equipo para primeros auxilios	No hay información disponible	No hay información disponible sobre el equipo disponible para brindar primeros auxilios durante todo el incendio	Pesos corrientes mexicanos 2021 para adquisición de equipo de primera respuesta a emergencias medicas
Suministros alimenticios	No hay información disponible	\$25 350.00 logística de incendio, sin embargo, no especifica el monto total solo de alimentos	Pesos corrientes de 2021
Capacitación con la que contaba el personal operativo	El personal contaba con capacitación básica como combatiente forestal tipo 3, manejo y uso de motosierras y primeros auxilios y el personal de CONANP también en Sistema de Mando de incidentes	\$40 000 para capacitaciones brindado por CONANP	Pesos corrientes de 2021
Expresiones monetarias	\$380 631.67		Pesos corrientes de 2021

***Pesos corrientes, en pesos mexicanos de 2021.

Tabla 13 Recursos implicados y estimación de costos en el manejo del incendio de Bajío del Toro en el PNSSPM

Recurso	Bajío del Toro	Aproximación a unidades de análisis	Unidades de medición
Personal involucrado	Brigada SPM, CONAFOR, SPA y CONANP, brigadas rurales, Bomberos Tijuana, Secretaria de Marina (SEMAR), Protección Civil de Baja California, SEDENA y CONAGUA	\$300/ día	Pesos corrientes de 2022
Días de combate	Siete días de combate	7 días/\$300= 2 100	Pesos corrientes de 2022
Vehículos	Helicóptero por parte de CONAGUA, para descarga de agua y transporte de personal, 2 vehículos de Gobierno del Estado y 5 vehículos de CONAFOR	\$36 120.00 \$2 250 000.00 operaciones aéreas	Pesos corrientes de 2022
Equipo para el manejo del fuego	No hay información disponible sobre la cantidad exacta de herramienta utilizada	No se cuenta con información del costo de la herramienta o el mantenimiento	Pesos corrientes de 2022
Equipo de primeros auxilios	No hay información disponible	No hay información disponible sobre el equipo disponible para brindar primeros auxilios durante todo el incendio	Pesos corrientes mexicanos 2022 para adquisición de equipo de primera respuesta a emergencias medicas
Suministros alimenticios	No hay información disponible	\$36 120.00 logística del incendio, sin embargo, no especifica el monto total de alimentos	Pesos corrientes de 2022
Capacitación con la que contaba el personal operativo	El personal contaba con capacitación básica como combatiente forestal tipo 3, manejo y uso de motosierras y primeros auxilios y el personal de CONANP también en Sistema de Mando de incidentes	\$45 000 para capacitaciones brindado por CONANP	Pesos corrientes de 2022
Expresiones monetarias	\$2,780 249		Pesos corrientes de 2022

***Pesos corrientes, en pesos mexicanos de 2022.

Cabe mencionar que estos incendios tuvieron lugar durante el mismo sexenio y que no hubo grandes aumentos presupuestales o cambios bajo este supuesto para fondos otorgados para proyectos de manejo de fuego en Áreas Naturales Protegidas o terrenos forestales, del mismo modo no se cuenta con más información relevante al respecto ya que no se encuentra publicada o fue brindada durante las entrevistas realizadas.

3.4 Reflexiones finales del objetivo particular II

La literatura habla de algunos supuestos y requisitos previos que son de importancia (Medina Vega, 2009, Thompson, 2016, Thompson, 2017, CalFire, 2022, SEDEMA, 2023), como por ejemplo, el aumento de los esfuerzos de prevención disminuye el de combate y así mismo, disminuyen los daños y las pérdidas; los daños que se eviten puedan ser monetizados y puedan ser comparados con el gasto del combate (análisis costo-beneficio); y, finalmente, los resultados puedan ser cuantificados en: los daños evitados a través de acciones de combate obteniendo como resultado el modelado de la productividad y eficiencia de los recursos implementados en el combate. Este último punto hace referencia a que los daños evitados dependen en cierta manera, de haber estimado lo que pudo suceder si se tomaran otras medidas de prevención (Thompson, 2017).

Cabe resaltar que en la práctica diaria, la información limitada y otras incertidumbres que se presentan conforme evolucionan los incendios, a menudo excluyen la aplicabilidad directa de tan detallada toma de datos y la toma de decisiones sobre el incidente son cambiantes y se va perdiendo detalle de todas las acciones durante el transcurso del tiempo, desde que se detectó hasta que se realiza el informe final del incendio y, también, es importante la toma de datos a lo largo del año, de las variables involucradas, tales como condiciones atmosféricas, cantidades y tipos de combustibles, tiempos de trabajo, superficies trabajadas, costo total de las acciones preventivas, etc., las cuales ayudarán a complementar los reportes y necesidades de análisis futuros. Del mismo modo es necesario contar con más estudios detallados para entender mejor las necesidades reales de cada sitio, de cómo se manejarán los recursos de manera eficiente. Esto ayudaría a

contar con una estandarización de la toma de datos, así como para el mejorar el manejo de situaciones futuras.

Derivado del análisis realizado en este capítulo, no se puede determinar si presentó o no eficiencia el manejo de cada uno de los incendios, ya que no se cuenta con un punto de partida. Es decir, contar con escenarios ideales o aproximaciones que indiquen la eficiencia. Se logró una aproximación a través de la estandarización de las unidades de medida (\$/ha) mostrando que, el hecho de que un incendio se presente en una mayor superficie, no es equivalente a mayor costo operacional y viceversa, puesto que existen otros factores como las características del sitio, disponibilidad de combustible y factores ambientales que son relevantes para este cálculo.

Se observa que el incendio Santa Rosa costó \$37. 30/ha cubriendo una superficie del 3.84 % del total del PNSSMP, por el lado del incendio de Botella Azul costó \$5 17.97/ha cubriendo una superficie del 0.101% del total del PNSSMP, mientras que para Bajío del Toro costó \$10 919. 20/ha cubierto una superficie del 0.342% del total del PNSSMP.

CAPITULO IV. OBJETIVO PARTICULAR III

Propuesta de las acciones y estrategias para eficientizar el manejo de fuego en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir.

IV.1 Introducción

En las últimas décadas diversas áreas del país han migrado a la aplicación de estrategias de Manejo Integral de Fuego (MIF). Para definir algunas especificaciones de este, en 2007 se creó la Norma Oficial Mexicana 015, que establece los métodos de uso del fuego en los terrenos forestales, temporalmente forestales, preferentemente forestales, en los terrenos de uso agropecuario y colindantes, actualizada en 2023 (NOM- 015-SEMARNAT/AGRICULTURA-2023); Es decir, representa el proceso de transición de la supresión de incendios al manejo integral del fuego y manifiesta que las decisiones de manejo deben basarse en el reconocimiento de los ecosistemas y su adaptación al fuego.

De lo anterior que sea fundamental reconocer las dinámicas y características de los ecosistemas dependientes del fuego (como los de la región Noroeste de Baja California) para el diseño de estrategias y buenas prácticas en manejo de fuego. Por otro lado, es importante entender cómo éste afecta algunos componentes importantes para la conservación como especies clave, especies raras y amenazadas (Myers, 2006). Parte fundamental MIF es mantener o restaurar los regímenes de incendios dentro de sus periodos de retorno naturales, con el objetivo de conservar los ecosistemas y todos sus componentes bióticos y abióticos (Jardel, 2010).

Dentro del manejo existe una práctica denominada quemas prescrita, las cuales son intervenciones físicas sobre la estructura y la composición de los ecosistemas forestales, con estas se aplica fuego por expertos, a sitios previamente estudiados y analizados, donde se busca quemar combustibles forestales muertos, herbáceas y arbustos, lo cual ayuda a reducir la disponibilidad de combustibles y así el riesgo de incendios forestales severos y difíciles de manejar.

Las bases de los diagnósticos espaciales para el MIF se basan en analizar las variables que se involucran con el peligro de incendio, las cuales son las relacionadas con la topografía, características ecosistémicas, atmosféricas, de vegetación y disponibilidad de combustibles, así como las de riesgo de incendio (actividades antrópicas) (PMIF, 2018). Los elementos como el peligro de propagación de fuego, el riesgo de ignición contribuyen a la vulnerabilidad ante la presencia de incendios forestales, los cuales también pueden llegar a causar afectaciones a las edificaciones, personas y a las actividades que se lleven a cabo en el área (PEMF, 2023), lo que aumenta el riesgo de las labores de prevención y combate ante la presencia de Zonas de Interface Urbano Forestal (ZIUF).

La clasificación de peligro de incendio ofrece a quien realiza el manejo del fuego las herramientas necesarias para la evaluación y toma de decisiones y las necesidades de protección de un área, tomando en cuenta el conjunto de variables y características propias del área, para así lograr las mejores soluciones con respecto al fuego (NWCG, 2002). Debido a que las variables de combustibles, topográficas ambientales y de ecología del fuego que se involucran en el peligro de incendio también son las que se evalúan para el comportamiento del fuego se suele confundir, debido a esto cabe resaltar sus diferencias; por ejemplo, en el peligro de incendio se realiza una evaluación a gran escala, mientras que para el comportamiento del fuego es para un sitio en específico (NWCG, 2002).

Las clasificaciones de peligro de incendio describen condiciones que reflejan el potencial de riesgo al que se puede enfrentar un área grande, para que un incendio se encienda, se propague y requiera acciones de extinción; y, el comportamiento del fuego por otro lado se observa con incendio existente en un tiempo y espacio determinado, éste se expresa en tiempo real o condición prevista para incendios en curso (Thompson, 2016).

IV.2 Metodología

El proceso metodológico para este capítulo implicó la categorización de las distintas variables presentes en los incendios de interés para este estudio, tanto como la identificación de áreas de riesgo por las cargas totales de combustibles en

toneladas por hectárea (Ton/ha) (PMIF,2018), así como las condiciones ambientales y de manejo para llegar a la elaboración de una herramienta de ponderación cuyo fin es el de determinar el valor de riesgo de fuego. La clasificación de peligro de fuego en un área le brindará al manejador del fuego una herramienta de utilidad para la toma de decisiones cotidianas en el manejo de los incendios, que se debe considerar junto con el conocimiento sobre el área para llegar a la mejor decisión de solución de los problemas con respecto al fuego (NWCG, 2002).

1. Se implementaron índices espectrales de vegetación para la delimitación de las áreas quemadas, utilizando el Índice de Quema Normalizado (NBR). El NBR utiliza las bandas espectrales del infrarrojo cercano y del infrarrojo de onda corta. La metodología consta de generar el NBR previo al incendio (estado prístino de la vegetación, es decir vegetación sana y sin interacciones o presencia de quema) y compararlo con el NBR posterior al incendio (vegetación dañada). El resultado es un mapa de donde se puede analizar el vector de cambio, el cual se define como el vector que une la información espectral de cada pixel en dos fechas distintas (Fernández y Ángel, 2017) ayudando a detectar cambios por fenómenos naturales o acciones antropogénicas, en este caso incendios. Las imágenes utilizadas fueron Landsat 8 a las cuales se les aplicó correcciones atmosféricas, con el fin de corroborar el área de quema. Se aplicó la metodología descrita anteriormente para las fechas descritas en la *Tabla 14*, de acuerdo con la incidencia de los incendios de cada zona:

Tabla 14 Fechas utilizadas para el índice de Quema Normalizado (NBR)

Zona del incendio	Fecha previa al incendio	Fecha del incendio	Fecha posterior al incendio
Santa Rosa	30/junio/2018	02/julio/2018	25/julio/2012
Botella Azul	05/octubre/2021	13/octubre/2021	24/octubre/2021
Bajío del Toro	17/junio/2022	02/julio/2022	11/julio/2022

Para obtener el mapa de riesgo por cargas totales de combustibles (*Figura 9*), se utilizaron los datos de cargas totales de combustibles en toneladas por hectárea (Ton/ha) presentados dentro del Programa de Manejo Integral del Fuego (2018) y se realizó en el programa *Q Gis*, con cartas topográficas del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

A través de mapeo realizado del PNSSPM se identificaron los sitios de mayor riesgo que considerados como prioridad para aplicar estrategias de manejo integral del fuego.; De acuerdo con la identificación de estas áreas, así como el conocimiento de las actividades que se realizan y sus características ecológicas, la carga total de combustibles (Ton/ha), la proximidad a infraestructuras y la permanencia de habitantes/visitantes, se identificaron como prioridad: *el área uso público y campamentos, la carretera de acceso al Parque Nacional, el polígono del Observatorio Astronómico Nacional y La Corona.*

2. Se categorizaron las distintas variables que presentó cada uno de los incendios evaluados en este estudio, dándoles ponderaciones del 1 al 4, clasificándoles en un sistema que expresa el estado de cada incendio forestal a raíz de sus características (ambientales ecológicas y antrópicas), para obtener el valor de peligro de incendio de manera cuantitativa y cualitativa y así poder reflejar las necesidades futuras de prevención y de manejo, siendo de utilidad para situaciones que estén ocurriendo (observadas) o futuras (predichas), ya que pueden guiar la toma de decisiones días previos, así como complementar las evaluaciones de severidad entre eventos o sitios (NWCG, 2002).

2.a. Las variables ambientales se clasificaron en; *hectáreas afectadas* las cuales se ponderaron en criterios específicos de 500-1500, 1500-3000, 3000-5000 y de 5000 o más hectáreas afectadas; *Tipo de vegetación* en pastizal, chaparral, bosque de pino-chaparral y bosque de pino-encino; *Topografía* en planicies, Pendientes menores, escarpes abruptas y despeñaderos casi verticales; *Temperatura ambiental* menor de 10°C, de 10 °C a 25 °C, de 25 °C a 30 °C y más de 30°C; *Humedad relativa* de 80%,60%, 50% y menor a 30%; *Velocidad del viento* de 15 a 25 km/h, de 30 a 40 km/h y mayor a 40 km/h.

2.b. Las variables de ecología de fuego fueron clasificadas como; *Cargas de combustible* de menos de 10 ton/ha, de 15 ton/ha, a 30 ton/ha, de 50 ton/ha a 75 ton/ha y de 75.79 ton/ha o más.

2.c. Las variables económicas se clasificaron en las siguientes variables; *Personal requerido* de 5 a 11 combatientes, de 11 a 20 combatientes, de 20 a 30 combatientes y si fue necesaria la activación del Plan de Atención a Incidentes (PAI); *Accesibilidad* en acceso sencillo, acceso complicado, acceso escarpado y acceso complicado y escarpado; *Recursos económicos* de menos de \$100 000, \$100 000, \$200 000 y \$300 000 en pesos mexicanos; *Duración del combate* de 1 a 5 días, de 5 a 10 días, de 10 a 15 días y más de 20 días de combate; *Instituciones externas de apoyo* de 1 a 2, de 2 a 3, de 3 a 4 y más de 5; *Instituciones internas* 1 siendo la brigada forestal del PNSSPM, 2 instituciones la brigada forestal del PNSSPM y la brigada forestal de CONAFOR, 3 instituciones la brigada forestal del PNSSPM y la brigada forestal de CONAFOR más las brigadas rurales y 4 instituciones la brigada forestal del PNSSPM y la brigada forestal de CONAFOR y el OAN; *Equipo para combate* en herramientas manuales, herramientas manuales y motosierras, herramientas manuales, motosierras y motobomba, herramientas manuales, motosierras, motobomba y descarga aérea de agua; *Distancia a*

infraestructura más próxima de 20 km o más, de 10 km a 20 km, de 5 km a 10 km y menor a 5 km.

3. Para la ponderación de los factores que se involucran en el manejo del fuego se utilizó una matriz de categorización que ayuda a representar visualmente en forma de tabla las variables que se mencionan anteriormente, esta matriz cuenta con cuatro ejes numerados del 1 al 4 y categorizadas por colores; **1 verde (bajo riesgo), 2 amarillo (medio), 3 naranja (crítico) y 4 rojo (alto o urgente)**. A cada criterio específico se le otorgó un valor numérico con su respectivo color, generando una escala de menor a mayor importancia de evaluación para reducir el riesgo de fuego. Una vez que se tienen todos los criterios ponderados, se realiza la sumatoria de sus valores y se analizan los resultados, es decir el nivel de riesgo que presente el incendio evaluado para así sumar al plan de acción de manejo del fuego.

3.a. La proximidad a infraestructuras se calculó considerando su ubicación en el área de acuerdo con la zonificación del PNSSPM (Programa de manejo del PNSSPM, sin publicar), así como la localización y superficie de cada uno de los incendios evaluados, aplicando un buffer perimétrico con diferencias de distancias lineales sobre la carta topográfica con la finalidad de obtener 4 distintas ponderaciones de menor a mayor siendo el que presenta mayor riesgo si se encuentra a menos de 5 kilómetros del perímetro del incendio y el de menor riesgo el que se localice a más de 20 kilómetros de éste.

Esta herramienta de ponderación (Tablas 15 y 16) apoyará a priorizar las necesidades de acción para incendios forestales que se presenten y actuar de acuerdo con sus características, ayuda a comprender las probabilidades de riesgo y su exposición en sitio, del mismo modo permite analizar de diversas formas las variables que se involucran y evaluarlas para lograr una aproximación de la realidad del área a trabajar.

Tabla 15 Categoría de peligro resultante de la herramienta de ponderación

Ponderacion final	Color	Recomendación
1 a 35	Verde	Proceda con las acciones de manejo.
	Amarillo	
36 a 60	Naranja	Precaución. Evalúe y controle los riesgos antes de comenzar con el manejo.
61 a 80	Rojo	Alto. No continúe con las acciones de manejo hasta tener un plan de trabajo detallado.

Tabla 16 Herramienta de ponderación de las variables involucradas en el incendio

Variable	Criterio específico	Valor de ponderación
Hectareas afectadas	500- 1500	1
	1500 - 3000	2
	3000- 5000	3
	5000 o más	4
Tipo de vegetación	Pastizal	1
	Chaparral	2
	Bosque de pino- Chaparral	3
	Bosque de pino-Encino	4
Topografía	Planicies	1
	Pendientes menores	2
	Escarpes abruptas	3
	Despeñaderos casi verticales	4
Temperatura ambiental	menos de 10 °C	1
	de 10 a 25 °C	2
	de 25 a 30 °C	3
	más de 30 °C	4
Humedad relativa (%)	80%	1
	60%	2
	50%	3
	menor a 30%	4
Velocidad del viento (Km/h)	menor a 10km/h	1
	de 15 a 25 km/h	2
	de 30 a 40 km/h	3
	mayor a 40km/h	4
Cargas totales de combustible	menos de 10 ton /ha	1
	de 15 a 30 ton/ha	2
	de 50 a 75 ton/ha	3
	75.79ton/ ha o mas	4
Accesibilidad	acceso sencillo	1
	acceso complicado	2
	acceso escarpado	3
	acceso complicado y escarpado	4
Recursos economicos	menos de \$100 000	1
	100 000	2
	200 000	3
	300 000	4
Duración del combate	De 1 a 5 días	1
	de 5 a 10 días	2
	de 10 a 15 días	3
	de 20 a más días	4
Personal requerido	5 a 11	1
	11 a 20	2
	20 a 30	3
	PAI	4
Instituciones externas de apoyo	de 1 a 2	1
	de 2 a 3	2
	de 3 a 4	3
	más 5	4
Instituciones internas	1 brigada SSPM	1
	2 Brigada SSPM, CONAFOR	2
	3 Brigada SSPM, CONAFOR y brigadas rurales	3
	4 Brigada SSPM, CONAFOR, brigadas rurales OAN	4
Equipo	Herramientas manuales	1
	HM y motosierras	2
	HM motosierras, motobombas	3
	HM motosierras motobomba y descarga aerea de agua	4
Distancia a infraestructura	20 km o más	1
	10 km a 20 km	2
	5km a 10 km	3
	menor a 5 km	4

IV.3 Resultados

Tomando en cuenta la herramienta de clasificación de variables involucradas en cada incendio (*Tabla 16*) y la categoría de peligro resultante a través de la ponderación final (*Tabla 15*) se realizó el análisis por valor y color de cada uno de los criterios específicos de los incendios evaluados para este estudio (**Ver tablas de criterios específicos de cada incendio en** Anexo 3. Tablas del Capítulo IV), el cual arrojó los datos de peligro de fuego que presentó cada uno, dejando más en claro cuáles fueron las necesidades específicas de cada sitio y como estas afectan la toma de decisiones. a pesar de que son incendios que ya tuvieron lugar esta herramienta es de ayuda a contar con valores clave para evaluaciones futuras, si son incendios que se deben combatir o no y lograr un mejor acercamiento a las estrategias de manejo. Cabe recalcar que esta herramienta debe ser trabajada siempre en conjunto con el conocimiento ecológico del área así como la valoración de las consecuencias que se pueden presentar a raíz de la solución del problema (NWCG, 2002) y, que las estrategias que se desarrollen deben tomar en cuenta que necesitan ser adaptables y flexibles a las necesidades de cada área y aplicables a cualquier región, siendo económicamente eficiente y presentar bases científicas para su correcta aplicación.

El incendio de Santa Rosa obtuvo un valor de 34 (Verde) lo cual indica que el peligro de fuego es bajo (*Tabla 17*) ya que no presentó alto riesgo para las acciones de manejo de fuego debido a las características del sitio y es prudente continuar con las acciones de manejo. Santa Rosa presenta una disponibilidad de combustibles del ± 75.79 ton/ha (*Figura 8*) y afectó un 3.84% de la superficie total del PNSSPM.

Por el lado del incendio de Botella Azul se obtuvo una ponderación final del 37 (Naranja) lo cual indica que el peligro de fuego es moderado-alto (*Tabla 17*) y representó riesgo alto para las acciones de manejo de fuego, debido a las características del sitio y atmosféricas, por lo cual se recomienda evaluar bien todos los criterios específicos involucrados antes de iniciar con las acciones de manejo. Botella Azul presenta una disponibilidad de combustibles de ± 37.89 ton/ha (*Figura 8*) y afectó un 0.101% de la superficie total del PNSSPM.

El incendio de Bajío del Toro resultó con una ponderación final de 41 (Naranja) representando un riesgo moderado-alto (*Tabla 17*) lo cual da un riesgo alto para las acciones de manejo de fuego, debido a las características del sitio y atmosféricas. Donde se localizó el incendio de Bajío del Toro se encuentra una disponibilidad de combustibles de ± 18.94 ton/ha (*Figura 8*) y afectó un 0.342% de la superficie total del PNSSPM.

Tabla 17 Ponderación final de los incendios de Santa Rosa, Botella Azul y Bajío del Toro PNSSPM

Incendio	Ponderacion final
Santa Rosa	34
Botella Azul	37
Bajío del Toro	41

*** Ver tablas de criterios específicos de cada incendio en Anexo 3. Tablas del Capítulo IV

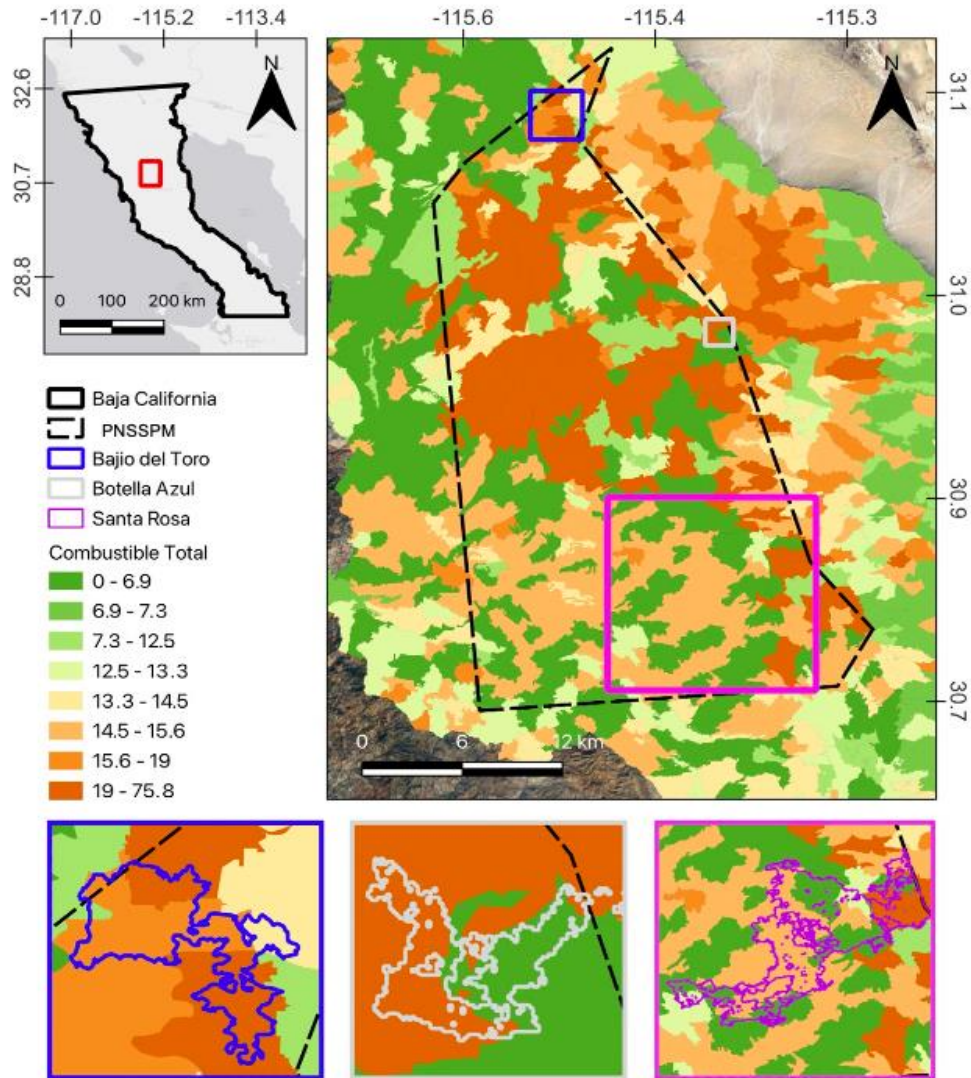


Figura 8 Mapa de riesgo por cargas totales de combustibles (ton/ha) para los incendios evaluados para este estudio en el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir

Elaboración propia. Datos de cargas totales de combustibles obtenidos a través del mapeo del PMIF 2018.

Para el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir se identificaron sitios con mayor riesgo de acuerdo con sus características ecológicas, cargas totales de combustibles (Ton/ha), la proximidad a las diversas infraestructuras y la permanencia de visitantes/habitantes, al ser evaluados estos factores se identificó

a través del mapeo que los sitios de mayor prioridad son *El área uso público y campamentos, la carretera de acceso al Parque Nacional, el polígono del Observatorio Astronómico Nacional y La Corona (Figura 9)*.

Dentro de algunas de estas zonas ya se realizan algunas estrategias de manejo del fuego, sin embargo se recomienda la distribución de esfuerzo y recurso a las que son de más alto riesgo de acuerdo con lo anterior descrito. Por ejemplo, La Corona es una zona de alto riesgo debido a la alta disponibilidad de combustibles que presenta, el tipo de vegetación densa compuesta principalmente por chaparral y el tipo de topografía del sitio, aunado a que se localiza en una de las áreas más transitadas del PNSSPM y colinda con el área de uso público, área registrada con peligro de fuego también.

Por otro lado el polígono del Observatorio Astronómico Nacional también es de alto riesgo debido a la presencia de infraestructuras de alto valor económico y vidas humanas. Este sitio se localiza al Este del PNSSPM y colinda con laderas escarpadas y abruptas, también presenta una alta disponibilidad de combustibles y no se realizan estrategias de manejo de fuego de manera periódica ni en sitios de mayor riesgo dentro del polígono. Estas son de suma importancia en este polígono, ya que como se mencionó en los antecedentes de esta investigación en 2022 en Arizona, EUA se presentó un incendio cercano a un Observatorio Astronómico donde, las condiciones topográficas y ecológicas son similares a las presentes en el PNSSPM. Este incendio fue bastante complicado de manejar y quemó por completo cuatro de las estructuras astronómicas y afectó alrededor de 7625.491 ha (KPNO, 2022). Los incendios de Botella Azul y Bajío del Toro se localizaron a ± 9.94 km y ± 8 km respectivamente de distancia de las infraestructuras del Observatorio Astronómico Nacional, con direcciones del viento hacia el mismo, contemplando un alto riesgo de daños a bienes humanos y materiales.

Mientras que para el área de uso común y la carretera de acceso al PNSSPM, son las áreas de mayor tránsito y permanencia de visitantes durante la mayor parte del año aumentando durante el verano y otoño, siendo en estas estaciones la temporada de incendios forestales para la región, también presentan una alta disponibilidad de combustibles y el tipo de actividades que aquí se realizan

involucran fuego, por ejemplo en el uso de fogatas o asadores, usuarios que fumen, tránsito de vehículos, etc. En estas áreas del PNSSPM es donde se concentran la gran mayoría de las acciones de manejo de fuego, debido a la proximidad que tienen con los usuarios y que estas ayudan a mantener los objetivos de conservación del PNSSPM.

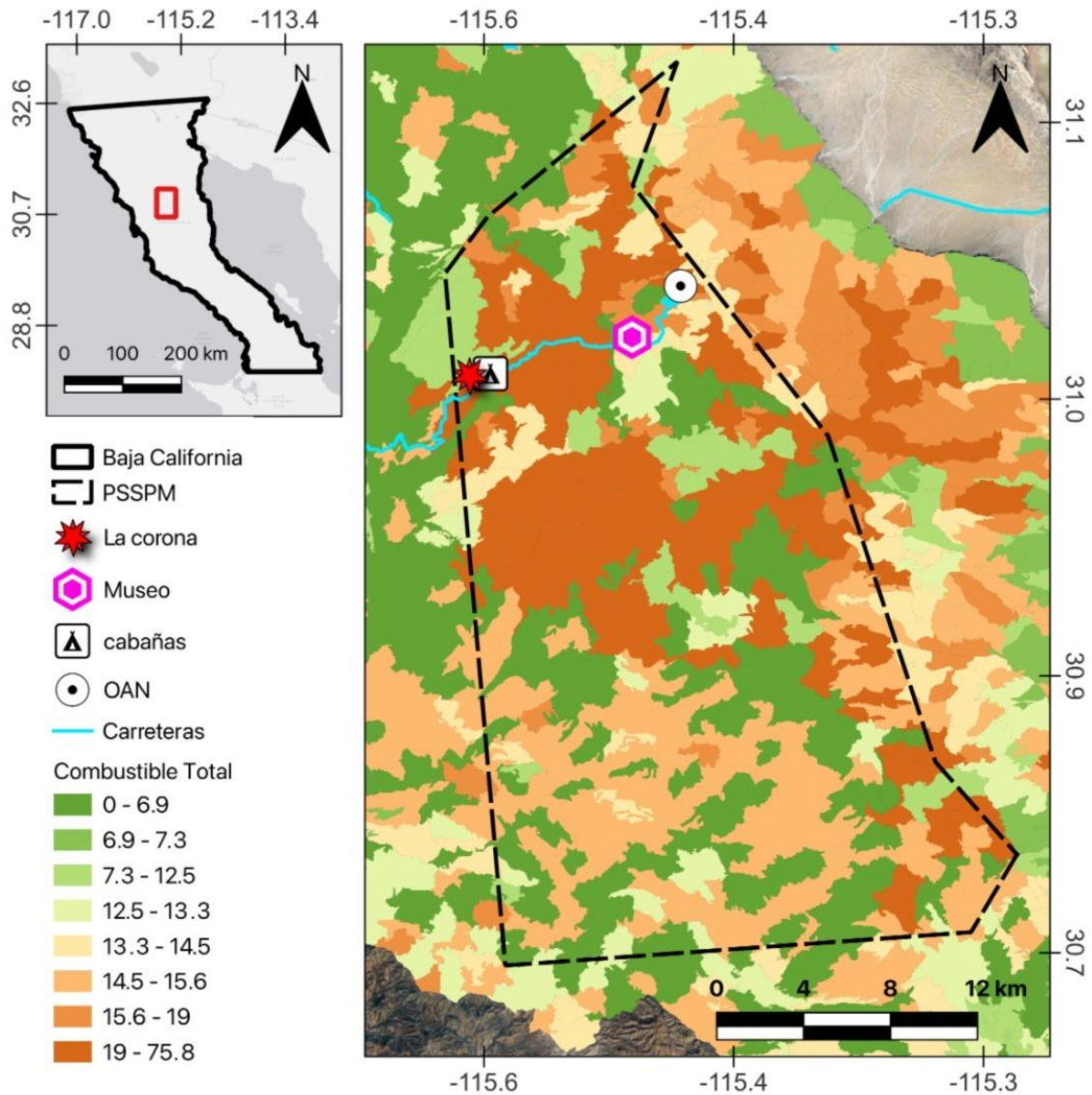


Figura 9 Mapa de riesgo por cargas totales de combustibles (ton/ha) para el Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir

Elaboración propia. Datos de cargas totales de combustibles obtenidos a través del mapeo del PMIF 2018.

IV.4 Reflexiones finales del objetivo particular III

Esta escala de ponderación puede ser ajustada a los distintos tipos de combustibles, climas, topografías, riesgos y necesidades de cada sitio o manejador y ajustar su sistema de clasificación de peligro de incendio. Esta herramienta de ponderación puede ser adoptada por los manejadores o encargados del MIF, pudiendo ser un instrumento básico y de utilidad para la clasificación, toma de datos y la priorización de necesidades únicas y atención de los incendios forestales de acuerdo con sus características, debe ser de consideración el acompañarlo por el uso de modelos predictivos y de análisis de datos que ayuden a anticipar patrones de incendios obteniendo estimaciones del comportamiento del fuego, por ejemplo a través de programas como Behave⁷ Fire Modeling System donde se pueden realizar modelos de incendios puntuales y espaciales en múltiples situaciones, el cual calcula el comportamiento del fuego para un área de combustibles homogéneos para así tener mayor información de cómo se irá comportando y evolucionando el incendio y ser de utilidad para cualquier tomar decisiones de manejo o combate oportunas donde implique modelar el comportamiento del fuego y algunos de los efectos que este tendrá. Del mismo modo el Sistema de Predicciones de Incendios Forestales de CONAFOR donde se presentan las actualizaciones en tiempo real de los puntos de calor, es decir sitios de riesgo de presentar incendio en las próximas horas y los incendios que están activos, esto se detecta a través de imágenes satelitales y se puede consultar las 24 horas del día para mantener actualizaciones del sitio de interés.

V. DISCUSIÓN

Es prácticamente imposible eliminar el fuego en los ecosistemas mediterráneos, si se continúa aplicando políticas de total supresión en general, en cualquier sitio donde se presenten sin realizar evaluaciones previas sobre las necesidades específicas del sitio, el resultado será el incremento de las cargas de combustible y cambios de la cobertura actual (PMIF, 2018). Contemplando los escenarios de cambio climático que prevén incrementos graduales de la temperatura ambiental y la posible disminución de la precipitación, los incendios se presentaran cada vez más, con mayor intensidad y severidad poniendo en riesgo la conservación de estos ecosistemas trayendo consigo la reducción en su capacidad de regeneración dando lugar a que se amplíen las áreas de herbáceas y pastizales (PMIF, 2018).

El entendimiento del papel que juega el régimen de incendios en los procesos de los ecosistemas es clave para el diseño de acciones y planes de manejo de fuego que sean basadas en la ecología del sitio, así como la capacitación del personal encargado del manejo del fuego (Jardel, 2010).

Algunos de los elementos que aportan al riesgo de incendio, como el peligro de ignición y propagación del fuego por condiciones ambientales y topográficas, contribuyen a la vulnerabilidad de que se presenten incendios forestales y a que se aumente el uso de recursos, lo que complica las labores de manejo del fuego (PEMF, 2023).

Estos son factores que, como se ha mencionado a lo largo de este trabajo de investigación, deben ser considerados durante la toma de decisiones para mejorar las estrategias de manejo. Sin embargo, se detecta una falta de evaluación de estas trayendo como resultado que algunas no fueron las mejores opciones, con un gasto innecesario de recursos económicos y humanos que pudo ser previsto durante la evaluación de todas las variables involucradas y los criterios específicos de cada uno de los incendios. Del mismo modo se debe analizar la coordinación de trabajo,

ya que aquí se observa que se pierde la mayoría de información y no se logra obtener un valor de eficiencia por los huecos en la comunicación y toma de datos.

Por otra parte es un hecho que en los últimos años se ha presentado una gran reducción presupuestaria y eliminación de fondos que apoyan proyectos de conservación y manejo de Áreas Naturales Protegidas, lo cual trae mayores retos para realizar acciones de manejo integral de fuego, hablando específicamente del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, que cubre una gran superficie territorial (72 910.68 ha) y presenta una alta disponibilidad de combustibles.

Cabe mencionar que el PNSSPM es un sitio que presenta bastantes complicaciones para su manejo, pues ante el hecho de que el recurso es limitado, el personal operativo también lo es y, sin embargo, el periodo en que se cuenta con mayor personal para estas acciones también es limitado y presenta una alta rotación cada año, lo cual también suma en temas de capacitaciones necesarias para lograr una eficiencia en el manejo.

¿y la discusión sobre la eficiencia económica? A qué hora se habla de que, acorde a lo que X autor señala, no necesariamente manejar el incendio de una gran extensión territorial resulta mucho más costoso e implica mayor uso de recursos, como puede evidenciarse en los casos analizados...

¿y la discusión de los ponderadores calculados?

VI. CONCLUSIÓN

El manejo del fuego debe ser tomado con cautela tanto por los riesgos que implica como por las consecuencias que puede tener sobre el ecosistema, por lo cual las estrategias de manejo que se apliquen deben ser adaptadas a las necesidades y características únicas de cada sitio y deben combinar el uso de conocimiento científico, la experiencia y herramientas de apoyo para aproximarse a la mejor forma de manejar el ecosistema, manteniendo sus procesos y dinámicas naturales e históricas conservando sus componentes y patrones (Jardel, 2010).

Dentro de las acciones de manejo que realiza el PN destacan las acciones de combate, trabajos de prevención y la investigación. Las tres estrategias tienen sus ventajas y proveen beneficios.

Sin embargo, ante los valiosos esfuerzos por realizar una eficiente gestión de los recursos, el análisis que se presenta en este documento evidencia que hace falta poner más atención a la ejecución acciones relevantes para el manejo del fuego. Por ejemplo, se detectó que la prevención se llevan a cabo en zonas aleatorias, es decir, sin una correcta y completa evaluación de las necesidades del sitio, la acumulación de combustibles, el régimen de incendios, la cercanía a las zonas de mayor riesgo como lo son las ZIUF, dando prioridad a que las acciones se concentran en sitios muy puntuales y cercanos a las zonas de campamento, lo cual es acertado por el flujo de personas y actividades pero no se dividen los esfuerzos en otras zonas de riesgo alto.

Por el lado de la investigación, se encuentra muy enfocada en ciertas zonas del ANP donde si bien si hay presencia de combustibles no son sitios de alto riesgo. Del mismo modo, hace falta actualizar los vacíos de información clave para las necesidades actuales del ANP siempre reforzadas con datos científicos. Mientras que por el lado de las acciones de combate, se ha observado que se llevan a cabo algunas acciones al momento que no son del todo eficiente en cuestión del recurso económico y humano los cuales pudieran estar mejor sistematizados con un conocimiento de las características del sitio y los costos operativos. También es de suma importancia que se tome en cuenta la importancia del registro y la toma de datos desde que se reporta la observación del incendio y durante toda la fase de combate, para así poder facilitar la toma de decisiones para poder tener más bases para lograr un mejor y más eficiente combate de incendios en escenarios futuros que cuenten con características similares.

BIBLIOGRAFÍA

- Abatzoglou, J.T. y Williams, A.P. 2016. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proceedings of the National Academy of science*, 113(42), 11770-11775.
- Ayala, N. 2018. *Semeel Jak: Historia natural y cultural de la Sierra de San Pedro Mártir* (E. Garduño y e. Nieblas Eds. 1 ed. Vol 1): Tirant lo Blanch.
- Azqueta, D. 2007. Introducción a la economía ambiental. McGrawHill. Segunda Edición.
- Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Artaxo, P. 2009. Fire in the earth system. *Science*, 324, 481-484.
- Brown, J. K. 1974. Handbook for Inventorying Downed Woody Material. USDA Forest Service Rep. INT-32.
- Bullock, S.H. 1999. La vegetación del noroeste de Baja California en el contexto de la inestabilidad ambiental. *Revista Chilena de Historia Natural*. 72:501-516,1999.
- California Department of Forestry and Fire Protection. CALFIRE. 2022. WildFire Activity Statistics.
- Castillo, E., y Rodriguez, F. 2015. Determining response times for the deployment of terrestrial resources for fighting forest fires: A case study: Mediterranean-Chile. *Ciencia e investigación agraria: revista latinoamericana de ciencias de la agricultura*, 42(1), 97-107.
- Cedeño Sanches, Oscar. 1998. Resultado de la campaña antiincendios de México 1998. Dirección de Protección Forestal, SEMARNAP. Food and Agriculture Organization. FAO, 1998.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. CONANP. 2018. Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible. PROCODES. 2018
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. CONANP y PNUD. 2018. Programa de Manejo Integral del Fuego de la Región Mediterránea en las Áreas Naturales Protegidas: Parque Nacional Constitución de 1857 y Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México.

- Comisión Nacional Forestal. CONAFOR. 2019. Curso de Capacitación Básico- Introdutorio Bajo Esquema NWCG adaptado para Latinoamérica. CONAFOR, USAID, USFS, FMCN
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. CONANP. 2019. Proyecto Resiliencia en <https://www.gob.mx/conanp/documentos/proyecto-resiliencia?state=published>.
Ultima actualización junio 2020.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. CONANP y PNUD. 2019. Programa de adaptación al cambio climático del complejo de Parques Nacionales Sierra de San Pedro Mártir y Constitución de 1857.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. CONANP y PNUD. Programa de Manejo del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir. Sin Publicar.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. CONANP. 2021. Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible. PROCODES. 2021
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. 2021. Informe Final. Proyecto PROCODES, Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir.
- Comisión Nacional Forestal. CONAFOR. Mapa de adaptabilidad al fuego. Consultado en <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/> 19 de mayo 2022 a las 15:06h.
- Comisión Nacional Forestal. CONAFOR. 2021. Programa Estatal de Manejo del Fuego, Baja California. Departamento de Manejo Forestal Comunitario y Restauración. Gerencia Estatal de la CONAFOR en Baja California, México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. CONANP. 2022. Programa de Conservación para el Desarrollo Sostenible. PROCODES. 2022
- De Groot, W. J., Flannigan, M. D., y Cantin, A. S. 2013. Climate change impacts on future boreal fire regimes. *Forest Ecology and Management*.
- Delgadillo, J. 2004. El bosque de coníferas de la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México. *Instituto Nacional de Ecología, México, DF, MX*.
- Duguy, B., *et.al.* 2007. Modelling the effects of landscape fuel treatments on fire growth and behavior in a Mediterranean landscape (Eastern Spain) *Int J Wild fire* 16: 619-932.

- Evans, A., *et.al.* 2015. Evaluating the effectiveness of Wildfire Mitigation Activities in the Wildland-Urban Interface. *Forest Stewards*. Guild, Madison, WI.
- Fernández, R. y Ángel, L. 2017. Métodos de detección de cambios en teledetección. <https://riunet.upv.es/handle/10251/83139>. Última revisión junio 2024
- Fischer, Andrea. 2022. Los incendios forestales más devastadores de California. *Ecología*. National Geographic.
- Flores-Garnica, J. *et al.*, 2018. Camas de combustibles forestales y carbono en México. *Madera y bosques*, vol. 24., Suppl., e2401893. Instituto de Ecología, A.C.
- García, E. 1973. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México.
- Gastil, R.G., R.P. Phillips y E.C. Allison. 1975. Reconnaissance Geology of the State of Baja California. The Geological Society of America. 140.
- Jardel-Pelaez, E.J., *et al.*, 2010. Prioridades de investigación en manejo del fuego en México. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. México, DF, México.
- Jardel-Pelaez, E.J., *et al.*, 2014. Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo. Comisión Nacional Forestal. Guadalajara, Jal. México.
- Iguñiz, J. 2010. Tres conceptos de escasez. *Economía*. Vol XXXIII, Nº 65, semestre Enero-Junio. Pp. 69-102. ISSN 02544415.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 2017. Conjunto de datos vectoriales de la carta de Uso de Suelo y Vegetación. Serie VL.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 2013. Conjunto de datos vectoriales de datos geológicos. 1982. Serie I. Ensenada Calve H11-2 y Lázaro Cárdenas calve H11-5.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 2023. Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), México. inegi.org.mx
- Keeley, J.E., Bond, W.J., Brandstock, R.A., Pausas, J.G. y Rundel, P.W. 2012. Fire in Mediterranean ecosystems: Ecology, evolution and management. Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-82491-0

- Kitt Peak Observatory. KPNO.2022. Contreras Fire Reaches Kitt Peak Observatory. <https://kpno.noirlab.edu/news/noirlab2213/> 10 de Agosto 2022 a las 11: 07 h
- Mapa de adaptabilidad al fuego, consultado en <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/> Comisión Nacional Forestal. CONAFOR.19 de mayo 2022 a las 15:06
- Medina Vega, José Anibal. 2009. Valoración económica parcial de los incendios forestales y actividades de protección en la Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.
- Miguel Barrera, A. 2014. Propuesta de modelo de indicadore de riesgo espacial de incendios a largo plazo: Caso de estudio Sierra de Juárez. Tesina de Especialidad en Gestión Ambiental. Universidad Autónoma de Baja California. UABC.
- Minnich, R.A. 1983. Fire mosaics in southern California and Northern Baja California. *Science*, 219(4590), 1287-1294.
- Minnich, R.A. 1987. The distribution of forest trees in northern Baja California, Mexico, *Madroño*, 98-127.
- Minnich, R.A., Franco-Vizcaino, F. 1997. La protección de la vegetación y los regímenes de incendios de la sierra San Pedro Mártir en Baja California. *Fremontia*, Vol.25(3).
- Moreira, F., Viedma, O., Arianoutsou, M., Curt, T., Koutsias, N., Rigolot, E. y Bilgili, E. 2011. Landscape–wildfire interactions in southern Europe: implications for landscape management. *Journal of environmental management*, 92(10), 2389-2402.
- Moritz, M. A., Batllori, E., Bradstock, R. A., Gill, A. M., Handmer, J., Hessburg, P. F. y Syphard, A. D. 2014. Learning to coexist with wildfire. *Nature*, McmillanPublishers Limited. 515(7525), 58-66.
- Myers, R. L. 2006. Convivir con el fuego. *Manteniendo los ecosistemas y los medios de subsistencia mediante el Manejo Integral del Fuego. Tallahassee, FL: The Nature Conservancy. TNC, 30.*
- Nájera-Díaz, A. 2013. El Fuego en la naturaleza. Colección Bordeando El Monte, Secretaría de Medio Ambiente. Coahuila de Zaragoza.
- Nelson, E.W. 1921. Lower California and its Natural Resources. *Mem. Nat. Acad. Sci.* 16:1-194.
- National Wildfire Coordinating Group. NWCG. 2002. Gaining an Understanding of the National Fire Danger Rating System.
- Palley, Stuart. 2018. Terra Flama, Wildfires at night. Schiffer Publishing, Ltd.

- Pausas, J. G., Llovet, J., Rodrigo, A. y Vallejo, R. (2008). Are wildfires a disaster in the Mediterranean basin? A review. *International journal of wildland fire*, 17(6), 713-723.
- Pausas, J.G. y Keeley, J.E. 2009. A burning story: The role of fire in the history of life. *BioScience*, 59, 593-601.
- Pyne, S.J. 2001. *Fire: A Brief History*. University of Washington Press, Seattle, U.S.A.
- Peinado, M., C. Bartolomé, J. Delgadillo e I. Aguado. 1994. Pisos de vegetación de la Sierra de San Pedro Mártir, Baja California, México. *Acta Botánica Mexicana*. 29:1-30.
- Registro Agrario Nacional. RAN. 2018. Perimetrales de los núcleos agrarios: El Tepi, El Bramadero, y Plan Nacional Agrario.
- Rivera Huerta, H. *et al.*, 2016. Patterns and trends in burned areas and fire severity from 1984 to 2010 in the Sierra de San Pedro Martir, Baja California, México. *Fire Ecology* Volume Pp. 52.
- Rivera Huerta, H. 2017. Modelo de riesgo eco-céntrico para un programa de incendios forestales, caso de estudio: Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Baja California. UABC.
- Rodríguez-Trejo, D. A., *et al.* 2000. Educación e incendios forestales. Ediciones Mundi-Prensa. 9687462213, 9789687462219.
- Rodríguez-Trejo, D. A., *et al.* 2011. The present status of fire ecology, traditional use of fire, and fire management in Mexico and Central America. *Fire Ecology*, 7(1), 40-56.
- Ruíz Campos, Gorgonio. 2017. La trucha arcoíris de la Sierra de San Pedro Mártir: Bionomía, ecología poblacional, hábitat y conservación. Tirant Blanch; Mexicali, Baja California. Universidad Autónoma de Baja California. Capítulo 1. Pp. 34-38.
- Ruiz González, A.D. 2009. Introducción al comportamiento del fuego. Instituto de Biodiversidad Agraria e Desenvolvimento Rural. IBADER. Recursos Rurais 5: 15-19. ISSN 18855547.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. 2020. Coordinación General de conservación y Restauración. Gerencia de Manejo del Fuego, CONAFOR. Programa de Manejo del fuego 2020-2024
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. 2021. Gerencia Estatal de la CONAFOR en Baja California. Programa Estatal de Manejo del Fuego Baja California.

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. SEMARNAT y AGRICULTURA. 2023. NOM-015- Que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales, temporalmente forestales, preferentemente forestales, en los terrenos de uso agropecuario y colindantes. Publicada en Diario Oficial de la Federación. DOF. 01/12/2023.https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5710189&fecha=01/12/2023#gsc.tab=0
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.SEMARNAT. 2023 Programa Estatal de Manejo del Fuego Baja California.
- Skinner, C. N., Burk, J. H., Barbour, M. G., Franco-Vizcaíno, F., y Stephens, S. L. 2008. Influences of climate on fire regimes in montane forest of north-western México. *Journal of Biogeography*, Vol. 35(8), 1436–1451 pp.
- Stephens, S. L., Skinner, C. N., y Gill, S. J. 2003. Dendrochronology-based fire history of Jeffrey pine - mixed conifer forests in the Sierra San Pedro Mártir, México. *Canadian Journal of Forest Research*, Vol. 33(6), 1090–1101 pp.
- Thorne, R.F., Moran, R.V. y Minich, R.A. 2010.Vascular plants of the high Sierra San Pedro Martir, Baja California, Mexico: Anannotated checklist. *Aliso: A Journal of systematicand Evolutionary Botany*, 28(1),1-50.
- Thompson, M.P., MacGregor, D. y Calkin, D. 2016. Risk management: Core principles and practices, and their relevance to wildland fire. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-350. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 29 p.
- Thompson, M.P., Rodriguez y Silva, F., Calkin, D.E., y Hand, M.S. 2017. A review of challenges to determining and demonstrating efficiency of large fire management. *International Journal of Wildland Fire*, 2017, 26, 562-573. <http://dx.doi.org/10.1071/WF16137>
- Torres, J. A. 1994. Wood decomposition of *Cyrilla racemiflora* in a tropical montane forest. *Biotropica*, 26(1), 124-140
- Underwood, E.C. *et. al.*, 2018. Valuing Chaparral, Ecological, Socio-Economic, and Management Perspectives. Springer Series on Environmental Management. ISBN: 978-3-319-68302-7

- Valbuena-Carabaña, M., de Heredia UL., Fuentes-Utrilla, P., González-Doncel, I. y Gil, L. 2012. Historical and recent changes in the Spanish forests: A socio-economic process. *Rev. Palaeob Palynol* 162:492-506.
- Vanderplank, S., Rebman, J., y Ezcurra, E. 2017. Where to conserve? Plant biodiversity and endemism in mediterranean Mexico. *Biodiversity and Conservation*, 1-14. DOI:10.1007/s10531-017-1424-7
- Varela, E. y Soliño, M. 2015. Incorporating economic valuation into fire prevention planning and management in Southern European countries. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Venn, T., Calkin, D.E. 2011. Accommodating non-market values in evaluation of wildfire management in the United States: Challenges and opportunities. *Int J Wildfire* 20: 327-339.
- Wildfire today. 2022. *All but four of the Kitt Peak Observatory structures have so far survived the Contreras Fire*. Bill Gabbert. Junio 19 de 2022. Arizona, Estados Unidos de América. <https://wildfiretoday.com/tag/contreras-fire/>
- Westerling, A.L., Hidalgo, H.G., Cayan, D.R., y Swetnam, T.W. 2006. Warming and earlier spring increase western U.S. Forest wildfire activity. *Science*. 313, 940-943.

ANEXOS

- I. Anexo 1. Tablas del Capítulo II
- II. Anexo 2. Cuestionarios de entrevistas con personal del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir
- III. Anexo 3. Tablas del Capítulo IV
- IV. Anexo 4. Propuestas de Manejo

Anexo 1. Tablas Capitulo II

A partir de la revisión de literatura se definieron diversos criterios y conceptos que serán analizados y caracterizados. Variables utilizadas para la tabla 2 y3.

Criterio	Definición	Fuente	Notas
Tipo de vegetación	<p>Son las agrupaciones de diferentes especies vegetales que se agrupan en una región determinada, las cuales se ven influenciadas directamente por las características climáticas de la zona. Para la SSPM se describe una vegetación del tipo mediterránea, Para los fines de este trabajo el enfoque será en los siguientes tipos de vegetación presentes en la SPM:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Chaparral: Se conforma principalmente por un estrato arbustivo perennifolio esclerófilo, la mayoría de las especies vegetales que lo conforman tiene alturas promedio de 3-4 metros de altura y crecen muy cercanos entre sí. (\pm entre los 1500 a 2700 msnm) - Bosque de Coníferas: Típicamente se localiza a partir de los 1050 msnm, variando en estructura y composición de especies de un área a otra. La variación en la composición de esta vegetación se debe principalmente a la 	<p>https://www.tipos.co/tipos-de-vegetacion/</p> <p>INEGI. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 2007. Conjunto de datos vectorial Edafológico. Serie II. Continuo Nacional. Ensenada Clave H11-2 y Lázaro Cárdenas Clave H11-6. Programa de Manejo del PNSSPM, (Sin publicar)</p> <p>Delgadillo, 2004</p>	<p>La SSPM es la región montañosa más sureña de la Provincia a Florística de California (PFC) y es también el límite meridional de algunas de las especies vegetales que se distribuyen en ella, como algunas dominantes del chaparral (Mooran, 1977; Wiggings, 1980).</p> <p>Las laderas orientadas al sur están dominadas por <i>P. jeffreyi</i>, en conjunto con <i>Abies concolor</i>, <i>P. lambertiana</i>. <i>A. concolor</i> dominante en las exposiciones septentrionales, pero <i>P. lambertiana</i> domina localmente en las pendientes húmedas y despeñaderos. El ciprés de la sierra, <i>Cupressus montana</i>, especie endémica de San Pedro Mártir, se</p>

	<p>topografía y suelo. Las altiplanicies de entre los 1500 y 2100msnm presentan bosques monotípicos de <i>Pinus jeffery</i> con concentraciones mayores hacia las partes bajas de las cuencas y bordes de praderas. En las partes más altas de la sierra (arriba de los 2100 msnm) los bosques son florísticamente más similares a los que se encuentran en California.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pastizales: Dentro del PNSSPM se encuentran algunas praderas inundables, en las cuales dominan especies de pastos y herbáceas, las cuales se encuentran rodeadas por diversas especies de coníferas y algunas estructuras propias del chaparral 		<p>encuentra frecuentemente en bosques de <i>A. concolor</i> y <i>P. lambertiana</i>, en la parte superior del acantilado oriental; <i>P. contorta</i> es abundante localmente en las praderas altas como Vallecitos; mientras que <i>Calocedrus decurrens</i> se encuentra en los arroyos y en algunas pendientes orientadas hacia el norte, principalmente sobre la ladera occidental del altiplanicie (SEMARNAT, 2006).</p>
Topografía	<p>Es la configuración de la superficie de la tierra, incluyendo su relieve y la disposición de sus características naturales y las construidas por el hombre. Por lo general es más sencillo predecir la influencia que ésta tendría en un incendio forestal que la influencia que el combustible o tiempo atmosférico puede tener.</p>	<p>Manual para el curso de capacitación para el combatiente de incendios forestales Tipo 3 (CIF3). 2019</p>	<p>Características de la topografía a tomar en cuenta para el comportamiento de los incendios forestales:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aspecto-exposición - Pendiente - Forma del terreno - Cañones tipo cajón - Cañones angostos

			<ul style="list-style-type: none"> - Cordilleras-Parteaguas - Puertos - Elevación - Barreras
Acumulación de combustibles	Ésta es el resultado de los procesos de ecosistémicos de productividad primaria y de la descomposición de la materia orgánica	Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales, Conafor, 2014	
Carga o cantidad de combustible	Cantidad de combustible presente como peso por unidad de área, el cual se expresa por tonelada por hectárea (ton/ha). La carga de combustible en un área dada no necesariamente significa que el incendio quemará con gran intensidad, ya que es más importante tomar en cuenta la cantidad de combustible disponible para la combustión.	Manual para el curso de capacitación para el combatiente de incendios forestales Tipo 3 (CIF3). 2019	Se refiere también como el combustible disponible o total (combustible consumible) y regularmente se refiere al peso seco.
Disponibilidad de combustible	Esto hace referencia a la cantidad total de combustible existente en un área. La cantidad de la disponibilidad del combustible está estrechamente relacionada con la humedad que contengan las partículas que conforman la materia orgánica (combustibles) y esta a su vez está determinada por el estado del tiempo: Humedad relativa del ambiente, exposición al sol, exposición de ladera precipitación, el tiempo transcurrido entre periodos de lluvia y periodos de sequía	Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales, Conafor, 2014	
Tiempo atmosférico	Esto es las variaciones a corto plazo en las condiciones del clima o la atmosfera.	Manual para el curso de capacitación para el combatiente de incendios	Para las condiciones atmosféricas menos explícitas

	Las condiciones del tiempo atmosférico pueden resultar, influir o determinar la ignición de incendios por tormentas eléctricas y la propagación rápida de incendios como resultado de vientos fuertes; por el contrario un aumento de humedad o la precipitación puede detener o extinguir los incendios.	forestales Tipo 3 (CIF3). 2019	para no extender tanto esta parte Agruparlo Éste es uno de los tres componentes del ambiente del fuego y está compuesto por varios elementos, los cuales afectan el comportamiento del fuego. De los tres componentes del ambiente del fuego, el tiempo atmosférico es el más variable y en ocasiones el más difícil de predecir.
Comportamiento del fuego	Se puede definir como los procesos físicos de la combustión. Éste se conforma por la velocidad de propagación y la intensidad del frente del incendio; y se encuentra determinado por las interacciones entre los combustibles forestales, el tiempo atmosférico y la topografía	Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales, Conafor, 2014	***Inflamabilidad, velocidad de propagación, longitud de llama
Severidad de fuego	Es el efecto que tiene un incendio forestal sobre un ecosistema y sus componentes, por lo general éste se considera sobre el cambio de cobertura vegetal, mortalidad vegetal, claros abiertos, los combustibles forestales y el suelo,	Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales, Conafor, 2014	La severidad no solo depende de la intensidad del fuego, sino también de la respuesta y la adaptación del ecosistema.
Régimen de incendio	Es la variación natural o histórica en la frecuencia, intensidad, estacionalidad, severidad y patrones espaciales de los incendios forestales,	Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales, Conafor, 2014	

	así como la sinergia con otros factores naturales. En cuestión de escala los regímenes varían de acuerdo con el clima de cada región, la geomorfología, tipo de vegetación y los combustibles forestales.		
Tipo de combustible	<p>Los combustibles forestales varían entre las diferentes áreas y regiones del país, e incluso dentro de la misma área. Los factores que influyen para estas variaciones son: la distribución y la cantidad de la lluvia y los cambios en la elevación del terreno.</p> <p>Los combustibles se agrupan en:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pastos - Mezcla de pastos-arbustos - Arbustos - Bosque-Sotobosque - Residuos del bosque - Desechos de aprovechamiento* 	Manual para el curso de capacitación para el combatiente de incendios forestales Tipo 3 (CIF3). 2019	
Causa/ origen de los incendios	<p>Pueden ser provocados por factores naturales y del clima como lo son las tormentas eléctricas, tormentas secas, presencia de rayos, clima seco y vientos fuertes.</p> <p>También y los más comunes son los provocados por factores antrópicos por descuidos de fogatas quema de terrenos o chispas de motores.</p>		

Anexo 2. Cuestionarios de entrevistas con personal del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir

***PDF

Anexo 3. Tablas del Capítulo IV

Tabla 18 Categorización y ponderación de las variables del incendio Santa Rosa, PNSSPM

Incendio: Santa Rosa Fecha: 02/julio/2018	
Variables	
Hectáreas afectadas	2800 hectáreas
Tipo de vegetación	Vegetación de pastizal rodeado por bosque de pino y chaparral
Topografía	No presenta topografía muy abrupta pero el acceso es complicado
Temperatura ambiental	34°C
Humedad relativa del ambiente (%)	23%
Velocidad del viento (km/h)	25 km/h
Cargas totales de combustible	±75.79 ton/ha
Accesibilidad	Acceso complicado
Recursos económicos	\$104 445
Duración del combate	05 días
Personal requerido	29 personas
Instituciones externas de apoyo	SEDENA
Instituciones internas	Brigada del PNSSPM, CONAFOR y brigadas rurales
Equipo	Herramienta manual
Distancia a infraestructuras	±30.15 km OAN ± 28 km museo ±30.16 km cabañas y área de campamento
Ponderación final	34

Tabla 19 Categorización y ponderación de las variables del incendio Botella Azul, PNSSPM

Incendio: Botella Azul Fecha: 13/octubre/2021	
Variables	
Hectáreas afectadas	73.652 hectareas
Tipo de vegetación	Bosque de pino mixto y chaparral
Topografía	Terreno escarpado
Temperatura ambiental	19°C
Humedad relativa del ambiente (%)	23%
Velocidad del viento (km/h)	8 km/h
Cargas totales de combustible	±37.89 ton/ha
Accesibilidad	Terreno escarpado y de difícil acceso
Recursos económicos	\$ 380 631.67
Duración del combate	11 días
Personal requerido	36 personas
Instituciones externas de apoyo	SEDENA, Bomberos Tijuana, SEMAR
Instituciones internas	Brigada del PNSSPM CONAFOR y brigadas rurales
Equipo	Herramienta manual, motosierras
Distancia a infraestructuras	±9.94 km OAN ±10.38 km al museo ±15.94 km recepción y área de campamento
Ponderación final	44

Tablas 20 Categorización y ponderación de las variables del incendio Bajío del Toro, PNSSPM

Incendio: Bajío del Toro Fecha: 02/julio/2022	
Variables	
Hectáreas afectadas	254 62 hectareas
Tipo de vegetación	Bosque de pino y chaparral
Topografía	Terreno escarpado con despeñaderos
Temperatura ambiental	30°C
Humedad relativa del ambiente (%)	30%
Velocidad del viento (km/h)	10 km/h
Cargas totales de combustible	±18.94ton/ha
Accesibilidad	Terrreno escarpado de difícil acceso presenta grandes aglomeraciones de rocas
Recursos económicos	\$ 2 780 249
Duración del combate	07 días
Personal requerido	Mas de 30 personas, se realizó activación de Plan de atención a incendios (PAI)
Instituciones externas de apoyo	SEDENA, Bomberos Tijuana, SEMAR, PC Estatal y CONAGUA
Instituciones internas	Brigada del PNSSPM CONAFOR y brigadas rurales
Equipo	Herramienta manual, motosierras
Distancia a infraestructuras	±8 km OAN ±11.89km recepción y área de campamento ±9.55 km museo
Ponderación final	45

Anexo 4. Propuestas de manejo

Para brindar propuestas a las estrategias de manejo del fuego de algún área se debe considerar que el manejo de los incendios forestales implica bastante trabajo, de bastantes personas en distintos niveles operativo, por otro lado, cada ecosistema implica sus propios retos y se deben tomar en consideración que las condiciones ambientales siempre son cambiantes, así mismo se requiere mantener un constante apoyo en la ciencia y la investigación para lograr maximizar los beneficios que se pueden obtener del fuego, mientras se minimizan sus impactos negativos (Rodríguez-Trejo, 2000).

Es necesario considerar para el desarrollo de estrategias de manejo de fuego, que se debe permitir que se mantenga la continuidad del mosaico de vegetación, de tal forma que resista los incendios extensos, aunado a esto se debe comprender que no todos los incendios forestales deben ser combatidos recién inicien, pues deben ser evaluados previamente (PMIF, 2018). Tomando esto en consideración las estrategias de MIF deben ser definidas con base en el conocimiento del papel ecológico que el fuego tiene sobre los ecosistemas y ser acompañado por educación y difusión de la ciencia.

Es importante recordar que los ecosistemas que dominan gran parte de la región Noroeste de Baja California (chaparrales y bosques) ha logrado persistir en la región a través de milenios, sin embargo, en las últimas décadas se ha visto vulnerable y amenazado debido a la adopción de políticas de extinción total de todos los incendios forestales, del mismo modo, es necesario diferenciarlos entre si ya que cada uno tiene su dinámica particular y las quemas recurrentes tendrán un efecto negativo sobre el ciclo de vida y diversidad de las especies (PIMF, 2018).

Aplicando estrategias de manejo integral del fuego que mantengan las cargas de combustible de manera adecuada de acuerdo con las características del sitio, los incendios que se lleguen a presentar pudieran ser más reducidos y menos intensos, lo cual produciría un régimen sano manteniendo un paisaje de mosaico como debe verse de manera natural, los cuales presentan una composición de diferentes edades y tamaños en la vegetación (PIMF, 2018).

Como se ha mencionado a lo largo de esta investigación se llevó a cabo el análisis bibliográfico, de clasificación de variables y de mapeo, a talvez de los cuales se logró obtener y entender la forma en la cual fueron manejados tanto administrativamente como en campo los incendios forestales evaluados en este estudio, así como la localización de los sitios que presentan mayor peligro de fuego de acuerdo con sus características físicas, las cargas totales de combustibles y si se llevan a cabo actividades antrópicas en el área. Siendo así se presentarán las estrategias y recomendaciones generales de Manejo Integral del fuego para el Área Natural Protegida, quedando en las siguientes categorías: 1. Manejo Integral del Fuego; 2. Personal; 3. Capacitaciones; 4. Recursos económicos; y 5. Convenios institucionales.

Propuestas

1. Manejo Integral del Fuego

Dentro del MIF se pueden llevar a cabo algunas estrategias que sean complementarias para los objetivos de manejo de PNSSPM como:

- Las quemas prescritas, para el manejo de las cargas de combustibles y así reducir el riesgo de fuego en las zonas donde haya mayor peligro, como las Zonas de Interfase Urbano Forestal, por ejemplo, en la zona de campamentos y dentro del polígono del Observatorio Astronómico Nacional.
- La creación de fichas de registro para el diagnóstico del comportamiento del fuego (ej. Tablas 15 y 16) que pueda ser de apoyo al momento de la toma de decisiones para manejar un incendio.
- Basar las decisiones de manejo del fuego en datos científicos y llevarlas a cabo en los sitios del PNSSPM que sean de mayor riesgo de peligro de fuego.
- Contemplar opciones de innovación como lo son algunas tecnologías de monitoreo y detección, análisis de datos, modelaje de incendios.
- Contar con estrategias de recuperación y restauración post-incendio, de manera que pueda ayudar a la rehabilitación del sitio a largo plazo, como

recuperación de suelos para evitar daños de erosión y pérdida de recarga de acuíferos.

2. Personal

Buscar fondos o proyectos que ayuden a que el personal del PNSSPM se encuentre mejor y tengan mejores oportunidades durante su trabajo obtener seguros de gastos médicos así como la afiliación a algún sistema de salud para los combatientes forestales, por que como se ha mencionado es una actividad sumamente riesgosa y en ANP se encuentra muy retirada de centro poblacionales.

Formar una asociación de apoyo para el personal del parque de la cual puedan obtener mayores apoyos para continuar con sus labores.

Se recomienda la formación de un equipo REMS dentro de la misma brigada para poder actuar de manera más pronta en caso de alguna emergencia.

3. Capacitaciones

Reforzar las capacitaciones y entrenamientos, brindando a los combatientes forestales de tal manera en que su conocimiento cada vez sea más especializado y técnico.

Capacitar a personal específico para las tareas de toma y registro de datos que pueda llevar un registro durante el año y durante los incendios forestales. Esto se puede complementar con el conocimiento del uso de herramientas de modelación de comportamiento de fuego como Behave Fire Modeling para contar con análisis de predicción de comportamiento de fuego

Capacitar al personal en mapeo y uso de Sistemas de Información Geográfica ya que es de suma utilidad para las actividades diarias del manejo integral del fuego.

Mantener una constante capacitación en primeros auxilios por lo riesgoso de las labores y la lejanía del PNSSPM de los centros poblacionales.

4. Recursos económicos

En cuanto a recursos económicos la recomendación es que se lleve un registro detallado de los recursos que se invierten para llevar a cabo las acciones de prevención pero sobre todo durante la ocurrencia de incendios forestales para así poder construir futuros análisis de la inversión que cada uno de estos representa, esta práctica podrá ser de ayuda cuando se requiera solicitar proyectos para acciones de manejo de fuego o solicitar recursos extras necesarios, ya que ayudará a tener un punto de partida realístico del costo del combate de los incendios forestales.

Optimizar los recursos de respuesta lo cual involucra el uso eficiente de equipos y personal, la coordinación entre agencias, la planificación y evaluación de los recursos económicos.

5. Convenios institucionales

Por el lado de los convenios institucionales se recomienda que se siga buscando y fortaleciendo las alianzas que se han trabajado en los últimos años con el Servicio Forestal de los Estados Unidos ya que es una buena estrategia para mantener los intercambios de experiencias y abrir nuevas líneas de conocimiento y capacitación para el personal del PNSSPM.

GLOSARIO DE TERMINOS

Combustible de 1 h: (diámetro de 0-0.6 cm) inferidos entre los 0 a 2 m de la línea de medición. Iniciando del extremo exterior hacia el centro de la parcela.

Cobustible de 10 h: (diámetro 0.6-2.5 cm) inferidos entre los 0 a 4 m de la línea de medición. Iniciando del extremo exterior hacia el centro de la parcela.

Combustible de 100 h: (diámetro 2.5-7.6 cm) inferidos a lo largo de la línea de medición. Iniciando del extremo exterior hacia el centro de la parcela.

Hojarasca: La capa de hojarasca se mide en centímetros, de manera puntual al inicio y los 30 cm de la línea del transecto, desde el extremo exterior hacia el centro de la parcela.

Capa de fermentación: La capa de fermentación se mide en centímetros, de manera puntual al inicio y los 30 cm de la línea del transecto, desde el extremo exterior hacia el centro de la parcela.

Altura de combustible: La suma total de las medidas de las capas de hojarasca y fermentación.

Conato de incendio: Son fuegos que son iguales o menores a una hectárea de superficie forestal afectada.

Eficientización de recursos: es utilizar todos los recursos materiales, económicos y humanos de la mejor forma posible para preservarlos y aumentar su rendimiento aprovechando su máximo, así como garantizar que no se use de mala manera, logra ahorrar costos de implementación y aumenta la rentabilidad de las actividades a realizar. Al eficientizar los recursos garantizamos la reducción de nuestro impacto en el ambiente y el utilizar lo que tenemos de manera más responsable.

Evapotranspiración: Es el proceso a través del cual las plantas disipan el calor generado por la radiación solar perdiendo agua a lo largo del día.

Hotspot de biodiversidad: son puntos críticos para la biodiversidad en regiones biogeográficas donde se encuentra una concentración especial de biodiversidad que se encuentra bajo alguna categoría de amenaza.

Interfaz: este término hace referencia a cuando áreas diferentes coinciden, área forestal y área de asentamientos o humanos o estructuras y que pueden ser afectadas cuando se presenta un incendio y atraviesa los límites.

Madera temprana: Es la que se forma durante el periodo de crecimiento y contiene las células más grandes y esta se genera principalmente durante la temporada de lluvias.

Peligro de incendio: Descriptor resultante de la combinación de factores constantes y variables que afectan el inicio, la propagación y la dificultad de control de los incendios forestales en un área. Estos factores se combinan para evaluar el potencial de fuego diario en un área; el peligro de fuego generalmente se expresa en términos numéricos o adjetivos.

Plantas pirófilas: Son las especies vegetales que resisten al fuego ya que son capaces de soportar el paso de los incendios superficiales, además utilizan los nutrientes que se generan con las cenizas y los compuestos químicos que se generan con el humo de la combustión. Estas especies se han adaptado al fuego lo cual evolutivamente ha generado que diversos procesos biológicos de ellas dependan directamente de los incendios.

Régimen de fuego: Se define como el conjunto de condiciones recurrentes del fuego que caracterizan a un ecosistema. Estas condiciones están inscritas en un rango específico de frecuencias, comportamiento de fuego, severidad de fuego, momento, distribución y tamaño de la superficie quemada (Myers, 2006).

Recurso: La economía enmarca a los recursos como todos los elementos o factores que ayudaran a conseguir los objetivos deseados. Los recursos pueden ser tangibles e intangibles ya que pueden o no ser cuantificados.

ZIUF: Se define como el área donde se encuentran vivinedas o estructuras nitrópicas con la vegetación forestal y combustibles forestales, las cuales requieren otro tipo de manejo y protección contra los incendios forestales, distintos a los que se aplican en los terrenos forestales.

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

ANP: Área Natural Protegida

CONABIO: Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONAFOR: Comisión Nacional Forestal

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CONANP: Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

GPS: Sistema de Posicionamiento Global (Global Positioning System por sus siglas en inglés)

MIF: Manejo Integral de Fuego

OAN: Observatorio Astronómico Nacional

PACC: Programa de Adaptación al Cambio Climático del Complejo de los Parques Nacionales Sierra de San Pedro Mártir y Constitución de 1857

PEMF: Programa Estatal de Manejo del Fuego Baja California

PMIF: Programa de Manejo Integral del Fuego de la Región Mediterránea en las Áreas Naturales Protegidas: Parque Nacional Constitución de 1857 y Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir, Baja California

PM: Programa de Manejo del Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir

PN: Parque Nacional

PNSSPM: Parque Nacional Sierra de San Pedro Mártir

SEDENA: Secretaría de Defensa de la Nación

SIG: Sistema de Información Geográfica

SPA: Secretaría de Protección al Ambiente

SPM: San Pedro Mártir

SSPM: Sierra de San Pedro Mártir

USFS: United States Forest Service

ZIUF: Zona de Interface Urbano Forestal