

Reporte técnico

Evaluación preliminar del incendio forestal
“Las Canoas-Nejahuete-Pedernal” en el
Bosque La Primavera



Centro Universitario de la Costa Sur
Universidad de Guadalajara

Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial
Gobierno de Jalisco

12 de abril de 2021



CU
CoSta
Sur



Bosque
la Primavera



Medio Ambiente y
Desarrollo Territorial



Evaluación preliminar del incendio forestal "Las Canoas-Nejahuete-Pedernal" en el Bosque La Primavera¹ (12 de abril de 2021)

Enrique J. Jardel Peláez¹, Oscar E. Balcázar Medina y Alejandra Aguilar Ramírez²

¹Departamento de Ecología y Recursos Naturales, Centro Universitario de la Costa Sur
Universidad de Guadalajara
enrique.jardel@academicos.udg.mx

²Coordinación General de Geomática e Información Ambiental y Territorial, Secretaría de Medio
Ambiente y Desarrollo Territorial
Gobierno de Jalisco
alejandra.aguilarramirez@jalisco.gob.mx

Introducción

Los días del 1 al 6 de abril de 2021 ocurrió un incendio forestal en el Área de Protección de Flora y Fauna y Reserva de la Biosfera Bosque La Primavera (BLP), que afectó una superficie de 4,926 hectáreas (16% de la superficie del área protegida), entre los parajes de Las Canoas, Cerro del Nejahuete y Cerro Pedernal.

Este incendio ocupa el cuarto lugar en extensión de los incendios registrados en el BLP entre 1998 y lo que va del año 2021. En su combate se movilizaron 554 combatientes, 6 helicópteros y 107 vehículos terrestres, incluyendo tres carros motobombas. Las emisiones de humo generaron una contingencia ambiental en la vecina zona metropolitana de Guadalajara. El tratamiento de este evento en los medios de comunicación fue, como generalmente sucede en estos casos, alarmista; se hizo referencia a que el área fue "arrasada por el fuego" y se citaron declaraciones de académicos preocupados por los efectos del incendio en la integridad del bosque y las posibles consecuencias del evento en el clima regional, la salud de la población de la ciudad y las especies de la flora y fauna silvestre. En ningún caso la información presentada en los medios presentó un análisis de las condiciones generadas por el incendio en el terreno ni del contexto en el cual ocurrió.

En este informe, realizado a solicitud de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (SEMADET) del Gobierno de Jalisco y el Organismo Público Descentralizado Bosque La Primavera (OPD-BLP), se presenta una evaluación preliminar del incendio a partir de una visita de campo al área incendiada, complementada con información proporcionada por personal del OPD-BLP y la Coordinación General de Geomática e Información Ambiental y Territorial de la SEMADET. Las observaciones de campo y la información disponible fueron analizadas tomando como referencia la caracterización y diagnóstico del Programa de Manejo del Fuego del Bosque La Primavera.

El presente reporte es una evaluación preliminar del incendio. Se considera preliminar por el hecho de que una evaluación rigurosa de un incendio requiere de datos de campo,

¹ Forma sugerida de citar: Jardel-Peláez, E.J. et al. (2021). Evaluación preliminar del incendio forestal "Las Canoas-Nejahuete-Pedernal" en el Bosque La Primavera. Informe técnico, SEMADET- OPD Bosque La Primavera - Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.

obtenidos mediante el muestreo de variables que permitan evaluar las condiciones post-incendio y la probable respuesta del ecosistema a los efectos del fuego, y no sólo de observaciones generales y conjeturas.

La evaluación de un incendio requiere responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cuánto se quemó? (delimitación del polígono del incendio y su superficie).
- ¿Qué se quemó? (superficie incendiada por unidad de paisaje y tipo de camas de combustible).
- ¿Cómo se quemó? (evaluación de la variabilidad en la severidad del incendio).
- ¿Cómo se compara este incendio con los de años anteriores? (análisis del contexto).
- ¿Cuáles fueron los efectos del incendio en la vegetación y condiciones de hábitat? (evaluación de los efectos de primer orden o inmediatos y de los efectos de segundo orden relacionados con la respuesta post-incendio del ecosistema, cubriendo al menos la temporada de lluvias siguiente al incendio).

Con base en la información disponible, las observaciones de campo y el conocimiento existente sobre la ecología del fuego en el BLP, se presentan algunas recomendaciones preliminares para el manejo del área incendiada.

¿Cuánto se quemó?

El polígono del incendio cubre una superficie de 4,926 ha, entre los parajes de Las Canoas, Cerro del Nejahuete y Cerro Pedernal (Fig. 1). El fuego se inició en el área de Las Canoas cerca del límite del área protegida con zonas urbanas.



Figura 1. Polígono del área del incendio, determinado con imágenes de satélite Sentinel 2. El óvalo rojo en el mapa indica el área donde se inició el fuego. Fuente: Coordinación General de Geomática e Información Ambiental y Territorial de la SEMADET.

El área del incendio, cubierta por bosque de encino-pino y formaciones sabanoidaes (pastizal con árboles dispersos), presenta en su mayor parte un relieve abrupto, con pendientes pronunciadas, y no se había quemado durante nueve años. Las características del complejo de combustibles y del relieve abrupto, además de las condiciones atmosféricas (temperatura mayor a 30°C y humedad relativa menor al 15%, más periodos

con rachas de vientos fuertes) favoreció una rápida propagación del fuego (Fig. 2), con formación de focos secundarios, y dificultó las labores de combate del incendio, representando un alto peligro para las brigadas de combatientes.

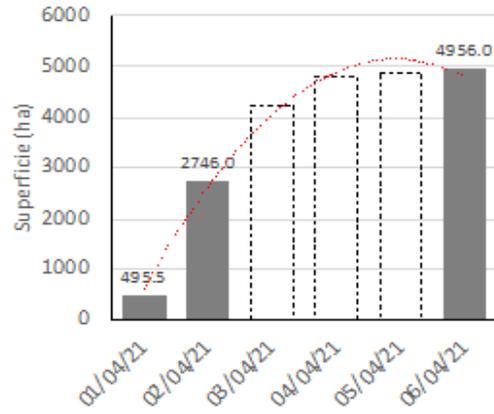


Figura 2. Expansión de la superficie incendiada. El fuego se propagó rápidamente durante los tres primeros días, cómo se muestra en el gráfico. Las barras grises muestran la superficie observada; las barras punteadas la superficie estimada. Durante las primeras 24 horas, la superficie del incendio alcanzó a 495.5 ha y aumentó a 2,746 ha el segundo día; esto representa, respectivamente, una expansión de 20.6 ha y 93.8 ha por hora.





Figura 3. Fotografías del área del incendio tomadas durante un sobrevuelo. Fuente: SEMADET y OPD-BLP.

Las fotografías de la figura 3 muestran vistas aéreas durante la propagación del incendio. Considerando las condiciones del terreno, el complejo de combustibles y las condiciones atmosféricas en el que se propagó el incendio, puede afirmarse que las labores de combate fueron efectivas para evitar que se quemara una superficie mayor, como ocurrió en la misma área del Bosque La Primavera durante el incendio de 2012. Comparativamente, este incendio de 2021 (4,926 ha) afectó el 58% de la superficie incendiada en 2012 (8566.8 ha).

El comportamiento del fuego fue superficial en la mayor parte del área del incendio, consumiendo principalmente vegetación del sotobosque, hojarasca y material leñoso caído (Fig. 4).





Figura 4. Imágenes del comportamiento del fuego durante el incendio. Fotos: Twitter @EnriqueAlfaroR

¿Cómo se quemó?

Inmediatamente después de la extinción del fuego, la Coordinación General de Geomática e Información Ambiental y Territorial de la SEMADET realizó un análisis de la severidad del incendio con imágenes de satélite Sentinel 2, siguiendo el procedimiento estandarizado de estimación del índice normalizado de cambio en proporción de área quemada (dNBR). En este caso la severidad se refiere a los efectos de un incendio en el cambio observado en la respuesta espectral de imágenes satelitales que muestran las condiciones de la cobertura vegetal antes y después del evento (Keeley 2009). El mapa resultante del análisis de severidad se muestra en la figura 5.

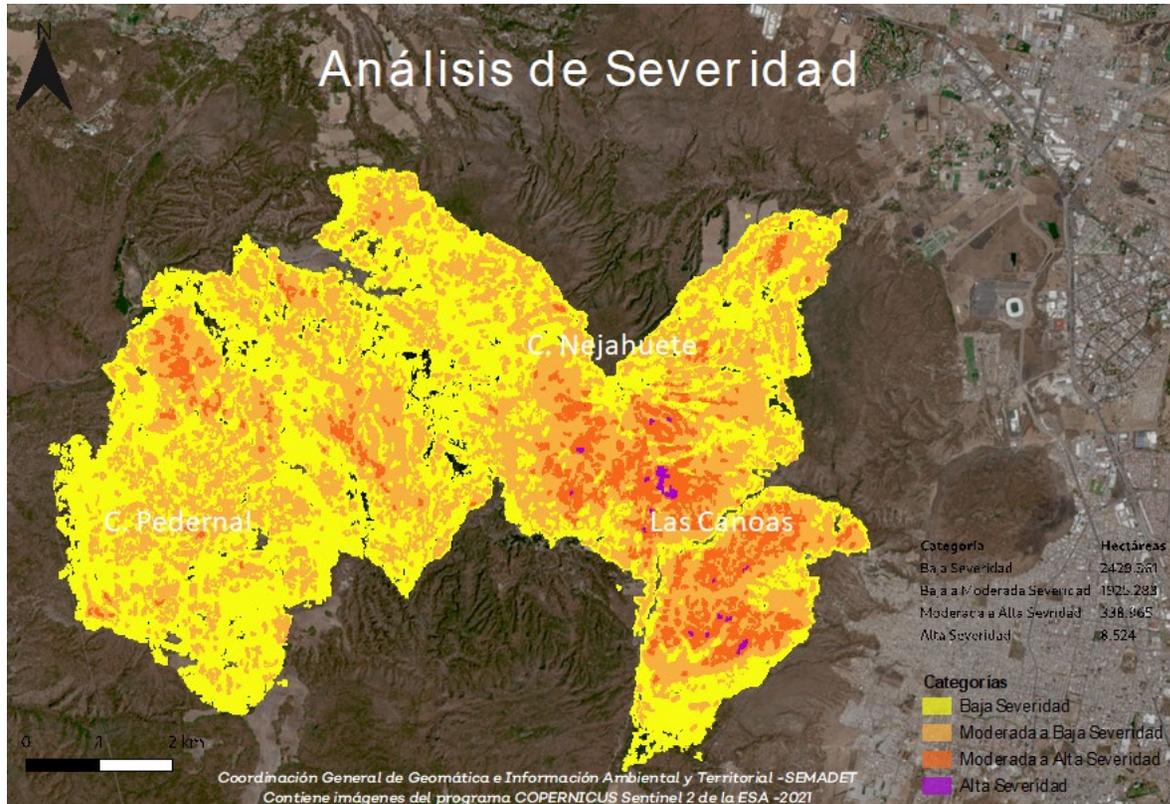


Figura 5. Mapa de severidad del incendio, estimada con el índice normalizado de cambio en proporción de área quemada (dNBR), a partir de imágenes de satélite Sentinel 2 pre y post-incendio. Fuente: Coordinación General de Geomática e Información Ambiental y Territorial de la SEMADET.

Dentro del área de los incendios siempre se observa variabilidad en el grado de severidad, debido a diferencias en las condiciones del relieve, la composición y estructura de la vegetación, el estado del complejo de combustibles pre-incendio y el comportamiento del fuego durante el incendio; este último está determinado por los combustibles, la topografía y el estado del tiempo atmosférico.

Las clases del mapa incluyen condiciones de baja severidad (el fuego consume sólo hojarasca y el estrato de plantas herbáceas y arbustivas sin modificar el dosel arbóreo), moderada a baja severidad (los árboles muestran desecación o chamuscado de copas menor a 1/3 del volumen de la copa), moderada a alta severidad (chamuscado de copa mayor a 1/3, con árboles dispersos con copas quemadas) y alta severidad (árboles quemados y formación de claros). Algunas áreas dentro de los incendios quedan como islas no quemadas (severidad nula). Las figuras 6 a 9 muestran ejemplos de las clases de severidad observadas en el terreno el 9 de abril de 2021, tres días después del incendio.

Las clases de severidad son un indicador de la probable respuesta post-incendio de la vegetación, como se discute más adelante.

Evaluación preliminar del incendio forestal
"Las Canoas-Nejahuete-Pedernal" en el Bosque La Primavera



Figura 6. Clases de severidad observadas después del incendio. De izquierda a derecha y de arriba abajo, severidad nula (no quemado), baja, moderada a alta y alta.

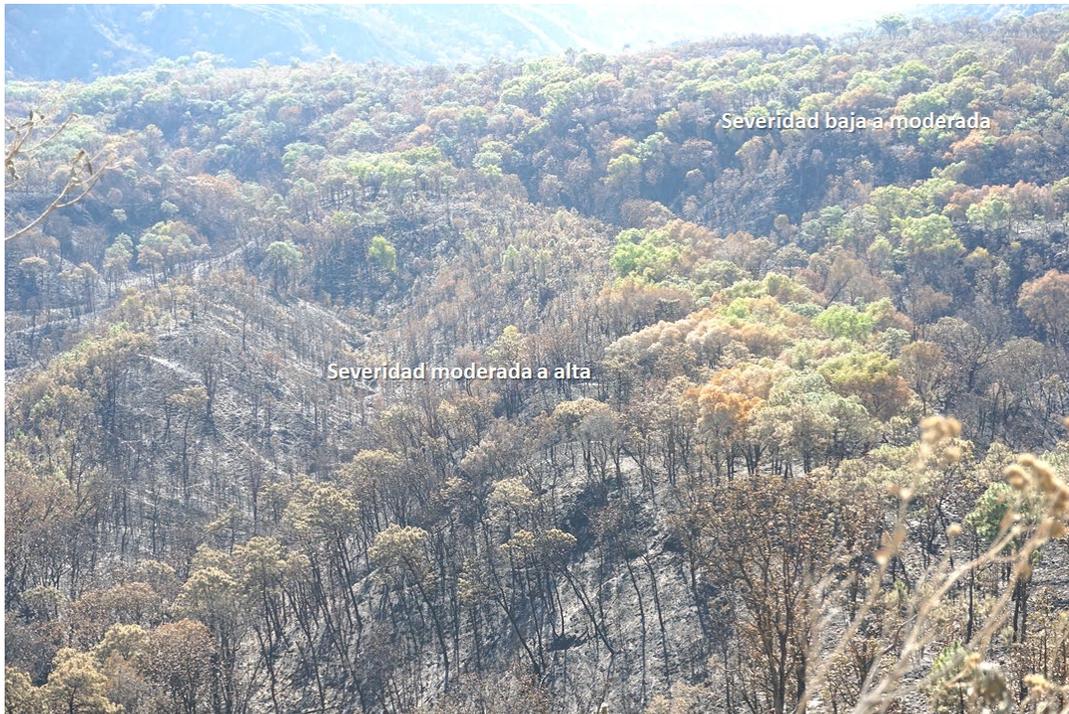


Figura 7. Fotografías del área del incendio mostrando las condiciones de severidad. Arriba, vista al suroeste desde la torre de incendios del C. Nejahuete. Abajo, vista hacia al este desde el camino al C. Nejahuete. Fotos E.J. Jardel (9 de abril de 2021).

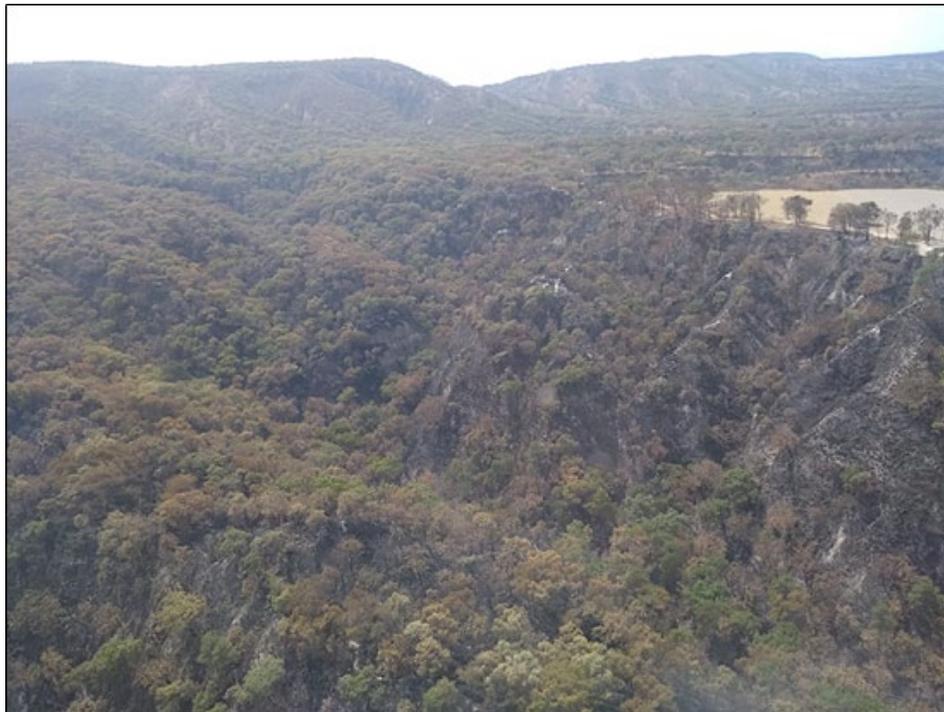


Figura 8. Vista aérea de áreas quemadas con severidad baja a moderada durante el incendio; se observa que el fuego superficial no afectó significativamente la cobertura arbórea en dichas áreas. En estas condiciones, que representan el 88% de la superficie del incendio, no se observa que el fuego

hubiera “arrasado” con la vegetación, formado una “mancha negra” que afectará el clima regional o que el bosque fue “devastado”, como fue afirmado en ciertos titulares de prensa. Fotos: Sergio Graf Montero.



Figura 9. Áreas quemadas con baja severidad. Arriba se observa un sitio en el límite noroeste del incendio en el río Caliente (el área en el primer plano no se quemó). Abajo, plantación de pino en el Cerro Pedernal; el incendio fue superficial y no se considera que afectará a la regeneración establecida. Fotos E.J. Jardel (9 de abril de 2021).

La distribución de las clases de severidad en el incendio de Las Canoas-Nejahuete-Pedernal, muestra un patrón similar al observado en los incendios de años anteriores, predominando las clases de severidad de baja a moderada: 88% en 2021, 76% en el promedio de los incendios de los años 2005, 2012 y 2017 (Fig. 10).

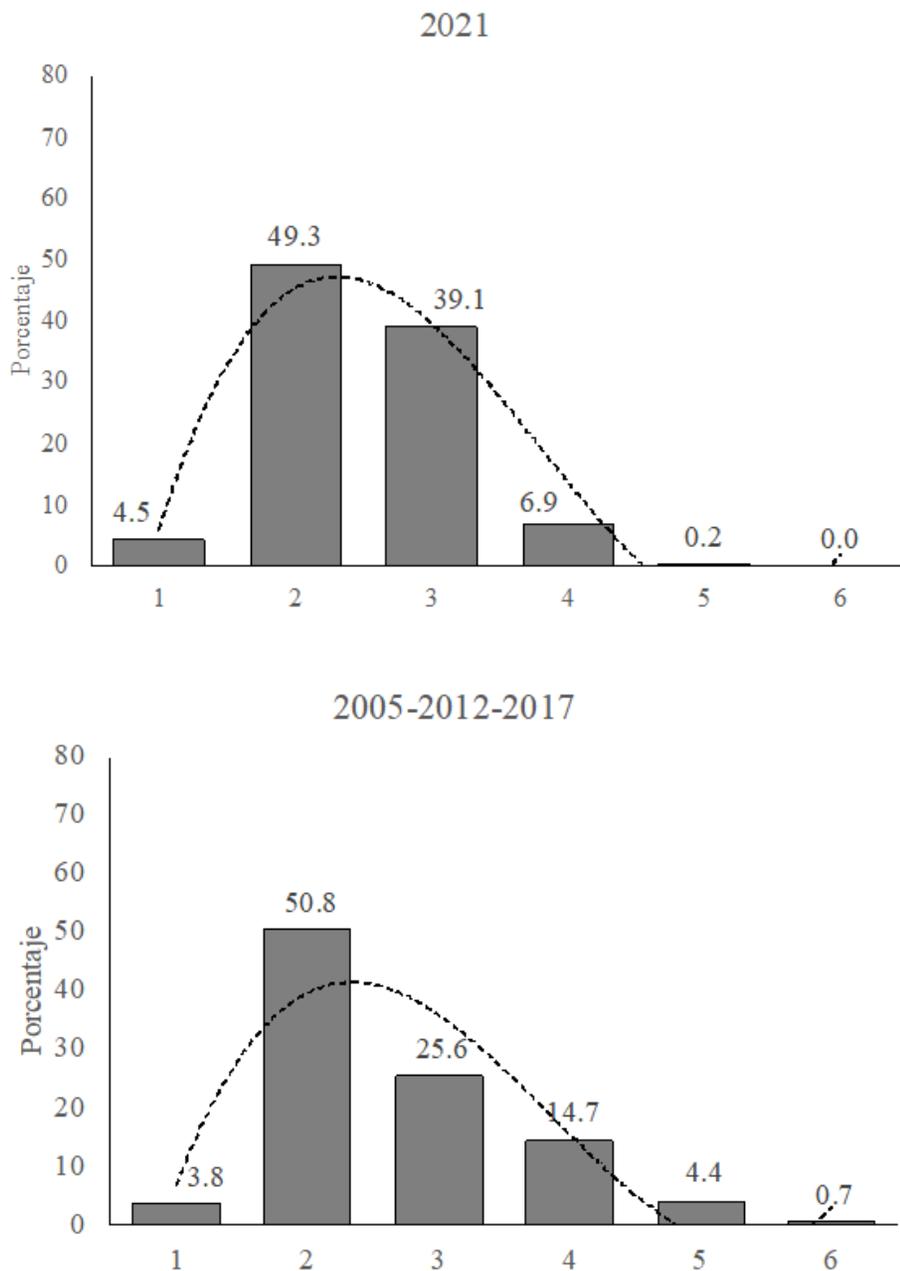


Figura 10. Comparación del porcentaje del área incendiada por categoría de severidad entre el incendio de Las Canoas-Nejahuete-Pedernal (2021) y el promedio de tres incendios anteriores (2005, 2012 y 2017). Clases de severidad: (1) nula, (2) baja, (3) baja a moderada, (4) moderada a alta, (5) alta y (6) muy alta.

Partiendo de las observaciones de campo y estudios previos realizados en el área, puede decirse que el efecto del incendio de Las Canoas-Nejahuete-Pedernal se encuentra dentro de las condiciones de variación del grado de severidad (Fig. 10). Como se muestra en el mapa (Fig. 5) y en las fotografías (Figs. 6-9), predominaron condiciones de severidad baja a moderada. Puede decirse que el efecto del incendio será más benéfico que perjudicial al reducir la carga de combustibles y el peligro de nuevos incendios en los próximos 5-6 años en el área. En áreas quemadas con severidad baja a moderada, probablemente aumente la diversidad de especies de plantas herbáceas y arbustivas (el componente más diverso de la flora del Bosque La Primavera), como se ha observado en otros sitios quemados superficialmente. Esto deberá ser confirmado con estudios de campo durante y después de la próxima temporada de lluvias.

¿Qué se quemó?

Con el fin de evaluar el efecto del incendio sobre las condiciones del paisaje, se hizo una cruza del mapa de severidad con el mapa de unidades de paisaje (definidas por la vegetación, forma de relieve y condiciones de clima) del Programa de Manejo del Fuego del Bosque La Primavera. fueron afectadas. La superficie incendiada por tipo de vegetación y clases de severidad se muestra en la figura 11 y la tabla 1.

Dentro del polígono del incendio, la mitad de la superficie corresponde a bosque abierto de encino-pino (52.4%), 23.5% a bosque denso de pino-encino y 14.9% a formaciones sabanoides (pastizal con árboles dispersos); 9.2% del área estaba cubierta por pastizales inducidos o campos agrícolas en barbecho.

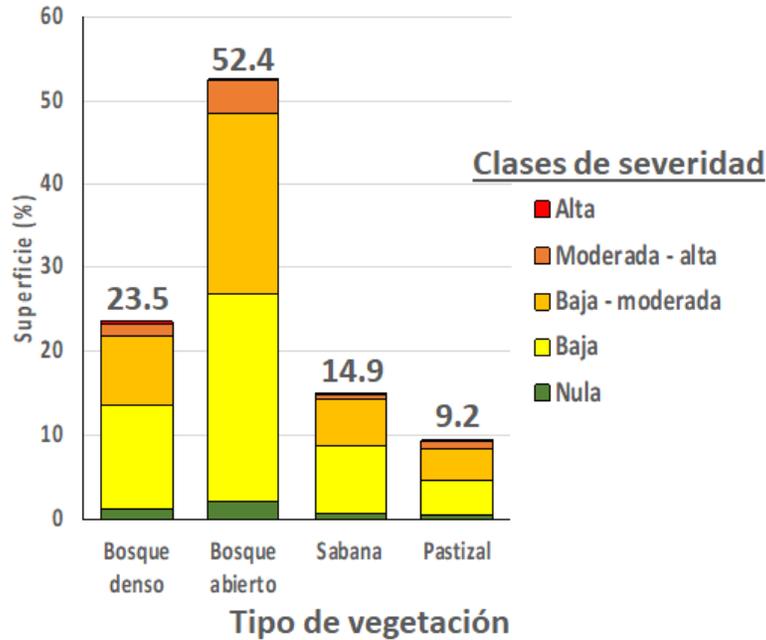


Figura 11. Porcentaje de la superficie del área del incendio por tipo de vegetación y clases de severidad. Fuente: elaboración propia a partir del mapa de severidad de la figura 5 y el mapa de unidades de paisaje del Programa de Manejo del Fuego del Bosque La Primavera.

Tabla 1. Superficie del área del incendio de Las Canoas-Nejahuete-Pedernal por tipo de vegetación y clases de severidad en hectáreas (arriba) y porcentaje (abajo).

Tipo de vegetación	Clases de severidad (hectáreas)					Total
	Nula	Baja	BM	MA	Alta	
Bosque denso	59.9	605.3	407.7	80.1	3.8	1156.9
Bosque abierto	102.8	1224.6	1056.7	193.0	3.5	2580.5
Sabana	38.6	391.3	273.3	31.5	0.8	735.6
Pastizal-agricultura	23.7	207.5	187.1	34.2	0.4	453.1
Total	225.0	2428.8	1924.9	338.9	8.5	4926.1

Tipo de vegetación	Clases de severidad					Total
	NU	BA	BM	MA	AL	
Bosque denso	1.2	12.3	8.3	1.6	0.1	23.5
Bosque abierto	2.1	24.9	21.5	3.9	0.1	52.4
Sabana	0.8	7.9	5.5	0.6	0.0	14.9

Pastizal-agricultura	0.5	4.2	3.8	0.7	0.0	9.2
Total	4.6	49.3	39.1	6.9	0.2	100.0

¿Cómo se compara el incendio de Las Canoas-Nejahuete-Pedernal con los de años anteriores?

El incendio no fue un evento excepcional; incendios como este han formado parte de la historia del Bosque La Primavera y, por las características físico geográficas y ecológicas del área puede afirmarse que se encuentran dentro de la amplitud de su variación natural. Sin embargo, hay indicios de que el régimen histórico de incendios en el área ha sido alterado por intervenciones humanas al combinarse dos factores: (1) la alta incidencia de incendios que se inician en las áreas agrícolas y la interfaz urbano-forestal circundante al área protegida y (2) los efectos de las acciones de supresión del fuego.

En el diagnóstico elaborado para el Programa de Manejo del Fuego del Bosque La Primavera (PMF-BLP), se muestra que en el área se registraron 1692 incendios entre 2001-2019, casi todos originados en su periferia. La cifra asciende a 1786 incendios si se suman los eventos ocurridos en 2020; esto es, en el área protegida y sus inmediaciones han ocurrido 89 ± 7 incendios por año en promedio durante los últimos 20 años. A inicios de abril de este año, ya se ha alcanzado esta cifra promedio, con 87 incendios. Esto es una cifra muy alta de incendios; comparativamente, es más del doble que el número de incendios que se registran anualmente en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manantlán, cuya superficie es cuatro veces más grande que la del Bosque La Primavera. Resulta obvio que la elevada frecuencia de igniciones es una amenaza constante en el área durante la estación seca del año.

Un problema crítico para la protección del Bosque La Primavera es que se encuentra rodeado por zonas urbanas y agrícolas densamente pobladas, lo que implica un gran número de fuentes potenciales de ignición, que incluyen desde quemas de cultivo, potreros y basureros hasta actividades de incendiarios e incendios asociados con la expansión de asentamientos irregulares. Las cifras de incidencia anual de incendios en los últimos 20 años demuestran que las instituciones involucradas en la protección del área realizan un gran esfuerzo para controlar los incendios forestales.

Cuando un incendio llega a propagarse dentro de terrenos boscosos con un relieve accidentado y altas cargas de combustibles forestales, es difícil contener el avance del fuego y se producen incendios grandes (aquellos cuya superficie es mayor a 1000 ha). Estos eventos son los que llaman la atención de la opinión pública, generando cuestionamientos acerca de la protección del área sin poner las cosas en contexto: las acciones de supresión del gran número de incendios que se inician en la periferia del Bosque La Primavera son exitosas, la gran mayoría de los eventos son controlados y reducidos a conatos (52% de los ocurridos entre 2001 y 2019 fueron menores a 2.5 ha) o a incendios de pequeña extensión (44% de los incendios en el mismo periodo fueron de 2.5 a 50 ha). Sin embargo, los incendios mayores a 50 ha representaron el 83% de la superficie

quemada y sólo 6 incendios mayores a 800 ha (0.35% del número total registrado entre 2001-2019) contribuyeron con 63% de esta extensión.

La incidencia de incendios grandes en el Bosque La Primavera muestra un patrón recurrente que tiene importantes implicaciones para el manejo del fuego en el área: sólo unos pocos incendios llegan a cubrir extensiones grandes cuando el fuego entra en lugares con varios años de supresión del fuego. Como se muestra en la figura 12, los incendios grandes ocurren a intervalos de 5-7 años.

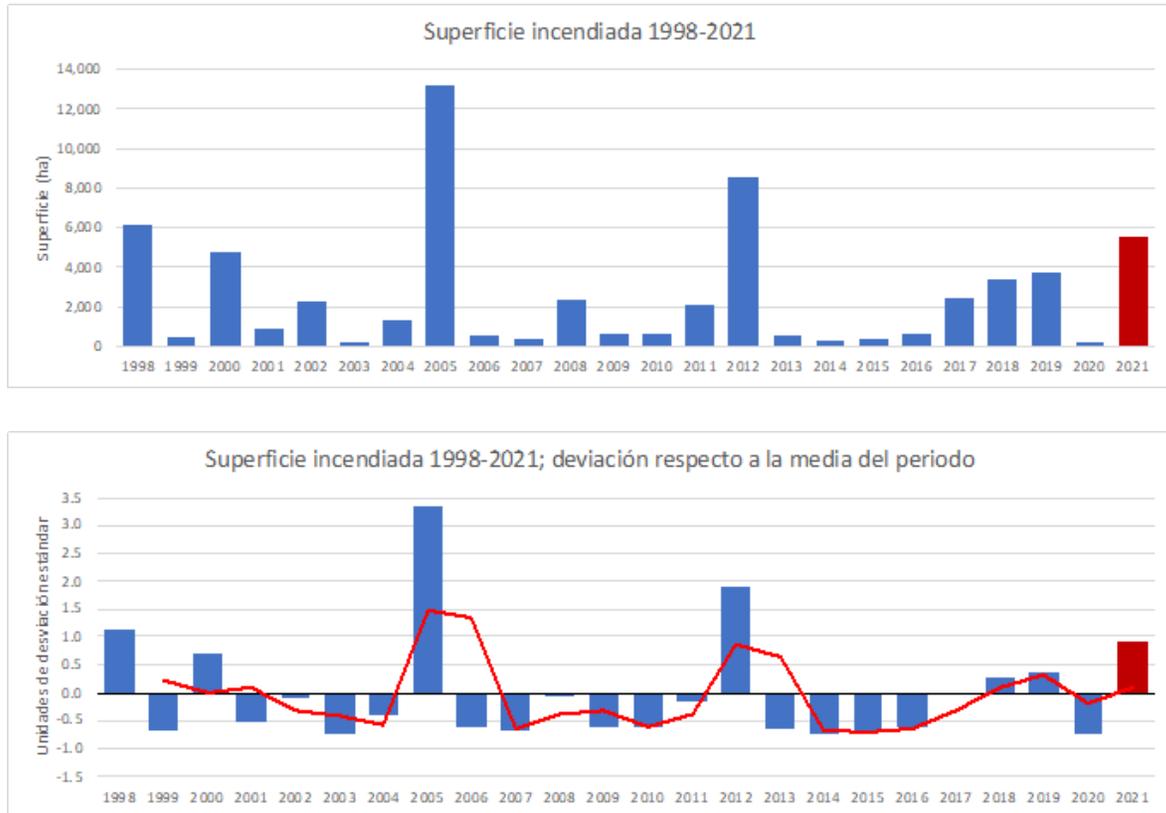


Figura 12. Variación de la superficie anual de incendios forestales en el Bosque La Primavera en el periodo 1998-2021. Arriba se muestra la superficie en valores absolutos (hectáreas) y abajo en unidades de desviación estándar (0 representa la media del periodo; los valores positivos son mayores al promedio y los negativos son menores); la línea de tendencia, en color rojo, es la media móvil con un periodo de dos años.

Los datos estandarizados de la figura 12 muestran claramente el patrón de superficie incendiada por arriba de la media cada 5-7 años, después de periodos en los que la superficie incendiada está por debajo. En el periodo 1998-2021 la desviación respecto a la media de la superficie incendiada sólo ha sido estadísticamente significativa (más de una desviación estándar) en 1998, 2005 y 2012.

El intervalo de 5-7 años entre años con grandes incendios coincide con el tiempo post-incendio que tardan en reconstruirse las camas de combustible superficiales hasta alcanzar una carga que puede soportar un incendio intenso. Las áreas de los grandes

incendios (Fig. 13) habían estado libres de fuego por periodos más largos que dicho intervalo; 9 años en el caso del incendio de Las Canoas-Nejahuete-Pedernal. Esto sugiere que el éxito en la supresión de incendios es temporal y que la acumulación de combustibles en áreas no quemadas finalmente favorece la propagación de incendios extensos, que tarde o temprano llegan a ocurrir.

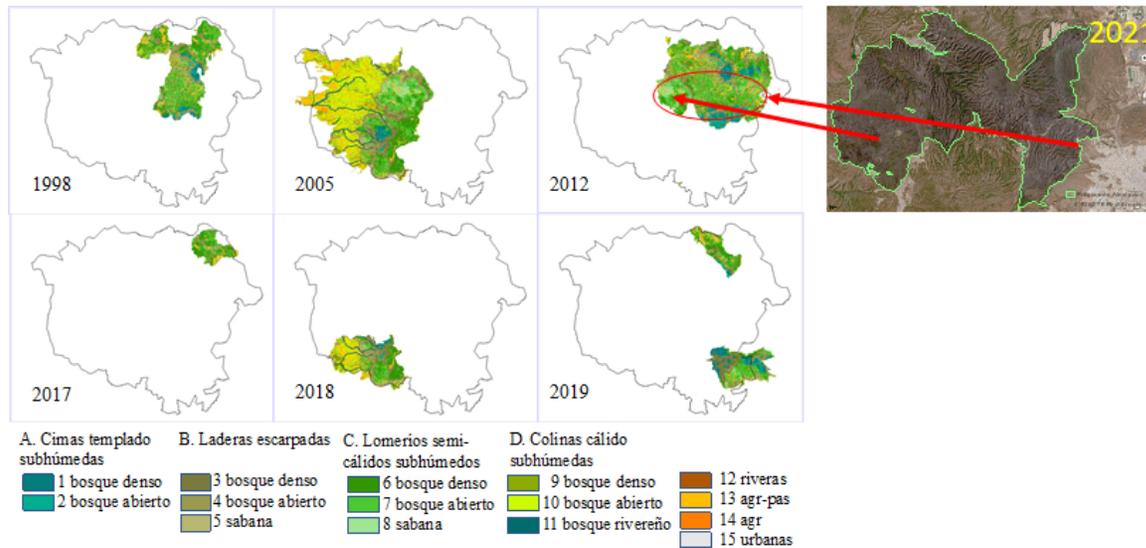


Figura 13. Incendios grandes ocurridos en las últimas dos décadas en el Bosque La Primavera. En los polígonos de los incendios se muestran las unidades de paisaje (Fuente: PMF-BLP, figura 47). El área incendiada en 2021 (óvalo rojo superpuesto al mapa de 2012) coincide con un área que tenía 9 años sin quemarse.

Discusión

Efectos de la supresión de incendios

La caracterización de camas de combustibles forestales del Bosque La Primavera (PMF-BLP) indica que el tiempo post-incendio en el que se acumula una carga que pueden soportar la propagación de incendios intensos es de 5 a 10 años. El incendio de Las Canoas-Nejahuete-Pedernal ocurrió 9 años después del último incendio, ocurrido en 2012. Los datos disponibles sugieren que intervalos de tiempo entre incendios sucesivos mayores a 5 años implican un aumento del peligro de incendios más intensos, de mayor severidad y extensión.

Con la supresión de incendios se acumulan combustibles y aumenta el peligro de incendios más intensos. Con los datos de inventario de combustibles forestales del Bosque La Primavera y modelos estandarizados de combustibles (Scott y Burgan 2005), realizamos una simulación del comportamiento esperado del fuego en incendios con el programa *BEHAVE-Plus*. Los resultados (Fig. 14) indican que después de 20 años de supresión del fuego y acumulación de combustibles, la longitud de la llama puede aumentar de 0.3 a 1.5 m y la velocidad de propagación de 0.7 a 3.6 m/min, 5 veces más en ambos casos.

Comparando el comportamiento probable del fuego en bosque de encino-pino con un tiempo post-incendio de 5 años con vegetación sabanoide (pastizales con árboles dispersos), observamos que la longitud de las llamas aumenta casi diez veces (de 0.3 a 2.9 m) y la velocidad de propagación es 44 veces más rápida, de 0.7 a 30.5 m/min en las camas de combustibles de sabana (Fig. 14).

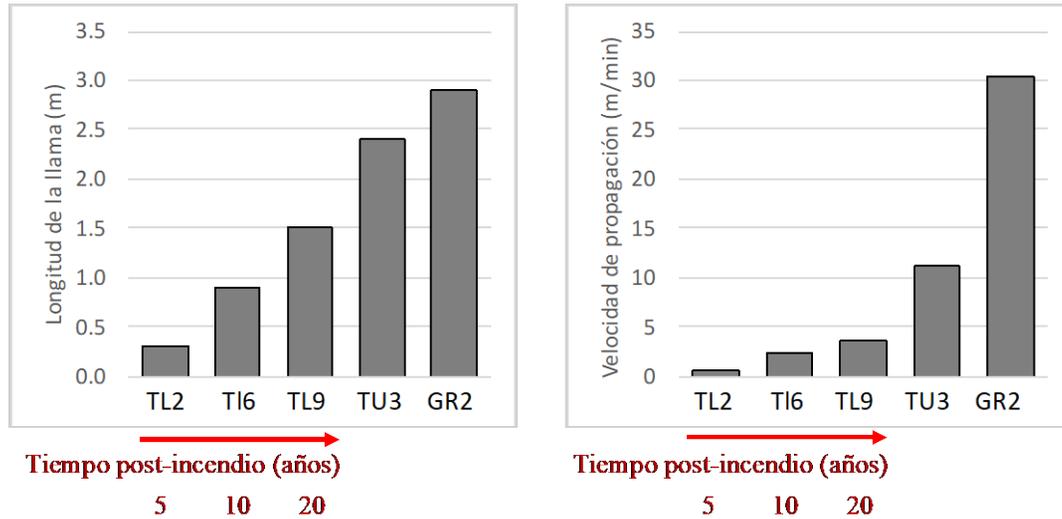


Figura 14. Resultados de una simulación del comportamiento del fuego con los modelos estandarizados de Scott y Burgan (2005), seleccionados a partir de datos de las camas de combustibles del Bosque La Primavera. A la izquierda, longitud de las llamas y a la derecha, velocidad de propagación. Los tipos de combustible de los modelos “TL” (el fuego se propaga por la capa de hojarasca del suelo bajo dosel arbóreo) corresponden con las características de las camas de combustibles del bosque de encino-pino del área de estudio; representan cargas de combustibles ligeras (TL2), moderadas (TL6) y altas (TL9). El modelo TU3 se seleccionó para representar el bosque de encino-pino abierto (el fuego se propaga por el sotobosque de pastos y arbustos bajo dosel arbóreo) y el modelo GR2 (pastizales bajos densos) para la vegetación sabanoide. Para la simulación y con fines de comparación se asumieron como constantes un escenario de combustibles secos (completamente curados), una pendiente del 15% y una velocidad del viento a la altura de la llama de 10 km/h; en condiciones reales en el área de estudio se encuentran mayores pendientes y puede presentarse una velocidad del viento mayor. (Fuente: PMF-BLP; véase también Jardel-Peláez 2020).

En el Bosque La Primavera los incendios grandes de 1988, 2005, 2012, 2019 y 2021 han ocurrido en lugares donde el fuego había sido suprimido por varios años. En los ecosistemas propensos a incendios la eliminación temporal del fuego provoca la acumulación de gruesas capas de hojarasca y material leñoso caído, lo cual incrementa su vulnerabilidad a incendios intensos y difíciles de controlar, que provocan efectos ecológicos severos. Esta es la “paradoja de la supresión” (Brown y Arno 1991): las buenas intenciones de proteger a los bosques, pasando por alto su dinámica natural, generan un mayor peligro de incendios destructivos que tarde o temprano ocurren. Por esta razón, una de las prácticas para mitigar el peligro de incendios destructivos es imitar a la naturaleza restaurando el régimen de incendios con la aplicación de quemadas planificadas para controlar la acumulación de combustibles.

Alteración del complejo de combustibles y comportamiento del fuego

El comportamiento potencial y los efectos del fuego en los incendios forestales están determinados principalmente por las características de las camas de combustibles (Ottmar *et al.* 2007). Las intervenciones de manejo que modifican el complejo de combustibles tienen por lo tanto una marcada influencia en los incendios.

Ciertas intervenciones de manejo, como el establecimiento de plantaciones densas, aumentan la vulnerabilidad a incendios más severos. Por ejemplo, en el área incendiada en 2012 en la ladera este del Cerro del Najahuete se estableció una plantación de pinos con una densidad relativamente alta para el área; con el crecimiento de pastos, aumentó la carga de combustibles superficiales. Incluso se creó una condición no-natural al plantar pinos bajo los encinos sobrevivientes al incendio, aumentando la continuidad horizontal y vertical de los combustibles y por lo tanto el potencial de propagación del fuego. Además, se utilizó para la reforestación planta de pino de especies y procedencias diferentes a las de la localidad, más vulnerables al fuego. Esta plantación se quemó severamente en el incendio de 2021 (Fig. 15).

2017



2021



Figura 15. Plantación de pinos en la ladera sureste del Cerro Nejahuete, establecida en 2012. A la izquierda se observa la plantación en 2017, con una alta densidad de pinos y pastos, e incluso pinos plantados bajo dosel que al crecer aumentaron la continuidad vertical de los combustibles. En estas condiciones, durante el incendio de 2021 el fuego fue intenso y de alta severidad (derecha).

¿Está aumentando la vulnerabilidad del Bosque La Primavera a incendios grandes?

Estudios realizados sobre el aumento de la actividad de incendios en distintas partes del mundo (Flannigan *et al.* 2009, Moritz *et al.* 2012, Palaiologou *et al.* 2019), indican la combinación de tres factores en el incremento de la intensidad (fuerza física), severidad (efectos ecológicos) y tamaño (superficie) de los incendios: (1) la transformación de la vegetación y el complejo de combustibles por la influencia humana a escala del paisaje, creando condiciones más inflamables; la alteración del régimen histórico de incendios por las acciones de supresión del fuego, provoca cambios en la estructura de la vegetación y la acumulación de combustibles forestales que aumentan la vulnerabilidad a incendios más intensos, severos y extensos (la llamada "paradoja de la supresión del fuego"); (2) condiciones extremas del estado del tiempo favorables a la propagación del fuego, asociadas con el cambio climático global; (3) mayor interacción entre poblaciones humanas y las áreas forestales, incrementando la probabilidad de igniciones, especialmente en zonas de expansión de la agricultura y en la interfaz urbano-forestal. Estos tres factores están presentes en el Bosque La Primavera.

La información sobre el cambio observado en la densidad de la cobertura vegetal en el Bosque La Primavera (González-Murguía y Rodríguez-Alcaráz 2017) y los datos de campo en áreas incendiadas (Jardel-Peláez *et al.* 2017), interpretadas con el conocimiento actual de la ecología del fuego (Scott *et al.* 2014), sugieren que en el área de estudio puede estar ocurriendo una modificación del régimen de incendios que implica transformaciones a escala del paisaje. La hipótesis es que la supresión del fuego favorece incendios más severos y que en las áreas incendiadas el aumento de la dominancia de pastos crea condiciones para nuevos incendios, limitando la regeneración arbórea y produciendo un proceso de sabanización (Fig. 16). Esta hipótesis es la base para nuevos estudios en el área.

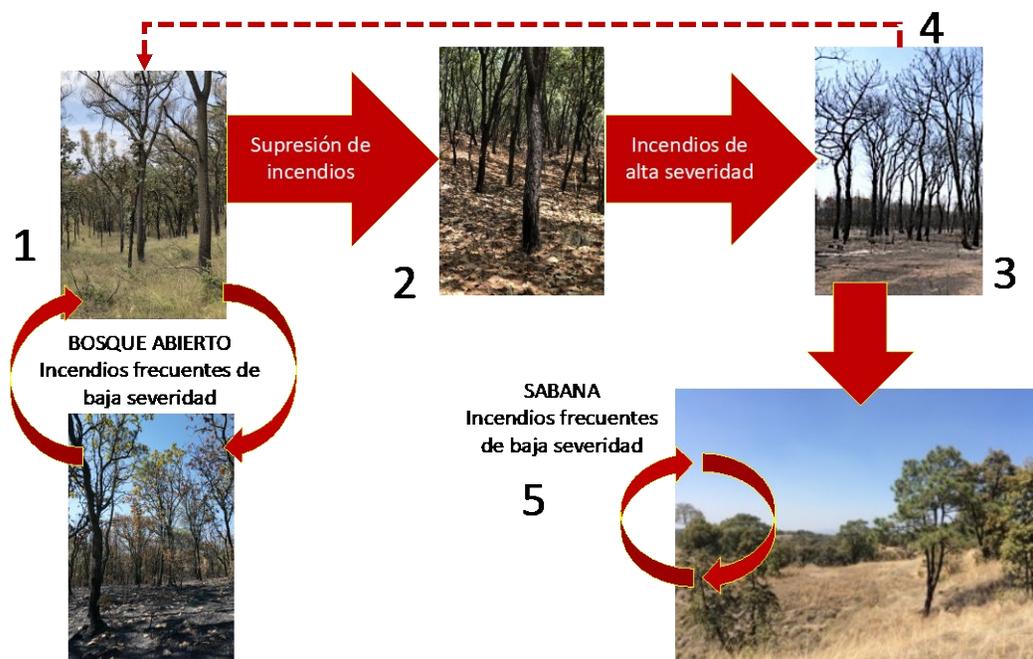


Figura 16. Hipótesis de la sabanización de la cobertura forestal en el Bosque La Primavera. (1) El régimen histórico de incendios frecuentes de baja severidad ha mantenido el predominio de bosques abiertos en el área de estudio, que presentan una riqueza de especies de plantas relativamente alta. (2) La supresión temporal de los incendios favorece la formación de rodales densos con un sotobosque ralo y pobre en especies. En estos rodales se

acumulan cargas de combustible que permiten la propagación de incendios intensos de alta severidad (3), después de los cuales la sucesión puede conducir al restablecimiento de rodales abiertos (4) o bien a la formación de una vegetación sabanoide dominada por pastos (5), más inflamable, que persiste con incendios recurrentes intensos, pero de baja severidad en los cuales los pastos se recuperan rápidamente, no así los árboles. La regeneración de las especies arbóreas en estas condiciones está limitada por los incendios recurrentes, además de las condiciones de suelos pobres y clima estacionalmente seco.

Efectos del fuego sobre la biodiversidad

Existe una preocupación legítima sobre los posibles efectos de incendios grandes sobre la flora y la fauna del Bosque La Primavera. Dado que existe una percepción generalizada del fuego como un factor extraño a los bosques, se piensa que sus efectos son siempre negativos. Sin embargo, los incendios han sido un componente de la dinámica natural o histórica de ecosistemas de bosques de pinos, encinos y sabanas (véase Whelan 1995, Jardel *et al.* 2009, 2014, Scott *et al.* 2014).

Por las características del clima estacionalmente seco y el tipo de vegetación, el régimen potencial de incendios forestales de los ecosistemas del Bosque La Primavera es de incendios frecuentes, superficiales intensos con severidad baja a moderada (Jardel *et al.* 2014). En el caso de la flora, en el área predominan especies adaptadas a dicho régimen de incendios. La mayor amenaza consiste no en la incidencia de incendios, sino en la alteración del régimen natural o histórico por factores como la supresión del fuego, la fragmentación de la cubierta vegetal y el cambio climático global.

Estudios previos realizados en el Bosque La Primavera (Jardel *et al.* 2017), muestran que en sitios incendiados aumenta la riqueza de especies de plantas a los 5 años después de incendios tanto de baja como alta severidad (Fig. 17); la riqueza de especies tiende a disminuir con el tiempo post-incendio y es menor en los bosques densos, donde las condiciones de sombra por la cobertura del dosel y la formación de una gruesa capa de hojarasca continua limitan a las plantas herbáceas y arbustivas del sotobosque, que representan entre 90% de las especies de plantas del área de estudio. Los incendios son necesarios para mantener las condiciones de hábitat que determinan la distribución y abundancia de una gran diversidad de especies de plantas (y de animales asociados a estas) (Whelan 1995, Bond y van Wilgen 1996).

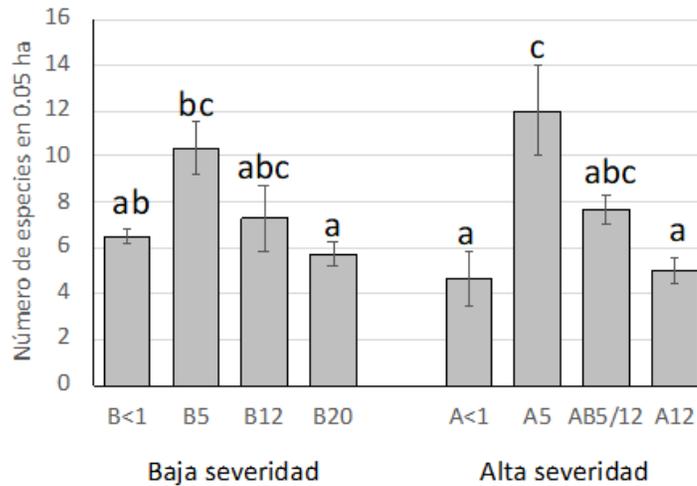


Figura 17. Variación en la riqueza de especies de plantas en parcelas de 0.05 ha con el tiempo post incendio (años) en condiciones de baja (B) y alta (A) severidad de incendios. Las columnas indican la riqueza promedio, con barras de error estándar; medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Con base a lo registrado en incendios anteriores en el área de estudio, puede esperarse que habrá una buena regeneración de las áreas incendiadas. Sin embargo, esto deberá ser corroborado con el monitoreo de la regeneración y la composición y estructura de la vegetación durante los próximos meses. Tres días después del incendio, durante el recorrido de campo, pudimos observar que ya comienzan a aparecer los primeros rebrotes de pastos del género *Muhlenbergia* y lluvia de semillas de pino en uno de los sitios quemados con alta severidad (Fig. 18). En las áreas con vegetación sabanoide que se quemaron en este incendio se espera que se repondrán en la próxima estación lluviosa (Fig. 19).



Figura 18. Rebrote de pasto (izquierda) y semilla de *Pinus oocarpa* en uno de los sitios quemados de alta severidad. Las fotografías fueron tomadas tres días después del incendio.



Figura 19. Vista de la misma área antes y después del incendio (orientación 167°; punto de la fotografía 20°39'59"N – 103°30'50"W). Arriba el área en 2017; se observa en el primer plano la vegetación sabanoide (pastizal con árboles y arbustos dispersos) y al fondo el bosque de encino-pino. Abajo, el área tres días después de la extinción del fuego.

La conservación de la diversidad biológica en ecosistemas propensos a incendios como los del Bosque La Primavera, depende del mantenimiento de su régimen natural o histórico (Jardel *et al.* 2009) y de un mosaico de áreas quemadas y no quemadas con distinto grado de severidad. Actualmente se reconoce que el mantenimiento o restauración de los regímenes de incendios naturales o históricos, a través del manejo del fuego, debe ser considerado como parte de las estrategias de conservación de la biodiversidad (Kelly y Brotons, 2017; DellaSala y Hanson, 2015; Driscoll *et al.*, 2010, Gillson *et al.* 2019). Sin embargo, la alteración de los regímenes de fuego se convierte en un factor de modificación de los hábitats forestales con consecuencias para la diversidad de especies. La acumulación de combustibles forestales (hojarasca y material leñoso caído), junto con la formación de una cobertura arbórea densa, no sólo limitan las condiciones ambientales para las especies de plantas del sotobosque, sino que aumentan el peligro de incendios más intensos y severos, que además son más difíciles de controlar. Esto indica la necesidad de poner en práctica una estrategia de manejo del fuego en el área de estudio.

Consideraciones finales

El incendio de Las Canoas-Nejahuete-Pedernal en la primera semana de abril de 2021, no fue un evento excepcional en su magnitud y se encuentra dentro de la amplitud de la variación histórica que caracteriza el régimen de incendios forestales en el Bosque La Primavera y otras áreas forestales de ambientes similares. Los resultados preliminares de la evaluación en campo, que deberán ser reforzados con el monitoreo del área incendiada durante los próximos meses, indican que la vegetación del área se regenerará de manera natural. Sin embargo, la evaluación de este incendio indica que es necesario poner en práctica las medidas de prevención física de incendios propuestas en el Programa de Manejo del Fuego del Bosque La Primavera.

Recapitulando sobre la evaluación del incendio, este abarcó una superficie de 4,926 ha, cubierta por bosque abierto de encino-pino (52.4%), bosque denso de pino-encino y encino-pino (23.5%), vegetación sabanoide (14.9%) y pastizales ralos y desmontes (9.2%). La severidad de los efectos del fuego fue baja en el 49.3% de la superficie del incendio (2,428.8 ha), moderada en el 39.1% (1,924.9 ha), moderada a alta en el 6.9% (338.9 ha) y alta en el 0.2% (8.5 ha); el 4.6% restante (225.0 ha) corresponde a áreas no quemadas encerradas en el polígono del incendio. El análisis de las imágenes satelitales y las observaciones de campo demuestran que si bien el incendio fue de una extensión significativa (16% de la superficie del área del BLP), el fuego no “arrasó con el bosque” como fue reportado en los medios de comunicación.

El área del incendio presenta condiciones de relieve accidentado y heterogeneidad de las camas de combustibles. No se había quemado desde 2012 y en estos nueve años desde el último incendio se acumuló una alta carga de combustibles ligeros (hojarasca y pastos). En la mayor parte del área el incendio fue superficial, pero el fuego se propagó rápidamente en condiciones del estado del tiempo caracterizadas por baja humedad atmosférica, altas temperaturas y vientos fuertes, lo que favoreció la formación de focos secundarios.

Es necesario enfatizar que las condiciones para el combate de incendios en los terrenos del BLP son peligrosas por las condiciones del estado del tiempo en esta época del año, el relieve abrupto y el complejo de combustibles. Puede afirmarse que el combate del incendio se llevó a cabo de manera adecuada, bajo condiciones ambientales desfavorables que representaron un alto peligro para las brigadas de combate, y que fue efectivo para evitar que se quemara una superficie mayor. En este incendio se quemó un área equivalente al 57% del incendio de 2012, que afectó la misma zona del BLP.

La ocurrencia cada 5-7 años de incendios grandes ponen en evidencia que el enfoque de supresión de incendios no es una estrategia adecuada y viable para la conservación del Bosque La Primavera. Por las condiciones de clima semicálido subhúmedo, con una estación seca y cálida que dura la mitad del año, y la vegetación de bosques de pino y encino y sabanas, el Bosque La Primavera es propenso a incendios frecuentes de baja severidad, pero la supresión del fuego crea condiciones para incendios más intensos, severos y resistentes al control.

Existen indicios de que el aumento de la severidad de los incendios favorece la expansión de formaciones sabanoides que son susceptibles a incendiarse nuevamente con mayor frecuencia. A esto se suma el hecho de que el BLP está rodeado por zonas agrícolas y urbanas donde se inician incendios (anualmente se producen en promedio 89 ± 7 incendios por año; hasta el inicio de abril de 2021 se habían controlado ya 85 incendios en los límites del área protegida). Las tendencias del cambio climático global y el efecto de la burbuja de calor generada por la mancha urbana de Guadalajara, generan condiciones favorables para una mayor actividad de incendios (Fig. 20). Todo esto permite afirmar que es indispensable poner en práctica una estrategia proactiva de manejo del fuego en el Bosque La Primavera.



Figura 20. El Bosque La Primavera está sujeto a la influencia de múltiples factores que aumentan su vulnerabilidad a incendios, incluyendo los efectos del cambio climático global y de la burbuja de calor que produce la extensa mancha urbana de la zona metropolitana de Guadalajara, la alta frecuencia de igniciones en las áreas agrícolas circundantes y la interfaz urbano-forestal, y las intervenciones de supresión del fuego.

La protección del área con una "mentalidad de plaza sitiada" no puede ser efectiva a largo plazo. Se requiere poner en práctica acciones de prevención física de incendios mediante la aplicación de quemas prescritas para la restauración del régimen de incendios, la recuperación de sitios alterados basada en el conocimiento y entendimiento de patrones y procesos ecológicos, y la participación comprometida de pobladores, vecinos y visitantes del Bosque La Primavera para su conservación.

Recomendaciones

A continuación, se presentan algunas recomendaciones generales:

- Realizar una evaluación de los efectos del incendio combinando la validación del mapa de severidad con puntos de verificación georeferenciados con el establecimiento de sitios permanentes de muestreo en cada clase de severidad, que deberán ser medidos antes del inicio de la temporada de lluvias, al final de esta y un año después del incendio. De ser posible, el monitoreo de estos sitios deberá continuar en los próximos años. En los sitios permanentes deberán obtenerse datos de composición y estructura de la vegetación, riqueza de especies de plantas y carga de combustibles forestales. El monitoreo de la vegetación puede complementarse con el de la riqueza de especies de fauna usando grupos indicadores como aves y reptiles; pueden utilizarse también cámaras-trampa para mamíferos grandes.
- Evaluar el riesgo de erosión y arrastre de sedimentos en la desembocadura de cauces en la interfaz urbano-forestal, con ayuda de personal de Protección Civil y especialistas en cuencas hidrográficas. Esta evaluación debe hacerse en lo inmediato para realizar acciones que permitan prevenir riesgos de desastre durante la temporada lluviosa en el área urbana adyacente al área incendiada.
- En áreas quemadas con alta severidad y, particularmente, en el sitio de la plantación de 2012 en las faldas del cerro El Nejahuete, es conveniente realizar intervenciones de restauración ecológica, siguiendo los siguientes principios:
 - Favorecer la regeneración natural no eliminando rebrotes de pastos y arbustos nativos y cuidando los renuevos de árboles.
 - Regeneración asistida: plantación con densidad baja (<400 plantas por hectárea) de árboles nativos (*Pinus oocarpa*, *Quercus resinosa*, *Clethra rosei*); puede experimentarse con siembra al voleo de semilla de *P. oocarpa*. No deben utilizarse otras especies de pino que no están adaptadas a las condiciones del área.
 - Puede ensayarse la plantación o siembra de especies de leguminosas arbustivas de la zona (como *Calliandra hirsuta*) para mejorar la recuperación del suelo.
 - No eliminar ni modificar la distribución de árboles muertos en pie y material leñoso caído; estos son componentes del hábitat utilizado por diversas especies y contribuyen a la protección del suelo contra la erosión.

- Controlar el establecimiento de especies exóticas invasoras (como *Melinis repens*).
- Tomar previsiones para el mantenimiento del área de restauración durante los próximos 10 años, incluyendo la protección contra incendios y el control de combustibles forestales.

Agradecimientos

Los autores de este informe agradecen al Mtro. Sergio Graf Montero, titular de la Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial del Gobierno de Jalisco y a Marciano Valtierra Azotla, Director del Organismo Público Descentralizado Bosque La Primavera, así como a Josué Alvarado y Alejandro Alvarado, el apoyo y las facilidades para la realización del trabajo de campo. Este informe es una contribución a la línea de investigación “Ecología y manejo del fuego” del Cuerpo Académico Manejo Forestal y Conservación Biológica (CA-UDG-897) de la Universidad de Guadalajara.

Literatura citada

- Bond, W. J. y van Wilgen, B. W. 1996. *Fire and Plants*. Chapman & Hall, Londres, Reino Unido.
- Brown, J.K. y Arno, S.F. 1991. The paradox of wildland fire. *Western Wildlands* (Spring): 40V46.
- DellaSala, D.A. y C.T. Hanson (Eds.). 2015. *The ecological importance of mixed-severity fires*. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos.
- Driscoll, D. A., Lindenmayer, D. B., Bennett, A. F., Bode, M., Bradstock, R. A., Cary, G. J., ... York, A. 2010. Fire management for biodiversity conservation: Key research questions and our capacity to answer them. *Biological Conservation* 143(9): 1928–1939.
- Flannigan, M. D., M. A. Krawchuk, W. J. de Groot, B. M. Wotton, and L. M. Gowman. 2009. Implications of changing climate for global wildland fire. *International Journal of Wildland Fire* 18:483-507.
- Gillson, L., C. Whitlock y G. Humphrey. 2019. Resilience and fire management in the Anthropocene. *Ecology and Society* 24 (3): 14.
- González-Murguía, R. y G. Rodríguez-Alcaráz. 2017. Evaluación del estado actual de áreas quemadas en los incendios de 2005, 2012 y 2017 en el Bosque La Primavera: severidad de incendios a escala del paisaje. Anexo 2.2, Estudio para la evaluación del efecto de incendios forestales y generación de información básica para el manejo del fuego en el Área de Protección de Flora y Fauna Silvestre Bosque La Primavera. Informe técnico. OPD Bosque La Primavera-Quercus Geosoluciones-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.
- Jardel-Peláez, E.J. 2020. Ecología y manejo del fuego en el Bosque La Primavera. III Foro Noviembre de Conocimiento y Conservación del Bosque La Primavera. Guadalajara, Jalisco, México, Noviembre de 2020.

- Jardel-Peláez, E.J., E. Alvarado, J.E. Morfín-Ríos, F. Castillo-Navarro y J.G. Flores-Garnica. 2009. Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. En: J.G. Flores-Garnica (Ed.). *Impacto Ambiental de Incendios Forestales*. Mundi-Prensa, INIFAP y Colegio de Postgraduados. México D.F. Pp. 73-100.
- Jardel-Peláez, E.J., D. Pérez-Salicrup, E. Alvarado y J.E. Morfín-Ríos. 2014. *Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo*. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jalisco, México. 96 Pp.
- Jardel Peláez, E.J., J.E. Morfín Ríos, E. Padilla Velarde, D. Graf Pérez , I.A. Herrera Palacios , G.M. Barragán Vicente, V. Castillo, R. González Murguía, G. Rodríguez Alcaráz. 2017. Estado actual de las áreas quemadas en los incendios forestales de 2005, 2012 y 2017 en el Bosque La Primavera: efectos de incendios a escala de rodales. Anexo 2.1, Estudio para la evaluación del efecto de incendios forestales y generación de información básica para el manejo del fuego en el Área de Protección de Flora y Fauna Silvestre Bosque La Primavera. OPD Bosque La Primavera-Quercus Geosoluciones-Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.
- Keeley, J. E. (2009). Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International journal of wildland fire*, 18(1), 116-126.
- Kelly, L. T. y Brotons, L. 2017. Using fire to promote biodiversity. *Science* 355 (6331): 1264-1265.
- Moritz, M. A., M.-A. Parisien, E. Batllori, M. A. Krawchuk, J. Van Dorn, D. J. Ganz, and K. Hayhoe. 2012. Climate change and disruptions to global fire activity. *Ecosphere* 3:1-22.
- Palaiologou, P., Ager, A. A., Nielsen-Pincus, M., Evers, C. R., & Day, M. A. (2019). Social vulnerability to large wildfires in the western USA. *Landscape and Urban Planning*, 189, 99-116.
- Scott A.C., Bowman D.M., Bond W.J., Pyne S.J., Alexander M.E. 2014. *Fire on Earth. An introduction*. Wiley Blackwell, Chichester.
- Scott, J. E., Burgan, R.E. 2005. Standard fire behavior fuel models: a comprehensive set for use with Rothermel's surface fire spread model. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153.
- Whelan, R. 1995. *The ecology of fire*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.



Jalisco
GOBIERNO DEL ESTADO

