



DOI: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12iEspecial-1.981>

Artículo de revisión

Antecedentes y perspectivas de la investigación en incendios forestales en el INIFAP

Retrospective and perspectives of forest fire research at INIFAP

José Germán Flores-Garnica¹

Abstract

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, INIFAP) (National Institute for Research on Forests, Agriculture and Livestock) has carried out research on forest fires from the perspective of its management. Based on this, work has been done on the following lines: fuel evaluation, fire ecology, fire behavior, zoning, climate change, dendropyrochronology and social perspective. Herein is described a research perspective that proposes organizational strategies, human resources training, and technology transfer, aiming primarily to reconcile the study of fire behavior with a deep ecological analysis of its effects, for which purpose a broader participation of interdisciplinary groups is required. Within this process, INIFAP has supported the training of human resources, by the following strategies: 1) teaching of specific courses on several topics; 2) execution of practical workshops, at both the field and the theoretical levels; 3) support for thesis students at various levels, and 4) integration of working groups in different research projects. It is concluded that INIFAP has contributed to the development of research on forest fires; however, there is still much to do on the subject, such as completing a frame of reference on the problem of forest fires in Mexico, based on which the priority issues are to be determined.

Keywords: Climate change, fire behavior, dendropyrochronology, fire ecology, forest fires, fire management.

Resumen

En el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) se ha realizado investigación en incendios forestales orientada desde la perspectiva del concepto de manejo del fuego. Con base en esto, se han desarrollado las siguientes líneas de investigación: evaluación de combustibles, ecología del fuego, comportamiento del fuego, zonificación, cambio climático, dendropirocronología y perspectiva social. Se presenta una perspectiva de investigación, en la cual se proponen estrategias de organización, formación de recursos humanos y transferencia de tecnología. Se plantea conciliar, principalmente, el estudio del comportamiento del fuego con un análisis ecológico amplio de sus efectos, lo que requerirá una participación más diversa de grupos interdisciplinarios. En este proceso, el INIFAP ha apoyado la formación de recursos humanos, que se lleva a cabo con base en las siguientes estrategias: 1) impartición de cursos específicos sobre diversos temas; 2) ejecución de talleres prácticos, tanto a nivel de campo como teórico; 3) apoyo a tesis de diferentes niveles; y 4) integración de grupos de trabajos en diversos proyectos de investigación. Se concluye que en el INIFAP se ha contribuido al desarrollo de la investigación sobre incendios forestales; sin embargo, aún hay mucho que hacer sobre el tema, como completar un marco de referencia de la problemática de los incendios forestales en México, que constituya la base para la definición de los temas prioritarios por estudiar.

Palabras clave: Cambio climático, comportamiento del fuego, dendropirocronología, ecología del fuego, incendios forestales, manejo del fuego.

Fecha de recepción/Reception date: 21 de abril de 2021

Fecha de aceptación/Acceptance date: 22 de junio de 2021

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, México.

Introducción

Los incendios son eventos que, de una u otra manera, forman parte de los ecosistemas forestales. Además, son un fenómeno complejo, ya que pueden provocar una serie de impactos a corto, mediano y largo plazo en varios aspectos (ecológico, social, político y económico). Al respecto, en México la investigación en incendios forestales tiene logros muy notables en los últimos años, y con ello se ha definido una mejor dirección; sin embargo, no ha seguido el mismo ritmo que se presenta en otras disciplinas forestales, lo cual puede deberse a que el número de investigadores relacionados con esta disciplina, aún es reducido.

No obstante, el papel del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha sido muy importante, ya que desde 1984 se han llevado a cabo una serie de estudios relacionados a diversos temas sobre incendios forestales. Esto ha sido posible por la presencia en el Instituto de investigadores, en su mayoría con estudios de posgrado, que han unido esfuerzos y experiencias con varias instituciones de México y del extranjero.

De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo se hace un análisis en retrospectiva (1984-2020) de los principales logros generados en el INIFAP dentro del ámbito de la investigación de los incendios forestales; lo cual ha resultado en un importante acervo de conocimiento que varias instituciones han utilizado en la toma de decisiones para la determinación de estrategias para la prevención, la detección y el combate de incendios forestales. Asimismo, se plantea una propuesta de cuál podría ser, en perspectiva, la orientación para la investigación sobre este tema en el INIFAP.



Marco conceptual

Perspectiva de manejo del fuego

En los incendios forestales intervienen diferentes factores como son la vegetación, los combustibles, el clima, la topografía, etcétera; por ello, en los estudios realizados en el INIFAP se consideran las interrelaciones entre estos elementos. Al respecto y desde la perspectiva del manejo del fuego, la investigación en el Instituto se orienta, principalmente, en función de los siguientes aspectos (Figura 1): a) Contexto. Se apoya la homologación de criterios para entender la terminología utilizada; b) Diagnóstico. Se considera necesario conocer en qué condiciones están las áreas bajo estudio, desde la ecológica hasta la situación económica y sociocultural; c) Definición de áreas prioritarias. Se han desarrollado procesos estandarizados para la selección adecuada de las áreas que requieren mayor atención y en las cuales se deben priorizar los recursos para la investigación; d) Perspectiva de manejo del fuego.



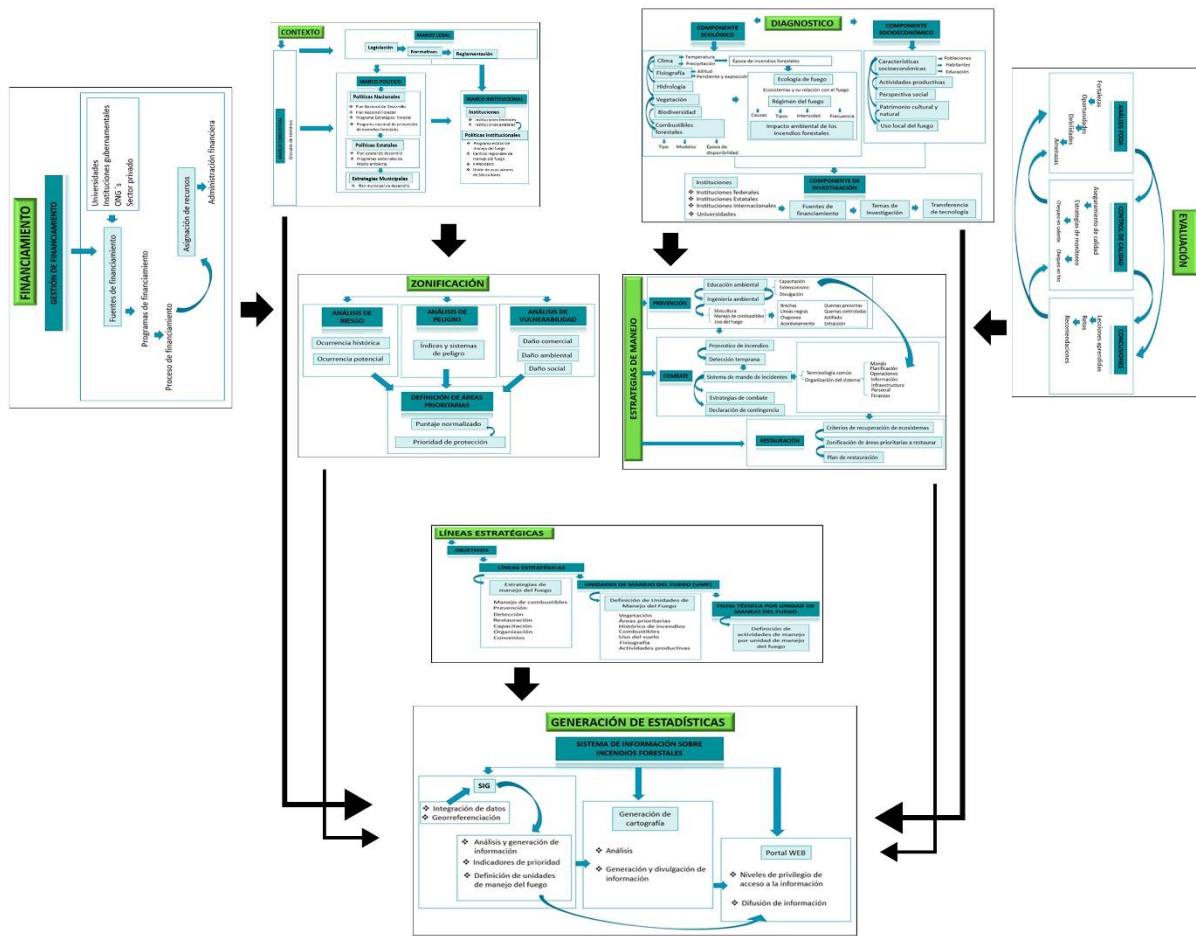


Figura 1. Estructura base para la planeación de la investigación en incendios forestales en el INIFAP.

El uso del fuego está muy relacionado a las prácticas agropecuarias, por lo que se han considerado diferentes estrategias de manejo del fuego que incluyen medidas de total supresión y el manejo de combustibles forestales; e) Manejo de la información. Para realizar una buena administración de la investigación, en el INIFAP se ha realizado la recopilación, ordenación y análisis de una gran cantidad de información relacionada al tema de incendios forestales; f) Líneas estratégicas. Se definen las unidades de manejo del fuego, las cuales representan áreas en las que se pueden aplicar estrategias o líneas de acción similares para la investigación; g) Financiamiento. Se consideran las posibles

fuentes de financiamiento para la ejecución de acciones antes descritas; h) Control de calidad. Para asegurar la calidad tanto de la planeación de la investigación, como de las acciones que integran las líneas estratégicas propuestas, se implementa un estricto proceso de monitoreo como apoyo al control de calidad; e i) Fuentes de información. Para sustentar todos los estudios es necesario ordenar y recopilar información en todas las fuentes disponibles, a fin de tenerlas accesibles para posteriores consultas.

Líneas de investigación prioritarias

Específicamente en el INIFAP, la mayoría de los trabajos de investigación se han enfocado en la evaluación y caracterización de los combustibles forestales, ecología del fuego y estimación del comportamiento del fuego (Figura 2). Se tienen pocos estudios sobre otros temas, como los efectos del fuego en la hidrología y la evaluación social de los actores involucrados en la problemática de los incendios forestales. Por otra parte, se han llevado a cabo estudios sobre su relación con el cambio climático, en particular en lo que se refiere a la evaluación del potencial de emisiones de carbono, cuando se queman los combustibles en los bosques. En la Figura 2 se presentan las principales líneas de investigación desarrolladas en el INIFAP; y enseguida se describen algunos ejemplos de los trabajos realizados.



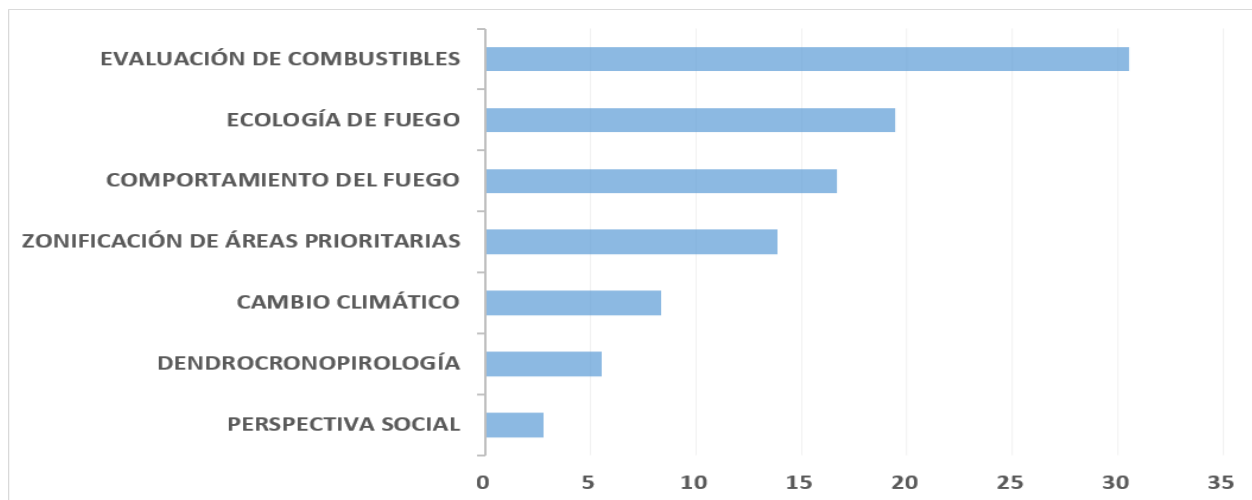
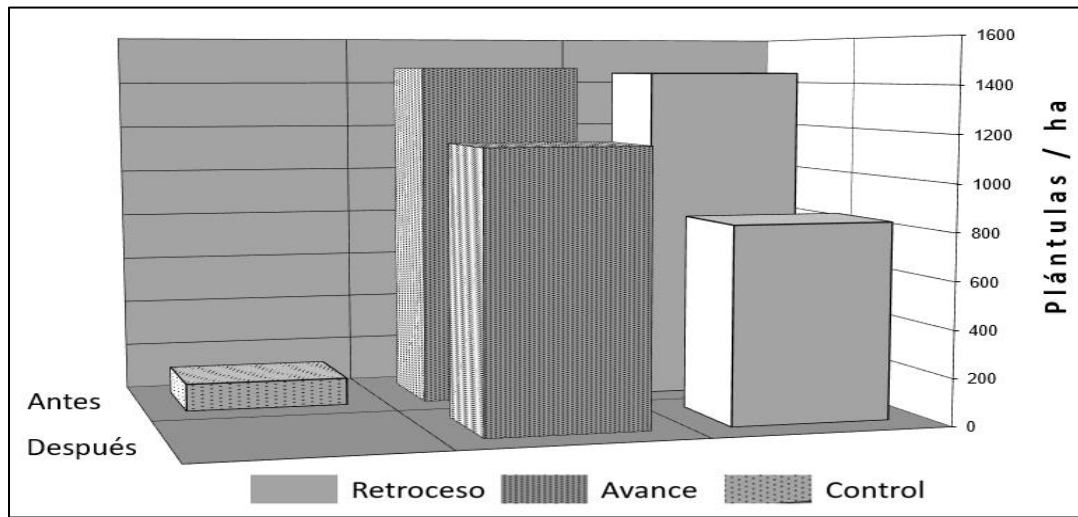


Figura 2. Proporción de los temas de investigación sobre incendios forestales en el INIFAP, en el periodo 1984-2020. Se consideran investigaciones individuales.

Ecología del fuego

En México, antes del año 2000, prácticamente, no se hacía uso del fuego a través quemas prescritas, ya que poco se conocía sobre los efectos del fuego en los ecosistemas forestales. Debido a esto, en el INIFAP se evaluó el efecto del fuego en el suelo; para ello se aplicaron diferentes tipos de quemas prescritas (Flores y Benavides, 1996). De los resultados destaca una ligera disminución (no significativa) en los niveles de potasio, fósforo y nitrógeno; así como un aumento (significativo) en los contenidos de calcio. También, se estudió el efecto del fuego en la regeneración al implementar quemas prescritas; y se concluyó: a) es factible realizar quemas prescritas, tanto en retroceso como a favor de la pendiente; b) se favorece el establecimiento de la regeneración (Figura 3); c) la intensidad del fuego no afecta la mejora de la regeneración (Flores, 2012). De esta forma, se ha modelado la relación espacial entre la presencia de combustibles forestales y el establecimiento de la regeneración (Flores y Moreno, 2005).



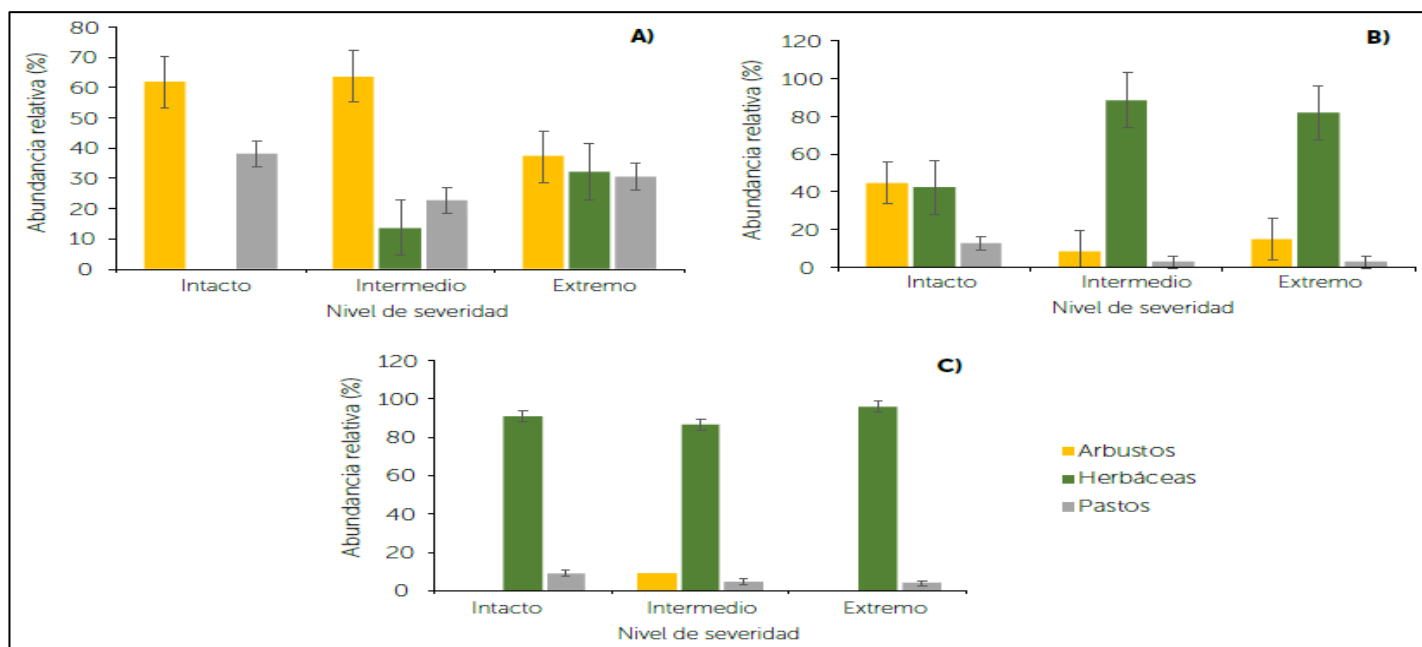
Fuente: Flores y Moreno (2005)

Figura 3. Respuesta de la regeneración al implementar quemas prescritas.

En cuanto al efecto del fuego en la dinámica de las poblaciones vegetales, se ha investigado su impacto en la estructura, diversidad y densidad de los ecosistemas forestales (Villanueva y McPherson, 2004); específicamente, mediante análisis comparativos de la vegetación entre áreas quemadas y no quemadas. Un ejemplo es el trabajo desarrollado para un área cubierta por especies desérticas micrófilas (Flores, 2018), donde los resultados sugieren que la estructura y las condiciones de densidad de la vegetación entre áreas quemadas y no quemadas no son estadísticamente diferentes. Sin embargo, es importante indicar que esos resultados aplican para el sitio y condiciones analizadas y que no son extensivos a todo matorral micrófilo, ya que en regiones donde la temporada de sequía es más intensa, la vegetación no se recupera del impacto del fuego de la misma forma.

También, se han desarrollado trabajos para evaluar la severidad de un incendio forestal y su impacto en la vegetación del sotobosque (arbustos, hierbas, pastos) en bosques templados; del análisis de la información generada, se puede decir que la abundancia relativa de las diferentes formas de vida varía en relación a la severidad. Las plantas

herbáceas, en general, se benefician en severidades intermedias, mientras que las especies de arbustos y, específicamente, los pastos disminuyen (Cadena *et al.*, 2020). Se concluye que la severidad intermedia de un incendio resulta en una mayor abundancia de herbáceas (Figura 4). Por otra parte, el efecto de la severidad de los incendios forestales se ha evaluado a través del análisis exploratorio de la distribución espacial del arbolado, el cual ha evidenciado que al aumentar la severidad del fuego: la distribución espacial del arbolado tiende a la agregación y a la formación de rodales dimensionalmente heterogéneos; mientras que, la composición de especies no se afecta (Ávila-Flores *et al.*, 2014).



A) Bosque de La Primavera, Jalisco, México; B) Sierra de Tapalpa, Jalisco, México; C) Sierra de Quila, Jalisco, México (Cadena *et al.*, 2020).

Figura 4. Abundancia relativa de las diferentes formas de vida (arbustos, hierbas y pastos) en relación a la severidad del incendio.

Evaluación de combustibles

En el INIFAP se considera que uno de los aspectos importantes en el estudio de los incendios forestales es la evaluación de los combustibles; por lo que desde 1983, el Instituto ha sido pionero en la definición de protocolos para su medición (Flores y Benavides, 1996), los cuales, en general, se analizan diferenciándolos entre biomasa y necromasa (Rubio *et al.*, 2016) bajo dos perspectivas:

1) Determinación directa, mediante inventarios de campo específicos (Rentería *et al.*, 2005; Chávez *et al.*, 2016). Estudios en los que se han probado técnicas de interpolación espacial para generar mapas de combustibles forestales con la mayor precisión posible (Flores y Omi, 2003).

2) El desarrollo de estrategias de estimación indirectas, como las fotoseries e imágenes de satélite (Flores y Moreno, 2005).

Al respecto, se considera que el estudio de los ecosistemas forestales implica la evaluación de grandes superficies, lo cual incide tanto en el tiempo como en los costos; por lo anterior, se consideran alternativas que garanticen procedimientos prácticos con soporte científico. Asimismo, se ha estudiado el papel de los combustibles forestales en el establecimiento y desarrollo de la regeneración del arbolado, específicamente en su relación espacial, mediante estrategias geoestadísticas (Flores y Moreno, 2005).

Aunque el comportamiento de los incendios forestales puede ser simulado a través de diversos sistemas (por ejemplo: *Farsite*, *Behave* y *Prometheus*), estos requieren de mapas de modelos de combustibles. Al respecto, en el INIFAP se llevó a cabo uno de los primeros intentos para clasificar una región forestal en clases de modelos de combustibles con el uso de Sistemas de Información Geográfica, sensores remotos, Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y geoestadística. Para ello, se definió el concepto de Factor de Proporción de Combustibles (Cuadro 1) para clasificar sitios muestreados dentro de determinados modelos de combustibles (Flores y Omi, 2003; Flores *et al.*, 2005; Flores, 2017a). También se han probado varias estrategias de

muestreo de combustibles forestales, como el muestreo simple aleatorio (MSA) y el muestreo al azar estratificado (MAE); cuyos resultados indican que el MAE es 674, 276 y 360 % más preciso que el MSA para los combustibles de 1HR (una hora de retardo), Hojarasca y materia orgánica (MO), respectivamente (Flores *et al.*, 2005).

Cuadro 1. Cargas de combustibles ($t\ ha^{-1}$) de los complejos de combustibles (Anderson, 1982, citado por Flores y Omi, 2003), y el correspondiente valor del Factor de Proporción de Combustibles (FPF).

| Modelo | Complejo de combustibles | 1-h | 10-h | 100-h | FPF |
|---------------|---------------------------------|------------|-------------|--------------|------------|
| FM-8 | Restos de corta maderable | 3.36 | 2.24 | 5.60 | <3.25 |
| FM-9 | Restos de maderas duras | 6.55 | 0.92 | 0.34 | 3.25–5.11 |
| FM-10 | Madera (restos y sotobosque) | 6.75 | 4.88 | 11.23 | >5.11 |

Adaptado de Flores y Omi (2003).

FM-8 = Modelo de combustibles 8; FM-9 = Modelo de combustibles 9; FM10 = Modelo de combustibles 10.

Dado que los sistemas de simulación del comportamiento del fuego utilizan modelos matemáticos basados, entre otros aspectos, en la humedad de los combustibles; en el INIFAP se han propuesto procedimientos para calcularla (Flores y Gómez, 2011), y con ello reforzar las metodologías y técnicas usadas para su estimación, ya que es un factor que define el inicio y la propagación de un incendio forestal.

En la investigación de los combustibles forestales, las fotoseries son una alternativa que poco se ha usado en México, por lo que en el Instituto se han realizado análisis comparativos de la distribución espacial de las cargas de combustibles mediante: a) la evaluación directa de combustibles; y b) con base en el uso de fotoseries (Flores y

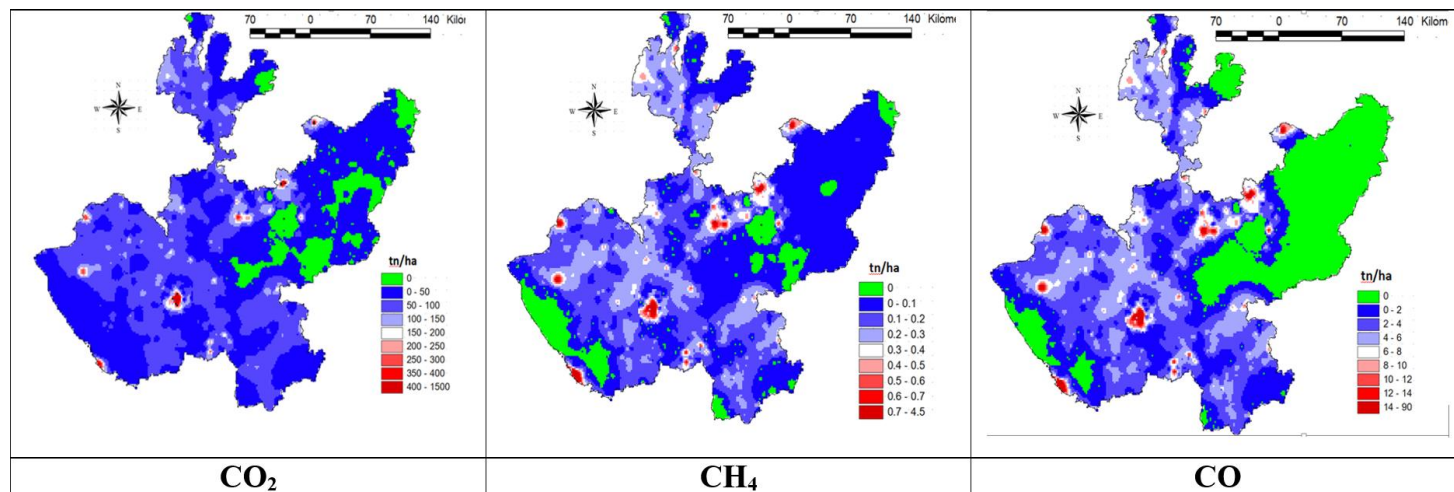
Moreno, 2005). En general, la distribución espacial definida de manera directa fue mejor que con el uso de fotoseries. Asimismo, se ha trabajado en la estandarización de los procesos para el estudio de los combustibles forestales, de tal forma que los resultados puedan ser comparables y compatibles. Para esto, se han desarrollado herramientas para estimar la cantidad de combustible, como el Sistema de Evaluación de Combustibles Forestales (Chávez *et al.*, 2017).

Cambio climático

A partir de la ocurrencia en México de los incendios de 1998, el interés sobre la influencia de fuego en la contaminación ambiental aumentó considerablemente. Aunque en el país se han desarrollado trabajos muy importantes al respecto (Cruz-López *et al.*, 2019), aún es necesario modelar la influencia de la variación espacial de los tipos y cargas de combustibles. Para ello, se hace un análisis de los procesos de evaluación de las cargas de mantillo (M) y material leñoso caído (MLC), en el cual se especifican los correspondientes contenidos de carbono (C) citados en México (Flores-Garnica *et al.*, 2018). Además, se han propuesto protocolos estándar para que la información generada sea comparable y compatible.

Por otra parte, se han desarrollado estrategias para estimar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono [CO₂], metano [CH₄] y monóxido de carbono [CO]) que se liberan, en caso de que se presente un incendio forestal. Estas se efectúan a partir de la medición directa de las cargas de combustibles, con base en las cuales se determinan las variaciones espaciales de las emisiones de gases de efecto invernadero en relación a las camas de combustibles (Figura 5) (Flores y Gottfried, 2018).





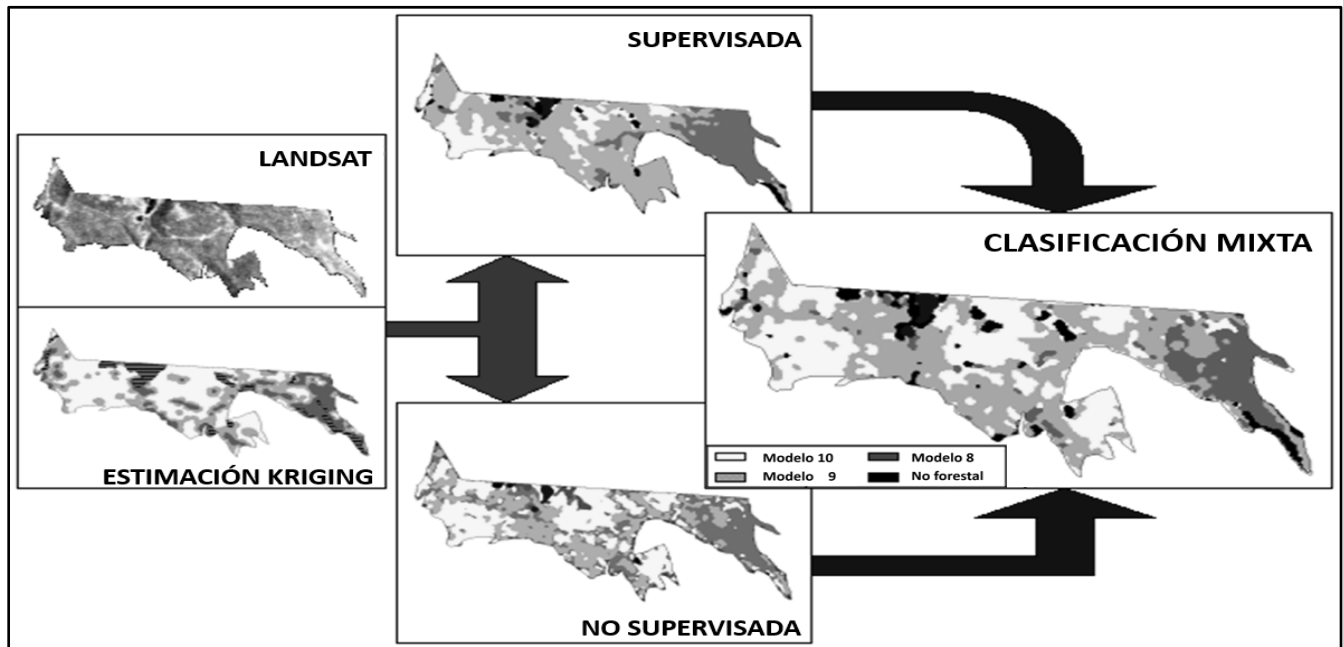
Fuente: Flores y Gottfried (2018).

Figura 5. Variación espacial de las de emisiones potenciales de CO₂, CH₄ y CO debido a la quema de camas de combustibles en ecosistemas forestales del estado de Jalisco.

Comportamiento del fuego

El uso de quemas prescritas en México es restringido, principalmente, porque se conoce poco sobre el comportamiento del fuego bajo las condiciones de sus bosques. Por lo que, este ha sido un tema de estudio en el INIFAP, mediante el desarrollo modelos de simulación del comportamiento del fuego que usan datos obtenidos en inventarios forestales, como la referente a la distribución de combustibles. Esta información apoya las clasificaciones supervisadas y no supervisadas de imágenes de satélite (Figura 6), lo cual resulta en niveles de precisión (74.9 %) adecuados para soportar simulaciones del comportamiento del fuego en quemas prescritas; y así, determinar, inicialmente, el tamaño, la forma y la ubicación geográfica de la dispersión de un incendio (Flores y Omi, 2003).



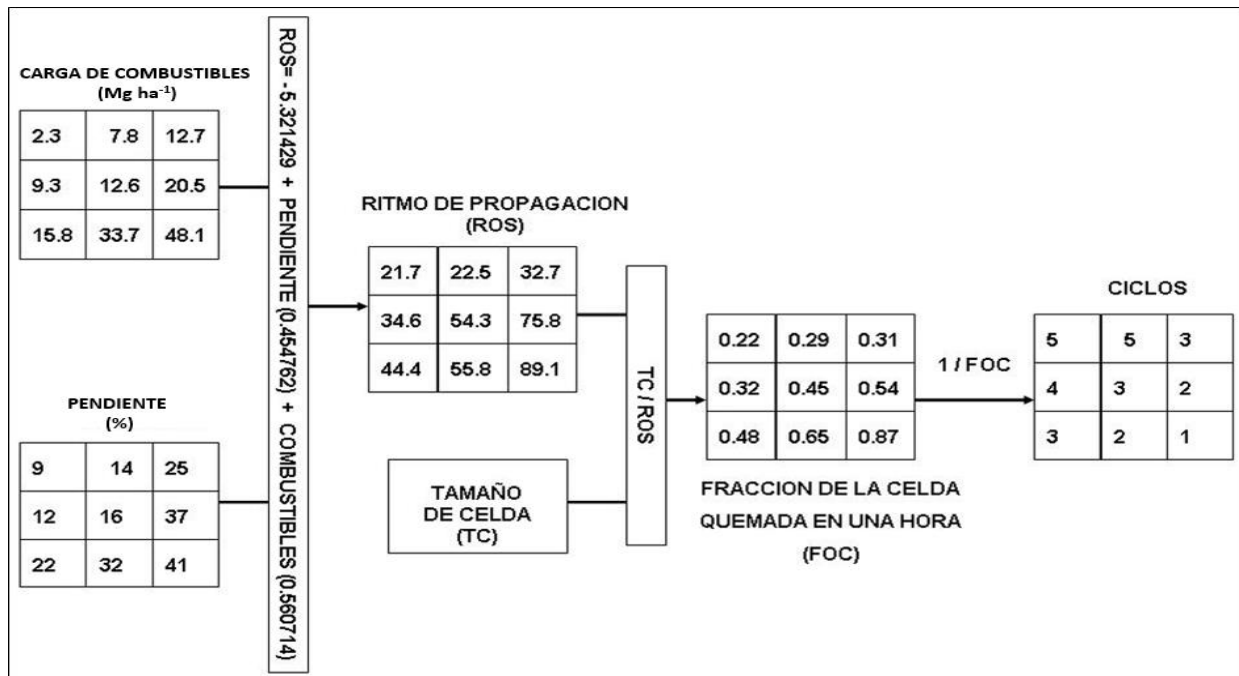


Fuente: adaptado de Flores y Omi (2003).

Figura 6. Proceso general para definir las clasificaciones supervisadas, no supervisadas y mixtas respaldado por las estimaciones de *Kriging*.

Ese tipo de investigaciones han generado mapas temáticos (formato ráster) que apoyan modelos de simulación de cambios espaciales de la dispersión del fuego (Flores *et al.*, 2005). Estos modelos describen las modificaciones en el patrón espacial de la propagación del fuego desde un tiempo inicial (t), hasta un periodo dado ($t + t_n$); las cuales están en función del tiempo especificado y el ritmo de dispersión simulado determinísticamente (Figura 7). La perspectiva ráster facilita el proceso de programación, ya que ayuda a entender el porqué de la propagación del fuego en cierta dirección.



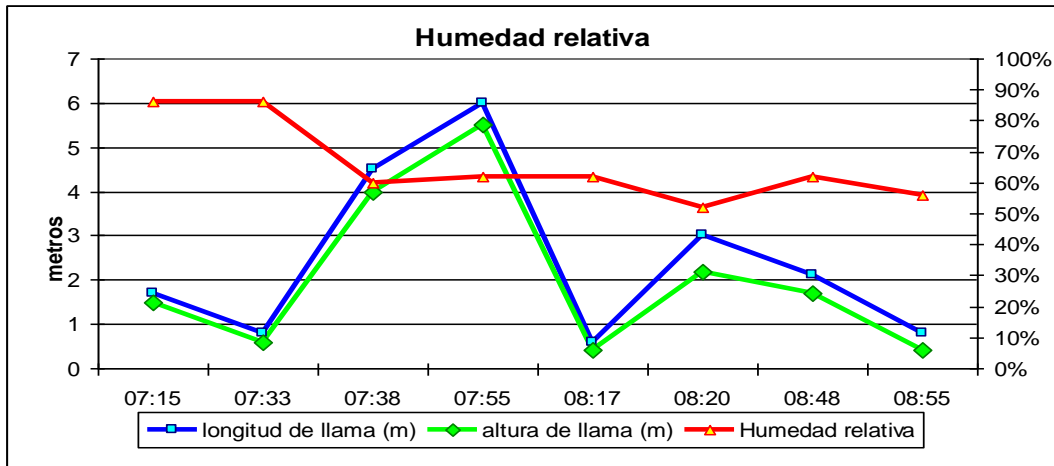


Fuente: Flores *et al.* (2005).

Figura 7. Algoritmo en el que se define el número de ciclos (horas requeridas) para quemar completamente una celda.

Como estrategia de validación, en el INIFAP se han llevado a cabo evaluaciones del comportamiento del fuego directamente en el campo bajo diferentes condiciones ambientales: pinar, pino-encino, encinar, arbustos y pastizales (Flores *et al.*, 2006); en las que se obtuvieron registros de: a) condiciones ambientales, como la velocidad del viento ($m\ min^{-1}$), cargas de combustibles ($Mg\ ha^{-1}$), humedad relativa (%) y temperatura (C°); y b) comportamiento del fuego: velocidad de propagación del fuego ($m\ min^{-1}$), altura de llama (m), longitud de llama (m) y calor por unidad de área ($Btu\ (m^2)^{-1}$). De esta forma, se puede estimar, con cierta precisión, si el fuego en un incendio forestal o en una quema prescrita tiene un comportamiento moderado, y si es factible usarlo en forma controlada para el lograr objetivos específicos. En ese contexto, en el Instituto se llevaron a cabo trabajos para monitorear la influencia de factores ambientales en el comportamiento del fuego (Figura 8),

bajo la implementación de quemas prescritas, principalmente, en ecosistemas templados (pino-encino) (Flores *et al.*, 2010).



Fuente: Flores *et al.* (2010).

Figura 8. Variaciones en el comportamiento del fuego en relación a cambios de la humedad relativa.

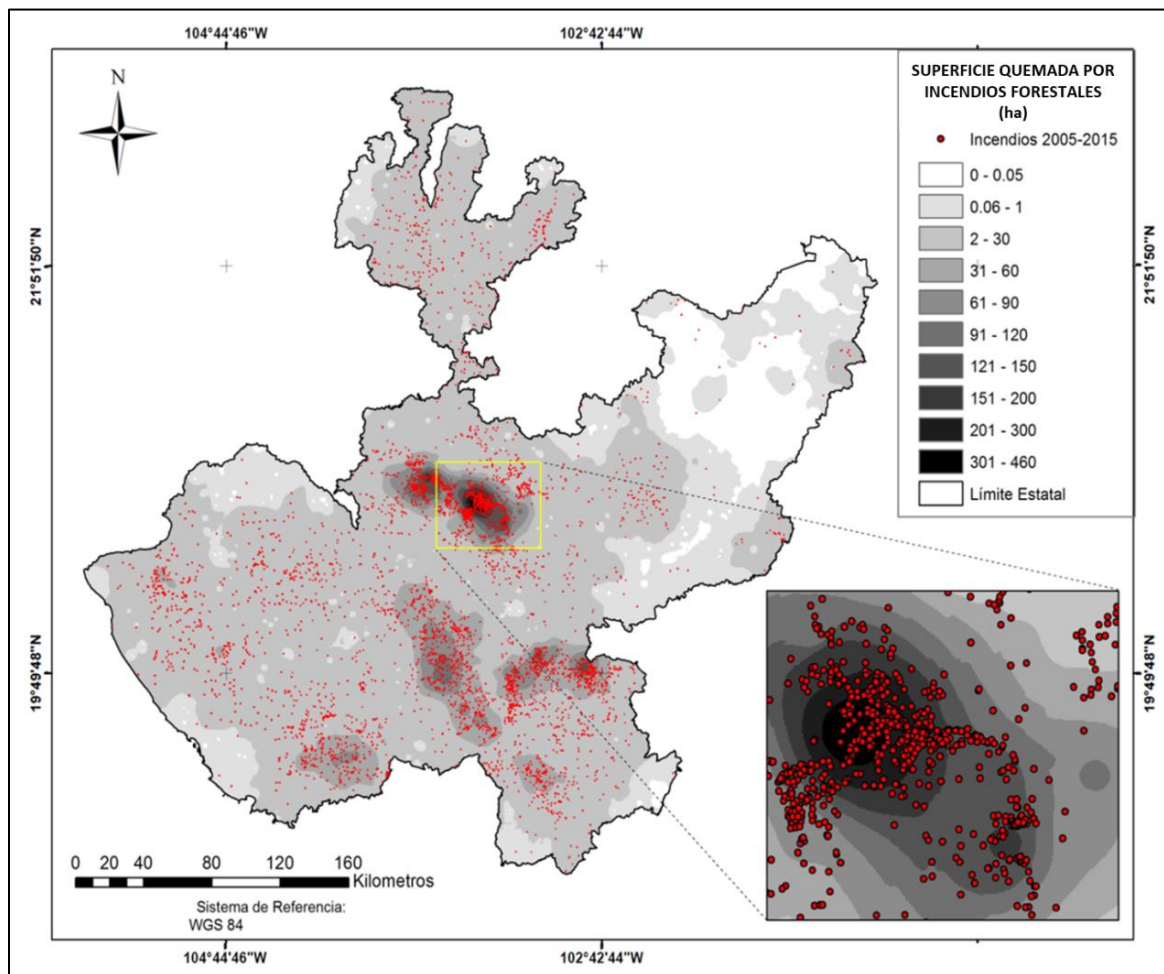
Zonificación de áreas prioritarias

Una de las demandas de mayor trascendencia por parte de las áreas operativas que trabajan en incendios forestales son las herramientas tecnológicas que les permitan ubicar y dimensionar áreas prioritarias de atención. Lo anterior, debido a las limitaciones comunes en cuanto a la disponibilidad de recursos financieros, humanos, de equipo, infraestructura y tiempo; en respuesta a ese requerimiento, en el INIFAP se han realizado trabajos de investigación relacionados a la clasificación y la ubicación de áreas de acuerdo a su riesgo de incendio (Martínez *et al.*, 1990) y factores espacialmente asociados que lo favorecen (Ávila-Flores *et al.*, 2010b). Para ello, se implementó en México uno de los primeros índices de peligro de incendio en Internet, el que se diseñó con base en un sistema de información geográfica dinámico (Sepúlveda *et al.*, 1999).

Eventualmente, investigadores del Instituto han colaborado en el desarrollo de sistemas similares (Muñoz *et al.*, 2005; Velasco *et al.*, 2013) que apoyan la ubicación y dimensionamiento de áreas prioritarias clasificadas en diferentes niveles de riesgo; por ejemplo: nulo, bajo, moderado y alto.

Asimismo, se ha desarrollado cartografía específica sobre áreas prioritarias de protección contra incendios forestales, que se definen en función de criterios como riesgo y severidad. De esta forma, la superficie quemada se usa como un criterio de para la determinación de áreas prioritarias (Figura 9). Sin embargo, se considera que dichos procesos deben estandarizarse; por lo que, entre otros aspectos, ha sido necesario establecer una unidad de muestreo común para obtener información comparable y compatible. Al respecto, en el INIFAP existen estudios cuyo objetivo es determinar un tamaño de unidad de muestreo que permita capturar la variabilidad espacial de la superficie quemada por incendios forestales (Flores, 2017b).





Fuente: Flores (2017b).

Figura 9. Distribución espacial de la superficie promedio (ha) quemada por incendios forestales, con un área de 100 km² en Jalisco.

También, se han implementado investigaciones enfocadas en priorizar áreas en relación al mayor número de incendios por unidad de superficie (densidad), lo cual ha permitido generar la cartografía correspondiente, mediante el uso de estrategias alternativas como la estimación de densidad *Kernel*, que requiere de la selección de una función y de un ancho de banda (h) apropiados (Flores-Garnica y Macías-Muro, 2018). Por otra parte, se han realizado análisis exploratorios del patrón de distribución espacial de los incendios forestales, bajo la hipótesis

de que los incendios presentan un patrón espacial no aleatorio, sus resultados evidencian una alta autocorrelación espacial (Ávila-Flores *et al.*, 2010a).

Dendropirocronología

A partir de técnicas de dendrocronología, específicamente las enfocadas a detectar incendios forestales (dendropirocronología) con base en cicatrices de incendios, en el INIFAP se han definido regímenes de incendios en varios ecosistemas forestales de México (Ávila-Flores *et al.*, 2014); los que confirman la asociación entre la presencia de sequías y la ocurrencia de incendios con eventos ENSO (Cerano *et al.*, 2010; Cerano-Paredes *et al.*, 2015; Cerano-Paredes *et al.*, 2016). En este contexto, es importante destacar el establecimiento en México del primer laboratorio de dendrocronología: Laboratorio Nacional de Dendrocronología del INIFAP; donde se ha capacitado a un importante grupo de personas interesadas en el tema (Villanueva *et al.*, 2011) y se ha generado un cúmulo de importantes conocimientos sobre el tema, entre los que destacan : a) diversas cronologías de anillos de árboles, distribuidas en una red de series de tiempo dendrocronológicas para cuantificar la influencia de patrones circulatorios que afectan al centro y norte de México; b) reconstrucciones históricas de precipitación y de flujos de agua; c) ubicación de árboles milenarios para fines de conservación (Constante *et al.*, 2009; Villanueva *et al.*, 2015). Esta información es fundamental para una mejor planeación del recurso agua, la conservación y aprovechamiento sustentable de los ecosistemas forestales (Villanueva *et al.*, 2015).



Enfoque social

Dado que casi el total de los incendios forestales en México son provocados y tienen su origen, principalmente, en actividades antropogénicas (Flores y Flores, 2018), esto implica que en promedio solo alrededor de 2 % de los incendios son causados por factores naturales. Sobre el particular, en el INIFAP se considera analizar la perspectiva social del problema de incendios forestales, lo cual se hace a través de encuestas dirigidas a diversas instituciones federales, estatales, municipales y no gubernamentales (Flores y Flores, 2018); las cuales consistieron en una serie de preguntas con respuestas de opción múltiple, enfocadas a diversos aspectos del uso del fuego en actividades agropecuarias y forestales (Figura 10). Resalta que pocas veces se avisa cuando una quema se salió de control.

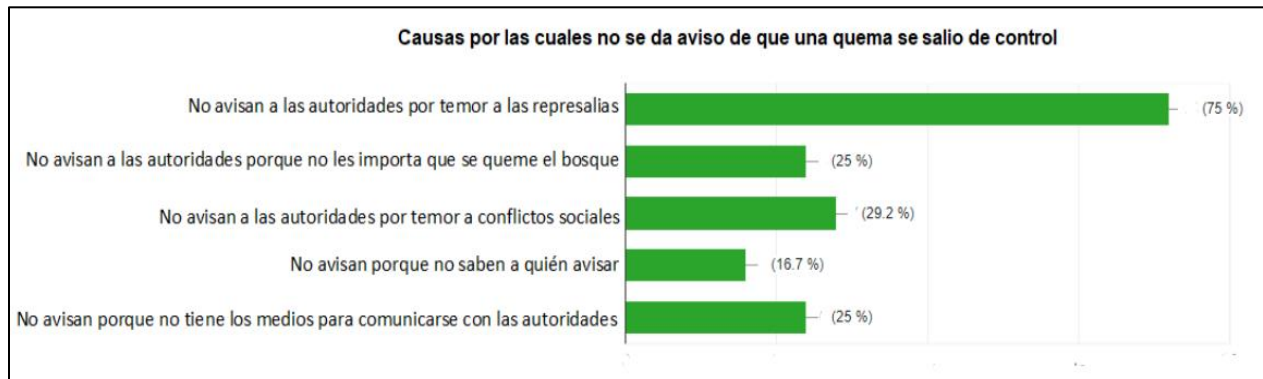


Figura 10. Proporción de los motivos por los que los usuarios del fuego en actividades agropecuarias no dan aviso cuando se sale de control.

Perspectivas de investigación

A partir de lo presentado en las secciones previas, se considera que la planeación de la investigación sobre incendios forestales en el INIFAP deberá propiciar la participación de grupos interdisciplinarios; lo anterior, para tener mayor capacidad para afrontar la complejidad del estudio de estos eventos. Para ello, hay que tomar en cuenta que el

fuego afecta diversos elementos de los ecosistemas forestales (agua, vegetación, fauna, aire, suelo, etcétera); razón por la cual, se requiere de la conjunción de esfuerzos de especialistas de diversas disciplinas, de esta manera se evitarán errores comunes como ejecutar trabajos con un alto enfoque sobre el comportamiento del fuego y poco análisis ecológico, o bien la realización de estudios con un alto análisis ecológico, pero sin ninguna idea del comportamiento del fuego.

De acuerdo con lo anterior, aunque existen muchas aportaciones sobre el tema, aún se requiere seguir un proceso de priorización de las necesidades de investigación basado en un plan de trabajo a nivel nacional. Asimismo, a través de la inclusión de nuevos investigadores, se busca atender las áreas que carecen de estudios; por ejemplo: la hidrología, la restauración, el efecto de retardantes, entre otras.

Desde esta perspectiva, se pretende orientar las prioridades en cuanto a la capacitación de los investigadores del INIFAP en tres tipos de propuestas de investigación: 1) prevención; 2) combate; y 3) restauración. Y dirigir la investigación a los siguientes aspectos: quemas prescritas, comportamiento de fuego, evaluación de combustibles, calentamiento global, climatología, ecología del fuego, retardantes, equipo y herramientas, riesgo, severidad, combustibilidad, fauna, suelo, vegetación, dendropirocronología, salud humana, insectos, y contaminación, entre otros.

Organización de la investigación

La atención a la problemática de los incendios forestales implica el estudio de diversos temas; por ello, y para que el uso de recursos en el INIFAP sea eficiente, hay que evitar la duplicidad de proyectos y la falta de una coordinación en cuanto a la edición de las publicaciones sobre el tema. Además, se tiene que considerar una buena orientación de la formación de recursos humanos, ya que existen muchas áreas por reforzar y varias en las cuales no se tiene ningún investigador. También se debe fomentar la coordinación interinstitucional para apoyar la formación de un Centro Nacional de Investigaciones sobre Incendios Forestales (Figura 11), el cual tendría, entre otras, las siguientes

funciones: 1) propiciar y coordinar la participación de las diferentes instituciones; 2) creación y administración del Directorio Nacional de Investigadores en Incendios Forestales; 3) colección, administración y difusión de la documentación sobre incendios forestales; 4) apoyo en la formación de recursos humanos; 5) conseguir y administrar apoyos financieros; 6) orientar y sugerir temas de investigación; 7) difundir resultados a través de un Centro Nacional de Documentación sobre Incendios Forestales (Cedif); 8) organización de congresos; 9) apoyar el intercambio de expertos de otros países; 10) agrupar y administrar bases de datos; 11) vincular las actividades de investigación con las actividades de operativas; 12) editar y administrar una revista técnico-operativa (Fuego).

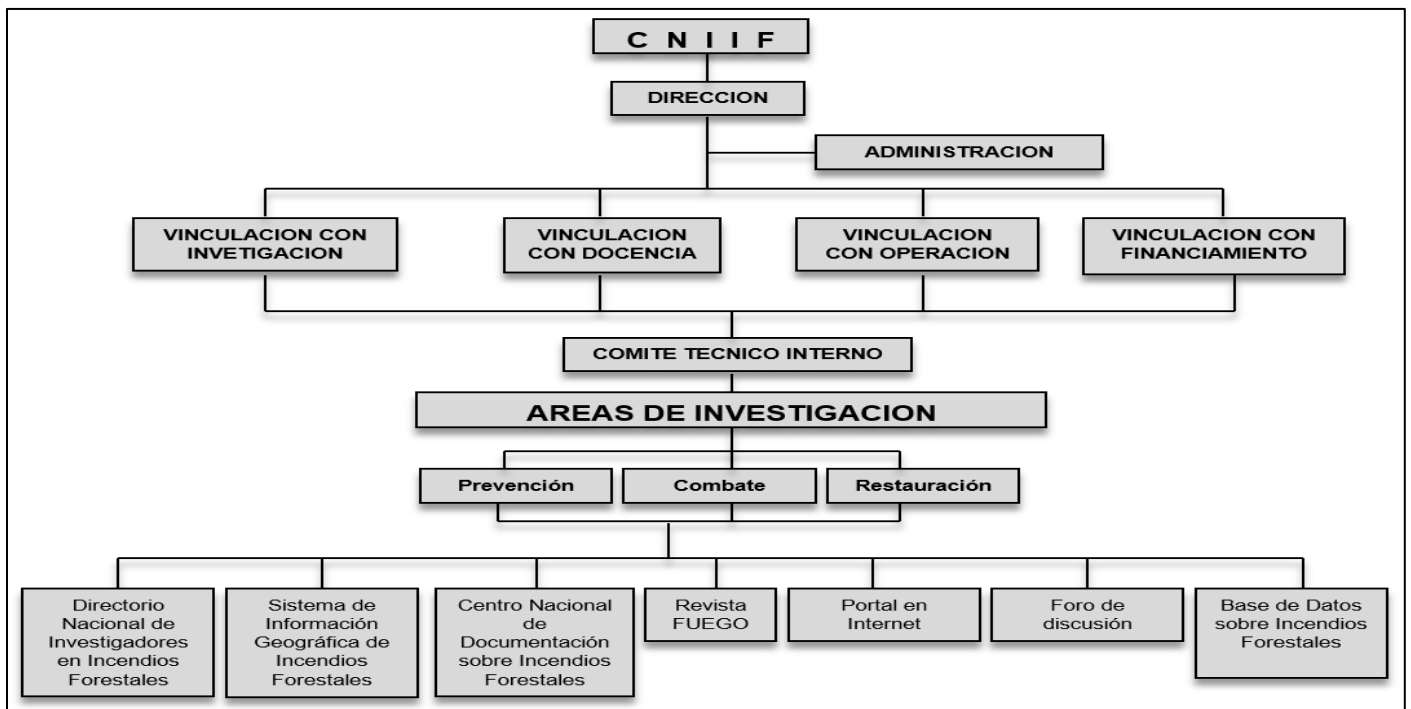


Figura 11. Estructura de organización del propuesto Centro Nacional de Investigaciones sobre Incendios Forestales (CNIIF).

Formación de recursos humanos

En el INIFAP se apoya la formación de recursos humanos, tanto internamente como en otras instituciones, lo cual se lleva a cabo con base en las siguientes estrategias: 1) impartición de cursos y talleres específicos sobre diversos temas, dirigidos a combatientes, funcionarios, investigadores, estudiantes; los cuales se organizan en colaboración con la Comisión Nacional Forestal (Conafor), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (Conanp), técnicos forestales y universidades; 2) ejecución de talleres prácticos, tanto de campo como teóricos; 3) apoyo a tesis de diferentes niveles; y 4) integración de grupos de trabajos en varios proyectos de investigación. Asimismo, se ha generado una amplia documentación que puede usarse como apoyo en la formación de recursos humanos.

La impartición de capacitación requiere del crecimiento y fomento de la infraestructura y equipos como son laboratorios, campos experimentales, oficinas, biblioteca, vehículos, herramientas, equipos de medición, entre otros.

Transferencia de tecnología

Uno de los propósitos de la investigación en el INIFAP, en general, es la generación de tecnologías que apoyen a las actividades operativas, en relación a la producción y conservación de los recursos forestales. En este contexto, se continuará captando las necesidades del sector operativo, mismas que podrían resolverse a través de la investigación, de tal manera que la temática definida deberá tener un vínculo directo con los usuarios. Lo anterior garantizaría el apoyo al proceso de transferencia de tecnología y, a su vez, apoyaría a la investigación básica que la soporta.

Esto implica que se debe asegurar que el proceso de transferencia de tecnología se cumpla en todas sus etapas; es decir, desde la generación de una nueva tecnología de manejo de incendios forestales, hasta su adopción por parte de los tomadores de decisiones en el manejo del fuego. Además, durante la transferencia de tecnología, será

posible determinar las prioridades de investigación en incendios forestales que se debiesen abordar en el INIFAP, las cuales tendrán que atender las políticas nacionales e internacionales, así como los requerimientos estatales y municipales sobre el particular.

Conclusiones

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, junto con otras pocas instituciones ha realizado aportes relevantes para el desarrollo de la investigación sobre incendios forestales en México. Sin embargo, aún hay mucho que hacer sobre el tema. Primeramente, debería existir un marco de referencia de la problemática de los incendios forestales que incluya un diagnóstico sobre lo que se conoce en México, con base en el cual se definan no solo temas prioritarios, sino también aquellas regiones que requieren de una respuesta inmediata. Además, se tienen que establecer metas a corto plazo, mediano y largo plazo; para ello, se deben identificar las capacidades existentes en la actualidad, así como las potencialidades que pueden generarse.

Sobre esto último, se sugiere continuar con el plan de capacitación en varios niveles que a la fecha se lleva a cabo, en cuyo marco se preparen investigadores en áreas prioritarias y en temas en los que no hay especialistas. Lo anterior, se relaciona con la continuidad en la formación de recursos humanos a través de tesis o colaboradores, y con la ejecución de cursos y talleres. También, es necesario reforzar el proceso de transferencia de tecnología, sin descuidar el balance entre el desarrollo de ciencia básica y ciencia aplicada; de tal forma que se orienten los esfuerzos a la generación de conocimientos y de tecnologías susceptibles de aplicarse operativamente.

Por otra parte, se tendrá que apoyar y fomentar la colaboración interinstitucional, enfocada al desarrollo de investigaciones que involucren no solo aspectos ecológicos, sino sociales y económicos que consideren las particularidades de los diversos ecosistemas forestales de México.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener conflicto de intereses.

Referencias

Ávila-Flores, D. Y., M. Pompa-García y E. Vargas-Pérez. 2010a. Análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16(2): 253-260. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.08.028>.

Ávila-Flores, D., M. Pompa-García, X. Antonio-Nemiga, D. A. Rodríguez-Trejo, E. Vargas-Pérez y J. Santillán-Pérez. 2010b. Driving factors for forest fire occurrence in Durango state of Mexico: A geospatial perspective. *Chinese Geographical Science* 20(6): 491-497. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11769-010-0437-x>.

Ávila F., D.Y., M. A.González T., J. Jiménez P., O. A. Aguirre C., E. J. Treviño G. y B. Vargas L. 2014. Dendrocronopirología: Análisis de la evidencia morfológica de incendios forestales. Nota de Investigación. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(21): 136-147. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i21.363>.

Ávila-Flores, D.Y., González T., M.A., Jiménez P., J., Aguirre C., O.A., Treviño G., E., Vargas L., B., Alanís R., B. 2014. Efecto de la severidad del fuego en las características de la estructura forestal en rodales de coníferas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20(1):33-45. Doi:<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2013.01.005>.

Cadena Z., D. A., J. G. Flores-Garnica, A. G. Flores-Rodríguez y M. E. Lomelí-Zavala. 2020. Efecto de incendios en la vegetación de sotobosque y propiedades químicas de suelo de bosques templados. *Agroproductividad* 13(4): 65-72. Doi:<https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1684>.

Cerano P., J., J. Villanueva D. y P. Z. Fulé. 2010. Reconstrucción de incendios y su relación con el clima para la Reserva Cerro El Mohinora, Chihuahua. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 1(1): 63-74. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v1i1.654>.

Cerano-Paredes, C., J. Villanueva-Díaz, R. Cervantes-Martínez, P. Fulé, L. Yocom, G. Esquivel-Arriaga y E. Jardel-Peláez. 2015. Historia de incendios en un bosque de pino de la sierra de Manantlán, Jalisco, México. *BOSQUE* 36(1): 41-52. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000100005>.

Cerano-Paredes, J., J. Villanueva-Díaz, L. Vázquez-Selem, R. Cervantes-Martínez, G. Esquivel-Arriaga, V. Guerra-de la Cruz Z y P. Z. Fulé. 2016. Régimen histórico de incendios y su relación con el clima en un bosque de *Pinus hartwegii* al norte del estado de Puebla, México. *BOSQUE* 37(2): 389-399. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000200017>.

Chávez D., A. A., J. Xelhuantzi C., E. A. Rubio C., J. Villanueva D., H. E. Flores L. y C. de la Mora O. 2016. Caracterización de cargas de combustibles forestales para el manejo de reservorios de carbono y la contribución al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13(2016): 2589-2600. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.485>.

Chávez D., A.A., J. Xelhuantzi C., E. A. Rubio C., J. Villanueva D. y J. G. Flores G. 2017. Actualización del sistema para el cálculo de combustibles forestales (SICCO v3.0). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(44): 158-178. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i44.109>.

Constante G., C., J. Villanueva D., J., Cerano P., E. H. Cornejo O. y S. Valencia M. 2009. Dendrocronología de *Pinus cembroides* Zucc. y reconstrucción de precipitación estacional para el Sureste de Coahuila. *Revista Ciencia Forestal en México* 34(106): 17-39. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-35862009000200002 (15 de agosto de 2020).

Cruz-López, M. I., L. L. Manzano-Delgado, R. Aguirre-Gómez, E. Chuvieco y J. A. Equihua-Benítez. 2019. Spatial distribution of forest fire emissions: A case study in three mexican ecoregions. *Remote Sensing* 11(10): 1185. Doi: <https://doi.org/10.3390/rs11101185>.

Flores G., J. G. and J. D. Benavides S. 1996. Soil chemical changes due to fire when prescribed burns are applied in a temperate forest of Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 12 (2): 75-81. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012204> (1 de agosto de 2020).

Flores G., J. G. and P. N. Omi. 2003. Mapping forest fuels for spatial fire behavior simulations using geomatic strategies. *Agrociencia* 37: 65-72. <https://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2003/ene-feb/art-7.pdf> (9 de julio de 2020).

Flores G., J. G., D. A. Moreno G. y J. D. Benavides S. 2005. Simulación espacial de dispersión del fuego en función de la carga de combustible y pendiente. *Revista Ciencia Forestal en México* 30(97): 7-27. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/865> (3 de junio de 2020).

Flores G., J. G. y D. A. Moreno G. 2005. Modelaje espacial de la influencia de combustibles forestales sobre la regeneración natural de un bosque perturbado. *Agrociencia* 39(3): 339-349. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239311> (12 de junio de 2020).

Flores G., J. G., A. Rosas V. y D. A. Moreno G., D. A. 2005. Limitaciones espaciales de los modelos de combustibles forestales al comparar dos diseños de muestreo. *Ciencia Forestal en México* 28(93): 57-77. <http://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/Forestales/article/view/890> (24 de junio de 2020).

Flores G., J. G., D. A. Moreno G. and J. D. Benavides S. 2006. Forest fire behaviour in prescribed burns under different environmental conditions in Mexico. *Forest Ecology and Management*. 234S (2006) S131. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.08.172>.

- Flores G., J. G., J. Xelhuantzi C. y A. A. Chávez D. 2010. Monitoreo del comportamiento del fuego en una quema controlada en un rodal de pino-encino. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16(1): 49-59. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2009.05.017>.
- Flores G., J. G. y L. P. Gómez M. 2011. Estimación práctica de la variabilidad de la humedad de combustibles bajo diferentes ecosistemas forestales. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 2(5): 45-58. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v2i5.583>.
- Flores G., J. G. 2012. Analysis of pseudoreplicants to evaluate natural regeneration after applying prescribed burns in a temperate forest of Mexico. Open Journal of Forestry 2(1): 9-16. Doi: <https://doi.org/10.4236/ojf.2012.21002>.
- Flores G., J. G. 2017. Spatial distribution of fuel models based on the Conditional-Fuel-Loading concept. Journal of Environmental Protection 9(2): 111-121. Doi: [10.4236/jep.2018.92009](https://doi.org/10.4236/jep.2018.92009).
- Flores G., J.G. 2017. Unidad de muestreo para determinar la variabilidad espacial de la superficie quemada por incendios forestales. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 8(43): 117-142. Doi:<https://doi.org/10.29298/rmcf.v8i43.68>.
- Flores-Garnica, J. G., J. C. Wong-González y F. Paz-Pellat. 2018. Camas de combustibles forestales y carbono en México. Madera y Bosques 24: 1-15. Doi:<https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401893>.
- Flores G., J. G. 2018. Structure and density analysis of a semi desert ecosystem disturbed by fire. Open Journal of Forestry 8(2): 155-166. Doi: <https://doi.org/10.4236/ojf.2018.82011>.
- Flores G., J. G. and A. G. Flores R. 2018. Perspectiva antropogénica del uso del fuego como apoyo a la mitigación de incendios forestales. Mitigación del Daño Ambiental Agroalimentario y Forestal de México 4(5): 54-65. <http://revistamitigacion.com/> (25 de agosto de 2020).

Flores G., J. G. y E. Gottfried B. 2018. Emisiones potenciales de gases efecto invernadero en camas de combustibles forestales. *Mitigación del Daño Ambiental Agroalimentario y Forestal de México* 4(5): 1-15. <http://revistamitigacion.com/> (25 de agosto de 2020).

Flores-Garnica, J. G. and A. Macías-Muro. 2018. Bandwidth selection for kernel density estimation of forest fires. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 24(3): 313-327. Doi: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2017.12.074>.

Martínez M., A., J. G. Flores G. y J. D. Benavides S. 1990. Índices de riesgo de incendios en la sierra de Tapalpa, Estado de Jalisco. *Revista Ciencia Forestal en México* 15 (67): 3-34.

Muñoz R., C. A., E. J. Treviño G., J. Verástegui C, J. Jiménez P. y O. A. Aguirre C. 2005. Desarrollo de un modelo espacial para la evaluación del peligro de incendios forestales en la Sierra Madre Oriental de México. *Investigaciones Geográficas* 56: 101-117. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?> (15 de junio de 2020).

Rentería A., J. B., E. J. Treviño G., J. J. Nívar C., O. A. Aguirre C. e I. Cantú S. 2005. Caracterización de combustibles leñosos en el ejido Pueblo Nuevo, Durango. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 11(1): 51-56. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62911108> (22 de julio de 2020).

Rubio C., E. A., M. A. González T., J. D. Benavides S., A. A. Chávez D. y J. Xelhuantzi C. 2016. Relación entre necromasa, composición de especies leñosas y posibles implicaciones del cambio climático en bosques templados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 13: 2601-2614. Doi:<https://doi.org/10.29312/remexca.v0i13.486>.

Sepúlveda, B. J., C. W. Zúñiga, E. M. Olgún y P. A. Gomero. 1999. Implementación de un sistema de información geográfica para la prevención de incendios forestales en Baja California. INIFAP, SAGAR. La Paz, BCS, México. Folleto Científico No. 1. 21 p.

Velasco H., J. A., J. G. Flores G., B. Márquez A. y S. López. 2013. Áreas de respuesta homogénea para el muestreo de combustibles forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 4 (15): 41-53. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i15.447>.

Villanueva D., J. y G. R. McPherson. 2004. Impacto del cambio de uso del suelo e incendios en la estructura de tres comunidades forestales. *Revista Ciencia Forestal en México* 27(91): 27-53. <https://cienciasforestales.inifap.gob.mx/editorial/index.php/forestales/article/view/907> (7 de septiembre de 2020).

Villanueva, J., J. Cerano P., D. W. Stahle, B. H. Luckman, M. D. Therrell, M. K. Cleaveland y P. Z. Fulé. 2011. La dendrocronología y reconstrucciones paleoclimáticas del norte-centro de México. Escenarios de cambio climático, registros del Cuaternario en América Latina. 1era. Edición. Dirección General de Fomento Editorial UNAM. México, D.F., México. pp. 47-72.

Villanueva D., J., J. Cerano P., L. Vázquez S., D. W. Stahle, P. Z. Fulé, L. L. Yocom, O. Franco R. y J. A. Ruiz C. 2015. Red dendrocronológica del pino de altura (*Pinus hartwegii* Lindl.) para estudios dendroclimáticos en el noreste y centro de México. *Investigaciones Geográficas* 86: 5-14. <https://doi.org/10.14350/rig.42003>.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.