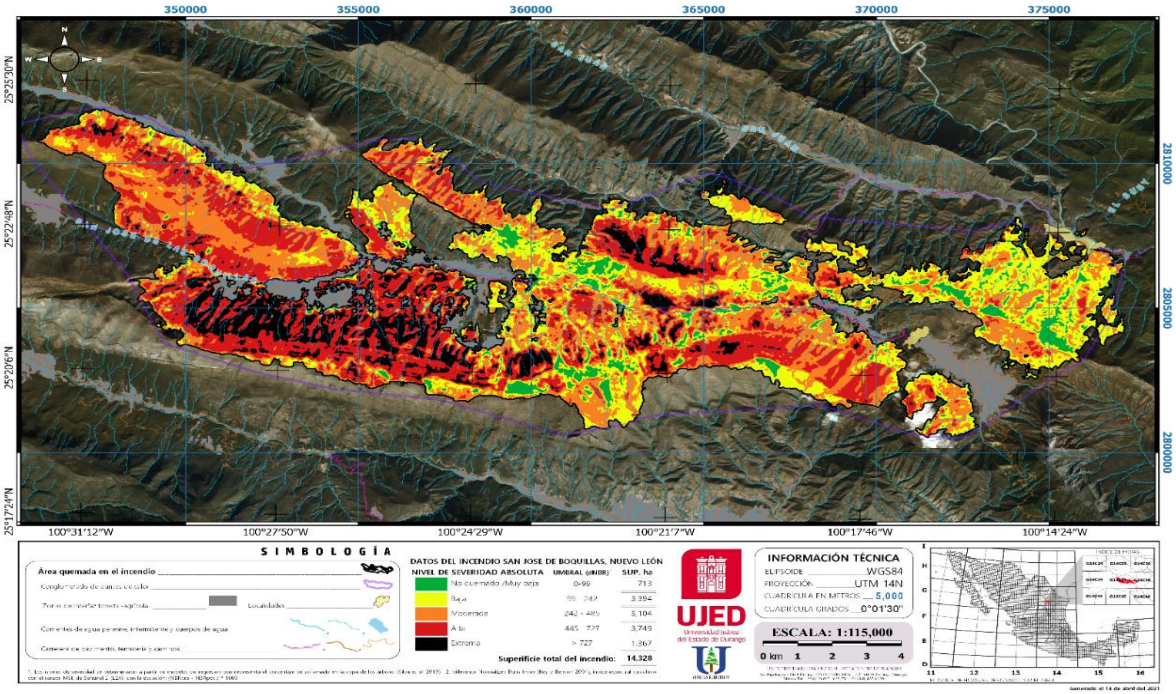
Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONAFOR-CONACYT

INFORME TÉCNICO DE LA SEGUNDA ETAPA DEL PROYECTO "REFORZAMIENTO AL SISTEMA NACIONAL DE PREDICCIÓN DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES DE MÉXICO PARA EL PRONÓSTICO DE CONGLOMERADOS Y ÁREA QUEMADA", CON CLAVE B-S-131553

Título del proyecto: "Reforzamiento al Sistema Nacional de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México para el pronóstico de conglomerados y área quemada"

Clave de registro: B-S-131553

Convocatoria: CONAFOR-2018-C02



Número de etapas: 3

FECHA: 10/10/2020 ETAPA: PRIMERA

1. AVANCES DEL PROYECTO EN LA ETAPA.

Deberá describir las actividades programadas para el periodo de la etapa de acuerdo al cronograma de actividades (Describir en **forma detallada las actividades** realizadas en la etapa y especificar el **porcentaje de avance de cada una de ellas**, en relación con el porcentaje programado para la etapa. Usar diagrama de avance (Gantt)).

Se resumen las actividades y productos programados para su entrega en la primera etapa del proyecto según el cronograma y diagrama Gantt en la tabla 1 a continuación:

Tabla 1. Resumen de actividades, productos y fechas de entrega para los productos en la primera etapa del proyecto.

Actividad	**Producto**	**Fecha de entrega del producto**	**Porcentaje de Avance**
1-Desarrollar un índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado.	Índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado	10/10/2021	100%
2-Ampliar y validar en campo la herramienta de mapeo de área quemada.	Herramienta de mapeo de área quemada ampliada con la inclusión de satélite Sentinel y validada en campo.	10/10/2021	72 %, desglosado en: 2.1. Herramienta de mapeo de área quemada con Sentinel: 100% 2.2 Validación en campo: 43% (266 parcelas medidas de 600). Se entregará al 100% en tercera etapa.
3-Realizar 2 talleres de la herramienta de mapeado de área quemada.	2 talleres sobre la herramienta de mapeo de área quemada ampliada con la inclusión de satélite Sentinel y validada en campo.	10/10/2021	100%

A continuación, se describen en forma detallada las actividades realizadas en la etapa:

1.-Desarrollar un índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado.

El índice se encuentra operativo, calculándose cada día a las 8.30 am, así como disponible para consulta de los históricos desde 2012, en la sección **Situación Actual-> Índices de Peligro-> Número de conglomerados esperados por estado** del sistema de predicción de peligro de incendios forestales (http://forestales.ujed.mx/incendios2/).

Además, se ha incluido un conteo automatizado por estados para los conglomerados, tanto activos actuales, como históricos, en la sección: **Situación Actual-> Conglomerados-> Conteo por estado.** (http://forestales.ujed.mx/incendios2/).

Se ha desarrollado un informe técnico del desarrollo del pronóstico de conglomerados por estado **(anexo 1)**, así como un informe documentando el código del mismo (**anexo 1.1**).

2.-Ampliar y validar en campo la herramienta de mapeo de área quemada con la inclusión de satélite Sentinel.

La actividad se desglosa en dos tareas:

2.1. Desarrollo de herramientas para el mapeado de área quemada y severidad de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel.

Se han desarrollado dos herramientas complementarias, un código de descarga de índices de severidad de imágenes Sentinel mediante Google Earth Engine,(GEE) y un plug-in para QGIS para el mapeado del perímetro de área quemada a partir de las imágenes descargadas mediante el código de GEE. Las herramientas están disponibles para descarga en la sección Situación Actual**->Área quemada** del sistema de predicción de peligro de incendios forestales (SPPIF). http://forestales.ujed.mx/incendios2/

Las herramientas se encuentran documentadas en el **Anexo 2** (Informe del desarrollo de herramientas para el mapo de área quemada y severidad de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel y su validación en campo), así como en los **anexos 2.1.1** y **2.1.2**. que incluyen la documentación del código de Google Earth Engine y del Plug-In de Qgis para el mapeo de área quemada, respectivamente.

Se ha desarrollado un **Manual de usuario** de las herramientas de mapeo de área quemada (anexo 2.1.3), disponible para descarga en la sección **Área quemada** del sistema de predicción de peligro de incendios forestales (SPPIF).

Se pueden asimismo consultar video-tutoriales del uso de las herramientas en la sección **Videos-> Herramientas de mapeo de área quemada y severidad** del SPPIF.

2.2. Validación en campo de las herramientas para el mapeado de área quemada y severidad de incendios forestales.

Se ha desarrollado un **protocolo de campo** para la evaluación de severidad en campo, incluido en el **anexo 2.2.1** (Silva Cardoza et al., 2021a, Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo).

En base al protocolo de medición de severidad en campo se ha iniciado la validación de las herramientas de en 266 parcelas medidas en las regiones Norte (Durango), Occidente (Jalisco) y Noreste (Nuevo León, incluyendo una evaluación de emergencia de área quemada y severidad en el incendio de la Pinalosa en colaboración con CONAFOR). Se detallan los resultados en el informe de validación en campo (**anexo 2**), así como en la tesis de maestría de Silva Cardoza (2021) (**anexo 2.2.2**) y el artículo científico de Silva Cardoza et al. (2021b) (**anexo 2.2.3**) sobre la validación de las herramientas de área quemada y severidad.

Los análisis han permitido contar con umbrales de severidad, potencialmente aplicables a ecosistemas de bosque templado de pino y encino, en las regiones Norte, Noreste y Occidente. Para la tercera etapa, se prevé alcanzar el objetivo total comprometido para el proyecto para la validación en campo de las herramientas de área quemada y severidad, de 700 parcelas, incluyendo mediciones en las regiones Centro (México y Michoacán) y Sureste (Yucatán), para lo que se prevén mediciones en campo en el periodo de otoño 2021 a primavera 2022.

3. Realizar 2 talleres de la herramienta de mapeado de área quemada.

Se han realizado un total de **3 talleres** de capacitación (20-21, 27-28 y 30/08 a 1/10 /2021) para un total de 168 técnicos de CONAFOR, incluyendo personal de la Gerencia de Manejo del Fuego, de los 6 centros regionales y estatales de manejo del fuego, así como personal de las áreas de sanidad, restauración y monitoreo forestal, de un total de 21 estados de la república, tal y como se describe en el **Anexo 3** (informe de los talleres de capacitación), resumiendo los resultados de las encuestas recibidas de los asistentes al taller.

Los videos de los talleres, así como los trabajos recibidos por los asistentes al taller, mostrando aplicaciones prácticas de las herramientas para mapear incendios, se encuentran en la sección **Videos-> Herramientas de mapeo de área quemada y severidad** del SPPIF. http://forestales.ujed.mx/incendios2/

2. LOGRO DE OBJETIVOS RESPECTO DE COMPROMISO (Describir el cumplimiento del objetivo planteado para la etapa del proyecto).

Se resume en la tabla 2 a continuación el logro de objetivos, indicando los productos obtenidos por objetivo específico.

Tabla 2. Cumplimiento de objetivos en la primera etapa del proyecto.

Objetivo	Porcentaje de Avance
1-Desarrollar un índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado.	100%.
2-Ampliar y validar en campo la herramienta de mapeo de área quemada, ampliada con la inclusión de satélite Sentinel.	72 %, desglosado como: 2.1. Desarrollar una herramienta para mapeo de área quemada con Sentinel: 100%; 2.2. Validar en campo la herramienta de área quemada: 43 %
3- Realizar 2 talleres de la herramienta de mapeado de área quemada.	100%.

3. GRUPO DE TRABAJO (describir en que forma el grupo de trabajo ha contribuido a lograr las metas planteadas).

Se describen a continuación las contribuciones de cada socio al cumplimiento de las metas obtenidas:

- **UJED:** Desarrolló el índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado y las herramientas para mapeo de área quemada con Sentinel. Coordinó la validación en campo para los estados de Durango, Jalisco y Nuevo León y los talleres de capacitación de las herramientas de área quemada.

- **USDA Forest Service (Missoula):** colaboró en el desarrollo del índice pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado y en el desarrollo del código semiautomatizado para descarga de imágenes Sentinel en Google Earth Engine.

- **Universidad de Washington:** colaboró en el desarrollo del índice pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado.

- **UdeG:** Colaboró en la evaluación de 100 parcelas de severidad en los incendios del bosque de la primavera en agosto 2021 y en la definición del protocolo de medición de severidad en campo**.**

- **UCh:** Colaboró en la definición del protocolo de medición de severidad en campo**.**

- **UNAM, Pronatura:** Iniciaron la planeación del trabajo de campo para la validación en campo de la herramienta de área quemada, que será realizado en la tercera etapa.

4. DESVIACIONES Y/O MODIFICACIONES EN LA ETAPA (Deberán explicar y justificar claramente el motivo de las desviaciones y/o modificaciones a las actividades programadas en la etapa).

Por motivo de la contingencia de COVID, no se consideró seguro la ejecución del trabajo de campo en los estados de México, Michoacán y Yucatán. El trabajo de campo para la validación de la herramienta de área quemada en esos estados se realizará en la tercera etapa, en el periodo de otoño 2021 a primavera 2022, tal y como fue notificado al área usuaria y a la secretaría técnica, que mostraron su conformidad.

La ejecución de los talleres de capacitación en el manejo de las herramientas de área quemada fue realizada por videoconferencia, derivado de las condiciones de la contingencia sanitaria al momento de planear los talleres. Además de los talleres realizados, se prevé realizar talleres de capacitación en campo para la medición de severidad de incendios con las herramientas desarrolladas, en el periodo otoño 2021 a primavera 2022. Los talleres serán adicionales a los comprometidos para la tercera etapa.

5. ACCIONES DERIVADAS DE LAS DESVIACIONES Y/O MODIFICACIONES

Tal y como fue notificado en el oficio OF. DIPI.10.2/336/2021, dirigido al secretario técnico del fondo el 22 de Septiembre de 2021, se solicitó el movimiento de etapa de la actividad de validación en campo de las herramientas de mapeo de área quemada. El movimiento fue autorizado por la secretaría técnica mediante el oficio FSIDITF/ST/068/21 de 27 de Septiembre de 2021.

Se entregan en el presente informe técnico un informe de avances en esta actividad, incluyendo un informe con los resultados de la validación en las 266 parcelas medias (Anexo 2), así como el protocolo de campo (anexo 2.2.1), una tesis de maestría un y artículo científico en el mapeo de área quemada (anexos 2.2.2 y 2.2.3).

En la tercera etapa, se entregará un informe final de la validación de campo, incluyendo los estados citados, para un total de 700 parcelas comprometidas en las 3 etapas el proyecto.

Se ha iniciado la planeación con el área usuaria de los talleres presenciales adicionales a los 3 talleres ya realizados y a los comprometidos en la tercera etapa. Se prevé realizar un primer taller presencial de medición de severidad en campo este otoño en Jalisco, tentativamente en el mes de Noviembre de 2021.

6. ACCIONES REALIZADAS CON LOS SECTORES USUARIOS (Reportar los acercamientos y resultados obtenidos con el sector, conforme a las etapas del proyecto).

Se han realizado un total de **3 talleres** de capacitación para un total de 168 técnicos de CONAFOR, incluyendo personal de la Gerencia de Manejo del Fuego, de los 6 centros regionales y estatales de manejo del fuego, así como personal de las áreas de sanidad, restauración y monitoreo forestal, de un total de 21 estados de la república, tal y como se describe en el **Anexo 3** (informe de los talleres de capacitación), resumiendo los resultados de las encuestas recibidas de los asistentes al taller. En el **Anexo 3** se incluyen la lista resumen de asistentes del taller, el programa del mismo, y el resumen de las encuestas por los participantes. Además, se pueden consultar los videos de los talleres y ejemplos de las presentaciones realizadas por los

asistentes, mostrando aplicaciones prácticas de las herramientas para mapear incendios, en la sección **Videos-> Herramientas de mapeo de área quemada y severidad** del SPPIF. http://forestales.ujed.mx/incendios2/

7. COMPROMISOS PARA LA ETAPA SIGUIENTE (Describir las metas, actividades y productos a entregar en la siguiente etapa así como su duración).

En la segunda etapa del proyecto, se prevén el cumplimiento de las siguientes metas, actividades y productos.

Tabla 4. Compromisos para la etapa siguiente.

Actividades	**Productos**
1.- Validación en campo de la herramienta para el mapeo de área quemada y severidad de incendios forestales (transferido de etapa 2).	1.- Informe final de la validación en campo de la herramienta para el mapeo de área quemada y severidad de incendios forestales.
2.- Desarrollar un módulo de pronóstico del área quemada y dificultad de supresión esperada.	2.- Módulo de pronóstico del área quemada y dificultad de supresión esperada.
3.- Desarrollar manuales de usuario, entrenamiento y mantenimiento del Sistema de Peligro ampliado.	3.- Manual de usuario y entrenamiento, así como manual de instalación y mantenimiento del Sistema de Peligro ampliado
4.-Realizar 3 talleres de transferencia para el uso e interpretación del sistema, incluyendo el módulo de pronóstico del área quemada y dificultad de supresión esperada.	4.- 3 talleres de trasferencia para el uso e interpretación del sistema, incluyendo el módulo de pronóstico del área quemada y dificultad de supresión esperada.

8. LOGRO DE METAS RESPECTO DE METAS COMPROMETIDAS

(Especificar el porcentaje de cumplimiento de metas con respecto a las comprometidas, en caso de no cumplir con el 100%, justificar).

Se resumen a continuación la lista de metas y el grado de cumplimiento.

Tabla 4. Resumen de grado de cumplimiento de metas en la segunda etapa.

Meta	**Porcentaje de Avance**	**Productos**
1-Índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado.	100%	Anexo 1 y Anexo 1.1
2-Ampliación y validación en campo la herramienta de mapeo de área quemada, ampliada con la inclusión de satélite Sentinel.	72%	2.1. Desarrollo de herramienta para mapeo de área quemada con Sentinel (100%): Anexo 2, y Anexos 2.1.1, 2.1.2 y 2.1.3. 2.2. Validación en campo de la herramienta de área quemada (44%): Anexo 2 y Anexos 2.2.1, 2.2.2 y 2.2.3.
3- 2 talleres de la herramienta de mapeado de área quemada.	100%.	Anexo 3.

9. BENEFICIOS O IMPACTOS

9.1. Incluir en la etapa el impacto o beneficio en la generación de nuevo conocimiento para el Sector / Estado

El proyecto impacta en la generación de nuevo conocimiento para orientar las decisiones de manejo del fuego en el país. En concreto, el proyecto viene a llenar vacíos de conocimiento en las áreas de:

1) Caracterización de la actividad de incendios por estado de una manera sistemática. Las herramientas de conteo de conglomerados por estado, permiten el monitoreo en tiempo real, así como la caracterización histórica del nivel de actividad de propagación de fuego en terrenos forestales por estado, permitiendo mejorar las actividades de prevención, monitoreo y presupresión de incendios forestales.
2) Pronóstico de la actividad de conglomerados por estado. Las herramientas desarrolladas son innovadoras a nivel internacional, por ser el primer sistema a nivel global en contar con modelos predictivos del número de perímetros de incendios forestales desarrollados a partir de los perímetros interpolados de puntos de calor. A nivel nacional, las herramientas suponen un paso importante para mejorar los pronósticos de actividad de incendios por estado, haciendo más eficiente la toma de decisiones de asignación de recursos de prevención, monitoreo y presupresión de incendios forestales a nivel de estado.
3) Herramientas semiautomatizadas para el mapeado de área quemada y severidad a partir de imágenes Sentinel. Los códigos presentados amplían la información previamente disponible a nivel internacional para el mapeado en Google Earth Engine de severidad (Parks et al., 2018) mediante Landsat, con la inclusión del satélite Sentinel. A nivel nacional, se amplía las herramientas previamente disponibles (Cruz et al., 2017) para imágenes Landsat con la inclusión de Sentinel.
4) Umbrales de severidad calibrados para tipos de vegetación mexicanas. No existían, previo al estudio, análisis calibrados en campo de los niveles de los índices de severidad para los tipos de vegetación de México. Los resultados del presente proyecto son el primer estudio en analizar para el satélite Sentinel los umbrales de mapeo de severidad en ecosistemas mexicanos, abriendo la puerta al mapeo por los técnicos de manejo del fuego, restauración, monitoreo forestal, sanidad, etc, para mejorar la calidad de la información del impacto de los incendios y hacer más eficiente la toma de decisiones de manejo del fuego, manejo forestal, y restauración de ecosistemas afectados.

9.2. Incluir en la etapa el impacto o beneficio en el desarrollo científico y tecnológico del Sector/ Estado (Ej. Avance en el conocimiento científico y/o tecnológico; Fortalecimiento y consolidación de grupos de investigación incluyendo la formación de recursos humanos; Fortalecimiento de infraestructura científica y tecnológica; etc.)

Avance en el conocimiento científico y/o tecnológico:

Se han fortalecido las capacidades del personal de CONAFOR y agentes de manejo del fuego y manejo forestal en el país, al contar con herramientas avanzadas para el monitoreo en tiempo real del avance de los incendios y la evaluación de su impacto, mejorando la toma de decisiones

de prevención, monitoreo y presupresión de incendios forestales, así como la planificación de las actividades de restauración post-incendio.

Fortalecimiento y consolidación de grupos de investigación incluyendo la formación de recursos humanos;

Se ha fortalecido la infraestructura humana de los equipos de investigación, incluyendo la formación de dos tesistas de maestría expertos en el manejo de imágenes satelitales para el mapeo de área quemada y severidad de incendios forestales.

Fortalecimiento de infraestructura científica y tecnológica:

Se ha fortalecido la infraestructura tecnológica de los investigadores y el área usuaria, con la creación de herramientas tecnológicas avanzadas para el monitoreo de incendios forestales, y la dotación de infraestructura informática en el área usuaria e invstigadores para posibilitar el uso operacional de estas herramientas geomáticas avanzadas.

9.3. Incluir en la etapa el impacto o un beneficio económico para el Sector / Estado

El proyecto crea capacidades del manejo de herramientas avanzadas de planeación del manejo del fuego, aumentando la eficiencia del uso de los recursos para el monitoreo, presupresión, supresión, y evaluación del impacto de los incendios. Mediante el uso de estas tecnologías, los miembros del programa nacional de manejo del fuego, ven incrementada la rapidez de detección de incendios, mediante la automatización de conteo de conglomerados, lo que mejora el tiempo de respuesta y su capacidad para mejorar la toma de decisiones de la atención de incidentes que son detectados con más rapidez, posibilitando una mejoría en el tiempo de atención de los incendios forestales, particularmente de aquellos con mayor potencial previsto de propagación, minorando por tanto las pérdidas económicas asociadas a los mismos por una atención más temprana y eficiente. En concreto, el uso de las herramientas permitirá una detección y contención temprana de los incendios potencialmente más dañinos, con el consiguiente ahorro de recursos tanto en medios adicionales para su contención como el aminoramiento de sus impactos económicos tangibles (valor maderable, emisiones de carbono) e intangibles (perdida de hábitat, biodiversidad). Se eficienta el uso de los recursos de supresión, logrando que estos tengan un mayor impacto mediante una mejoría en la estrategia de preubicación de medios de combate, permitiendo su uso más eficaz en las áreas donde se prevea un mayor riesgo y peligro de incendios, y minorando los efectos y pérdidas económicas asociadas a los mismos. Se incrementa asimismo la eficacia de las acciones de prevención, que podrán ser priorizadas en las áreas donde estas tengan un mayor impacto en disminuir la peligrosidad de incendios futuros, con el consiguiente ahorro en recursos de combate futuros y disminución de las pérdidas económicas y ambientales asociadas a los mismos.

El desarrollo de herramientas avanzadas de mapeo de área quemada y severidad supone un salto cualitativo en las capacidades para un uso eficiente de los recursos de restauración de áreas quemadas, al enfocar los recursos en las áreas donde se observen mayores daños para la vegetación y suelo, permitiendo ahorros en reforestaciones no necesarias donde se observe recuperación del arbolado, y por el contrario, permitiendo priorizar las intervenciones de protección del suelo y restauración de la vegetación en áreas donde se espere un mayor impacto, logrando una mayor rentabilidad de las inversiones de restauración, al ser aplicadas en las áreas donde minoren las mayores pérdidas ecológicas y económicas.

9.4. Incluir en la etapa el impacto o un beneficio social para el Sector / Estado

El proyecto crea un tejido de expertos en el manejo de tecnologías avanzadas, disponibles gratuitamente en línea, para aumentar la eficiencia de la toma de decisiones a nivel nacional, regional, estatal y municipal de presupresión, supresión, monitoreo y evaluación del impacto de los incendios. Se fortalecen las capacidades de manejo de tecnologías de monitoreo y toma de decisiones del personal de los centros nacional, regional y estatal de CONAFOR, así como los miembros del programa nacional de manejo del fuego, incluyendo:

- Manejadores de fuego de los municipios, entidades estatales, brigadas CONAFOR y otras dependencias relacionados con la prevención y combate de incendios forestales
- Propietarios de terrenos forestales
- Organizaciones de productores forestales
- Administradores de áreas naturales protegidas (ANP'S)
- Plantadores
- Manejadores de bosques naturales
- Brigadas rurales
- Personas a cargo de protección civil bomberos municipales con atención a incendios forestales

9.5. Incluir en la etapa el impacto o un beneficio ambiental para el Sector / Estado

El desarrollo de herramientas avanzadas de monitoreo del avance de incendios permite mejorar la toma de decisiones para centrar las actuaciones de combate en las áreas donde el impacto ecológico pronosticado sea mayor, en términos de potencial mortalidad del arbolado, degradación de las masas y emisiones de gases de efecto de invernadero. El incremento de la eficacia en el monitoreo y priorización del combate, permitirá a los agentes de manejo del fuego minorar estos impactos ecológicos y económicos.

El contar con herramientas para definir mejores acciones de planeación y combate de incendio permitirá garantizar la persistencia de las masas forestales, minimizar las pérdidas por mortalidad y emisiones de gases de efecto invernadero, y adaptar las decisiones de manejo del fuego, en un contexto de cambio climático, para conservar e incrementar el valor de nuestro patrimonio ecológico, social y económico en los ecosistemas forestales de México.

El incremento en las capacidades de planeación de las acciones de prevención, incluyendo la planeación de acciones de manejo de combustibles, permitirá pasar de un papel de simplemente combate de incendios a un enfoque integral de manejo del fuego en el país. Los agentes del programa nacional de manejo del fuego, crearán capacidades permeando de los niveles estatales a los municipios, brigadas rurales, propietarios forestales y agricultores, para impulsar un manejo más eficiente del fuego a todos los niveles, desde la planeación de las acciones de prevención, ejecución de quemas agropecuarias y quemas prescritas, acciones de atención y restauración post-incendio con mayor eficacia y seguridad, minorando los impactos ambientales y económicos de los incendios, y fomentando una cultura de manejo eficiente del fuego en el país.

10. OBSERVACIONES RELEVANTES SOBRE EL PRESUPUESTO AUTORIZADO (Describir las condicionantes técnicas que originaron cualquier cambio en el ejercicio del presupuesto y que obligaron a modificar la aplicación de recursos a su presupuesto original).

Por motivo de la contingencia COVID, se solicitó el traspaso de etapa del monto no ejercido en las partidas de trabajo de campo, pasajes, viáticos y seminarios, para ser ejercidos en la tercera etapa en la ejecución del trabajo de campo pendiente y talleres adicionales. Las actividades para la tercera etapa han sido autorizadas por la secretaría técnica mediante el oficio FSIDITF/ST/068/21 de 27 de Septiembre de 2021, y serán incluidas en el informe financiero correspondiente.

11. PRODUCTOS E INDICADORES OBTENIDOS EN LA ETAPA

(Deberá anexar el o los productos obtenidos en la etapa a reportar, de acuerdo al Cronograma de Actividades (Anexo 2)).

Se detallan los productos anexados al presente informe:

1. **Desarrollar un índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado.**

Se anexan el informe técnico del desarrollo del pronóstico de conglomerados por estado, así como el código y documentación al mismo en los informes:

- **Anexo 1.** Informe técnico del desarrollo de un índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado.

- **Anexo 1.1.** Documentación y código del índice de pronóstico del número de conglomerados de puntos de calor esperados por estado.

2. Ampliar y validar en campo la herramienta de mapeo de área quemada con la inclusión de satélite Sentinel.

La actividad se desglosa en dos tareas:

2.1. Desarrollo de herramientas para el mapeado de área quemada y severidad de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel.

Se incluyen los siguientes informes detallando el desarrollo de las herramientas de área quemada, así como el código y documentación de los procesos de las mismas:

- **Anexo 2.** Informe del desarrollo de herramientas para el mapo de área quemada y severidad de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel y su validación en campo.

- **Anexo 2.1.1**. Documentación y código del proceso de cálculo de índices de severidad de imágenes Sentinel 2 en Google Earth Engine.

- **Anexo 2.1.2.** Documentación y código del Plug in de QGIS 3.16 para el mapeo de área quemada a partir de imágenes Sentinel.

- **Anexo 2.1.3.** Manual de usuario de las herramientas de mapeo de área quemada y severidad de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel.

2.2. Validación en campo de las herramientas para el mapeado de área quemada y severidad de incendios forestales.

Se anexan el informe de validación en campo (**anexo 2**), el protocolo de medición de severidad (**anexo 2.2.1**), así como una tesis de maestría (**anexo 2.2.2**) y un artículo científico (**anexo 2.2.3**) sobre la validación de las herramientas de área quemada y severidad:

- **Anexo 2.** Informe del desarrollo de herramientas para el mapo de área quemada y severidad de incendios forestales a partir de imágenes Sentinel y su validación en campo.

- **Anexo 2.2.1.** Metodología para la evaluación de la severidad de incendios forestales en campo.

- **Anexo 2.2.2.** Tesis de maestría: Evaluación y mapeo de la severidad de incendios forestales en la Sierra Madre Occidental de Durango.

- **Anexo 2.2.3.** Artículo: Evaluación de severidad de incendios forestales con imágenes Sentinel en el Estado de Durango. Enviado a SOMEREFO 2021, se publicará como artículo científico indexado en el número especial del congreso.

3. Realizar 2 talleres de la herramienta de mapeado de área quemada.

Se anexa **Anexo 3** (informe de los talleres de capacitación), resumiendo los resultados de las encuestas recibidas de los asistentes al taller.

Los videos de los talleres, así como los trabajos recibidos por los asistentes al taller, mostrando aplicaciones prácticas de las herramientas para mapear incendios, se encuentran en la sección **Videos-> Herramientas de mapeo de área quemada y severidad** del SPPIF. http://forestales.ujed.mx/incendios2/

Adicionalmente, se anexan al informe los siguientes productos, relacionados con la ampliación de las herramientas de área quemada y las herramientas de mapeado de perímetros de conglomerados, incluyendo el uso de algoritmos libres en QGIS (anexo 4.1 y 4.2) y el análisis del efcto del tipo de combustible en la delimitación de los perímetros de conglomerados:

- **Anexo 4.1.** Tesis de maestría: Automatización de la delimitación de conglomerados de puntos de calor para México.

- **Anexo 4.2.** Artículo: Hernández Perez et al. (2021). Automatización de la delimitación de conglomerados de puntos de calor para México. Enviado a SOMEREFO 2021, se publicará como artículo científico indexado en el número especial del congreso.

- **Anexo 4.3.** Artículo: Briones et al. (2021). Rapid Operational Mapping of Large Fire Perimeters from Fuel-Specific Aggregation of MODIS and VIIRS Active Fire Detections in Mexico. Forests (enviado al número especial "New Applications of GIS and Remote Sensing to Monitor and Predict Fire Hazard Risk and Effects", https://www.mdpi.com/journal/forests/special_issues/application_gis_fire).