

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES (SPPIF) DE MÉXICO

Proyecto CONACYT-CONAFOR 2018-2-B-S-131553 "Reforzamiento al Sistema Nacional de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México para el pronóstico de conglomerados y área quemada"



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



CONAFOR
COMISIÓN NACIONAL FORESTAL



Fondo
CONACYT
CONAFOR



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

MANUAL DE USUARIO DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES (SPPIF) DE MÉXICO



Este manual ha sido financiado por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONACYT-CONAFOR, Proyecto 2018-2-B-S-131553 “Reforzamiento al Sistema Nacional de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México para el pronóstico de conglomerados y área quemada”.

Dr. Daniel José Vega Nieva, Dr. Jaime Briseño Reyes, M.C. Carlos Briones Herrera, M.C. Norma Monjarás, Ing. Adrián Silva Cardoza, M.C. María Guadalupe Nava, M.C. Eric Calleros, M.C. Favián Flores, Dr. Pablito Marcelo López Serrano, Dr. José Javier Corral (FCF-UJED), Ing. Eduardo Cruz Castañeda, M.C. César Alberto Robles Gutiérrez, Ing. Tania Salgado Ojeda, Biól. Ursula Berenice García Herrera, Ing. Juan Miguel Campos Muñoz, Ing. Juan José Castellanos Castellanos, Biól. Alicia Verónica Salas Partida, Biól. Aketzalli Nayely Camarena Hernández, Ing. Abel Santos Juárez Cortéz (CONAFOR), Dr. Ernesto Alvarado (U. Washington), Dr. William Matthew Jolly, Dr. Sean Parks, Dr. Robert Burgan, Dr. Haiganoush K. Preisler (USDA Forest Service), Dr. María Isabel Cruz López, M.C. Martín Cuahutle Cuahutle, Dr. Rainer Ressler (CONABIO), M.C. Martín Ibarra Ochoa (SMN-CONAGUA), Dr. Fabiano Morelli, Dr. Alberto Setzer (INPE-Brasil), Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo (UACH), Dr. Diego Pérez-Salicrup (UNAM), Dr. Enrique Jardel Peláez (UdeG), M.C. Gabriel Mata Flores (Pronatura), Dr. Stefano Arellano Pérez, Dr. Ana Daría Ruiz González, Dr. Juan Gabriel Álvarez-González (USC), Dr. José Antonio Vega, Dr. Enrique Jiménez (CIF Lourizán, España).

Diseño editorial: Edgar Javier González Castillo

Revisión: Gerencia de Manejo del Fuego/Coordinación General de Conservación y Restauración y Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología/Unidad de Educación y Desarrollo Tecnológico/Coordinación General de Producción y Productividad.

Versión 1.0

Diciembre 2020

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES DE MÉXICO	6
3. INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES DE MÉXICO	8
1. SITUACIÓN ACTUAL	8
1.1. Incendios forestales	8
Simbología y zoom	9
1.2. Puntos de calor	10
Simbología de puntos de calor	10
Filtrado de puntos de calor forestales, agrícolas, de interfaz agrícola-forestal y puntos fijos/asentamientos humanos	10
1.3. Conglomerados	12
Conglomerados Históricos	14
Conteo dinámico de conglomerados	16
1.4. Índices de Peligro	17
1) ÍNDICE DE SEQUEDAD DEL COMBUSTIBLE	19
2) PELIGRO DE IGNICIÓN DE INCENDIO	21
Interpretación del Peligro de Ignición	22
3) PELIGRO DE INCENDIO FORESTAL	24
Interpretación del Peligro de Incendio Forestal	25
4) NÚMERO DE INCENDIOS ESPERADOS POR ESTADO PARA LOS PRÓXIMOS 10 DÍAS	26
2. ANIMACIONES	28
Animaciones de 10 días	29
3. CAPAS TEMÁTICAS	33
3.1. Riesgo de Incendio	33
3.2. Combustibles y Vegetación	41
4. USO DEL SISTEMA EN DISPOSITIVOS MÓVILES (CELULARES)	43
5. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PELIGRO PARA EL APOYO A LA TOMA DE DECISIONES DE MANEJO DEL FUEGO	45
CONCLUSIONES	47
AGRADECIMIENTOS	49
REFERENCIAS	50

1. INTRODUCCIÓN

El Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales (SPPIF) de México, generado a partir del proyecto CONACYT-CONAFOR 2014-2-252620 y ampliado mediante el proyecto de reforzamiento al mismo CONACYT-CONAFOR 2018-2-B-S-131553, es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el manejo del fuego en México. Ha sido desarrollado por la Universidad Juárez del Estado de Durango, con la colaboración de CONABIO, SMN-CONAGUA, Universidad de Washington (USA), USDA Forest Service (USA), Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais (Brasil), Universidad de Santiago de Compostela (España), Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad de Guadalajara y el Centro de Investigaciones Forestales de Lourizán (España). El acceso a la información es libre, a través de un navegador de Internet, con la finalidad de apoyar el proceso de toma de decisiones de la CONAFOR y los agentes de manejo del fuego en México. Se encuentra disponible en el vínculo: <http://forestales.ujed.mx/incendios2>

El sistema permite evaluar los conglomerados de puntos de calor e incendios forestales activos y mapear en tiempo casi real la superficie aproximada de los mismos a partir de los perímetros de conglomerados de puntos de calor. Así mismo, muestra geográficamente, de manera diaria, las condiciones de sequedad del combustible, el peligro de ignición y el peligro de incendio forestal, así como el número de incendios forestales esperados por estado. La actualización diaria se realiza a partir de la información meteorológica, incendios y conglomerados de puntos de calor activos. Adicionalmente, el sistema incluye información histórica de perímetros de conglomerados de puntos de calor, incendios forestales combatidos, e índices de peligro en el periodo 2011 a la fecha, que pueden ser consultados con animaciones dinámicas. En concreto, ofrece información actualizada en tiempo casi real sobre:

- Ubicación observada y esperada de conglomerados de puntos de calor e incendios forestales.
- Perímetro aproximado de área quemada en tiempo casi real.
- Evolución de la sequedad del combustible.
- Número esperado de igniciones e incendios forestales.
- Localización esperada de igniciones e incendios forestales.
- Potencial de propagación esperado del incendio.

Con base en esta información, mapeada diariamente para las condiciones actuales y pronosticadas, los agentes de manejo del fuego pueden tomar decisiones operacionales de presupresión, prevención y supresión de incendios, tales como:

- Planear recorridos de rutas y vuelos de detección de incendios en las áreas de mayor riesgo y peligro.
- Optimizar la predisposición de recursos de supresión con base al número y ubicación esperada de incendios en cada región, estado y municipio.
- Planificar las acciones de extinción, asignando el número y tipo de recursos más apropiados a cada incendio.
- Planificar las acciones de prevención y presupresión, incluyendo la planeación de la ubicación y fecha más adecuada de quemas prescritas, ubicación de brechas y tratamientos de combustibles.
- Definir el calendario y ubicación de quemas agrícolas.

El Sistema permite reforzar la planificación a largo plazo de las acciones de prevención y presupresión de incendios forestales, tales como:

- Elaborar planes de manejo del fuego integrados en la planificación de manejo forestal, que planteen acciones de manejo de combustibles para reducir los niveles de riesgo y peligro de grandes incendios y aminorar su impacto potencial.
- Adecuar estratégicamente los recursos de supresión de acuerdo a los parámetros de riesgo y peligro históricos, así como los pronosticados para cada temporada.

Por último, el sistema permite guiar las acciones de monitoreo de la restauración post-incendio, al mostrar la ubicación de perímetros de incendios en los que se pueden realizar evaluaciones de severidad en la vegetación y suelo, así como el monitoreo de la regeneración post-incendio.

2. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES DE MÉXICO

El Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México cuenta con las siguientes secciones:

1. SITUACIÓN ACTUAL

Muestra la información actualizada diaria de:

1.1. Incendios forestales activos combatidos reportados por los Centros Estatales de Manejo del Fuego, actualizados diariamente a las 11:00, 16:00 y 20:00 horas (CONAFOR).

1.2. Puntos de calor MODIS y VIIRS actualizados en tiempo casi real con cada paso de los satélites (CONABIO).

1.3. Perímetros y número de conglomerados de puntos de calor MODIS y VIIRS (CONABIO) actualizados en tiempo casi real.

1.4. Índices de peligro, calculados diariamente a las 08:00 horas a partir de información satelital y meteorológica de CONABIO y SMN-CONAGUA.

Se incluye asimismo la información histórica diaria de incendios, puntos de calor, conglomerados, e índices de peligro, que pueden ser consultados en el visor por el usuario para cualquier fecha histórica seleccionada del periodo 2011 a la fecha actual.

2. ANIMACIONES

Permite realizar animaciones personalizadas, con intervalos diarios o de 10 días, en el periodo histórico consultado por el usuario. Se pueden realizar consultas de animaciones diarias de incendios forestales, puntos de calor e índices de peligro. Las animaciones en intervalos de 10 días permiten consultar los perímetros de conglomerados de puntos de calor.

3. CAPAS TEMÁTICAS

El visor del sistema incluye capas temáticas fijas que se pueden visualizar simultáneamente a la sección de situación actual y animaciones, pudiéndose regular su transparencia. Dichas capas incluyen:

- **Límites:** Áreas Naturales Protegidas, Estados, Municipios, Núcleos agrarios del Registro Agrario Nacional (RAN), Regiones de Manejo de Fuego de la CONAFOR y Unidades de Manejo Forestal (UMAFORES).
- **Topográficas:** Carreteras e Hidrografía.
- **Riesgo de Incendio:** Incluye los mapas de ubicación de los campamentos de CONAFOR e incendios combatidos en el periodo 2005-2020 por la CONAFOR, así como los perímetros históricos de conglomerados de puntos de calor (2011-2020) (Briones-Herrera *et al.*, 2020). Se incluyen los mapas de Riesgo de ocurrencia de incendio -que muestra el riesgo de ocurrencia de incendio a partir de los factores humanos de ignición, incluyendo la frontera agrícola, y la biomasa forestal- (Monjarás-Vega *et al.*, 2020); el mapa de Riesgo de ocurrencia de incendio por biomasa forestal, a resoluciones de 1 km y 30 m (Briones-Herrera *et al.*, 2019a), para apoyar en la planificación de las acciones de manejo de combustibles; y el mapa de Riesgo de ocurrencia de incendio por localidades y acceso por carretera (Monjarás-Vega *et al.*, 2019a, 2019b), para evaluar la presencia de localidades con acceso, así como las capas de Distancia a Localidades y Carreteras. Se incluye también el mapa más reciente de Áreas prioritarias de protección contra incendios forestales (CONAFOR, 2020a).
- **Combustibles y vegetación:** Se incluyen el mapa nacional de tipos de combustible (Jardel *et al.*, 2017), el mapa de adaptación de los ecosistemas al fuego (CONAFOR, 2020b), así como el mapa de biomasa total forestal a 30 m de resolución de Cartus *et al.* (2014), y el mapa de altura total forestal (Potapov *et al.*, 2020).
- **Capas base:** Se incluyen las capas de Bing Maps, ArcGIS Imagery, Google Satellite, ESRI Topographic y Open Street Map.

A continuación se describe la información contenida en cada sección del sistema.

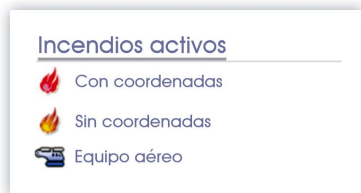
3. INFORMACIÓN DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN DE PELIGRO DE INCENDIOS FORESTALES DE MÉXICO

1. SITUACIÓN ACTUAL

1.1. Incendios forestales

La sección **Activos** indica los incendios forestales activos reportados por los Centros Estatales de Manejo del Fuego en los tres cortes diarios de 11:00, 16:00 y 20:00 horas, a la fecha mostrada en *última actualización*. Los incendios activos **con Coordenada**, en los que se cuenta con coordenada exacta de la ubicación del combate de incendio se presentan con un icono de flama de color rojo 🔥. Los incendios **sin Coordenada** con un icono de flama de color amarillo 🔥 muestran la ubicación en el centro de un municipio en el que se ha iniciado la supresión de un incendio, que aún no cuenta con la coordenada exacta de su ubicación que será actualizada en un reporte de combate posterior. La presencia de **Equipo Aéreo** en el combate del incendio se denota con el icono 🚁.

Simbología de incendios activos



La sección **Históricos** muestra los incendios ya liquidados, actualizada por CONAFOR en el Reporte Semanal Nacional de Incendios Forestales. El usuario puede especificar un periodo de búsqueda de históricos especificando las fechas de **Inicio** y de **Fin**. Los incendios históricos se muestran por año de combate, según la siguiente simbología:

Simbología de incendios históricos

Incendios históricos

- | | |
|----------------|-----------------|
| ● Año actual | ● 6 años atrás |
| ● 1 año atrás | ● 7 años atrás |
| ● 2 años atrás | ● 8 años atrás |
| ● 3 años atrás | ● 9 años atrás |
| ● 4 años atrás | ● 10 años atrás |
| ● 5 años atrás | ● Más de 10 |

Según esta simbología, a la fecha de 2020, los incendios combatidos este año se mostrarán en color rojo. Los incendios combatidos en el año anterior al actual (2019 actualmente) se mostrarán en azul claro.

Simbología y zoom

Las simbologías se muestran haciendo clic en el icono de **Simbología** a la derecha del sistema:



Para acercarse a (+) o alejarse de (-) un incendio u objeto de la página, se emplean los botones de **Zoom** a la derecha de la página. Para hacer zoom de acercamiento a un área determinada, presionar **SHIFT + clic izquierdo** y arrastrar ratón para dibujar una subárea de interés.

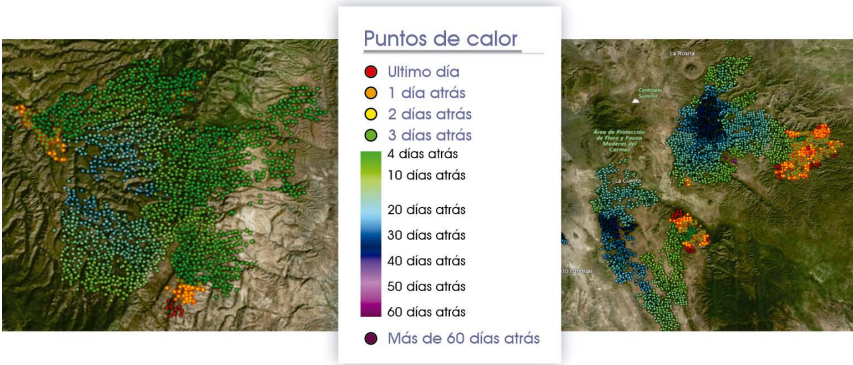


Ejemplo de zoom a área de interés, presionando shift + clic izquierdo y arrastrando ratón a área de interés (en blanco) (figura izquierda). Botón de zoom, ubicado a la derecha de la página (figura derecha).

1.2. Puntos de calor

Muestra los puntos de calor MODIS y VIIRS en el periodo seleccionado en las fechas de **Inicio** y de **Fin**. La información se actualiza a partir de datos de CONABIO con cada paso de satélite según la fecha mostrada en *última actualización*.

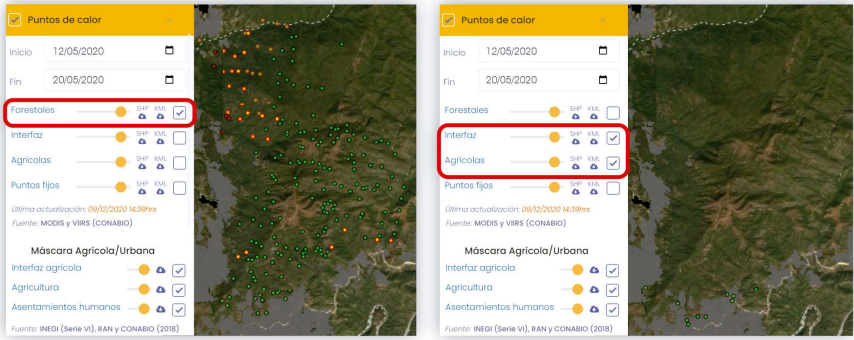
Simbología de puntos de calor



Simbología de puntos de calor, muestra el último día consultado en rojo, los anteriores en naranja y amarillo y una rampa de colores de verde a azul y violeta en las fechas consultadas. A la izquierda, ejemplo de la consulta de los puntos de calor de los días 01 a 27/05/2019 en el incendio de Santiago de Bayacora (Durango). A la derecha, ejemplo de la consulta de los puntos de calor de los días 01/03 a 31/04/2011 en los incendios gemelos de Coahuila.

Filtrado de puntos de calor forestales, agrícolas, de interfaz agrícola-forestal y puntos fijos/asentamientos humanos

El usuario puede filtrar los puntos de calor presentes en áreas forestales, agrícolas o de interfaz agrícola-forestal, así como los puntos fijos (incluyendo áreas urbanas), activando o apagando los cuadrados a la derecha de cada categoría.



Selección de puntos de calor Forestales (figura izquierda) y filtrado de puntos de calor Agrícolas y de Interfaz forestal-agrícola (figura derecha). El incendio se inició en la interfaz forestal-agrícola (en gris), tal y como muestran las fechas de los puntos de calor según simbología de rojo (último día) a verde (primer día de inicio del incendio).

Se puede activar la capa de máscara agrícola urbana, utilizada para filtrar los puntos de calor, en la sección **Máscara Agrícola/Urbana**.

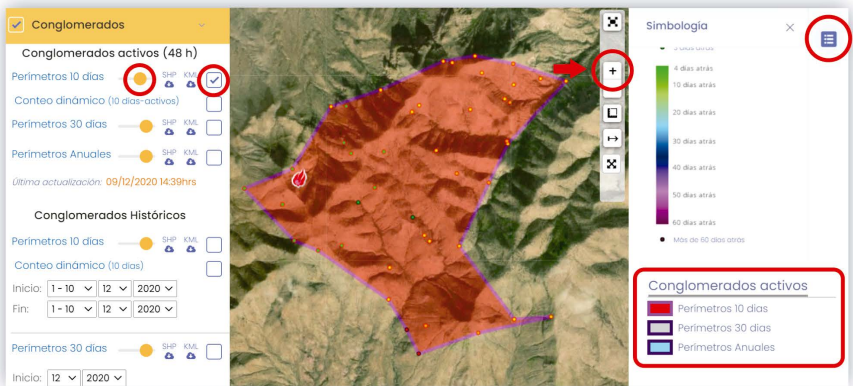


La presencia de puntos de calor en las áreas de interfaz agrícola-forestal puede ser monitoreada para analizar su posible evolución a incendio forestal en caso de propagarse incontroladamente a áreas forestales anexas. La interfaz agrícola-forestal fue definida como el primer kilómetro de área agrícola en contacto con áreas de vegetación natural, con base en los registros de incendios combatidos por CONAFOR en áreas de interfaz agrícola, y para considerar la precisión de 1 km de geolocalización de los puntos de calor MODIS. Los puntos de calor en áreas de asentamientos humanos y puntos fijos pueden ser omitidos al desactivar la sección “Puntos fijos”.

1.3. Conglomerados

Muestra los perímetros de conglomerados de puntos de calor **forestales**.

La sección **Conglomerados activos (48h)** muestra los perímetros de conglomerados de puntos de calor forestales con actividad de puntos de calor en las últimas 48 horas. Para visualizar los perímetros se da clic en “Conglomerados” para desplegar el menú y nuevamente clic en **“Perímetros 10 días”** para ver los perímetros de conglomerados de puntos de calor forestales de los últimos 10 días desde la fecha actual que se encuentran activos (cuentan con un punto de calor detectado en las últimas 48 h). La herramienta **Zoom** ubicada en la parte derecha de la página permite acercarse a un conglomerado de interés como se muestra en la figura derecha. Para ver la simbología, hacer clic en el botón de **Simbología** en la esquina superior derecha. Moviendo el círculo de color naranja sobre la barra gris de la capa seleccionada, se puede regular su nivel de **transparencia**. Haciendo clic sobre el conglomerado se puede consultar su superficie y fecha de ocurrencia.

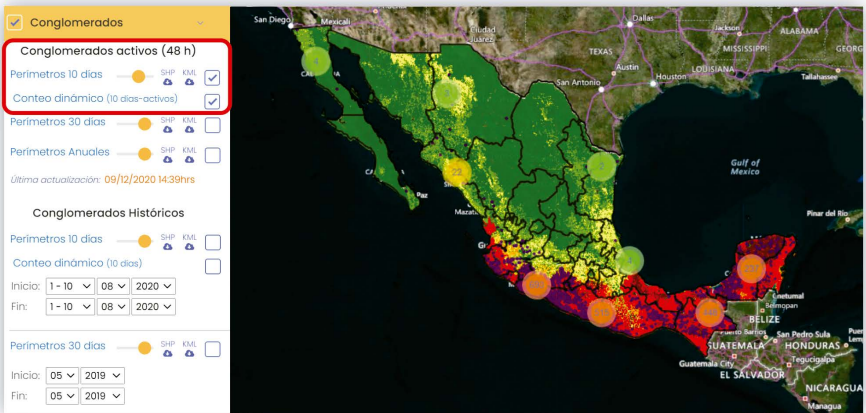


Ejemplo de perímetro de conglomerado activo de puntos de calor forestales (polígono rojo con borde violeta) en el incendio del municipio de Agua Prieta (Sonora). La barra izquierda permite regular su transparencia. Haciendo clic sobre el perímetro se muestra la superficie del perímetro del conglomerado de puntos de calor, en este caso de 604 ha, y la fecha del mismo (20/08/2020). Se muestran puntos de calor de los días 16/08 al 20/08/2020, coloreados de acuerdo a la simbología, la flama roja muestra la presencia de un combate activo reportado por un Centro Estatal de Manejo del Fuego (con coordenada) el día de visualización.

Así mismo, se pueden seleccionar los perímetros de conglomerados ac-

tivos de puntos de calor en áreas forestales de los últimos 30 días desde la fecha (**Perímetros 30 días**), al igual que los anuales activos (**Perímetros Anuales**). La última actualización muestra la hora de recepción de los puntos de calor provenientes de CONABIO. Los perímetros de conglomerados activos se actualizan a cada paso del satélite MODIS y VIIRS.

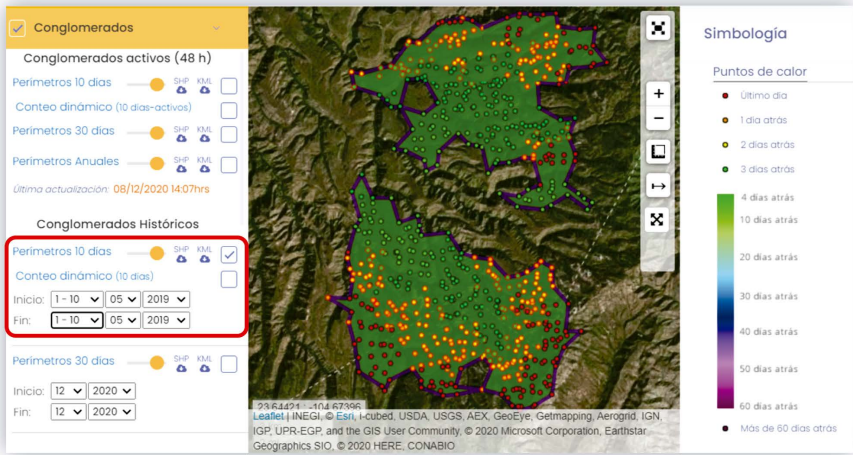
La opción de **“Cuento dinámico (10 días-activos)”** permite conocer el número de conglomerados de puntos de calor forestales de los últimos 10 días que se encuentran activos (con presencia de un punto de calor en las últimas 48 h), actualizado en tiempo casi real al último paso del satélite MODIS y VIIRS (mostrada en última actualización). A continuación se muestra un ejemplo detallado del funcionamiento de la herramienta de conteo en la sección “históricos”.



Conteo dinámico de conglomerados de puntos de calor de 10 días activos (con presencia de punto de calor en las últimas 48 h) y peligro de ignición. Las áreas con un bajo número de conglomerados se muestran en círculos en color verde, las áreas con alto número de conglomerados se muestran en círculos de color naranja. Los perímetros de los conglomerados activos se muestran con borde de color violeta.

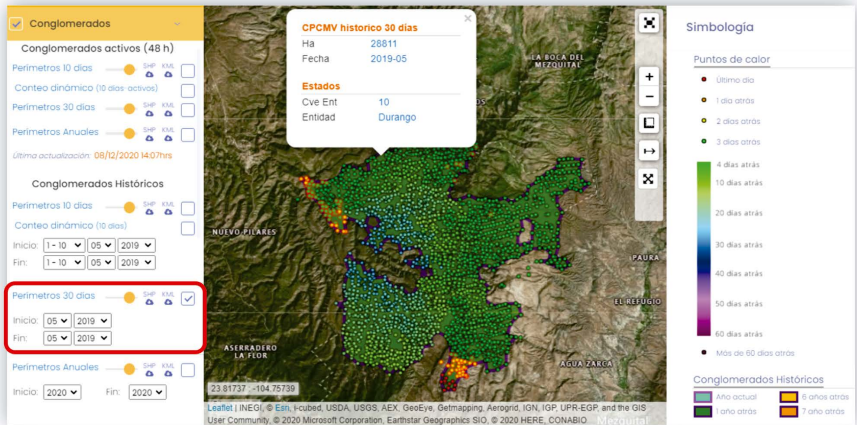
Conglomerados Históricos

La sección **Conglomerados Históricos** muestra los perímetros de conglomerados de puntos de calor forestales en intervalos de 10, 30 días o anuales. Los **Perímetros de 10 días** se muestran en los intervalos de los días 1-10, 11-20, 21-30 o 31 de cada mes. El usuario puede seleccionar el intervalo de 10 días, mes y año en el periodo de consulta deseado seleccionando las fechas de **Inicio** y **Fin**.



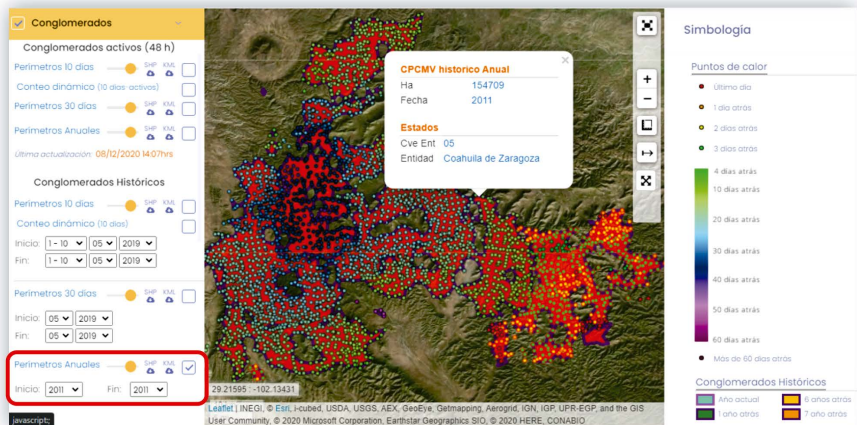
Ejemplo de perímetro de 10 días (polígono en verde con borde violeta) del conglomerado de puntos de calor forestales en los días 1 a 10/05/2019 en el incendio de Santiago de Bayacora (Durango). Se muestran los puntos de calor de los días 1 a 10 de rojo a verde, según la simbología detallada en la sección puntos de calor.

Perímetros de 30 días: muestra los perímetros de conglomerados de puntos de calor forestales contiguos espacialmente en un periodo de hasta 30 días. El usuario define el mes y año del perímetro de conglomerados de puntos de calor forestales. Al dar un clic sobre el perímetro se muestra la superficie del perímetro en hectáreas.



Ejemplo de perímetro de 30 días (polígono en verde con borde violeta) del conglomerado de puntos de calor de mayo 2019 en el incendio de Santiago de Bayacora (Durango). Al dar clic sobre el perímetro del conglomerado de puntos de calor se puede consultar la superficie estimada del mismo, en este caso de 28,811 ha, y la fecha (05/2019).

Perímetros Anuales: se calculan como la combinación de los perímetros de 10 días del mismo año. Dos perímetros de 10 días localizados en la misma área se unirán si existe una coincidencia temporal de hasta 10 días entre ellos. El usuario define el año del perímetro de conglomerados de puntos de calor forestales. Al dar clic sobre el perímetro se muestra la superficie del perímetro en hectáreas.

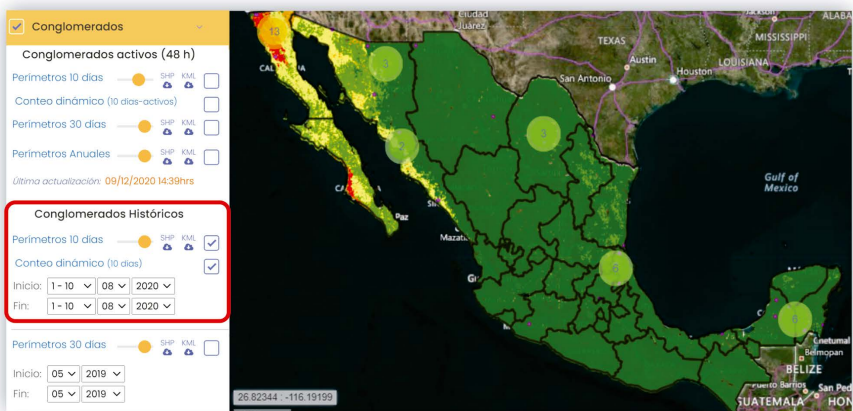


Ejemplo de perímetro anual (polígono en rojo con borde violeta) del conglomerado de puntos de calor del año 2011 del incendio superior de los incendios gemelos de Coahuila. Al hacer clic sobre el polígono se muestra su superficie y año de ocurrencia.

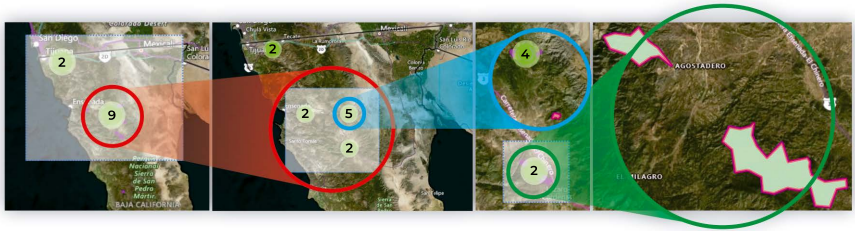
Conteo dinámico de conglomerados

El conteo dinámico muestra el número de perímetros de conglomerados, agrupados automáticamente por su cercanía a la escala observada, en círculos coloreados de verde a naranja oscuro, el último color reservado para las áreas con mayor número de conglomerados. El conteo es dinámico, calculándose automáticamente a la escala observada, desglosando las agrupaciones o clusters de conglomerados según el usuario se acerca con la herramienta de zoom, hasta mostrar los perímetros individuales marcados en color rojo.

Importante: antes de iniciar un nuevo conteo, asegurarse de **actualizar la página** para poder actualizar conteos sucesivos. Para el navegador Google Chrome, la página web se actualiza pulsando **Shift+F5** (Shift+F5+Fn en algunos sistemas).



Ejemplo de conteo dinámico de conglomerados de perímetros de 10 días de puntos de calor forestales históricos para el periodo 1 al 10/ 08/ 2020. El mayor número de conglomerados (mostrado con un círculo naranja) se observa en Baja California, coincidiendo con el mapa de peligro de ignición pronosticado para esa fecha. Las figuras inferiores muestran un zoom del conteo dinámico en el área de Baja California.



Detalle de conteo dinámico a distintas escalas (mediante herramienta de Zoom) de conglomerados de puntos de calor de 10 días en el periodo 01 al 10/ 08/ 2020 en Baja California. El zoom se dibuja mediante SHIFT y clic izquierdo. Se puede ver cómo al acercarse, el conteo dinámico se adecúa a la escala observada. Por ejemplo, los 9 conglomerados en la figura izquierda (en rojo) se desglosan en tres clústeres de 2, 5 y 2 conglomerados en la siguiente figura a la derecha. Al acercarse con el zoom, el clúster de 5 (en azul) se desglosa en un clúster de 4 y un conglomerado individual que aparece marcado con el perímetro en rojo en la siguiente figura a la derecha. La última figura a la derecha muestra los dos perímetros (marcados con el borde en rojo) señalados en verde en la figura anterior. Los perímetros individuales, que ya no son incluidos en el clúster de conteo a esa escala, se marcan con borde rojo al perímetro (dos figuras de la derecha).

1.4. Índices de Peligro

En la sección de Índices de Peligro, diariamente (8:30 am) se muestran los siguientes índices:

1. Índice de Sequedad del Combustible

Muestra las condiciones de estrés hídrico diarias de los combustibles. Se calcula a partir de imágenes diarias de temperatura, humedad relativa y precipitación, y de compuestos semanales de NDVI, suministradas diariamente por la CONABIO y el SMN, según la metodología descrita en Vega-Nieva et al. (2018a).

2. Peligro de Ignición

Combina el Índice de Sequedad del Combustible con el tipo combustible, región (Monjarás-Vega et al., 2020), y la presencia de puntos de calor MODIS y VIIRS en días anteriores, para estimar la densidad de puntos de calor esperada (Vega-Nieva et al., 2018a).

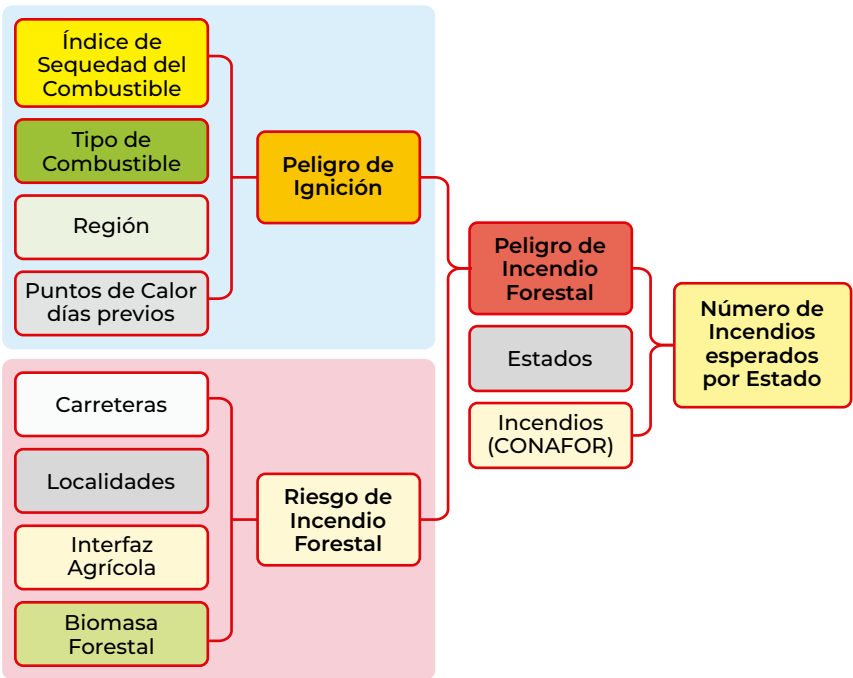
3. Peligro de Incendio Forestal

Combina el índice diario de Peligro de Ignición con el mapa de riesgo de ocurrencia de incendio (Monjarás-Vega et al., 2020), que considera el papel de los factores humanos (carreteras, localidades, interfaz agrícola-forestal) y la biomasa forestal en la ocurrencia de incendio, calibrado con los combates de CONAFOR en el periodo 2005-2019.

4. Número esperado de incendios

El mapa de número esperado de incendios por estado representa el pronóstico de número de incendios esperados por estado para los próximos 10 días, permitiendo apoyar la toma de decisiones sobre el nivel de ocupación esperado de los medios y eventuales movilizaciones de recursos entre estados.

El siguiente diagrama resume la estructura del sistema:



Estructura del Sistema de Peligro de Incendios Forestales de México.

En la presente sección se resumen los índices de peligro del sistema y su aplicación para el apoyo a la toma de decisiones de manejo del fuego.

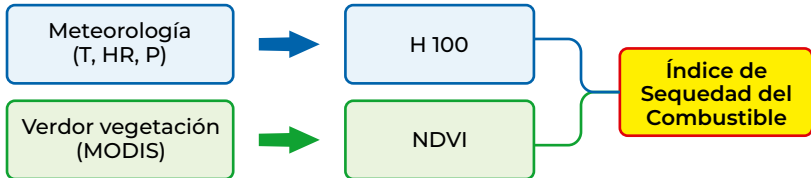
1) ÍNDICE DE SEQUEDAD DEL COMBUSTIBLE

Refleja el estrés hídrico (nivel de sequedad) de los combustibles. El índice integra una estimación de la humedad del combustible muerto de 100h (H100) con un indicador de la humedad del combustible vivo (NDVI). Los índices son calculados con frecuencia diaria a partir de información satelital (NDVI) y meteorológica (temperatura, humedad relativa, precipitación) suministrada en tiempo casi real por CONABIO (Tabla 1).

Las fuentes de información y resolución espacial de los índices se resumen en la Tabla 1 y en el Diagrama 2.

Tabla 1. Índices diario y mensual de sequedad del combustible

Frecuencia	Variable	Información empleada para el cálculo del índice	Resolución espacial
Diario	1. Humedad del combustible muerto (100h)	Precipitación (GPM), Temperatura y Humedad Relativa (Perfil atmosférico MODIS)	5 km
10 días	2.NDVI (compuesto de 10 días)	Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) a partir de imágenes MODIS	1 km



Proceso de cálculo del Índice de Sequedad del Combustible a partir de la humedad diaria del combustible de 100h y el NDVI.

El Índice de Sequedad del Combustible es una modificación del índice FPI del Sistema Norteamericano de Peligro de Incendios desarrollado por Burgan *et al.* (1998), calibrada para condiciones mexicanas en base al análisis de históricos de incendios y puntos de calor en el periodo 2003-2018 para México por Vega-Nieva *et al.* (2018a). A continuación (Tabla 2) se detallan los umbrales propuestos en base a la calibración con los históricos de igniciones en México. El índice va de < 40 a 100, donde < 40 es un combustible completamente húmedo y 100 es un combustible completamente seco.

Tabla 2. Interpretación del Índice de Sequedad del Combustible.

Índice de Sequedad del Combustible	Sequedad del combustible
< 40	Muy Baja
40-50	Baja
50-60	Media
60-70	Alta
70-92	Muy alta
> 92	Extrema

Muy bajo (< 50): El nivel muy bajo suele estar asociado a eventos recientes de precipitación, que elevan la humedad del combustible por encima de los niveles en los que suele suceder una ignición. Pueden ocurrir igniciones puntuales, particularmente vinculadas a quemas agrícolas en bosques y selvas bajo condiciones húmedas, pero se espera un bajo peligro de propagación de incendios, con bajas longitudes de flama y velocidad de propagación.

Bajo y Medio (40-60): Aparece a los pocos días de un evento de precipitación. El riesgo de ocurrencia y peligro de propagación se incrementa. Los incendios no son muy peligrosos pero pueden ser relativamente frecuentes, asociados a quemas agrícolas en condiciones de humedad baja y media, especialmente en el centro y occidente del país a comienzo del año.

Alto (60-70): Aparece cuando se acumulan varias semanas sin precipitación. Se comienzan a registrar incendios más frecuentes y más peligrosos, particularmente en los bosques más húmedos de las regiones centro y sur, donde este nivel suele aparecer alrededor de los meses de marzo asociado a frecuentes incendios de peligrosidad media-alta.

Muy Alto (>70): El combustible está muy seco. Se esperan incendios muy frecuentes y más peligrosos. La mayoría de los incendios ocurren bajo esas condiciones de sequedad de combustible, que se suelen alcanzar a partir de marzo en el centro del país, y generalmente uno y dos meses (abril y mayo a julio) más tarde en la región noroeste y Baja California, respectivamente.

Extremo (>92): El combustible está en su máxima sequedad histórica. Valores de nivel extremo son poco frecuentes en bosques templados, estando generalmente limitada su presencia a zonas áridas, de extrema

sequedad del combustible, pero bajo riesgo de ocurrencia y bajo peligro de propagación. No obstante, la ocurrencia extraordinaria de este nivel de sequedad extrema sobre una área de bosque templado indicaría condiciones extremas de sequedad unidas a una gran cantidad de combustible disponible, resultando en un posible comportamiento extremo del incendio.

Las fechas en las que se alcanzan los niveles medio, alto y muy alto y eventualmente el nivel extremo (asociado generalmente a los años muy secos) varía entre años, por lo que se recomienda interpretar las condiciones actuales y pronosticadas frente a los años de referencia secos (ejemplo 2011, 2012) y años húmedos (ejemplo 2014, 2015). Se pueden consultar más detalles sobre la metodología para el cálculo del índice de sequedad del combustible en la publicación de Vega-Nieva *et al.* (2018a).

2) PELIGRO DE IGNICIÓN DE INCENDIO

El monitoreo de los mapas del Índice de Sequedad del Combustible (figuras anteriores) permite seguir su evolución, desde niveles muy bajos asociados a eventos de precipitación (en azul en los mapas) hasta niveles de alta y muy alta sequedad del combustible (naranja, rojo).

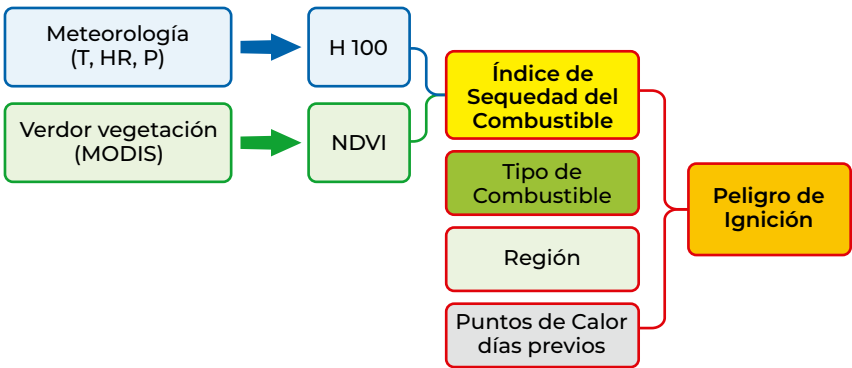
El Índice de Sequedad del Combustible es útil como descriptor del estrés hídrico de la vegetación, pero considerado aisladamente presenta algunas limitaciones como único descriptor del peligro de ignición e incendios. Como se ha mencionado, niveles muy altos y extremos (rojos a rosa) de sequedad del combustible en zonas áridas no vienen acompañadas de un alto riesgo donde hay baja disponibilidad o continuidad de combustible (ej. desiertos). Además, diferentes regiones requieren de distintas condiciones de sequedad de combustible para la ocurrencia de incendio, unido a diversos patrones temporales y espaciales de igniciones en diferentes regiones del país, influenciados por factores tales como el calendario agrícola (Vega-Nieva *et al.*, 2018a, 2019a).

Para tener en cuenta cómo diferentes niveles de sequedad del combustible se convierten en diversas condiciones de ocurrencia de igniciones en distintos tipos de combustible, influenciados por diversos patrones temporales de ignición por causas humanas, se recomienda consultar el índice de sequedad del combustible en conjunto con el índice de peligro de ignición descrito a continuación.

El Peligro de Ignición (Vega-Nieva *et al.*, 2018a) considera los siguientes componentes:

- Índice de Sequedad del Combustible, ya descrito en el apartado anterior.
- Tipo de combustible (Jardel *et al.*, 2017 y Briones *et al.*, 2021).
- Región del país: Noroeste, Noreste, Centro, Occidente, Sur, etc. (Monjarás-Vega *et al.*, 2020).
- Puntos de calor: se considera la densidad de puntos de calor MODIS y VIIRS presente en los días anteriores para cada tipo de combustible y región del país para la estima de puntos de calor e incendios en la fecha venidera.

El Diagrama resume la estructura propuesta para el índice de Peligro de Ignición de México.



Proceso para el cálculo del Peligro de Ignición del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México.

El índice de Peligro de Ignición mexicano ha sido calibrado con 10 años de información satelital de ocurrencia de igniciones o puntos de calor MODIS y VIIRS. Se puede consultar más información en detalle sobre los métodos para el cálculo del índice de peligro de ignición mexicano en los artículos de Vega-Nieva *et al.* (2018a, 2019a).

Interpretación del Peligro de Ignición

El **Peligro de Ignición** representa la densidad esperada de puntos de calor en los próximos 10 días, expresada como número de puntos de calor en una superficie de 1,000 km² (tabla 3).

Puesto que la superficie de 1,000 km² representa un tamaño extremo de incendio, el Peligro de Ignición representa también el número de puntos de calor que se espera encontrar en un conglomerado de puntos de

calor, o en esa superficie de referencia. Por lo tanto, el Peligro de Ignición es un indicador tanto del tamaño esperado de los conglomerados de puntos de calor, como del número de puntos de calor por unidad de superficie (puntos de calor /1,000 km²). En niveles más altos del Peligro de Ignición, se esperan más igniciones por unidad de superficie, y también incendios de mayor tamaño. En épocas de alta y muy alta actividad de igniciones, se esperan valores de >50 a >125 igniciones de puntos de calor por 1,000 km², que equivalen aproximadamente a tamaños esperados de conglomerado de >500 y > 1,250 ha, respectivamente. En épocas y áreas de peligro de ignición extremo, se alcanzan valores de > 400 puntos de calor por 1,000 km², equivalentes aproximadamente a conglomerados de puntos de calor (o superficie total quemada por varios conglomerados adyacentes en un área de 1,000 km²) de > 4,000 ha.

Tabla 3. Interpretación de niveles del Peligro de Ignición

Peligro de Ignición	Densidad esperada de Puntos de Calor (pc/ 1,000 km²)
Muy Bajo	0-10
Bajo	10-25
Medio	25-50
Alto	50-125
Muy Alto	125-400
Extremo	>400

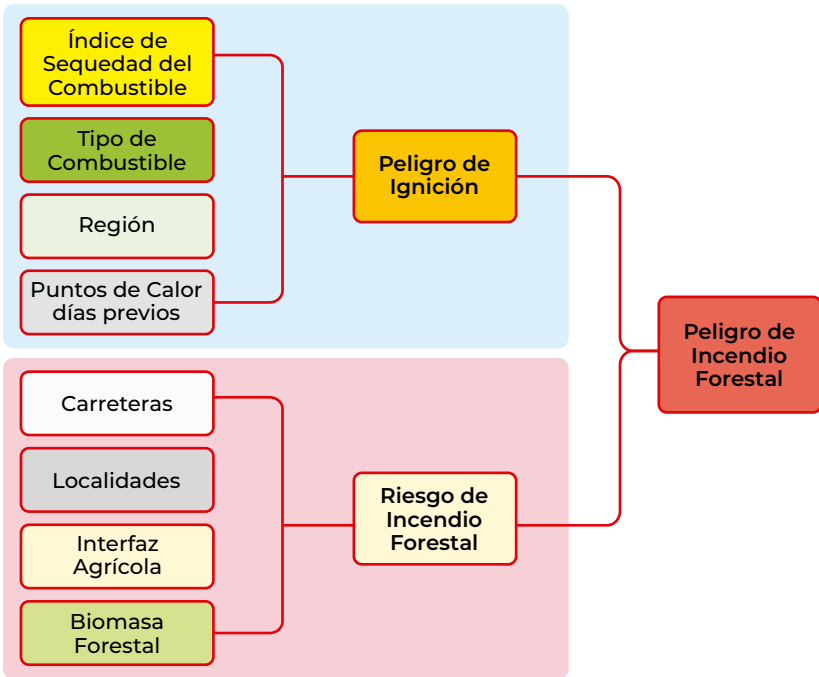
El Peligro de Ignición se calcula diariamente (8:30 am) para cada tipo de combustible (Jardel *et al.*, 2017, Briones *et al.*, 2021) y región del país (e.g. Centro, Occidente, etc, según la regionalización de Monjarás-Vega *et al.*, 2020) a partir del Índice de Sequedad del Combustible, considerando la presencia de puntos de calor por cada tipo de combustible y región del país en los diez días anteriores a la fecha de cálculo, mediante la metodología de Vega-Nieva *et al.* (2018a).

Las fechas en las que se alcanzan los niveles medio, alto y muy alto y eventualmente el nivel extremo varía entre años, por lo que se recomienda interpretar las condiciones actuales y pronosticadas frente a años de referencia secos (ejemplo 2011, 2012) y años húmedos (ejemplo 2014, 2015).

3) PELIGRO DE INCENDIO FORESTAL

El **Peligro de Incendio Forestal** se calcula a partir del **Peligro de Ignición** diario, considerando el mapa de **Riesgo de Incendio Forestal** (Monjarás-Vega *et al.*, 2020), que integra el papel de los factores humanos (carreteras, localidades e interfaz agrícola-forestal) con el riesgo de ocurrencia de incendio por biomasa forestal (Briones *et al.*, 2019a), calibrado con los históricos de supresión de incendios en el periodo 2005-2019 (Monjarás-Vega *et al.*, 2020). El Peligro de Incendio Forestal señala, de todas las áreas con peligro de ocurrencia de conglomerado de puntos de calor (Peligro de Ignición), aquellas que presentan condiciones para ocurrencia de un incendio forestal.

Se ilustra el proceso de cálculo del Peligro de Incendio Forestal a partir del Peligro de Ignición diario y el mapa de riesgo de ocurrencia de incendio en el Diagrama a continuación.



Proceso para el cálculo del Peligro de Incendio Forestal.

Interpretación del Peligro de Incendio Forestal

El Peligro de Incendio Forestal varía en el tiempo según la evolución de la sequedad del combustible mostrada por el Peligro de Ignición diario, combinado con la variación espacial del mapa de riesgo de ocurrencia incendio forestal. El Peligro de Incendio Forestal va cambiando en el tiempo de muy bajo (muy pocos incendios esperados) a bajo y medio al inicio de la temporada de incendios, según la evolución temporal del Peligro de Ignición, hasta alcanzar valores altos, muy altos y eventualmente extremos en años de alta sequedad, según aumenta la sequedad acumulada del combustible en el Peligro de Ignición. Esta variación se combina con el patrón espacial del mapa de riesgo de Incendio Forestal, de manera que los valores más altos de Peligro de Incendio Forestal se observan en las áreas con mayor riesgo de ocurrencia de incendio forestal, por la presencia de factores antrópicos causantes de incendio (Monjarás-Vega *et al.*, 2019a, 2019b, 2020), aunado a la disponibilidad de combustible, estimada indirectamente a partir de la biomasa forestal (Briones-Herrera *et al.*, 2019a).

Los valores del **Peligro de Incendio Forestal** muestran diariamente la densidad esperada de incendios forestales en los próximos 10 días, ver la tabla 4:

Tabla 4. Interpretación de niveles del Peligro de Incendio Forestal.

Peligro de Incendio Forestal	Densidad esperada de incendios forestales (número de incendios/1000 km²)
Muy Bajo	0
Bajo	1-2
Medio	2-10
Alto	10-50
Muy Alto	50-200
Extremo	>200

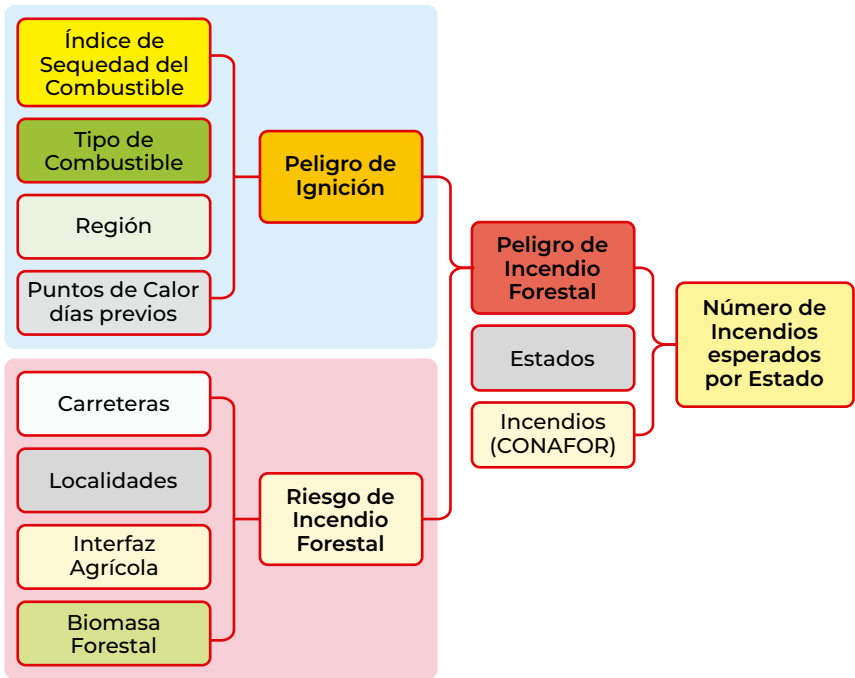
El Peligro de Incendio Forestal es una herramienta para apoyar la toma de decisiones de priorización del combate para visualizar, de todas las áreas donde existen las condiciones para la ocurrencia de una ignición, las áreas donde es más probable ocurra un incendio forestal. Tiene en cuenta la presencia de factores antrópicos (localidades, carreteras, frontera agrícola-forestal) (Monjarás-Vega *et al.*, 2019a, 2019b, 2020) así como por la presencia de biomasa forestal amenazada y disponibilidad de combustible asociada para soportar la propagación de un incendio fo-

restal (Briones-Herrera *et al.*, 2019a, Monjarás-Vega *et al.*, 2020). De esta manera, el índice indica la presencia de localidades con acceso por carretera, haciendo factible la atención del incendio, del recurso de biomasa forestal que puede verse amenazado por un incendio. El Peligro de Incendio Forestal es compatible con la evolución temporal del Peligro de Ignición, pudiendo interpretarse directamente las unidades de ambos índices en términos de densidad de puntos de calor o de densidad de incendios esperada. Es aconsejable consultar años secos y húmedos históricos de ambos índices y comparar con la situación actual.

Para la toma de decisiones de supresión de incendios, se recomienda consultar conjuntamente el Índice de Sequedad de Combustible (para conocer las condiciones de estrés hídrico de todas las áreas circundantes a una ignición o incendio activo) y el Peligro de Ignición (para conocer el riesgo de propagación esperado de los puntos de calor y tamaño potencial del conglomerado esperado). Por último, el Peligro de Incendio Forestal, permite conocer el riesgo de ocurrencia de un incendio forestal en áreas con influencia humana y presencia de biomasa forestal y combustible disponible.

4) NÚMERO DE INCENDIOS ESPERADOS POR ESTADO PARA LOS PRÓXIMOS 10 DÍAS

A partir de los índices de riesgo citados anteriormente, y considerando el número de incendios activos según los últimos datos reportados diariamente por CONAFOR, mediante una estrategia de modelización temporal similar a la empleada por Vega-Nieva *et al.* (2018a), se calcula el número de incendios esperados para los próximos 10 días para cada estado. El Diagrama a continuación ilustra el proceso.



Proceso para el cálculo del Número de Incendios esperado por estado.

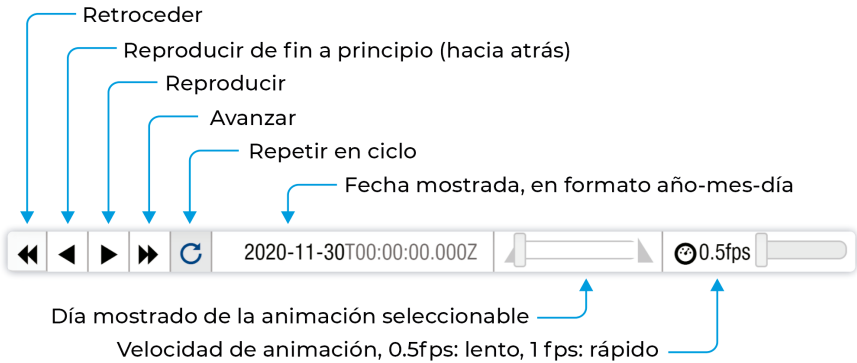
Para la clasificación del número de incendios por estado, se han considerado las categorías en los reportes anuales de CONAFOR, que establece como **Alto** para un estado >600 incendios en el total de la temporada de incendios. Asumiendo para ésta una duración de 4 meses, este umbral equivaldría a: 600 incendios dividido entre 4 meses, multiplicado por 3 periodos de 10 días, esto es igual a 50 incendios por estado por cada periodo de 10 días. Se muestran las categorías consideradas para el número esperado de incendios en la Tabla 6 a continuación.

Tabla 6. Número de incendios esperados por estado.

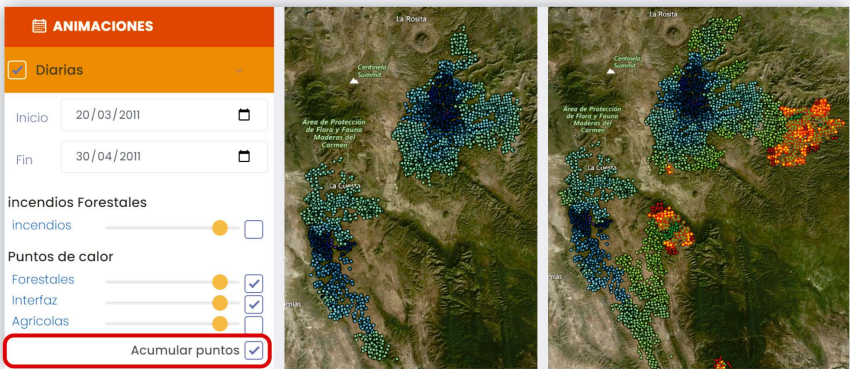
Simbología	Número de incendios esperados por estado en los próximos 10 días
Bajo	< 10
Medio	10-50
Muy alto	> 50

2. ANIMACIONES

En **Animaciones Diarias**, se pueden visualizar simultáneamente incendios, puntos de calor e índices de peligro, a intervalos diarios en el periodo seleccionado con las fechas de **Inicio** y **Fin**. Una vez cargada se muestra la barra de animaciones en la parte superior del sistema. La barra de animaciones permite retroceder, avanzar, reproducir, repetir en ciclo, seleccionar el día mostrado y la velocidad de animación, según se detalla en la siguiente imagen:



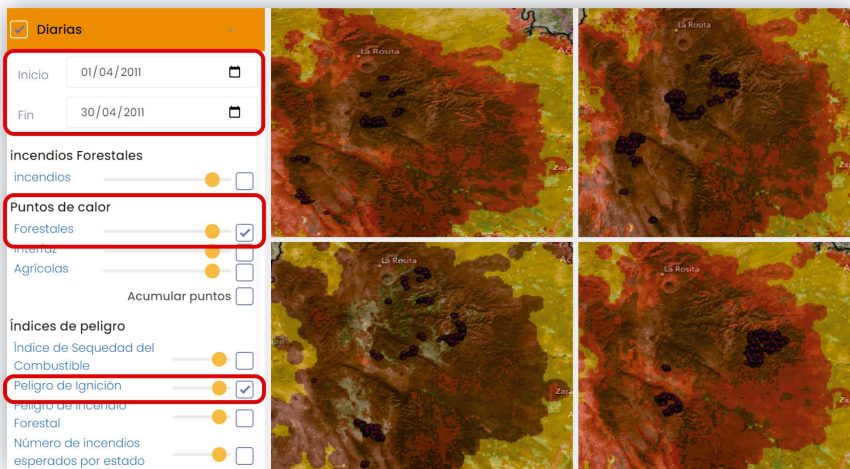
Opciones de la Barra de animaciones.



Ejemplo de animación diaria de puntos de calor en los días 20/03 a 30/04/2011 de los incendios gemelos de Coahuila, con la opción acumular puntos activada.

Activar la opción "acumular puntos" permite observar la evolución acumulada de puntos de calor, coloreados por día según la simbología mostrada en la sección de puntos de calor.

Al desactivar la opción se muestran solamente los puntos de calor de cada día. La siguiente figura muestra una animación de los puntos de calor (sin acumular) de los incendios gemelos de Coahuila en los días 01 al 30 de abril de 2011, así como el peligro de ignición diario en las fechas seleccionadas. El incendio recorrió una distancia de más de 60 km en ese periodo, al propagarse por un combustible continuo de matorral y pastizal, con condiciones de sequedad extrema, como muestra el nivel extremo y muy alto (marrón y rojo, respectivamente) del índice de Peligro de Ignición.



Animación diaria de puntos de calor (con opción acumular puntos desactivada para mostrar solamente los puntos de calor observados cada día) y peligro de ignición en los incendios gemelos de Coahuila en los días 01 al 30 de abril de 2011.

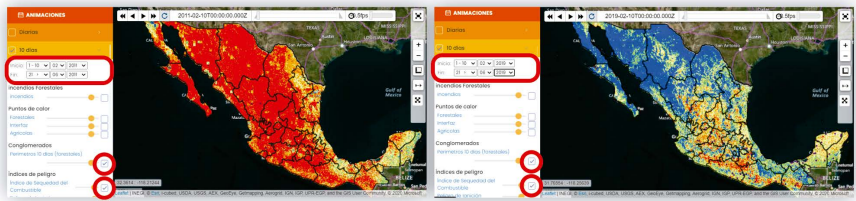
Importante: antes de iniciar un nuevo conteo, asegurarse de **actualizar la página** para poder actualizar conteos sucesivos. Para el navegador Google Chrome, la página web se actualiza pulsando **Shift+F5** (Shift+F5+Fn en algunos sistemas).

Animaciones de 10 días

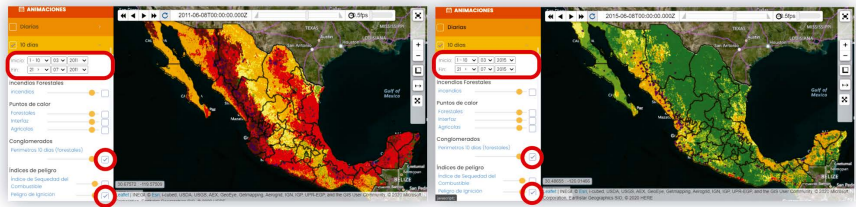
Las animaciones de 10 días permiten visualizar, además de los incendios e índices de peligro, los perímetros de conglomerados de puntos de calor de 10 días. Este tipo de animaciones son muy útiles para visualizar rápidamente la evolución de índices de peligro a niveles nacional, regional y local, frente a incendios y conglomerados, permitiendo monitorear

rápidamente la evolución del peligro en el año en curso, y compararlo con la evolución en años de referencia secos (e.g. 2011, 2012) y húmedos (e.g. 2014, 2015). Además de comparar años y familiarizarse con la evolución estacional de los índices de peligro y actividad de conglomerados e incendios, las animaciones de 10 días permiten encontrar periodos de interés que pueden ser desglosados diariamente en las animaciones. Se pueden ver ejemplos de su aplicación para analizar las condiciones de peligro y ocurrencia de incendios en años de condiciones de sequedad extrema (Por ejemplo, años de fenómenos Niño/Niña) en la sección **Videos->Talleres->Ejercicios del Taller** del sistema.

Las figuras a continuación muestran animaciones de años de condiciones contrastadas: 2011, año de sequedad extrema influenciado por el fenómeno de La Niña y los años 2019 y 2015, con mayores condiciones de humedad del combustible.

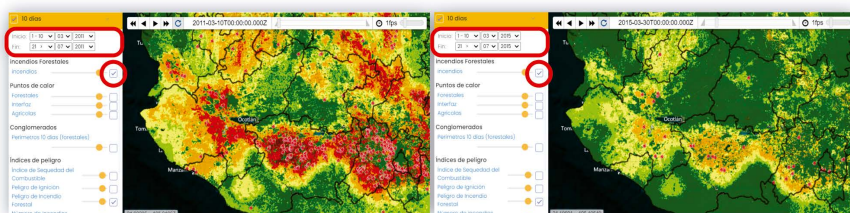


Ejemplo de animaciones de 10 días del Índice de Sequedad del Combustible en el periodo febrero a junio de 2011 y 2019. La captura muestra el índice de sequedad de combustible de la primera semana del mes de febrero para 2011 (izquierda) y 2019 (derecha). El rojo representa combustible seco, azul combustible húmedo.



Ejemplo de animaciones de 10 días del Peligro de Ignición en el periodo marzo a julio de 2011 y 2015. La captura muestra el índice de sequedad de combustible de la primera semana del mes de junio para 2011 (izquierda) y 2015 (derecha). Los perímetros de conglomerados de 10 días se muestran en violeta. Se observan niveles extremos y muy altos (marrón y rojo) de Peligro de ignición en el mes de junio del año 2011.

El usuario puede hacer zoom en el área de interés para las animaciones. El ejemplo siguiente muestra un detalle de animaciones de peligro de incendio forestal e incendios forestales combatidos para una área de interés en los estados de Jalisco, Michoacán y México en los años 2011 y 2015.



Ejemplo de animaciones de 10 días del Peligro de Incendio Forestal e incendios forestales combatidos por CONAFOR en el periodo marzo a julio de 2011 y 2015. La captura muestra el Peligro de Incendio Forestal en el mes de marzo para 2011 (izquierda) y 2015 (derecha). Los incendios combatidos se muestran como flamas de color rojo. Se puede observar un número más elevado de combates en el año 2011, especialmente en las áreas de mayor peligro de incendio forestal (en rojo).

Herramienta de **medición** de distancias y áreas.

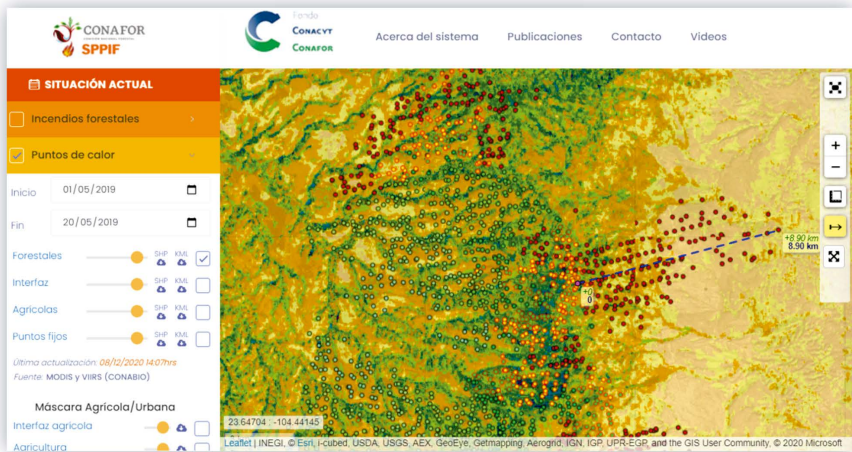
La herramienta de medición, permite medir distancias sobre el mapa desplegado.

Para activarla, hacer clic sobre el icono , situado en la derecha de la página.

La herramienta permite medir distancias con un clic. Se pueden medir distancias acumuladas realizando varios clics consecutivos, mostrando la distancia de cada tramo en color verde y en negro la distancia total acumulada. Se puede borrar el último punto dibujado, presionando **SHIFT+ clic izquierdo** y para desactivar la herramienta, presionar el botón de **ESC**.



Ejemplo de medición de distancias en un incendio en ecosistema de tular en Quintana Roo, agosto de 2020. Al hacer clics sucesivos, se pueden medir distancias del avance diario de puntos de calor, coloreados por día de observación según se muestra en la simbología a la derecha. Se muestra la distancia diaria de avance del frente en color verde, y la distancia total acumulada en los dos días consultados, en negro.



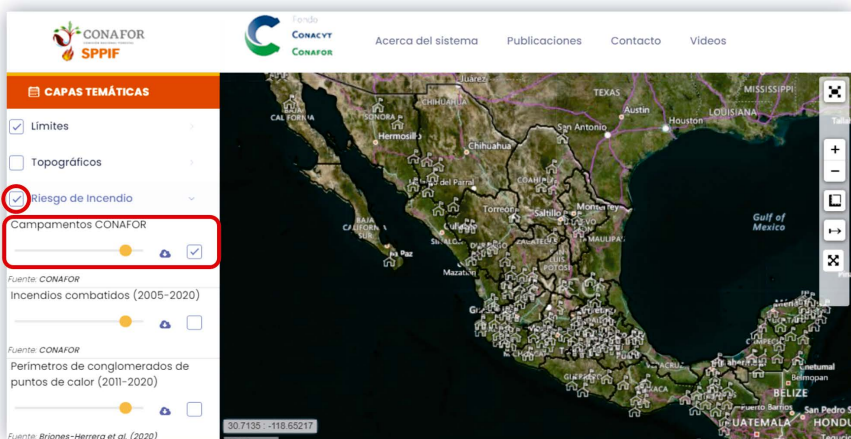
Ejemplo de consulta de distancia de avance del incendio de Santiago de Bayacora, Durango (2019). El incendio registró un avance diario de más de 8 km en un área de pastos y matorral con alta sequedad del combustible. Se muestra el mapa de biomasa total forestal en el fondo, apreciándose un incremento de velocidad al llegar a la zona de combustible de pastos y matorral (en rosa, amarillo y naranja en el mapa de biomasa).

3. CAPAS TEMÁTICAS

La sección de capas temáticas muestra las capas fijas de Límites, Topográficos, Riesgo de Incendio, Combustibles y Vegetación y Capas base. Los mapas de Riesgo de incendio y Combustibles permiten apoyar en las labores de planeación estratégica de manejo del fuego, incluyendo las acciones de prevención, tales como quemas prescritas, manejo de combustibles, así como en la priorización estratégica de la ubicación de recursos para las labores de supresión. Se detallan a continuación los mapas incluidas en las secciones de Riesgo de Incendio y Combustibles.

3.1. Riesgo de Incendio

3.1.1. Campamentos CONAFOR: contiene los campamentos de incendios de la CONAFOR.



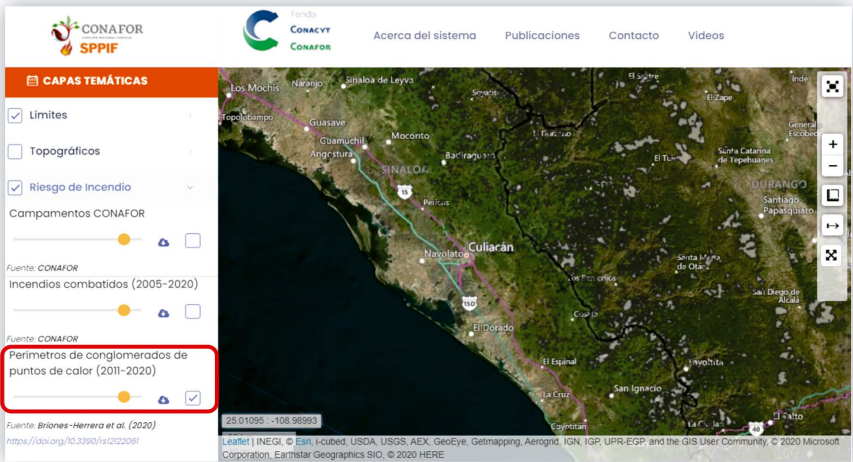
Campamentos de incendios de CONAFOR. Fuente: CONAFOR.

3.1.2. Incendios combatidos (2005-2020): contiene todos los registros históricos de los incendios forestales liquidados, con una simbología única. Para consultar los incendios de manera específica por año, se puede emplear la sección Incendios-Históricos, descrita en la sección 1.1.



Incendios forestales combatidos entre 2005 y 2020. Fuente: CONAFOR.

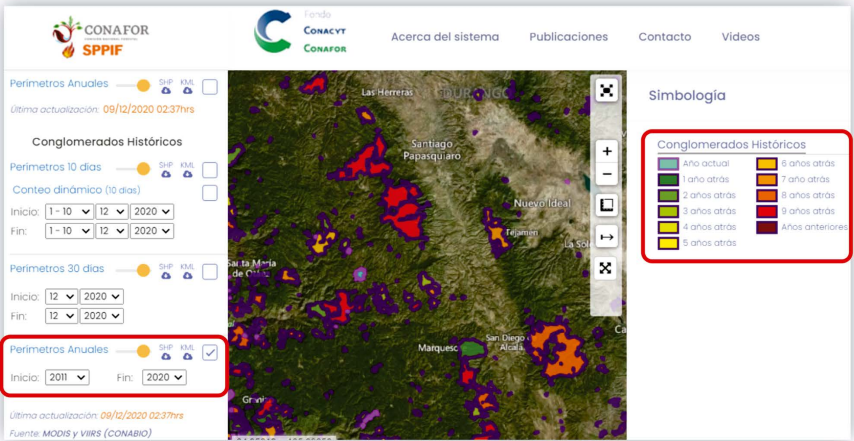
3.1.3. Perímetros de conglomerados de puntos de calor (2011-2020): muestra en color gris todos los perímetros de conglomerados de puntos de calor MODIS y VIIRS en el periodo 2011-2020, según la metodología de Briones-Herrera et al. (2020).



Perímetros de conglomerados de puntos de calor de 2011 a 2020. Fuente: Briones-Herrera et al. (2020).

Para mostrar los perímetros coloreados por año, se pueden realizar consultas en la sección de **Conglomerados-Conglomerados Históricos-Perímetros Anuales**. La consulta del año de ocurrencia del incendio permite apoyar la planeación del manejo de combustibles, al considerar las áreas

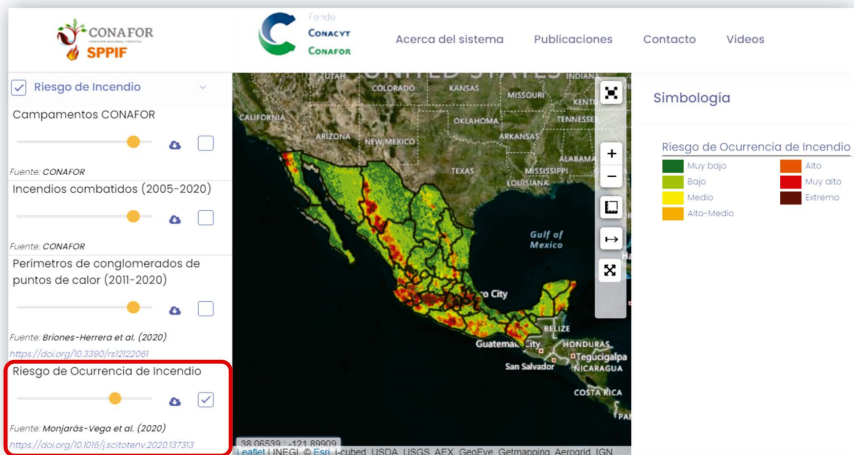
que han sufrido reducción de la carga de combustibles por incendios recientes (mostrados en azul y verde), así como aquellas áreas que no han sufrido incendios en los últimos 9-10 años (mostrados en rojo y marrón, respectivamente). Se pueden consultar ejemplos de la aplicación operacional de los conglomerados históricos para la planeación del manejo de combustibles en la sección **Videos-Talleres**.



Ejemplo de consulta de conglomerados históricos de puntos de calor anuales en el periodo 2011-2020 en la sección Conglomerados-Conglomerados Históricos-Perímetros Anuales. Inicio: 2011, Fin: 2020. La simbología a la derecha muestra el año del conglomerado, con el año actual (2020) en azul y los incendios de hace más de 5 años en amarillo a rojo y marrón, según la fecha de ocurrencia del incendio.

3.1.4. Riesgo de Ocurrencia de Incendio

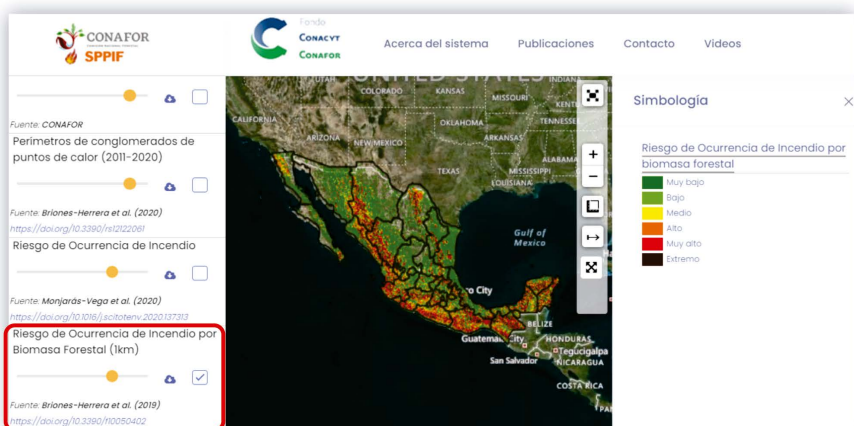
El mapa de **Riesgo de Ocurrencia de Incendio** integra el papel de los factores humanos causantes de incendios, incluyendo además la interfaz agrícola-forestal, y el riesgo de ocurrencia por biomasa forestal, en un mapa que señala las áreas con mayor riesgo de ocurrencia de incendio forestal (Monjarás-Vega *et al.*, 2020). El mapa permite apoyar a la planeación del manejo del fuego a nivel nacional y local, señalando las áreas en las que se espera una mayor frecuencia de incendios forestales. Ejemplos de su aplicación incluyen la definición de áreas prioritarias de incendios forestales, teniendo en cuenta las áreas de mayor riesgo de ocurrencia, para la asignación estratégica por municipio de recursos de supresión de incendios al inicio de la temporada (CONAFOR, 2020a).



Riesgo de Ocurrencia de Incendio. Fuente: Monjarás-Vega et al. (2020).

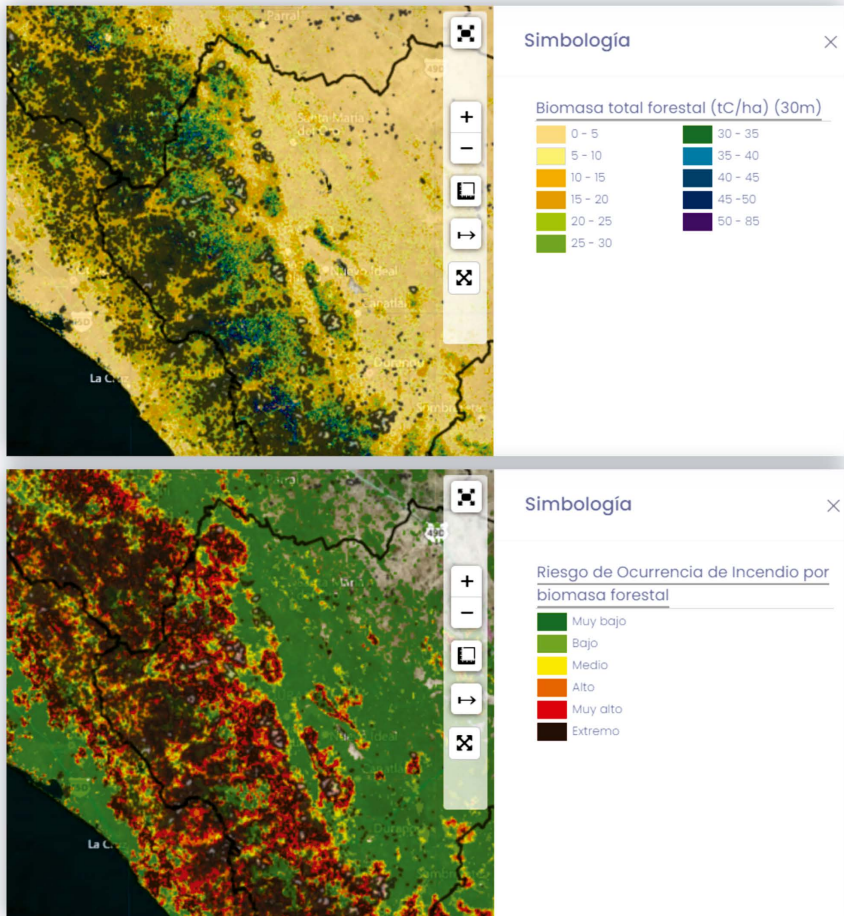
3.1.5. Riesgo de ocurrencia de incendio por biomasa forestal

Este mapa muestra el Riesgo de ocurrencia de incendio por biomasa forestal (Briones-Herrera et al., 2019a) para el apoyo a la planeación del manejo del combustibles a niveles regional (1 km) y local (30 m). El mapa estima la frecuencia esperada de incendios para cada tipo de vegetación y región del país con base en los niveles de biomasa total forestal (Cartus et al. 2014), siendo esta biomasa total un indicador indirecto de la cantidad de carga de combustible disponible, y de las condiciones de peligro de incendio asociadas.



Riesgo de ocurrencia de incendio por Biomasa Forestal (1 km). Fuente: Briones-Herrera et al., (2019a).

El mapa se fundamenta en la hipótesis de la máxima ocurrencia de incendios en la productividad intermedia (e.g. Bradstock *et al.*, 2010; Pausas y Ribeiro, 2013; Kahiu y Hanan, 2017; Jardel *et al.*, 2017), según la cual la ocurrencia de incendios es más intensa en los niveles de biomasa intermedios, por la mayor disponibilidad de combustible fino, menor humedad del combustible, y mayor velocidad del viento (frente a masas más densas), en los niveles de cobertura arbolada o productividad forestal intermedia. La visualización simultánea de los perímetros de conglomerados de puntos de calor (en gris en la figura) permite corroborar que los incendios suceden mayormente en niveles de biomasa intermedia (figura superior), tal y como predice el mapa de riesgo de ocurrencia por biomasa forestal (figura inferior).

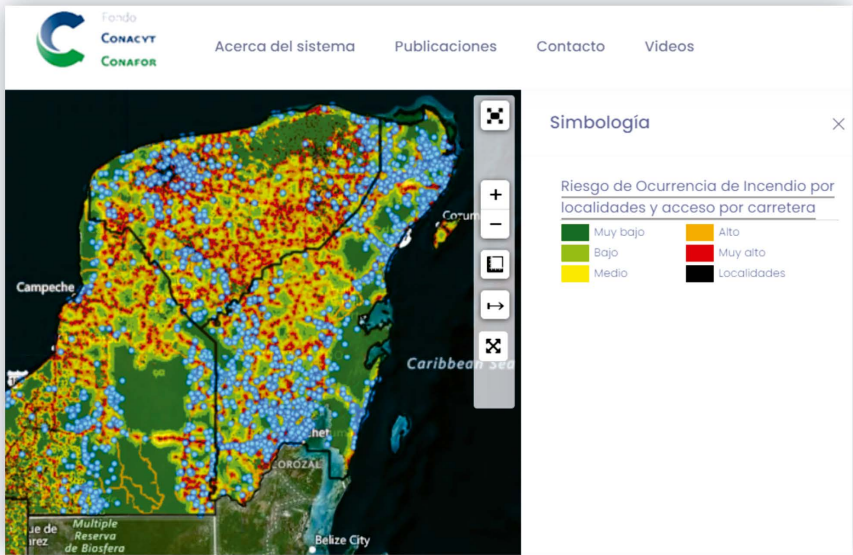


Perímetros de conglomerados de puntos de calor (2011-2020) sobre mapas de biomasa total (superior) y riesgo de ocurrencia de incendio por biomasa forestal (inferior).

En áreas de muy baja biomasa (ej. desiertos, en amarillo en la figura anterior superior) el fuego se encuentra limitado por la ausencia de combustible. La propagación de los incendios también se encuentra restringida en las áreas de mayor biomasa total (en azul en figura anterior superior). La mayor cobertura arbolada de estas áreas condiciona la acumulación de pastos y matorrales, así como la penetración del viento, manteniendo una mayor humedad y resultando, por ende, en un riesgo menor de ocurrencia de incendio (en verde en figura inferior), tal y como corrobora la ausencia tanto de registros de supresión de incendio como de perímetros de conglomerados en estas áreas. Se detalla la interpretación del mapa de riesgo de ocurrencia por biomasa, y su uso para la planeación del manejo de combustibles, en la sección **Videos-Talleres** del sistema.

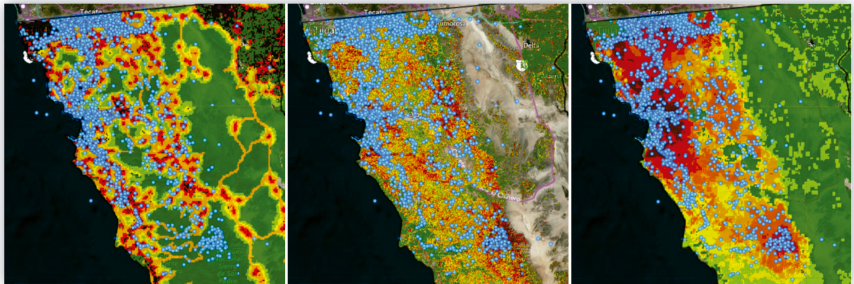
3.1.6. Riesgo de ocurrencia de incendio por localidades y carreteras

El mapa de **Riesgo de ocurrencia de incendio por localidades y carreteras** permite tener en cuenta el mayor riesgo de ocurrencia en áreas de influencia humana (localidades con acceso por carretera), así como la presencia de localidades que se puedan ver afectadas por el incendio, y la presencia o ausencia de caminos que permitan el acceso para los trabajos de combate del incendio (Monjarás-Vega *et al.*, 2019a, 2019b).



Riesgo de ocurrencia de incendio por localidades y carreteras en la península de Yucatán. Los registros de incendio de CONAFOR 2005-2020 se muestran en azul.

La figura a continuación muestra un detalle de los tres mapas de riesgo de ocurrencia de incendio para el área de Baja California, y los registros de incendios de CONAFOR en el periodo 2005-2020 (mostrados en azul), también disponibles para su visualización en la sección de Capas Temáticas. Se puede observar un papel importante de la presencia de localidades y acceso por carretera en la figura izquierda (**riesgo de ocurrencia de incendio por carreteras y localidades**). No obstante, cabe destacar que algunas áreas sin acceso, como la sierra de San Pedro Mártir en el sur del área mostrada, también cuentan con numerosos registros de incendios (mostrados en azul). Esta área se encuentra mapeada como de alto riesgo de ocurrencia en el mapa de **riesgo de ocurrencia de incendio por biomasa forestal** (figura del medio), el cual de manera aislada no captura la mayor ocurrencia de incendios en el entorno de localidades, principalmente en el norte y noroeste de la península. Por último, el mapa de **riesgo de ocurrencia de incendio forestal** (tercer panel a la derecha) muestra las áreas con mayor riesgo de ocurrencia de incendio, considerando tanto factores humanos como biomasa disponible.



Riesgo de ocurrencia de incendio por carreteras y localidades

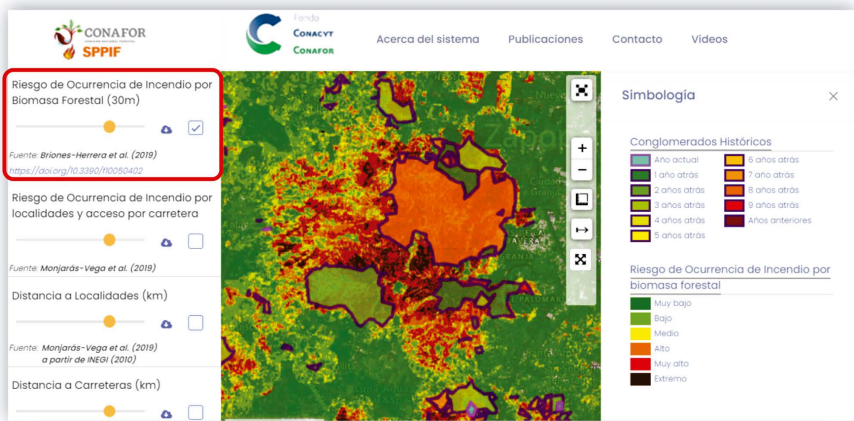
Riesgo de ocurrencia de incendio por biomasa forestal

Riesgo de ocurrencia de incendio forestal

Mapas de riesgo de ocurrencia por carreteras y localidades (izquierda), riesgo de ocurrencia de incendio por biomasa forestal (medio) y de riesgo ocurrencia de incendio forestal, integrando factores humanos y biomasa (derecha) para Baja California.

3.1.7. Aplicación de los mapas de riesgo, perímetros históricos de conglomerados y mapas de combustibles para la planeación de manejo de combustibles

Se muestra a continuación un ejemplo de la visualización de los perímetros quemados de los conglomerados en el periodo de 2011-2020 (mostrados sobre el mapa de riesgo de ocurrencia por biomasa a 30 m), lo que permite saber los lugares en los que presumiblemente la carga de combustibles se ha visto reducida por incendios recientes. Asimismo, permite visualizar la presencia de las áreas no quemadas recientemente (no cubiertas por la capa de perímetros históricos), donde es posible una acumulación de cargas más elevada, representando áreas con riesgo de incendios más intensos bajo condiciones meteorológicas adversas.



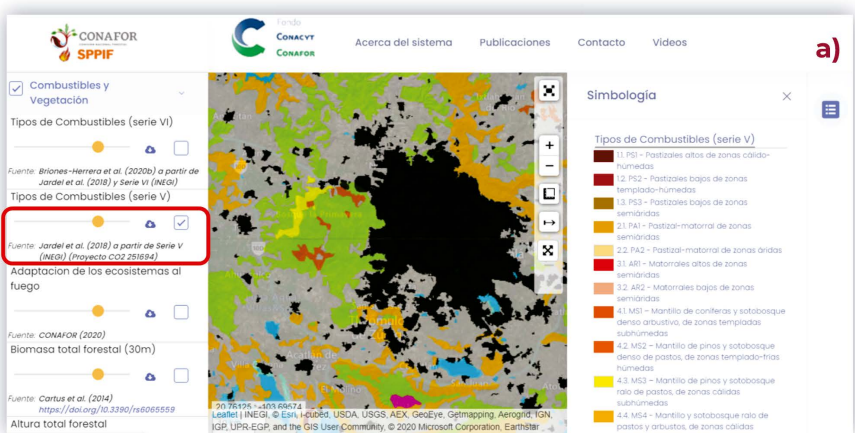
Detalle de riesgo de ocurrencia de incendio (30 m) (verde a rojo) y perímetros históricos de conglomerados de puntos de calor (2011-2020) (en verde, incendios recientes, en naranja, incendios de mayor antigüedad -2012 en el ejemplo-) del bosque de la primavera. La visualización de áreas recientemente quemadas en los perímetros de los conglomerados (con carga de combustibles presumiblemente reducida por los incendios pasados) permite centrar la planeación del manejo de combustibles en las áreas en las que se espera una mayor acumulación de los mismos.

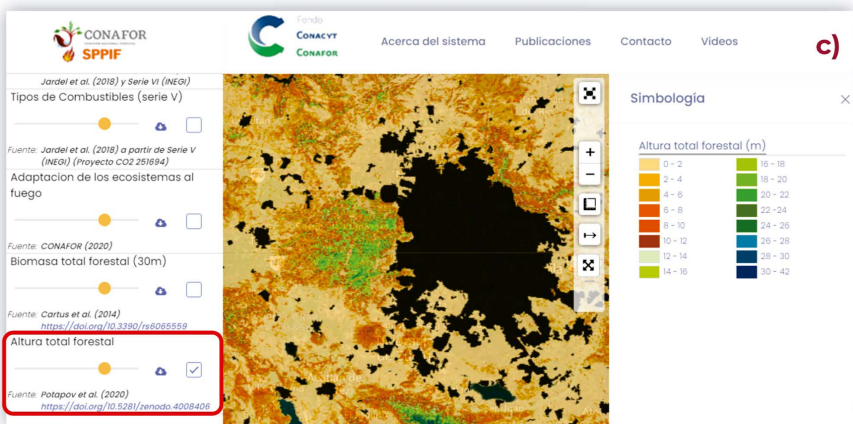
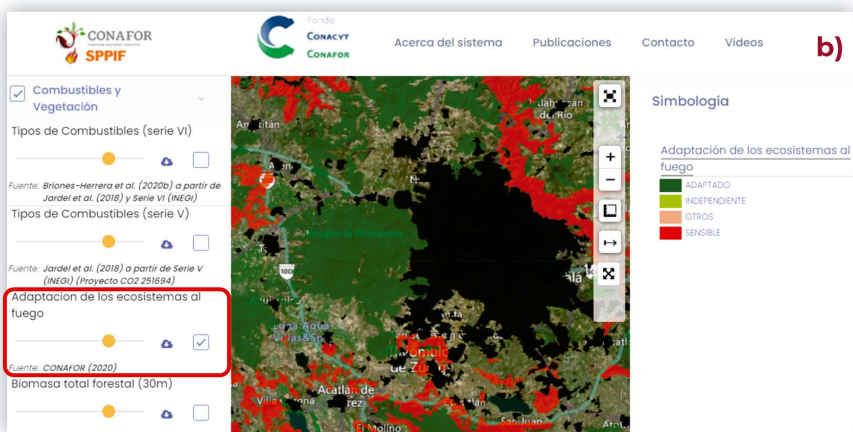
Los tomadores de decisiones de manejo del fuego de CONAFOR y otros agentes de manejo del fuego en el país han iniciado el uso de los mapas de riesgo de ocurrencia de incendio, riesgo de ocurrencia por biomasa forestal, y los perímetros históricos de conglomerados de puntos de calor para la planeación estratégica de las acciones de manejo de combustibles en el país (Robles-Gutierrez, 2020). Se pueden consultar ejemplos

de su aplicación para la planeación de la ubicación de quemas prescritas y otras actividades de prevención de incendios por los centros estatales, regionales y nacional de manejo del fuego, entre otros agentes de manejo del fuego en el país, en los talleres en la sección de **Videos** del sistema.

3.2. Combustibles y Vegetación

Dentro de las áreas en las que se espera un mayor riesgo de ocurrencia de incendio, según los mapas de riesgo de ocurrencia de incendio (mayor frecuencia de incendios esperada) y riesgo de ocurrencia de incendios por biomasa forestal (mayor disponibilidad de combustibles esperada), se puede consultar la información adicional incluida en la sección de combustibles en las capas de **tipo de combustible** (Jardel *et al.*, 2017), **adaptación de los ecosistemas al fuego** (CONAFOR, 2020b) y **altura total forestal** (m) (Potapov *et al.*, (2020), para tener en cuenta la susceptibilidad o adaptación de los ecosistemas al fuego, permitiendo centrar las planeación de las actuaciones de manejo de combustibles mediante quemas prescritas en las áreas de ecosistemas mantenidos por el fuego, y las alturas que contribuyan a garantizar la supervivencia del arbolado luego de la quema prescrita (e.g. Rodríguez-Trejo *et al.*, 2007, 2019; Roles-Gutiérrez *et al.*, 2015).



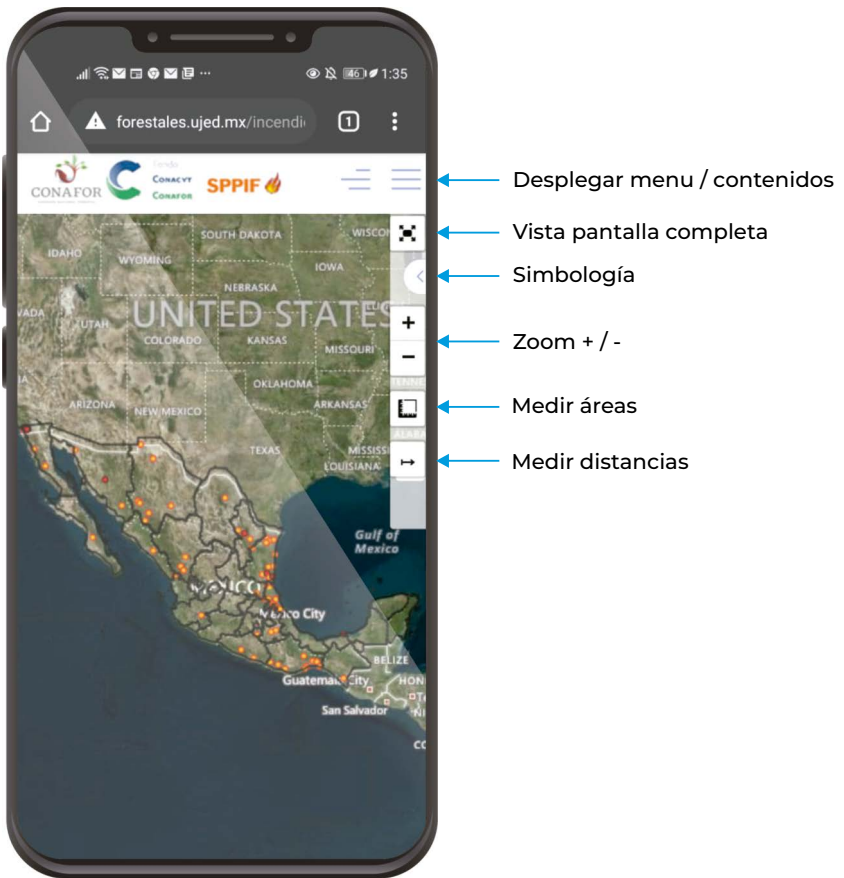


Mapas de tipo de combustible (Jardel et al., 2017) (a), adaptación de los ecosistemas al fuego (CONAFOR, 2020b) (b), altura total forestal (m) (Potapov et al., 2020) (c), disponibles en la sección Combustibles y Vegetación del sistema de peligro para apoyar la planeación a nivel local del manejo de combustibles.


4. USO DEL SISTEMA EN DISPOSITIVOS MÓVILES (CELULARES)

El sistema se encuentra totalmente operacional para su acceso en dispositivos móviles (tablets, celulares, etc.), accediendo al vínculo del mismo: <http://forestales.ujed.mx/incendios2>


Se describen a continuación la función de cada icono en la versión en celular del sistema:





Visualización del sistema de peligro en dispositivos móviles (celulares).




Para desplegar el menú dar clic en el icono  en la parte superior:



El icono  en la esquina superior derecha despliega las **secciones** de la página.

Para activar la vista de **pantalla completa**, usar el icono 

Para desplegar la **simbología**, hacer clic en  y a continuación en 

Para hacer **zoom**, emplear los botones:   

El usuario puede desplazarse, acercar o alejarse por la página mediante la pantalla táctil.

5. APLICACIÓN DE LOS ÍNDICES DE PELIGRO PARA EL APOYO A LA TOMA DE DECISIONES DE MANEJO DEL FUEGO

El Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales ofrece apoyo a la toma de decisiones para el manejo del fuego, brindando información que ayuda a responder a las siguientes preguntas operacionales en el combate y la prevención de incendios forestales:

1) Evolución de la sequedad del combustible:

¿Dónde ha llovido recientemente o lloverá?; ¿dónde está seco el combustible?

-> *Índice de Sequedad del Combustible.*

2) Número esperado de conglomerados e incendios:

¿Cuántos conglomerados de puntos de calor se esperan hoy y en los próximos días en cada región del país?

-> *Peligro de Ignición*

¿Y cuántos incendios forestales se esperan en cada región del país?

-> *Peligro de Incendio Forestal*

¿Y cuántos incendios se esperan por estado en los próximos 10 días?

-> *Número de incendios esperados por estado para los próximos 10 días.*

3) Localización esperada de conglomerados e incendios:

¿Dónde se espera que ocurran más conglomerados de puntos de calor por las condiciones de sequedad del combustible y tipo de combustible?

-> *Peligro de Ignición*

¿Dónde se esperan más incendios forestales por la sequedad del combustible, factores humanos y biomasa forestal?

-> *Peligro de Incendio Forestal*

4) Supresión de incendios

¿Dónde se espera mayor potencial de propagación de igniciones por la sequedad del combustible?

-> *Índice de Sequedad del Combustible y Peligro de Ignición*

De todas las zonas con Peligro de Ignición, ¿dónde se espera mayor ocurrencia de incendios forestales?

-> *Peligro de Incendio Forestal*

El siguiente diagrama ilustra el o los índices que ofrecen información para responder alguna de esas preguntas para el manejo de fuego.

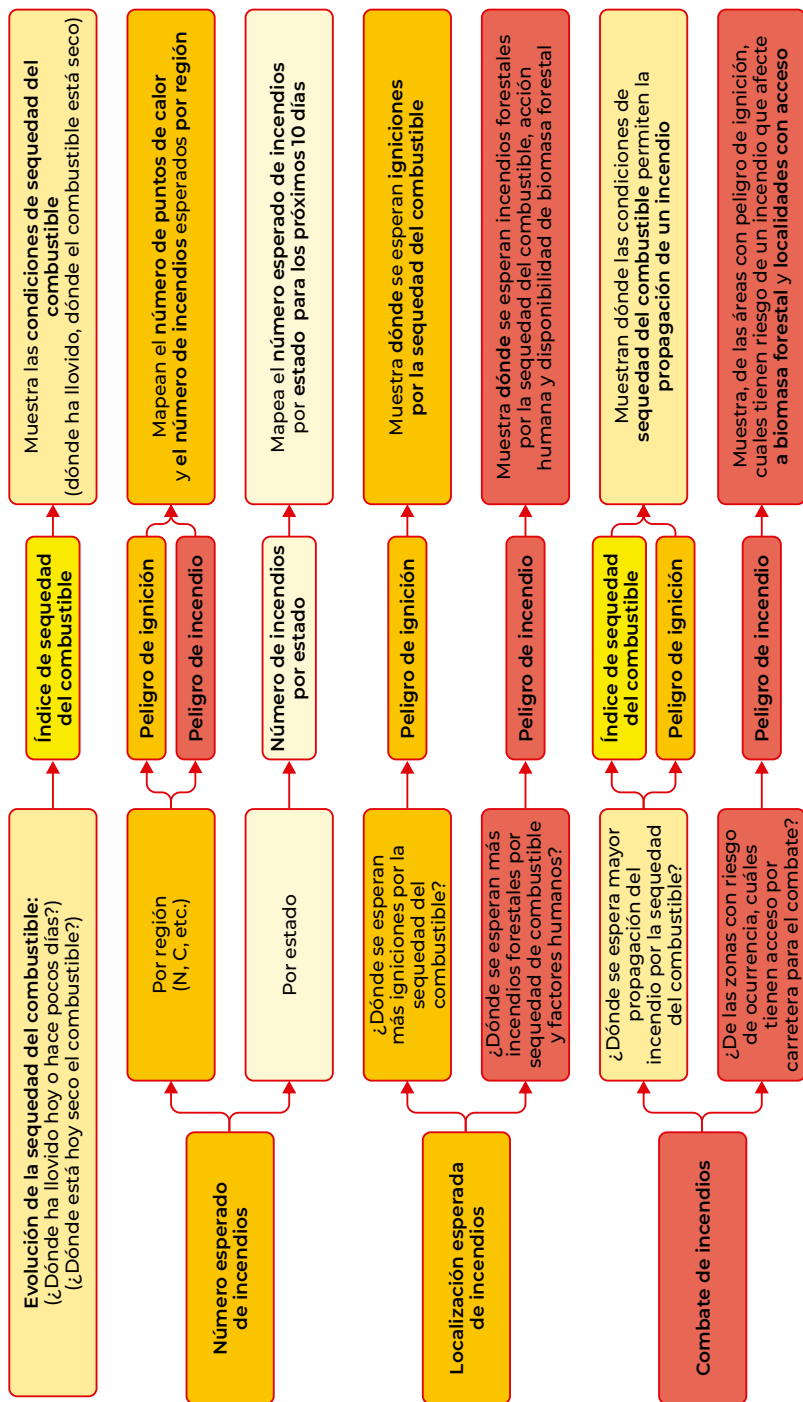


Diagrama del uso operacional de los índices de peligro de incendio para el apoyo a la toma de decisiones de manejo del fuego.

CONCLUSIONES

El Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales para México, desarrollado en el proyecto CONACYT-CONAFOR 2014-2-252620, y reforzado en el proyecto CONACYT-CONAFOR 2018-2 -B-S-131553, es una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para la prevención y el combate de incendios en México. Se encuentra disponible en:

<http://forestales.ujed.mx/incendios2>

El sistema apoya el monitoreo y planificación operacional del manejo del fuego, mostrando información en tiempo casi real de incendios forestales combatidos, puntos de calor y perímetros de conglomerados de puntos de calor, para apoyar la toma de decisiones de presupresión, prevención y supresión de incendios forestales en México. El sistema permite evaluar en tiempo casi real las condiciones de sequedad del combustible y el riesgo y Peligro de incendio esperado. Integra variables meteorológicas en tiempo real, mapas de combustibles y factores humanos para mostrar diariamente las condiciones meteorológicas de sequedad de los combustibles, Peligro de ignición y de incendio, y número de incendios esperados. En la sección de índices de Peligro, diariamente se muestra la siguiente información:

- 1. Índice de sequedad del combustible.
- 2. Peligro de ignición.
- 3. Peligro de incendio forestal.
- 4. Número esperado de incendios por estado.

Los índices de Peligro del sistema ofrecen apoyo a la toma de decisiones para el manejo del fuego, brindando información que ayuda a responder a las siguientes preguntas operacionales en el combate y la prevención de incendios:

1) Evolución de la sequedad del combustible:

Índice de Sequedad del Combustible.

2) Número esperado de conglomerados e incendios forestales:

Por región-> Peligro de Ignición y Peligro de Incendio.

Por estado -> Número de incendios esperados por estado estado para los próximos 10 días.

3) Localización esperada de conglomerados e incendios forestales:

Peligro de Ignición y Peligro de Incendio.

4) Combate de incendios:

Índice de Sequedad del Combustible, Peligro de Ignición y Peligro de Incendio.

El presente documento resume las herramientas de mapeado de incendios, puntos de calor, conglomerados e índices de Peligro disponibles en tiempo casi real en el sistema, y su uso para el apoyo a la toma de decisiones de manejo del fuego. Se pueden encontrar ejercicios de aplicación práctica del sistema en la sección de **Videos** del sistema, que contiene video-tutoriales del uso de cada componente del sistema en la sección **Videos->Entrenamiento**, así como vídeos de los talleres de capacitación y entrenamiento en el uso operacional del sistema para el apoyo a la toma de decisiones de manejo del fuego (**Videos->Talleres y Seminarios**).

El uso operacional del sistema permitirá validar y mejorar la aplicación práctica de los índices y herramientas desarrollados para la toma de decisiones en prevención, pre-supresión y supresión de incendios forestales por los técnicos en manejo del fuego de México.

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo y reforzamiento del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México forma parte de los proyectos “Desarrollo de un Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales para México” (CONACYT-CONAFOR-2014-2-252620) y “Reforzamiento al sistema nacional de predicción de Peligro de incendios forestales de México para el pronóstico de conglomerados y área quemada” (CONACYT-CONAFOR-2018-C02-B-S131553), los cuales han sido financiados por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONACYT-CONAFOR. Se agradece a todo el personal de las Secretarías Administrativas y Técnicas del Fondo Sectorial CONACYT-CONAFOR, Gerencia de Manejo del Fuego, Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología, Unidad de Educación y Desarrollo Tecnológico y de la Coordinación General de Producción y Productividad de la CONAFOR. Se agradece asimismo al personal que ha participado en los talleres de transferencia del sistema de AEM, SADER, CNP, CONABIO, CONAGUA, SMN, CONANP y CENAPRED, por su valiosa retroalimentación para el uso operacional del sistema. Se agradece al personal de CONABIO y SMN por el suministro diario de la información satelital y metereológica del sistema.



Talleres de transferencia del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México y cursos de capacitación para analistas de incendios forestales, financiados por el Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal CONACYT-CONAFOR, organizados por la Gerencia de Desarrollo y Transferencia de Tecnología, Gerencia de Programación y Presupuestos y la Gerencia de Manejo del Fuego.

REFERENCIAS

Bradstock, R.A. 2010. A biogeographic model of fire regimes in Australia: Current and future implications. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 19, 145–158. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2009.00512.x

Briones-Herrera, C.I.; Vega-Nieva, D.J.; Monjarás-Vega, N.A.; Flores-Medina, F.; López-Serrano, P.M.; Corral-Rivas, J.J.; Carrillo-Parra, A.; Pulgarin-Gámiz, M.A.; Alvarado-Celestino, E.; González-Cabán, A.; Arellano-Pérez, S.; Álvarez-González, J.G.; Ruiz-González, A.D.; Jolly, W.M. 2019a. Modeling and mapping forest fire occurrence from aboveground carbon density in Mexico. *Forests* 10, 402. <https://doi.org/10.3390/f10050402>

Briones-Herrera, C.I.; Vega-Nieva, D.J.; Monjarás-Vega, N.A.; Lopez-Serrano, P.M.; Corral-Rivas, J.J.; Alvarado-Celestino, E.; Arellano-Pérez, S.; Álvarez-González, J.G.; Ruiz-González, A.D.; Jolly, W.M. 2019b. Mapeado del perímetro de grandes incendios a partir del interpolado de puntos de calor en México. Ponencia en extenso en: *Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales*. Durango, Noviembre 2019.

Briones-Herrera, C.I.; Vega-Nieva, D.J.; Monjarás-Vega, N.A.; Briseño-Reyes, J.; López-Serrano, P.M.; Corral-Rivas, J.J.; Alvarado-Celestino, E.; Arellano-Pérez, S.; Álvarez-González, J.G.; Ruiz González, A.D.; Jolly, W.M.; Parks, S.A. 2020. Near Real-Time automated early mapping of the perimeter of large forest fires from the aggregation of VIIRS and MODIS active fires in Mexico. *Remote Sensing*, 12(12): 2061. <https://doi.org/10.3390/rs12122061>

Briones-Herrera, C.I.; Vega-Nieva, D.J.; Monjarás-Vega, N.A.; López-Serrano, P.M.; Briseño-Reyes, J.; Corral-Rivas, J.J.; Alvarado-Celestino, E.; Arellano-Pérez, S.; Jardel-Peláez, E.J.; Pérez-Salicrup, D.; Jolly, W.M. 2021. Fuel-specific aggregation of MODIS and VIIRS active fire detections for rapid mapping of large forest fire perimeters in Mexico Forests. In Press.

Burgan, R.E.; Klaver, R.W.; Klaver, J.M. 1998. Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. *International Journal of Wildland Fire* 8(3): 159–170 <https://doi.org/10.1071/WF9980159>

Cartus, O.; Kellndorfer, J.; Walker, W.; Franco, C.; Bishop, J.; Santos, L.; Fuentes, J.M.M. 2014. A national, detailed map of forest aboveground carbon stocks in Mexico. *Remote Sensing* 6, 5559–5588.

CONABIO. 2018. Cobertura del suelo a partir de imágenes Landsat 2018. Escala 1:30. https://monitoreo.conabio.gob.mx/snmb_charts/descarga_datos_madmex.html

CONAFOR. 2020a. Mapa de Áreas prioritarias de protección contra incendios forestales.

CONAFOR. 2020b. Tipos de ecosistemas por su evolución en presencia del fuego.

Jardel Peláez, E.J.; Quintero Gradilla, S.D.; Lomelí Jiménez, A.J.; Alvarado-Celestino, E.; Pérez-Salicrup, D.; Rodríguez Gómez, J.M.; Morfín Ríos, J.; Michel Fuentes, J.M.; Castillo Navarro, F.; Graf Pérez, D. Herrera Palacios, I.; Aguirre López, G.; Martínez-Torres, H.L.; Garduño Mendoza, E.; Ortíz Mendoza, R.; Ocegüera-Salazar, K.A. 2017. Catálogo de camas de combustibles forestales para México y potencial de incendios asociado. *Reporte del Proyecto CONAFOR-CONACYT 2014- CO2-251694: "Caracterización y clasificación de combustibles para generar y validar modelos de combustibles forestales para México"*.

Kahiu, M.N.; Hanan, N.P., 2017. Fire in sub-Saharan Africa: The fuel, cure and connectivity hypothesis. *Global Ecology and Biogeography* 1–12. <https://doi.org/10.1111/geb.12753>

Monjarás-Vega, N.A.; Vega-Nieva, D.J.; Briones-Herrera, C.I.; Flores-Medina, F.; Corral-Rivas, J.J.; Pompa-García, M.; Calleros-Flores, E.; López-Serrano, P.M.; Alvarado-Celestino, E.; Jolly, W.M. 2019a. Modeling and mapping fire risk from human factors in Mexico. En: *Proceedings for the 6th International Fire Behavior and Fuels Conference*. April 29 – May 3, 2019, Albuquerque, New Mexico USA. <http://albuquerque.firebehaviorandfuelsconference.com/wp-content/uploads/sites/13/2019/04/Daniel-Vega-Nieva-ABQ.pdf>

Monjarás-Vega, N.A.; Vega-Nieva, D.J.; Briones-Herrera, C.I.; Corral-Rivas, J.J.; Pompa-García, M.; Calleros-Flores, E.; López-Serrano, P.M.; Alvarado-Celestino, E.; Jolly, W.M. 2019b. Mapeado del riesgo de incendio a partir de factores humanos por región en México. En: *Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales*. Durango, Noviembre 2019.

Monjarás-Vega, N.A.; Briones-Herrera, C.I.; Vega-Nieva, D.J.; Calleros-Flores, E.; Corral-Rivas, J.J.; López-Serrano, P.M.; Pompa-García, M.; Rodríguez-Trejo, D.A.; Carrillo-Parra, A.; González-Cabán, A.; Alvarado-Celestino, E.; Jolly, W.M. 2020. Predicting forest fire kernel density at multiple scales with geographically weighted regression in Mexico. *Science of Total Environment*. 718, 137313. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137313>

Pausas, J.G.; Ribeiro, E. 2013. The global fire–productivity relationship. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 22, 728–736. DOI: 10.1111/geb.12043

Potapov, P.; Li, X.; Hernandez-Serna, A.; Tyukavina, A.; Hansen, M.C.; Kommareddy, A.; Pickens, A.; Turubanova, S.; Tang, H.; Silva, C.E.; Armston, J.; Dubayah, R.; Bryan Blair, J.; Michelle Hofton, M. 2020. Mapping global forest canopy height through integration of GEDI and Landsat data. *Remote Sensing of Environment* 112165. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112165>

Robles-Gutiérrez, C.A. 2020. Aplicación del Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México en la toma de decisiones. Ponencia oral en: Remote Sensing Early Warning Systems: Virtual Wildfire Workshop. Ed. CEC (CCA). 6-8 October 2020. http://forestales.ujed.mx/incendios2/php/publicaciones_documentos/Robles_20_Wildfire_Workshop_Panel_3_Application_SPPIF.pdf

Robles-Gutiérrez, C.A.; Velázquez-Martínez, A.; Rodríguez-Trejo, D.A.; Reyes-Hernández, V.J.; Etchevers- Barra, J.E. 2015. Probability of mortality by fire damage of young *Pinus hartwegii* Lindl. trees in the Izta-Popo National Park. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 22: 165-178. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.08.034>

Rodríguez-Trejo, D.A.; Castro-Solis, U.B.; Zepeda- Bautista, M., Carr, R.J. 2007. First year survival of *Pinus hartwegii* following prescribed burns at different intensities and different seasons in central Mexico. *International Journal of Wildland Fire* 16: 54-62. doi: 10.1071/WF05061

Rodríguez-Trejo, D. A. 2014. Incendios de vegetación. Su ecología, manejo e historia. Vol. 1. México: Ed. Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo.

Rodríguez-Trejo, D. A. 2015. Incendios de vegetación. Su ecología, manejo e historia. Vol. 2. México: Colegio de Postgraduados, Universidad Autónoma Chapingo, SEMARNAT, CONAFOR, CONANP.

Rodríguez-Trejo, D.A., Muñoz, P.M.; Martínez Lara, P.J. 2019. Fire effects on the trees of a tropical pine forest and a tropical dry forest at Villaflores, Chiapas, Mexico. *Ciência Florestal* 29, 3, 1033-1047. <https://doi.org/10.5902/1980509833952>

Vega-Nieva, D.J.; Nava-Miranda, M.G.; López Serrano, P.M.; Briseño-Reyes, J.; López-Sánchez, C.; Corral-Rivas, J.J.; Cruz-Lopez, M.I.; Ressler, R.; Cuahtle, M.; Alvarado, E.; González-Cabán, A.; Álvarez-González, J.G.; Ruiz-González, A.D.; Burgan, R.E.; Preisler, H.K. 2018a. Developing Models to Predict the Number of Fire Hotspots from an Accumulated Fuel Dryness Index by Vegetation Type and Region in Mexico. *Forests* 9, 190. <https://doi.org/10.3390/f9040190>

Vega-Nieva, D.J.; Briseño-Reyes, J.; Monjarás-Vega, N.A.; Briones-Herrera, C.I.; Nava-Miranda, M.G.; Calleros-Flores, E.; Flores-Medina, F.; López-Serrano, P.M.; Corral-Rivas, J.J.; Cruz-Lopez, M.I.; Ressler, R.; Cuahtle, M.; Alvarado-Celestino, E.; González-Cabán, A.; Setzer, A.; Morelli, F.; Pérez-Salicrup, D.; Jardel Peláez, E.J.; Cortés, C.; Jiménez, E. 2018b. El Sistema de Predicción de Peligro de incendios forestales para Mexico. Ponencia Oral en: Expo Forestal 2018. Ed. CONAFOR. Guadalajara, Noviembre 2018. http://forestales.ujed.mx/incendios/incendios/pdf/Vega18_SistemaPeligro_ExpoGuadalajara_11Oct2018.pdf

Vega-Nieva, D.J.; Nava-Miranda, M.G.; Calleros-Flores, E.; López Serrano, P.M.; Briseño-Reyes, J.; López-Sánchez, C.; Corral-Rivas, J.J.; Montiel-Antuna, E.; Cruz-Lopez, M.I.; Ressler, R.; Cuahtle, M.; Alvarado-Celestino, E.; González-Cabán, A.; Pérez-Salicrup, D.; Jardel Peláez, E.J.; Cortés, C.; Jiménez, E.; Arellano-Pérez, S.; Álvarez-González, J.G.; Ruiz-González, A.D. 2019a. Temporal patterns of active fire density and its relationship with a satellite fuel greenness index by vegetation type and region in Mexico during 2003–2014. *Fire Ecology* 15, 1–19. <https://link.springer.com/article/10.1186/s42408-019-0042-z>

Vega-Nieva, D.J.; Nava-Miranda, M.G.; Calleros-Flores, E.; López Serrano, P.M.; Briseño-Reyes, J.; López-Sánchez, C.; Corral-Rivas, J.J.; González-Cabán, A.; Alvarado-Celestino, E.; Cruz-Lopez, M.I.; Ressler, R.; Setzer, A.; Morelli, F.; Pérez-Salicrup, D.; Jardel Peláez, E.J.; Cortés, C.; Vega, J.A.; Jiménez, E. 2019b. Developing a Forest Fire Danger System for Mexico. Proceedings of the Fifth International Symposium on Fire Economics, Planning, and Policy: Ecosystem Services and Wildfires. *US Forest Service General Technical Report PSW-GTR-261*. https://www.fs.fed.us/psw/publications/documents/psw_gtr261en/psw_gtr261.pdf

Vega-Nieva, D.J.; Briseño-Reyes, J.; Monjarás-Vega, N.A.; Briones-Herrera, C.I.; Flores-Medina, F.; Corral-Rivas, J.J.; Nava-Miranda, M.G.; Calleros-Flores, E.; López Serrano, P.M.; Cruz-Lopez, M.I.; Cuahtle, M.; Ressler, R.; Alvarado-Celestino, E.; González-Cabán, A.; Preisler, H.K.; Burgan, R.E.; Jolly, W.M.; Setzer, A.; Morelli, F.; Pérez-Salicrup, D.; Jardel Peláez, E.J.; Jiménez, E.; Arellano-Pérez, S.; Álvarez-González, J.G.; Ruiz-González, A.D. 2019c. The Forest Fire Danger Prediction System of Mexico. Ponencia en extenso en: *Proceedings of the 6th International Fire Behavior and Fuels Conference*, Albuquerque, NM, USA, 29 April–3 May 2019; International Association of Wildland Fire: Missoula, MT, USA. <http://albuquerque.firebehaviorandfuelsconference.com/wp-content/uploads/sites/13/2019/04/DANIEL-JOSE-VEGA-NIEVA-Albuquerque.pdf>

Vega-Nieva, D.J.; Briseño-Reyes, J.; Monjarás-Vega, N.A.; Briones-Herrera, C.I.; Silva-Cardoza, A.; López Serrano, P.M.; Corral-Rivas, J.J.; Alvarado-Celestino, E.; Jolly, W.M.; Burgan, R.E.; Preisler, H.K.; González-Cabán, A.; Cruz-Lopez, M.I.; Cuahtle, M.; Ressler, R.; Rodríguez-Trejo, D.A.; Pérez-Salicrup, D.; Jardel Peláez, E.J.; Mata, G.; Arellano-Pérez, S.; Álvarez-González, J.G.; Ruiz-González, A.D.; Vega, J.A.; Jiménez, E. 2019d. Reforzamiento al Sistema de Predicción de Peligro de Incendios Forestales de México. *Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Sociedad Mexicana de Recursos Forestales*. Durango, Noviembre 2019. http://forestales.ujed.mx/incendios2/php/publicaciones_documentos/1_4_Vega19-SOMEREFORforzamiento%20al%20Sistema%20de%20Predicci%C3%B3n%20de%20Peligro.pdf

Vega-Nieva, D.J.; Briseño-Reyes, J.; Monjarás-Vega, N.A.; Briones-Herrera, C.I.; Flores-Medina, F.; López Serrano, P.M.; Corral-Rivas, J.J.; Nava-Miranda, M.G.; Calleros-Flores, E.; Cruz-Lopez, M.I.; Cuahtle, M.; Ressler, R.; Alvarado-Celestino, E.; González-Cabán, A.; Jolly, W.M.; Burgan, R.E.; Preisler, H.K.; Setzer, A.; Morelli, F.; Pérez-Salicrup, D.; Jardel-Peláez, E.J.; Jiménez, E.; Arellano-Pérez, S.; Álvarez-González, J.G.; Ruiz-González, A.D. 2020. The Forest Fire Danger Prediction System of Mexico. Ponencia oral en: *Remote Sensing Early Warning Systems: Virtual Wildfire Workshop*. 6-8 October 2020. http://forestales.ujed.mx/incendios2/php/publicaciones_documentos/Vega20_v2_The_Forest_Fire_Danger_Prediction_System_of_Mexico.pdf

Vega-Nieva, D.J.; Nava-Miranda, M.G.; Briseño-Reyes, J.; López Serrano, P.M.; Corral-Rivas, J.J.; Cruz-Lopez, M.I.; Cuahtle, M.; Ressler, R.; Alvarado-Celestino, E.; Burgan, R.E. 2021. Analyzing the relationships between MODIS active fires monthly spatial distributions and a satellite fuel dryness index by vegetation type and region in Mexico. *Iforest* 2021. In Press.



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



 Comisión Nacional Forestal |  @CONAFOR

 conaforgob |  conafor

www.gob.mx/conafor

800 73 70 000

EJEMPLAR GRATUITO
PROHIBIDA SU VENTA