

Desarrollo de un Sistema Nacional de Peligro de Incendios Forestales Para México¹

Daniel J. Vega-Nieva², María G. Nava-Miranda², Erik Calleros-Flores², Pablito M. López-Serrano², Jaime Briseño-Reyes², Favian Flores Medina², Carlos López-Sánchez², José J. Corral-Rivas², Armando González-Cabán³, Ernesto Alvarado-Celestino⁴, Isabel Cruz⁵, Martín Cuahltle⁵, Reiner Ressler⁵, Albert Setzer⁶, Fabiano Morelli⁶, Diego Pérez-Salicrup⁷, Enrique Jardel-Pelaez⁸, Citlali Cortes-Montaño², José A. Vega⁹, Enrique Jiménez⁸

Resumen

Esta presentación presenta el proyecto "Desarrollo de un Sistema de Peligro de Incendios para México" financiado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). El objetivo del proyecto de 3 años es desarrollar un sistema operacional de peligro de incendios para mapear el riesgo de ocurrencia diario y previsto de incendios y el peligro de propagación de incendios en México, que estará en línea para la toma de decisiones sobre manejo del fuego por la CONAFOR y los actores de manejo del fuego en México. La presentación resume las metas y la estructura del proyecto y los resultados del primer año del proyecto, incluyendo: 1) El desarrollo de un módulo de riesgo de ocurrencia de incendios para mapear el número esperado de incendios con base en el tipo de vegetación, la información meteorológica y satelital, y 2) El desarrollo de una interfaz en línea para el mapeo diario del riesgo y peligro de incendios en México.

Palabras clave: Índices de sequedad de combustible, México, peligro de incendios, riesgo de incendio, sistema de apoyo a la toma de decisiones en línea.

¹ Una versión abreviada de este documento fue presentada en el Quinto Simposio Internacional sobre Economía, Planificación y Política de Incendios: Servicios Ambientales e Incendios Forestales, 14-18 de noviembre de 2016, Tegucigalpa, Honduras.

² Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango (México). *autor de correspondencia. Email: danieljvn@gmail.com

³ Economista de Investigación, Estación de Investigación del Pacífico Suroeste. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

⁴ Escuela de Ciencias Ambientales y Forestales. Universidad de Washington.

⁵ Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

⁶ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Brazil).

⁷ Universidad Autónoma de México (México).

⁸ Universidad de Guadalajara (México).

⁹ Centro de Investigación Forestal – Lourizán, Xunta de Galicia (España).

Introducción

En México no existe actualmente ningún sistema operacional de peligro de incendios. Esto contrasta con países como Estados Unidos, Canadá o Brasil que han desarrollado sistemas operacionales de riesgo de incendios basados en la cuantificación temporal y espacial del verdor del combustible y el riesgo y peligro de incendios asociados (Por ejemplo, Deeming et al., 1977, Burgan et al., 1997, 1998, Preisler et al., 2004, 2008, 2011, Riley et al., 2013, Van Wagner, 1987, Sismanoglu y Setzer, 2012).

Esta falta de un sistema operativo de peligro de incendios llevó a la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y al Agencia Nacional de Investigación (CONACYT en español) a financiar el proyecto a escala nacional “Desarrollo de un Sistema de Peligro de Incendios Forestal para México”. El principal objetivo del estudio es el desarrollo de un sistema operacional de cartografía de riesgo de incendio y peligro basado en la información meteorológica y satelital para México (Vega-Nieva et al., 2015). Este documento resume las metas y estructura del proyecto y los resultados del primer año del proyecto, incluyendo:

- 1) El desarrollo de un módulo de riesgo de ocurrencia de incendios para mapear el número esperado de incendios basado en el tipo de vegetación, la información meteorológica y
- 2) El desarrollo de una interfaz en línea para la cartografía diaria del riesgo de incendio y el peligro en México.

Objetivos del Proyecto "Desarrollo de un Sistema de Peligro de Incendios Forestal para México".

En México, CONABIO (<http://incendios1.conabio.gob.mx/>), ha implementado un sistema de cartografía en tiempo real de los focos del incendio, pero no existe un sistema operativo para la predicción del Riesgo de Incendio (probabilidad de ocurrencia de incendio) o Peligro de Incendios (comportamiento esperado del incendio y dificultad de supresión) que este actualmente disponible para México. El Proyecto 252620 en respuesta a la convocatoria 3-C02-2014 del CONACYT-CONAFOR tiene como objetivo el desarrollo de un Sistema Operacional de Riesgos y Peligro de Incendios que utilizará la CONAFOR y los agentes relevantes en la toma de decisiones sobre manejo de incendios en México. El proyecto está siendo realizado por un consorcio de investigadores de varias instituciones de México, Estados Unidos, Brasil y España.

- 1) Los objetivos del proyecto son:
- 2) Realizar una revisión bibliográfica del Riesgo y Peligro de Incendios.
- 3) Poner a prueba los sistemas existentes de Riesgo y Peligro de Incendios para la predicción de incendios en México

- 4) Desarrollar un Sistema Mexicano de Riesgo de Incendio para la predicción de incendios
- 5) Desarrollar un sistema de pronóstico del Clima de Incendio para México
- 6) Desarrollar un módulo de mapeo del Área de Incendio en México
- 7) Probar los sistemas existentes de Peligro de Incendios en México contra los registros de áreas de incendios
- 8) Desarrollar un Sistema Mexicano de Peligro de Incendios
- 9) Desarrollar y transferir a CONAFOR un software en línea para la cartografía del Peligro de Incendios actual y previsto en México.

Modelando el riesgo de ocurrencia de incendios a partir de la sequedad mensual del combustible basado en satélite por tipo de vegetación y región en México.

Dentro de este proyecto nacional, un estudio fue realizado por Vega et al. (2016) con los objetivos de: 1) cuantificar las tendencias temporales mensuales del índice de verdor, PM, del combustible basado en satélites MODIS y las tendencias temporales de la densidad del incendio (DI) por tipo de vegetación y región en México 2) probar modelos de regresión simples para la predicción de la DI mensual por tipo de vegetación y región de los valores mensuales de la PM en México. La metodología y los principales resultados de este estudio se resumen a continuación.

Metodología

Área de estudio

El área de estudio fue la república mexicana. La figura 1 muestra los tipos de vegetación presentes en el país según el mapa de uso de la tierra más reciente del INEGI (INEGI Mapa de uso de tierra Serie V, 1: 25000 <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/usosuelo/>). Se establecieron cuatro regiones geográficas, Noroeste (NO), Noreste (NE), Centro (C) y Sur (S), considerando tanto la zonificación potencial de regímenes de incendios para México (Jardel et al., 2014), basado en los tipos de vegetación y zonas climáticas (Holridge, 1996), junto con una observación visual de los patrones temporales y espaciales de agrupamiento en los focos del incendio en el período de estudio.

Focos satelitales e índices de sequedad de combustible.

Teniendo en cuenta la disponibilidad de la información sobre los focos de incendio por MODIS para México, seleccionamos el período 2003-2014 para nuestro estudio.

Hemos compilado los focos de incendios MODIS mensuales durante los 12 años del período de estudio de CONABIO (<http://incendios1.conabio.gob.mx/>).

Las imágenes compuestas mensuales del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (IVDN) con una resolución espacial de 1 x 1 km (MODIS producto MOD13A3) del periodo de estudio fueron descargadas de <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>.

Siguiendo a Burgan et al. (1998), se calcularon los valores de Proporción Muerta (PM) para cada píxel basándose en los valores del IVND para cada imagen mensual, en los valores máximos y mínimos del IVND para cada píxel y en los valores observados absolutos máximos y mínimos del IVND en el área de estudio durante todo el período de estudio. La PM es un índice empírico que representa la fracción de combustible que no está vivo ($PM = 100 - \text{Proporción Viva}$), alcanzando 100 en un combustible completamente curado sin biomasa viva y con valores menores que representan combustibles con una mayor fracción de Biomasa viva (Burgan et al., 1998).

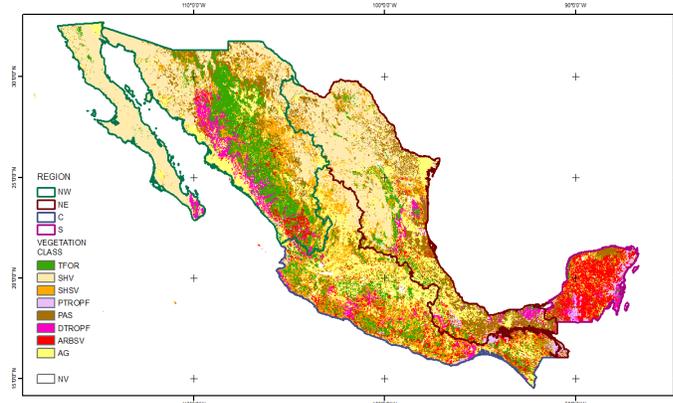


Figura 1. Mapa de los tipos de vegetación y regiones consideradas en el análisis. Dónde: BT: Bosque Templado, VA: Vegetación Arbórea, VSAr: Vegetación Secundaria Arbustiva, BTP: Bosque Tropical Perenne, PAS: Pastizales, BTD: Bosque Tropical Deciduo, VSA: Vegetación Secundaria Arbórea, AG: Agricultura, SV: Sin Vegetación; y NO: Noroeste, NE: Noreste, C: Centro, S: regiones del sur. Fuente: INEGI mapa de uso del suelo (serie V)

Índice de Densidad de Incendio.

Para cada uno de los 28 tipos de vegetación y regiones consideradas, la Densidad de Incendio (DI) mensual se calculó dividiendo el número de incendios en el área por la superficie (km^2) de la vegetación/región considerada. Los valores mensuales de la DI para cada tipo de vegetación y región fueron escalados a un Índice de Densidad de Incendio (IDI) como sigue:

$$\text{IDI} = \text{Número de incendios} / \text{Superficie (km}^2\text{)} \times 5000$$

El IDI se define de manera que una DI de 0.01 incendios/ km^2 - por ejemplo 1 incendio / 100 km^2 - equivale a un valor de IDI de 50. En consecuencia, una DI de 2

incendios / 100 km² equivale a un valor de 100 IDI, lo que podría ser considerado un indicador de una alta densidad de incendios.

Modelando el IDI mensual a partir de la PM.

La temporada de incendios se concentró en los primeros 6 meses del año para todos los tipos de vegetación considerados. Consecuentemente, todos los usos de la tierra fueron modelados para el período enero-junio. Probamos las ecuaciones de potencia lineal y no lineal como modelos de regresión. La Tabla 1 resume las ecuaciones ensayadas. Se permitió que cada mes o grupo de meses tuviesen coeficientes distintos multiplicando la PM observada por una variable dicotómica (0 ó 1) para que cada mes o grupo de meses obtuviera un parámetro individual, tanto en los modelos lineal como no lineal (ecuaciones 1 y 7, tabla 1). Después de observar los coeficientes obtenidos en este enfoque, varios grupos de meses fueron probados como candidatos para agrupar con los mismos coeficientes (ecuaciones 2-6 8-12). El análisis estadístico y gráfico se utilizó para evaluar el desempeño de las ecuaciones. La bondad de ajuste de cada modelo se evaluó utilizando el coeficiente de determinación ajustado (R²) y la raíz del error cuadrático medio (RECM).

Tabla 1. Ecuaciones probadas para la predicción del Índice de Densidad de Incendio mensual a partir de los valores de la Proporción Muerta. Dónde: IDI: Índice de Densidad de Incendio mensual, PM: proporción muerta mensual, a y b son coeficientes del modelo, E: Enero, F: Febrero, M: Marzo, A: Abril, My: Mayo, Ju: Junio, Jl: Julio, Ag: Agosto, S: Septiembre, O: Octubre, N: Noviembre, D: Diciembre.

Num. Ec.	Tipo	Meses Agrupados	Ecuación
1	Lineal	-	$IDI = a + (b_E PM_E + b_F PM_F + b_M PM_M + b_A PM_A + b_{My} PM_{My} + b_{Ju} PM_{Ju})$
2	Lineal	E&F	$IDI = a + (b_{EF} PM_{EF} + b_M PM_M + b_A PM_A + b_{My} PM_{My} + b_{Ju} PM_{Ju})$
3	Lineal	E,F&M	$IDI = a + (b_{EFM} PM_{EFM} + b_A PM_A + b_{My} PM_{My} + b_{Ju} PM_{Ju})$
4	Lineal	E,F&M, A&My	$IDI = a + (b_{EFM} PM_{EFM} + b_{AMy} PM_{AMy} + b_{Ju} PM_{Ju})$
5	Lineal	E,F&M, A&Ju	$IDI = a + (b_{EFM} PM_{EFM} + b_{AJu} PM_{AJu} + b_{My} PM_{My})$
6	Lineal	E,F,M&A, My&Ju	$IDI = a + (b_{EFMA} PM_{EFMA} + b_{MyJu} PM_{MyJu})$
7	No lineal	-	$IDI = (a_E PM_E + a_F PM_F + a_M PM_M + a_A PM_A + a_{My} PM_{My} + a_{Ju} PM_{Ju})^b$
8	No lineal	E&F	$IDI = (a_{EF} PM_{EF} + a_M PM_M + a_A PM_A + a_{My} PM_{My} + a_{Ju} PM_{Ju})^b$
9	No lineal	E,F&M	$IDI = (a_{EFM} PM_{EFM} + a_A PM_A + a_{My} PM_{My} + a_{Ju} PM_{Ju})^b$
10	No lineal	E,F&M, A&My	$IDI = (a_{EFM} PM_{EFM} + a_{AMy} PM_{AMy} + a_{Ju} PM_{Ju})^b$
11	No lineal	E,F&M, A&Ju	$IDI = (a_{EFM} PM_{EFM} + a_{AJu} PM_{AJu} + a_{My} PM_{My})^b$

12	No lineal	E,F,M&A, My&Ju	$IDI = (a_{EFMA}PM_{EFMA} + a_{MyJu}PM_{MyJu})^b$
13	Lineal	-	$IDI = a + (b_E PM_E + b_F PM_F + b_M PM_M + b_A PM_A + b_{My} PM_{My} + b_{Ju} PM_{Ju} + b_{Ag} PM_{Ag} + b_S PM_S + b_O PM_O + b_N PM_N + b_D PM_D)$
14	No lineal	-	$IDI = (a_E PM_E + a_F PM_F + a_M PM_M + a_A PM_A + a_{My} PM_{My} + a_{Ju} PM_{Ju} + a_{Ag} PM_{Ag} + a_S PM_S + a_O PM_O + a_N PM_N + a_D PM_D)$
15	No lineal	Todos menos My	$IDI = (a_{EFMAJuJlAuSOND} PM_{EFMAJuJlAuSOND} + a_{My} PM_{My})^b$

Resultados y discusión

La tabla 2 muestra los modelos que mejor ajustaron los datos para cada tipo de vegetación y región y las estadísticas de bondad de ajuste para los mejores modelos. Con excepción de los bosques tropicales caducifolios y perennes del NE, los modelos no lineales describieron mejor los datos que los modelos lineales para todos los tipos y regiones de vegetación, lo que sugiere que la relación de la PM con la ocurrencia de incendios no es linealmente proporcional – por ejemplo, el riesgo de ocurrencia de incendios aumenta muy rápidamente con PM incrementada.

Tabla 2. Coeficientes y bondad de ajuste de las ecuaciones que mejor ajustaron la predicción del Índice de Densidad de Incendio mensual de los valores de Proporción Muerta para cada tipo de vegetación y región. Donde: Veg_Reg: Vegetación y región; Ec: la mejor ecuación de ajuste de la tabla 1, a y b son los coeficientes del modelo, E: Enero, F: Febrero, M: Marzo, A: Abril, My: Mayo, Ju: Junio, Jl: Julio, S: Septiembre, O: Octubre, N: Noviembre, D: Diciembre son los coeficientes de para el mes o grupo de meses correspondiente. RECM: Raíz del Error Cuadrático Medio; R²adj: R² ajustado; BT: Bosque Templado, PAS: Pastizales, BTP: Bosque Tropical Perenne, VSA: Vegetación Secundaria Arbórea, VSArs: Vegetación Secundaria Arbustiva, BTD: Bosque Tropical Deciduo, SV: Sin Vegetación; y NO: Noroeste, NE: Noreste, C: Centro, S: regiones del sur.

Veg_Reg	Ec	a	EF	M	EFM	A	EFMA	My	EMy	Ju	EJu	MyJu	b	RECM	R ² ADJ
BT_C	8		0.019	0.021		0.024		0.026		0.023			7.771	33.3	0,75
BT_NE	8		0.016	0.018		0.019		0.021		0.019			10.438	15.4	0,62
BT_NO	12						0.015					0.017	11.371	32.4	0,62
BT_S	9				0.016	0.016		0.015		0.014			25.706	11.7	0,68
PAS_C	8		0.019	0.022		0.028		0.032		0.027			5.276	18.2	0,95
PAS_NE	8		0.019	0.021		0.024		0.026		0.023			5.668	9.3	0,86
PAS_NO	8		0.011	0.011		0.012		0.012		0.013			13.729	3.3	0,60
PAS_S	8		0.059	0.110		0.178		0.197		0.082			2.243	92.3	0,79
BTP_C	9				0.024	0.034		0.041		0.034			4.817	35.7	0,79
BTP_NE	3	102.96			2.278	2.794		3.388		2.266			0.000	19.1	0,67
BTP_NO	12				0.015							0.020	5.662	9.1	0,67
BTP_S	8		0.019	0.021		0.023		0.026		0.023			7.018	7.5	0,70
BTD_C	11				0.023			0.052			0.048		3.234	19.5	0,91

BTD_NO	9		0.013	0.017	0.024	0.022	5.245	9.8	0,89	
BTD_NE	2	219.92	3.503	3.882	4.767	5.615	5.368	0.000	78.6	0,46
BTD_S	8		0.037	0.044	0.050	0.049	0.036	3.923	28.0	0,76
VSA_C	8		0.019	0.024	0.031	0.035	0.028	5.361	26.5	0,90
VSA_NE	8		0.022	0.025	0.028	0.034	0.028	6.131	10.7	0,94
VSA_NO	9		0.016	0.024	0.030	0.027	4.706	28.6	0,70	
VSA_S	8		0.034	0.059	0.080	0.080	0.034	2.956	37.0	0,79
VSArs_C	8		0.017	0.020	0.026	0.030	0.025	5.590	17.8	0,93
VSArs_NE	10		0.017			0.022	0.019	7.257	14.6	0,73
VSArs_NO	9		0.012	0.014	0.015	0.015	11.690	18.9	0,65	
VSArs_S	8		0.033	0.048	0.060	0.061	0.033	3.722	59.4	0,79

Se observaron diferentes patrones de relaciones entre el IDI y la PM para diferentes tipos y regiones de vegetación, acorde con observaciones que apuntan a una variedad de regímenes de incendios resultantes de combinaciones de climatología y tipos de combustible en el país (por ejemplo, Rodríguez et al., 1996, 2008, Morfin et al., 2007, 2012, Ávila et al., 2010, Jardel et al., 2009, 2014, Pérez-Verdín et al., 2014). Los coeficientes del modelo derivado durante meses y grupos de meses pueden ofrecer información sobre los patrones de sincronización de la temporada de incendios y sus relaciones con los patrones de PM en diferentes tipos de vegetación y regiones. La mayoría de los tipos de vegetación en la región sur y centro mostraron un inicio temprano de la temporada de incendios (1 mes antes) en comparación con la región NO, lo que sugiere que se requieren períodos más largos de sequía acumulada en esta última región para iniciar el incendio o tal vez reflejan los diferentes patrones de quemas agrícolas en las diferentes regiones del país. Dentro de las regiones, los bosques tropicales mostraron las últimas temporadas de incendios en comparación con otros tipos de vegetación en la misma región (1 o 2 meses más en el NO), lo que sugiere que se requieren periodos de sequía más largos en los ecosistemas más húmedos para iniciar un incendio.

Desarrollo de una interfaz en línea para el Sistema Mexicano de Peligro de Incendios

En el primer año del proyecto, la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED) programó una interfaz de prueba en línea para el Sistema de Peligro de Incendios Forestal de México, disponible gratuitamente en línea en el enlace:

<http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/index.php>

La interfaz incluye varias capas para la situación actual (Figura 2) y una sección con la evolución de la sequedad del combustible y los índices de riesgo. (Figura 3), disponible en:

http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/historicos_animaciones.php

Las capas incluidas en la interfaz SIG para la situación actual incluyen las capas observadas diariamente para los focos del incendio, el índice de sequedad del combustible y el riesgo de incendio (Figura 2).

Una serie de capas temáticas incluidas en la interfaz SIG, incluyen: Áreas prioritarias de incendios de la CONAFOR, Centros Regionales de Manejo de Incendios, Tipo de cobertura terrestre, Áreas Naturales Protegidas, Límites Estatales, Municipios y Unidades de Manejo Forestal (Figura 1). Un mapa base conteniendo los pueblos, carreteras y topografía de tres fuentes en línea (Bing Maps, ArcGis En línea 1, ArcGis en línea 2) también está incluido. El usuario puede ampliar / reducir usando mapas base como una referencia espacial. El usuario puede activar/desactivar alguna capa en la interfaz SIG, incluyendo la posibilidad de visualizar simultáneamente una combinación de capas (por ejemplo, riesgo de incendio y topografía/mapa de carreteras de Bing Maps) regulando el nivel de transparencia de las capas.

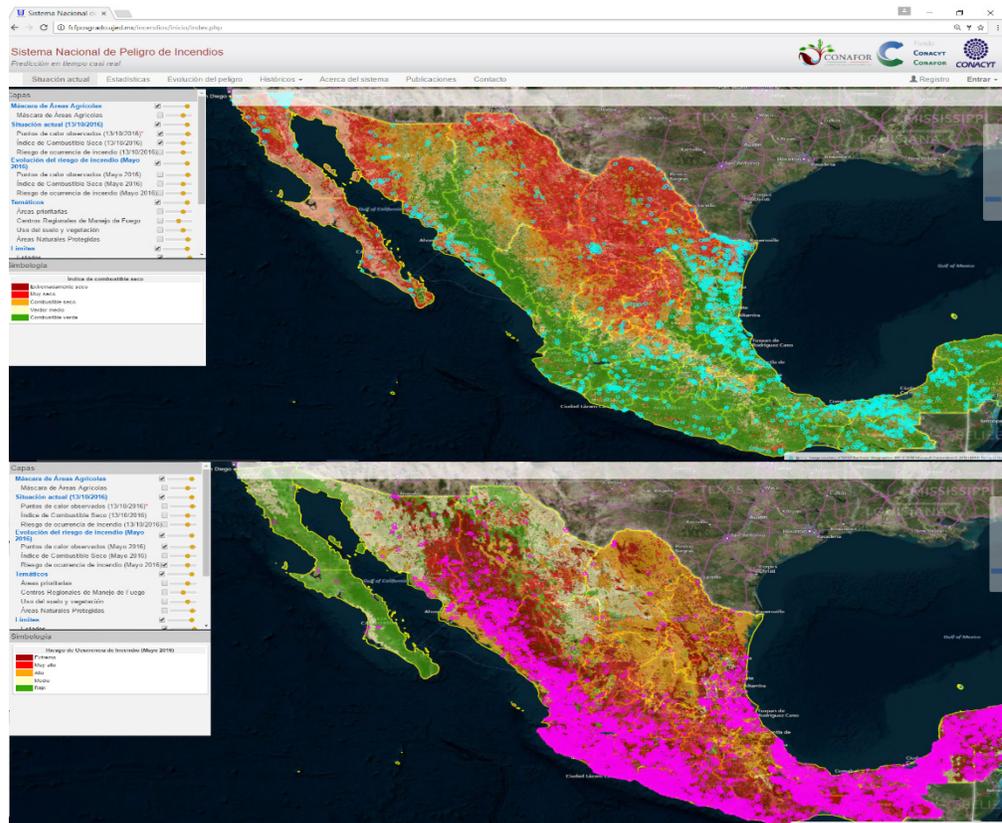


Figura 2. Interfaz en línea del Sistema Mexicano de Peligro de Incendios Forestales: situación actual. La figura superior muestra el índice actual de sequedad del combustible y los focos del

incendio observado (en azul) en octubre de 2016. Los colores representan la sequedad del combustible, siendo verde el combustible muy húmedo y el rojo y el rosa claro las condiciones de combustible seco y muy seco. La figura inferior muestra el mapa de riesgo de incendio predicho y los focos del incendio observado (en color rosa brillante) en mayo de 2016. Los colores representan el riesgo de ocurrencia de incendios, siendo verde baja probabilidad de ocurrencia de incendio y rojo y rojo oscuro representan alto y muy alto riesgo de ocurrencia de incendios. <http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/index.php>

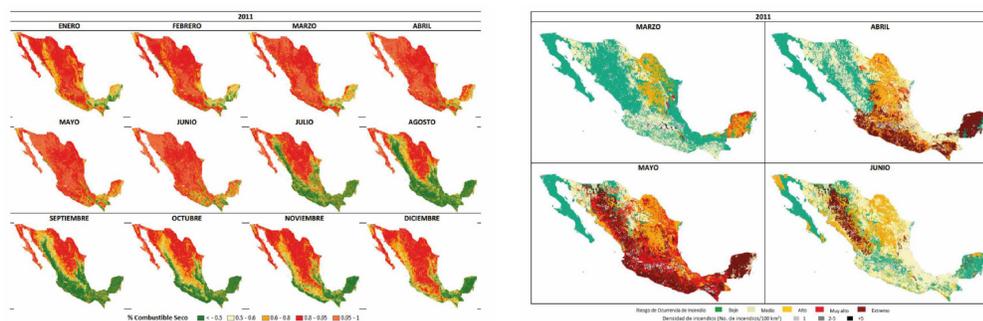


Figura 3. Ejemplos del Índice de Sequedad del Combustible (figura izquierda, sequedad mensual del combustible para 2011) y mapas de riesgo de ocurrencia de incendios (figura derecha, marzo a junio de 2011). Las animaciones de la sequedad del combustible y el riesgo de incendio para los años históricos en México se pueden consultar en la liga: http://fcfposgrado.ujed.mx/incendios/inicio/historicos_animaciones.php

Resumen y conclusiones.

El Proyecto "Desarrollo de un Sistema de Peligro de Incendios Forestales para México", financiado por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y la Agencia Nacional de Investigación (CONACYT en español), tiene como objetivo desarrollar un sistema operacional de cartografía de riesgo y peligro de incendios basado en satélites diarios e información meteorológica, que es utilizada por la Agencia Forestal del Gobierno mexicano CONAFOR y los agentes pertinentes en la toma de decisiones sobre manejo de incendios en México. Durante el primer año del proyecto, se han probado varios índices meteorológicos y basados en satélites, con los primeros resultados para la predicción del riesgo de incendio basado en un índice de sequedad del combustible por satélite para México. El trabajo futuro en el proyecto incluirá el desarrollo del riesgo de incendios probabilísticos basado en índices diarios de peligro de incendios que a su vez están basados en el clima, junto con factores espaciales como la distancia hacia las carreteras y ubicaciones. Estos modelos diarios de riesgo de incendio se incluirán en la plataforma en línea que proporcionará evaluaciones diarias de la sequía del combustible y el riesgo de incendio previsto. Esta herramienta operacional se utilizará para mejorar la planificación de la extinción de incendios y por para la toma de decisiones del manejo estratégico de incendios en México.

Referencias

- Ávila D., Pompa-García M., Antonio-Nemiga X., Rodríguez-Trejo D, Vargas-Pérez E, Santillán-Pérez J. 2010. Driving factors for forest fire occurrence in Durango State of Mexico: a geospatial perspective. *Chin Geo Sci* **20**:491–497. doi:10.1007/s11769-010-0437-x
- Burgan, R.E., Andrews, P.L., Bradshaw, L.S., Chase, C.H., Hartford, R.A., Latham, D.J. 1997. WFAS: wildland fire assessment system, *Fire Management Notes*, **57**(2):14-17, 1997.
- 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.
- Deeming, John E., Burgan, Robert E., Cohen, Jack D. 1977. The National Fire-Danger Rating System - 1978. Gen. Tech. Rep. INT-39. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 63 pp.
- Holridge L. 1996. Ecología basada en Zonas de Vida. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José. 266 pg.
- Jardel, E.J., Alvarado E., Morfín-Ríos J.E., Castillo-Navarro F., Flores-Garnica J.G. 2009. Regímenes de incendios en ecosistemas forestales de México. En: J.G. Flores-Garnica. Ed. Impacto Ambiental de Incendios Forestales. Mundi-Prensa, INIFAP y Colegio de Postgraduados. México D.F. Pp. 73Z100.
- Jardel, E.J., Pérez-Salicrup, D., Alvarado E., y Morfín Ríos J.E. 2014. Principios y criterios para el manejo del fuego en ecosistemas forestales: guía de campo. Comisión Nacional Forestal. Guadalajara, Jal. México. ISBN:978F000F00F000F0
- Morfín Ríos, J.E., Alvarado Celestino, E., Jardel Peláez, E.J., Vihnanek, R.E., Wright, D.K., Michel Fuentes, J.M., Wright, C.S., Ottmar, R.D., Sandberg, D.V., Nájera Díaz, A. 2007. Fotoseries para la Cuantificación de Combustibles Forestales de México: Bosques Montanos Subtropicales de la Sierra Madre del Sur y Bosques Templados y Matorral Submontano del Norte de la Sierra Madre Oriental. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-XXX. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station.
- Morfín, J., E. Jardel y J. Michel. 2012. Caracterización y cuantificación de combustibles forestales. Comisión Nacional Forestal. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 59 p.
- Pérez-Verdín G., Márquez-Linares M.A., Salmerón-Macías M. 2014. Spatial heterogeneity of factors influencing forest fires size in northern Mexico. *Journal of Forestry Research* **25**(2): 291–300 DOI 10.1007/s11676-014-0460-3
- Preisler, H. K., Brillinger, D., Burgan, R. E. and Benoit, J. W. 2004. Probability based models for estimation of wildfire risk. *International Journal of Wildland Fire* **13** 133–142.
- Preisler, H.K., Burgan, R.E., Eidenshink, J.C., Klaver, J.M., Klaver, R.W. 2009. Forecasting Distributions of Large Federal-Lands Fires Utilizing Satellite and Gridded Weather Information. *International Journal of Wildland Fire* **18**, 508–516
- Preisler, H. K., Westerling, A. L., Gebert, K. M., Muñoz-Arriola, F. and Holmes, T. P. 2011. Spatially explicit forecasts of large wildland fire probability and suppression costs for California. *International Journal of Wild land Fire* **20** 508–517.
- Riley K.L., Abatzoglou J.T., Grenfell I.C., Klene A.E., Heinsch F. Ann. 2013. The relationship of large fire occurrence with drought and fire danger indices in the western

USA, 1984–2008: the role of temporal scale. *International Journal of Wildland Fire* **22**, 894–909.

Rodriguez-Trejo, D. 1996. Incendios forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Multi-Prensa. Mexico. 630 p.

Rodríguez-Trejo D.A. 2008. Fire regimes, fire ecology and fire management in Mexico. *Ambio* 37:548–556.

Setzer, A.W. Sismanoglu, R.A. 2012. Risco de Fogo: Metodologia do Cálculo – Descrição sucinta da Versão 9 .INPE Report.

Van Wagner C.E., 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. *Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report* 35. Ottawa, Canada.

Vega-Nieva D., López-Serrano P. M., Briseño-Reyes, J., López-Sánchez C., Corral-Rivas, J., Cortés-Montaña C., Alvarado-Celestino E., González-Cabán A., Setzer A., Cruz I., Ressler, R., Pérez-Salicrup D., Villers-Ruiz M.L., Morales-Manilla L.M., Jardel-Peláez E., Vega J.A., Jiménez E. 2015. Development of an operational Fire Danger System for Mexico. In: *Fire Ecology & Management Congress. Advancing Ecology in Fire Management, At San Antonio, Texas, USA.*

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., Alvarado-Celestino E., González-Cabán A., Cruz I., Ressler, R., Cortes-Montaña C., Pérez-Salicrup D., Jardel-Peláez E., Vega J.A., Jiménez E. 2016. Temporal patterns of fire density by vegetation type and region in Mexico and its temporal relationships with a monthly satellite fuel greenness index. Submitted to *Fire Ecology* (July 2016).